

ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Научный журнал

2023

Том 6. Выпуск 4

ISSN 2618-6802 (online)

Зарегистрирован в Роскомнадзоре: ЭЛ № ФС 77 – 72325 – сетевое издание от 14.02.2018 г.

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

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

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

Члены редколлегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Седов Сергей Николаевич – кандидат биологических наук, ведущий исследователь Института геологии Национального автономного университета Мексики (UNAM, Мехико, Мексика), ведущий научный сотрудник ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр СО РАН» (Тюмень, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Содержание

Органическое вещество и биохимия почв

- Головацкая Е.А., Никонова Л.Г., Калашникова Д.А., Симонова Г.В. Изменение изотопного состава азота в процессе трансформации опада растений-торфообразователей на осушенных и постпирогенных участках олиготрофных болот e238

Теоретические и прикладные проблемы почвоведения

- Миллер Г.Ф., Соловьев С.В., Безбородова А.Н. Почвенно-экологическая оценка разновозрастных залежей юго-востока Западной Сибири e230
- Чичулин А.В. Возможности физико-теоретических методов в экологии почв (на примере моделирования структуры почвенно-климатических ареалов) e229
- Захарова Е.Г. Варьирование свойств чернозёмов Приобского плато в границах ключевого участка «Володарка» (Алтайский край, Россия) e248

Почвенно-физические процессы, свойства и режимы

- Танасиенко А.А., Чумбаев А.С., Миллер Г.Ф., Соловьев С.В. Динамика летних запасов влаги в профиле незэродированных и эродированных чернозёмов юго-востока Западной Сибири e232

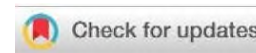
Биогеохимия, загрязнение и ремедиация объектов окружающей среды

- Игловский С.А., Баженов А.В., Яковлев Е.Ю. Пространственное распределение ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в почвах г. Оленегорска (Мурманская область) e225

Обзоры, дискуссии, памятные даты

- Кудряшова С.Я., Чумбаев А.С. Развитие теоретических и экспериментальных исследований почвенно-физических процессов в Западной Сибири e221
- Андроханов В.А., Беспалов А.Н., Соколов Д. А. Вехи истории лаборатории рекультивации почв ИПА СО РАН e242
- Титлянова, А. А. Развитие представлений о биотическом круговороте e239
- Андроханов В.А., Нечаева Т.В., Гопп Н.В. Итоги научной конференции «Почвы и окружающая среда», посвящённой 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 года) e249

УДК 631.4

<https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.238>**ИЗМЕНЕНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА АЗОТА В ПРОЦЕССЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ОПАДА РАСТЕНИЙ-ТОРФООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСУШЕННЫХ И ПОСТПИРОГЕННЫХ УЧАСТКАХ ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ**

© 2023 Е. А. Головацкая , Л. Г. Никонова , Д. А. Калашникова , Г. В. Симонова

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

Цель исследования. Оценка изменения изотопного состава азота ($\delta^{15}N$) в процессе разложения растительных остатков основных растений-торфообразователей в торфяной залежи олиготрофных болотных экосистем южно-таёжной подзоны Западной Сибири.

Место и время проведения. Исследования проводили в 2019-2021 гг. на двух олиготрофных болотах: «Бакчарское» (стационар «Васюганье», ИМКЭС СО РАН) и «Иксинское», представляющих собой северо-восточные отроги Большого Васюганского болота и расположенных в Бакчарском районе Томской области.

Методы. Скорость разложения растений-торфообразователей определяли методом частично изолированных проб, который широко используют для изучения процессов трансформации растительного материала и торфа. Изотопный состав азота в исходных и разложившихся образцах растений-торфообразователей определяли методом масс-спектрометрии изотопных отношений с помощью масс-спектрометра DELTA V Advantage, совмещённого с элементным анализатором Flash 2000 (EA-IRMS).

Основные результаты. Трёхлетний эксперимент по разложению растений-торфообразователей (*Sphagnum fuscum*, *Chamaedaphne calyculata*, *Eriophorum vaginatum* и Смешанный образец) в 4 экосистемах (естественной – VASnat, осушенной – VASdry, постпирогенных – Iksa1 и Iksa2) показал, что влияние мелиорации и пожара сказывается на скорости разложения: происходит ускорение процесса трансформации растительных остатков в условиях осушенных болот, а также замедление трансформации *Sph. fuscum* и Смешанного образца на 1,5–9% в условиях торфяных залежей болот, подверженных пирогенному воздействию. В ходе разложения органического вещества растительного опада наблюдаются потери углерода (от 24% у *Sph. fuscum* до 62% у *E. vaginatum* от исходного содержания) и потери азота, которые к концу 3 года составляют от 21% в Смешанном образце до 46% у *Sph. fuscum* от исходного содержания в растительных остатках. Выявлена зависимость между потерей массы растительных остатков и изменением изотопного состава азота для всех образцов, за исключением *Sph. fuscum*.

Заключение. Влияние торфяных пожаров проявляется в снижении скорости разложения растительных остатков. Динамика изменения изотопного состава в процессе трансформации изученных растительных остатков зависит от вида растений, но не зависит от времени разложения (1, 2, 3 года) и от места расположения образцов.

Ключевые слова: трансформация растительных остатков; изотопный состав азота; биогеохимический цикл; пирогенные торфяники; осушенные торфяники; Западная Сибирь.

Цитирование: Головацкая Е.А., Никонова Л.Г., Калашникова Д.А., Симонова Г.В. Изменение изотопного состава азота в процессе трансформации опада растений-торфообразователей на осушенных и постпирогенных участках олиготрофных болот // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 4. e238. DOI: [10.31251/pos.v6i4.238](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.238).

ВВЕДЕНИЕ

Современные экосистемы постоянно подвергаются воздействию факторов, напрямую либо косвенно связанных с деятельностью человека. Нарушения естественного хода круговорота веществ могут привести к нарушению баланса в процессах накопления и разложения органического вещества (Добровольская и др., 2015; Hogg et al., 1992; Domisch et al., 2006; Vanhala et al., 2008). Изучение процессов трансформации органического вещества в экосистемах в настоящее время является актуальным на мировом уровне. В то же время болотные экосистемы, в отличие от других наземных экосистем, характеризуются незамкнутостью круговорота веществ, за счёт чего происходит постоянное накопление органического вещества в виде торфа (Тюремнов, 1976;

Заварзин, 1994; Болота Западной Сибири..., 1998; Moore, Basiliko, 2006; Fortuniak, Pawlak, 2014; Inisheva et al., 2016). Олиготрофные болота характеризуются низким содержанием азота как в торфяной залежи, так и растительности, основным источником поступления азота для этих экосистем являются атмосферные выпадения (Jonasson, Shaver, 1999). Болотная растительность вынуждена приспосабливаться к дефициту азота, и задействовать различные механизмы для компенсации нехватки азота через микоризные отношения, азотфиксацию (Климова и др., 2019; Saiz et al., 2019; Yin et al., 2022), использование органических форм азота и т.д. (Basilier, 1979; Schwintzer, Lancelle, 1983; Jonasson, Shaver, 1999). Развитие промышленности, изменение климата приводят к изменению азотного цикла в экосистемах, что может вызвать изменения соотношения продукционно-деструкционных процессов в экосистемах и в конечном итоге снижение способности болотных экосистем накапливать углерод. В связи с этим вопрос изучения биогеохимического цикла азота, в том числе его изотопного состава, становится еще более актуальным.

В глобальном масштабе естественное отношение стабильных изотопов азота ^{15}N и ^{14}N , обозначаемое как $\delta^{15}\text{N}$, в растениях и почве зависит от температуры и количества осадков. При увеличении среднегодовой температуры происходит увеличение величины $\delta^{15}\text{N}$, а при увеличении количества осадков, наоборот наблюдается снижение величины $\delta^{15}\text{N}$ (Amundson et al. 2003; Craine et al. 2003; Craine et al., 2009). Кроме того, наиболее важными выявленными закономерностями являются взаимоотношения между $\delta^{15}\text{N}$ листы и (1) функциональным типом растения или микоризными ассоциациями (Hobbie, Jumpponen, 2005; Craine et al., 2009), (2) климатом (Austin, Vitousek, 1998; Amundson et al., 2003; Hobbie, Högberg, 2012) и (3) статусом питательных веществ (Fogel et al., 2008).

Среди процессов азотного цикла, оказывающих влияние на величину $\delta^{15}\text{N}$, выделяют следующие: аммонификация – приводит к обогащению почвы тяжелым изотопом ^{15}N ; нитрификация (преобразование NH_4^+ до NO_3^-) – приводит к образованию NO_3^- с меньшим содержанием ^{15}N и, следовательно к обогащению остатка NH_4^+ ; денитрификация, в результате которой высвобождается N_2 , обедненный ^{15}N , а оставшийся NO_3^- обогащается ^{15}N ; обогащение микоризных грибов ^{15}N приводит к обеднению растений ^{15}N ; перемешивание слоев почвы в результате биотических и абиотических процессов также может оказать влияние на отношение $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ (Hobbie, Ouimette, 2009).

Известно, что в торфяной почве содержание ^{15}N увеличивается с глубиной за счет микробной трансформации органического вещества торфа (Kohzu et al., 2003; Asada et al., 2005; Bragazza, Iacumin, 2009; Bragazza, et al., 2009; Golovatskaya et al., 2017; Drollinger et al., 2019, 2020). Однако для лучшего понимания происходящих изменений содержания ^{15}N в торфе необходимо знать изменения изотопного состава свежего растительного опада на ранних стадиях разложения, так как именно процесс разложения опада является важнейшим процессом, отвечающим за скорость накопления торфа на торфяниках (Bragazza et al., 2009). Исследования изменения изотопного состава растительных остатков в ходе разложения могут выявить мелкомасштабные изменения на начальных этапах разложения, когда происходят наибольшие потери массы и изменения элементного состава растительных остатков, и возможно позволят раскрыть особенности эволюции болотных экосистем, которые не проявляются при исследованиях непосредственно торфяных залежей (Bragazza, Iacumin, 2009; West et al., 2006; Charman, 2002; Asada et al., 2005; Drollinger, 2019).

Целью данного исследования является оценка изменения величины $\delta^{15}\text{N}$ в процессе разложения растительных остатков основных растений-торфообразователей в торфяной залежи олиготрофных болотных экосистем южно-таёжной подзоны Западной Сибири. Комплексный подход, включающий в себя помимо изотопного анализа, изучение потерь массы, изменения содержания углерода в растительных остатках, анализ гидротермических условий торфяной залежи, позволит более полно раскрыть особенности фракционирования стабильных изотопов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования были выбраны четыре болотных участка, расположенные на двух олиготрофных болотах (рис. 1). Болото «Бакчарское» (стационар «Васюгань», ИМКЭС СО РАН) и болото «Иксинское», расположенные в Бакчарском районе Томской области. Часть болота «Иксинское» в 1970-е годы было осушено в целях лесомелиорации. В 1998 году в результате пожара на этом болоте выгорел участок площадью 37,4 км², напочвенный растительный покров выгорел практически полностью, за исключением древесного яруса, кроме того, выгорели верхние

горизонты торфяной залежи (Базанов, 2002). На Бакчарском болоте организованы две наблюдательные площадки – естественный сосново-кустарниково-сфагновый фитоценоз (**VASnat**, 56°52'31,7" с.ш. и 82°48'27,3" в.д.) и осушенный сосново-кустарниково-сфагновый фитоценоз, расположенный вблизи водоотводного канала (**VASdry**, 56°53'33,3" с.ш. и 82°51'08,0" в.д.). На Иксинском болоте также было организовано две площадки, отличающиеся разной степенью пирогенной сукцессии: сосново-березово-пушицево-сфагновый фитоценоз со слабо выраженной степенью пирогенной сукцессии (**Iksa1**, 56°52'03,4" с.ш. и 83°11'52,1" в.д.) и сосново-кустарниково-сфагновый фитоценоз с выраженным подростом сосны (**Iksa2**, 56°51'42,1" с.ш. и 83°17'53,0" в.д.).

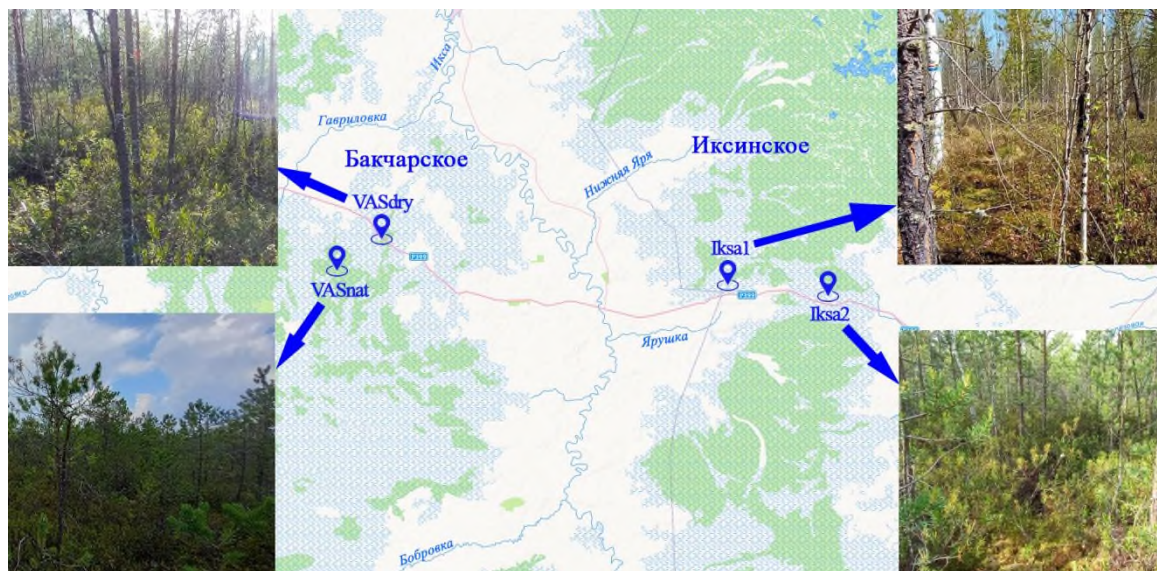


Рисунок 1. Расположение объектов исследования (здесь и далее на рис. 2–6): на Бакчарском болоте – естественный сосново-кустарниково-сфагновый фитоценоз (**VASnat**) и осушенный сосново-кустарниково-сфагновый фитоценоз, расположенный вблизи водоотводного канала (**VASdry**); на Иксинском болоте – сосново-березовый пушицево-сфагновый фитоценоз со слабо выраженной степенью пирогенной сукцессии (**Iksa1**) и сосново-кустарниково-сфагновый фитоценоз с выраженным подростом сосны (**Iksa2**).

Согласно данным ближайшей метеостанции Бакчар (gr5.ru) среднегодовая температура воздуха составила $0,79 \pm 1,47^\circ\text{C}$ за период 2018–2021 гг., среднегодовая сумма осадков – 524 ± 92 мм. Средняя температура вегетационного периода с начала мая до конца сентября составила около $13,9^\circ\text{C}$, количество осадков в летние месяцы – 277 мм.

Температура торфяной залежи измерялась с помощью автономных измерителей профиля температуры и уровня болотных вод – АИПТ (ИМКЭС СО РАН (Кураков и др., 2008). Измерение температуры торфяной почвы проводили на глубинах 5, 10 и 15 см за период с сентября 2018 по сентябрь 2021 года. В среднем участок **VASdry** отличался самым низким **уровнем болотных вод (УБВ)** (-56) см и относительно тёплыми условиями на глубине 15 см в течение вегетационного периода ($+12,2^\circ\text{C}$). Участок **Iksa1** оказался наиболее влажным (УБВ=-16 см) и относительно прохладным ($+10,7^\circ\text{C}$). Участок **Iksa2** также был достаточно обводнённым (УБВ=-27 см), но более теплым, температура торфяной залежи была значительно выше ($+13,6^\circ\text{C}$). Участок **VASnat** характеризовался наиболее низкими значениями температуры ($+9,6^\circ\text{C}$) и достаточно низким уровнем болотных вод (-40 см).

Разложение растительных остатков. Объектами изучения послужили основные растения-торфообразователи, являющиеся типичными для олиготрофных болот Западной Сибири: мирт болотный (*Chamaedaphne calyculata* Moench.), пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.), сфагнум бурый (*Sphagnum fuscum* Klinggr), а также приготовили *Смешанный образец*, состоящий из основных видов-доминантов *Sph. fuscum* (60%) и *Ch. calyculata* (40%).

Для определения скорости разложения растений-торфообразователей применяли метод закладки растительности в торф (Козловская и др., 1978; Головацкая, Никонова, 2017). У вечнозеленых кустарничков для эксперимента брали прошлогодние листья, у трав – ветошь, у сфагновых мхов использовали очёс. Высушенные на воздухе образцы растений помещали в

нейлоновые мешочки размером 15×15 см. Масса каждого образца составляла 10 г. Для каждого вида растений было подготовлено 48 образцов (всего 192 образца). Подготовленные образцы были помещены в торфяную залежь на глубину 10 см от поверхности мха на каждом исследуемом участке. Образцы извлекали через 1, 2 и 3 года. **Потери массы (ML, % от исходной массы растительной пробы)** рассчитывали по уравнению:

$$ML(\%) = \frac{(M_0 - M_t)}{M_0} \times 100, \quad (1)$$

где M_0 – сухая масса исходной пробы (г), M_t – сухая масса пробы, через 12, 24 и 36 месяцев после начала эксперимента (г).

Вид растения оказывает значимое влияние на скорость разложения (Никонова и др., 2019; Kätterer, 1998; Peltoniemi et al., 2012). В связи с этим в исходных образцах и растительных остатках после разложения вместе с изотопным составом углерода и азота определяли содержание общих углерода и азота методом EA-IRMS (Elemental Analyser/Isotope Ratio Mass Spectrometry) (Лебедев, 2013; Golovatskaya et al., 2022) с использованием изотопного масс-спектрометра DELTA V Advantage в сочетании с элементным анализатором Flash 2000 (Thermo Fisher Scientific, Бремен, Германия), оснащенный окислительно-восстановительным реактором. Приборы предоставлены центром коллективного пользования ТомЦКП СО РАН. Все образцы измельчали, после чего навеску образца помещали в оловянные капсулы (олово высокой степени чистоты). Оптимальная масса навески образца для изотопного анализа азота – 1400–1700 мкг. Запакованные в капсулы образцы помещали в автосамплер элементного анализатора Flash 2000. Капсула попадала в окислительный реактор, нагретый до 1020°C и заполненный Cr_2O_3 и гранулами Co_3O_4 , сжигалась в потоке газа-носителя (гелий, 90 мл/мин) с одновременно поданным чистым кислородом (180 мл/мин). Полученные продукты окисления (N_xO_y) поступали в восстановительный реактор, где оксиды азота восстанавливались до N_2 . Для удаления воды использовали ловушку с перхлоратом магния. Азот (N_2) по капилляру попадал в масс-спектрометр DELTA V Advantage через систему газораспределения Conflo II.

Изотопный состав определяли по формуле:

$$\delta^n X = \left[\frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \right] \times 1000, \quad (\text{‰}) \quad (2)$$

где nX – изотоп ^{15}N ; R_{sample} – отношение тяжелого изотопа к легкому в исследуемом образце; R_{standard} – отношение тяжелого изотопа к легкому в стандарте.

Лабораторные рабочие газы сравнения (N_2) калибровали по международному стандартному образцу МАГАТЭ: для N_2 – IAEA-600 Caffeine, $\delta^{15}N_{\text{air}N_2} = 1,0 \pm 0,2\text{‰}$. Абсолютная погрешность измерений для трех повторностей анализируемых образцов составляет для азота не более 0,6 ‰.

Соотношение C/N определяли на основе их массовой доли C(%) / N(%).

Относительное обеднение/обогащение (%) углерода и азота рассчитывали как динамику содержания элемента, нормализованную по массе, по следующей формуле:

$$\text{Обеднение/обогащение (\%)} = \frac{M_t \times C_t - M_0 \times C_0}{M_0 \times C_0} \times 100\% \quad (3)$$

где M_0 – исходная масса опада (г); M_t – масса опада в момент времени t (г); C_0 – исходная концентрация углерода или азота (%); C_t – концентрация углерода или азота в момент времени t (мг/кг).

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием пакетов Microsoft Office Excel 2010 и Statistica v.6. Все статистические анализы выполняли при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Химический состав растений-торфообразователей. На скорость разложения растительного опада оказывает влияние множество факторов, однако согласно модельным исследованиям разложения органического вещества растительных остатков (Никонова и др., 2019), наиболее сильное влияние оказывает химический состав самих растительных остатков. Согласно анализу химического состава растительного опада, исходные образцы имеют явные различия, и соответственно, характеризуются разной степенью устойчивости к разложению (табл. 1): наиболее благоприятными химическим составом характеризуются листья *Ch. calyculata* – высокое

содержание углерода, азота, зольных элементов и наименьшее соотношение C/N. Очес *Sph. fuscum* обладает менее благоприятным для деятельности микроорганизмов химическим составом. *Смешанный образец* и *E. vaginatum* по химическому составу занимают промежуточное положение.

Таблица 1

Химический состав растений-торфообразователей в исходных образцах и в конце эксперимента (среднее значение \pm стандартное отклонение)

Вид растения	Содержание C, %	Содержание N, %	C/N	$\delta^{15}\text{N}$, ‰
<i>Eriophorum vaginatum</i>	47,6 \pm 0,5	0,95 \pm 0,23	50	-2,65 \pm 0,83
<i>Sphagnum fuscum</i>	45,1 \pm 2,0	0,69 \pm 0,04	65	-11,72 \pm 1,92
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	53,3 \pm 1,1	1,92 \pm 0,10	28	-6,40 \pm 0,29
<i>Смешанный образец</i>	49,8 \pm 2,4	0,71 \pm 0,05	70	-9,18 \pm 0,84

Разложение растительных остатков. В результате проведенных исследований по разложению опада основных растений-торфообразователей выявлено, что наиболее интенсивно потери массы происходят в первый год разложения во всех образцах (рис. 2).

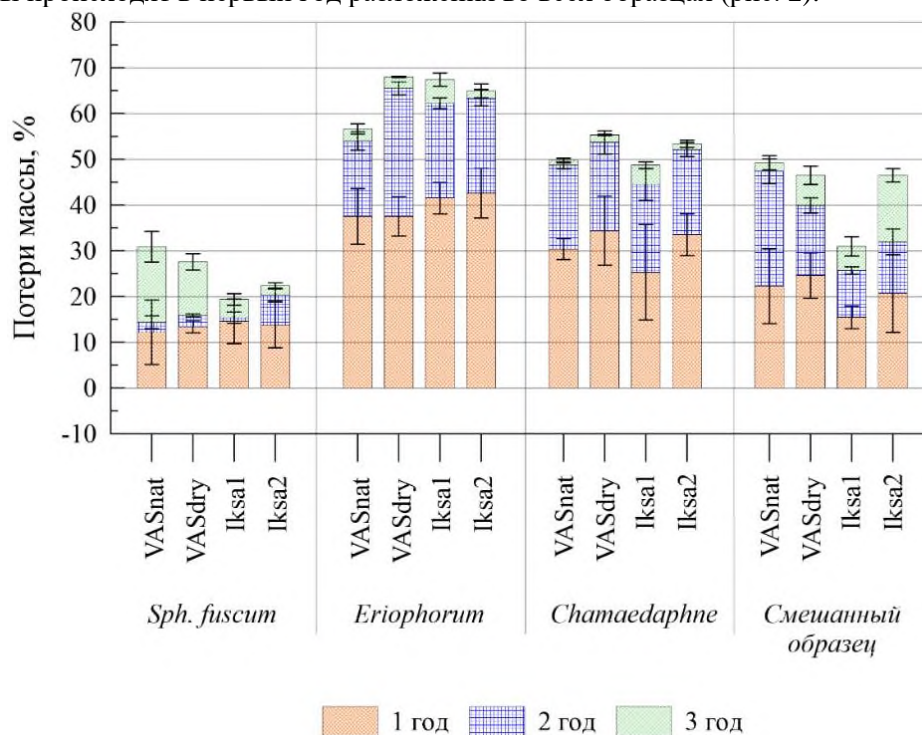


Рисунок 2. Динамика потери массы растительных остатков в процессе их разложения.

Активное разложение всех растительных образцов как через 12, так и через 36 месяцев после начала эксперимента выявили на участке VASdry. Потери массы в течение трех лет в среднем для *E. vaginatum*, *Ch. calyculata*, Смешанного образца и *Sph. fuscum* составили 61, 49, 33 и 25%, соответственно, что не противоречит проведенным ранее исследованиям – наиболее устойчивым к разложению является *Sph. fuscum*, наименее – *Ch. calyculata* (Никонова и др., 2019). При смешивании опада проявился неаддитивный эффект – *Смешанный образец* по потерям массы занимает промежуточное положение между показателями его отдельных компонент как через 12, так и через 36 месяцев разложения. В зависимости от условий (места закладки) эксперимента наблюдалась разная скорость потери массы у разных растений. Максимальные потери массы получены для *Sph. fuscum* и *Смешанного образца* на участках VASnat и VASdry: по-видимому, там наиболее оптимальные условия для трансформации этих образцов. В тоже время для *Ch. calyculata* отличия условий места закладки образцов не выражены так явно. Минимальная потеря массы *Sph. fuscum* получена на участке Iksa1, как и для *Смешанного образца* на 60% состоящего из *Sph. fuscum*. В целом влияние антропогенной деятельности (осушение и пирогенное воздействие) на фитоценозы

приводит к изменениям в динамике процессов разложения: ускорению процесса трансформации растительных остатков *Ch. calyculata* и *E. vaginatum* в условиях осушенных болот, а также замедлению трансформации *Sph. fuscum* и *Смешанного образца* в условиях торфяных залежей болот подверженных пирогенному воздействию, снижая ее на 1,5–9%.

Оценка влияния гидротермических условий на скорость трансформации растительных остатков показала, что из всех исследуемых видов растений зависимость от температурного режима торфяной залежи получена только для *E. vaginatum* ($r=0,43$): в более теплых условиях процесс разложения протекает быстрее. Уровень болотных вод оказывает наиболее сильное влияние на скорость разложения смешанного образца ($r=0,62$), при этом коэффициент корреляции между УБВ и скоростью разложения *S. fuscum* имеет отрицательное значение ($-0,28$).

В процессе разложения растительных остатков происходит относительное обеднение растительных остатков углеродом и азотом (Козловская и др., 1978; Бамбалов, 1990; Миронычева-Токарева, 2004, 2007; Паршина, 2009). За первый год эксперимента минимальные потери углерода наблюдали у *Sph. fuscum* (22%) в условиях торфяной залежи Iksa1, а максимальные – у *E. vaginatum* (46 %) на пункте VASdry (рис. 3а). Во второй и третий годы эксперимента изменение содержания углерода происходило в строгом соответствии с потерями массы. К концу третьего года эксперимента в среднем минимальные потери углерода получены для *Sph. fuscum* (составляют 21–28%), с минимальными потерями на Iksa1 и максимальными на VASnat. Максимальные потери углерода характерны для *E. vaginatum* (54–67%). Потери углерода в образцах *Ch. calyculata* составили 45–56%, с минимумом на Iksa1. Для *Смешанного образца* потери углерода составили 33–56% с минимумом также на Iksa1 (рис. 3а).

На протяжении всего эксперимента изменение содержания углерода коррелирует с потерями массы (коэффициент корреляции (r) равен 0,48). Наиболее тесная связь между потерями массы и потерями углерода из остатков растительного вещества наблюдается в условиях VASdry ($r=0,74$), а среди видов наиболее тесная связь потерь углерода с потерями массы получена для *E. vaginatum* ($r=0,87$).

В процессе разложения органического вещества как правило происходит снижение содержания общего азота в растительных образцах (рис. 3б). Однако в отдельных случаях может происходить и увеличение содержания азота в растительных остатках. Так в образцах *E. vaginatum* на VASnat и Iksa1 наблюдалось некоторое увеличение содержание азота (примерно на 1%), а для *Смешанного образца* получено увеличение содержание азота на всех пунктах наблюдений с максимальным накоплением VASdry (137% от исходного содержания), и минимальным Iksa2 (110%). К концу эксперимента во всех образцах наблюдается относительное обеднение растительных остатков азотом, минимальные потери характерны для *Смешанного образца* (6–39%), максимальные для *Sph. fuscum* (36–59%). Также, как и для углерода, выявлена тесная положительная взаимосвязь между потерями массы и содержанием азота во всех образцах за исключением *Sph. fuscum*, для которого не выявлено зависимости между потерями массы и содержанием азота, и для *Смешанного образца*, для которого получена отрицательная зависимость между этими показателями ($r=-0,34$).

Сведения о процессах накопления азота при разложении растительных остатков имеются в литературе, однако причины этого явления до конца еще не установлены. Так, согласно Н.И. Базилевич и А.А. Титляновой (2008), на первых стадиях разложения может наблюдаться, помимо минерализации, повышение концентрации азота в субстрате за счет разложения безазотистых соединений, азотфиксации и потребления азота гифами грибов из почвы. Освобождение минерального азота начинается лишь после достижения в разлагающемся материале критической концентрации азота (Berg, Staaf, 1981; Trentbath, Diggle, 1998). Увеличение содержания азота в процессе трансформации отмечала Л.С. Козловская с соавторами (1978): по мере разложения сфагновых мхов содержание азота в растительных остатках повышалось почти в 4 раза. В дальнейшем в растениях, подвергающихся значительной минерализации, содержание азота начинает убывать. В то же время, согласно С.Г. Прокушкину с соавторами (2014) увеличение содержания азота не всегда сопровождается усилением минерализации, что, возможно, связано с образованием или наличием труднорастворимых азотсодержащих веществ и способствует замедлению процесса минерализации.

Важным показателем доступности растительного опада для разложения является соотношение C/N, снижение которого указывает на последующую интенсификацию процессов трансформации (Раковский, Пигулевская, 1978; Базилевич, Титлянова, 2008). Для всех

растительных остатков, за исключением *Sph. fuscum*, характерно снижение соотношения C/N: в его опаде изначально высокое соотношение C/N (65) к концу эксперимента становилось еще выше и достигает максимальных значений на участке VASnat (115). В результате проведенного корреляционного анализа выявлена отрицательная зависимость между соотношением C/N в растительных остатках и потерями массы в процессе разложения ($r=-0,68$, при $P<0,05$).

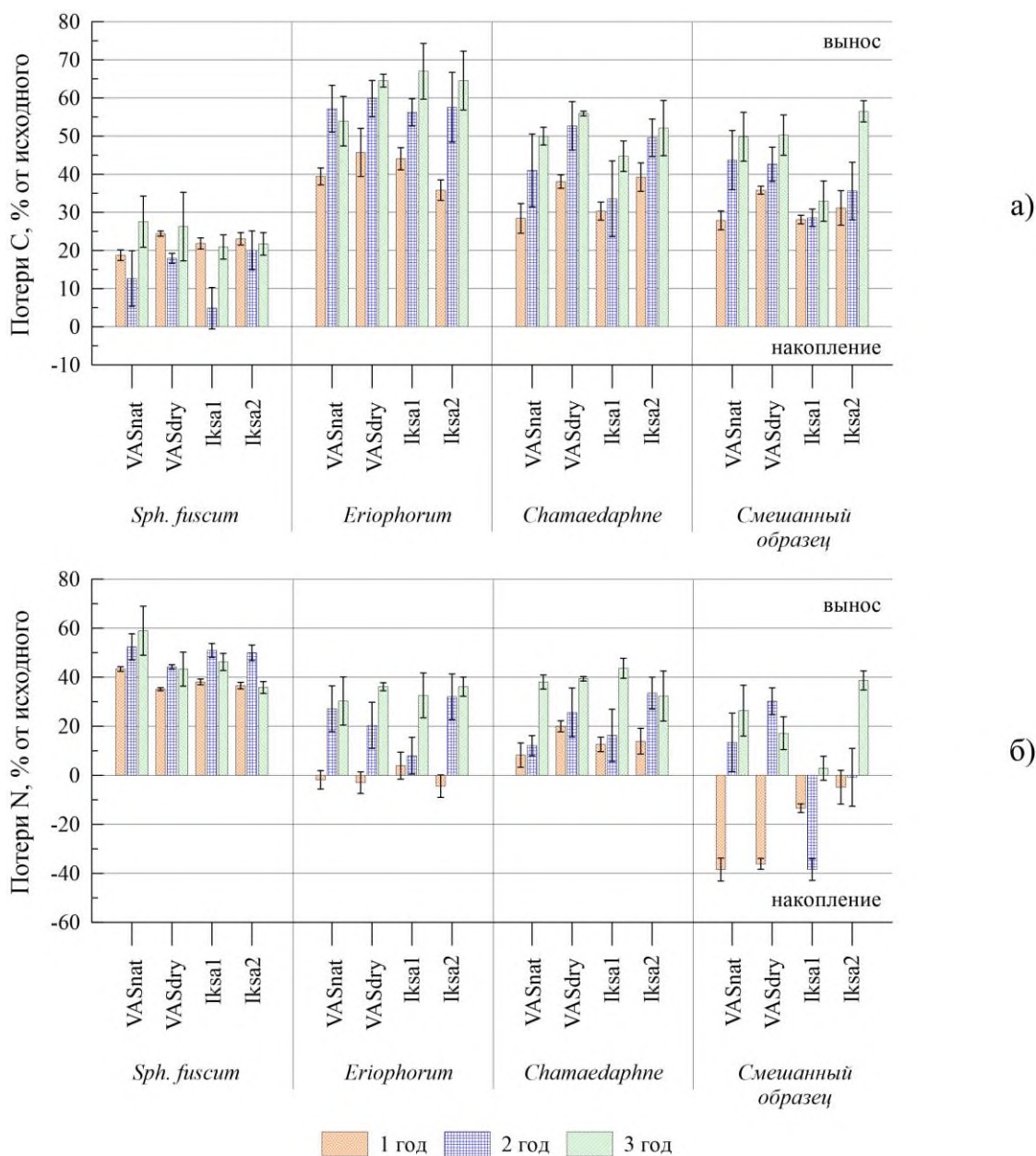


Рисунок 3. Потери углерода (а) и азота (б) при разложении растительных остатков, относительно содержания углерода и азота в исходных образцах. Отрицательное значение указывает на накопление элемента в растительных остатках.

Изменение изотопного состава азота. Величина $\delta^{15}\text{N}$ в исходном опаде исследуемых видов растений значительно различается и уменьшается в ряду *E. vaginatum* > *Смешанный образец* > *Ch. calyculata* > *Sph. fuscum* (рис. 4). Эти различия, скорее всего, объясняются наличием микоризного симбиоза. Согласно (Michelsen et al., 1998; Craine et al., 2009) величина $\delta^{15}\text{N}$ в органах эрикоидных микоризных растений обычно ниже, чем у арбускулярных микоризных и немикоризных растений из-за большей дискриминации ^{15}N эрикоидными микоризными и эктомикоризными грибами (Emmerton и др., 2001). Соответственно, более высокое значение величины $\delta^{15}\text{N}$ в опаде *E. vaginatum* свидетельствует об отсутствии микоризной инфекции у этого вида (Miller 1982; Thormann, Bayley,

1997; Asada et al., 2005). Величина $\delta^{15}\text{N}$ очеса *Sph. fuscum* была минимальной и значительно ниже значений, ранее полученных для омбротрофных видов *Sphagnum* Итальянских Альп (Bragazza et al., 2007, 2009). Так как для сфагновых мхов в олиготрофных болотах основное поступление питательных веществ происходит за счет атмосферного осаждения (Nordbakken et al., 2003), содержание ^{15}N в очесе *Sph. fuscum* может отражать изотопный состав окружающей среды (Bragazza et al., 2007; Zechmeister et al., 2008). Динамика изменения изотопного состава азота в различных растительных остатках протекает по-разному. В образцах *Ch. calyculata* изотопный состав азота практически не изменялся в течение всего эксперимента и на всех пунктах исследования. В образцах *E. vaginatum* в течение всего эксперимента наблюдали уменьшение величины $\delta^{15}\text{N}$ в пунктах наблюдения VASnat и Iksa1 на 2,2 и 1,3 ‰, соответственно. В пунктах наблюдений VASdry и Iksa2 в течение первых двух лет происходило уменьшение величины $\delta^{15}\text{N}$ с последующим увеличением до значений, близких к исходному образцу. Наиболее динамичные изменения изотопного состава азота получены для образцов *Sph. fuscum*. В течение эксперимента происходило то значительное увеличение, то значительное уменьшение величины изотопного состава азота, причем в каждом пункте наблюдений прослеживалась своя динамика. В целом к концу третьего года эксперимента наблюдалось увеличение величины $\delta^{15}\text{N}$ на участках VASdry и Iksa2 на 1,27 и 1,15 ‰, а на VASnat и Iksa1 – уменьшение на 1,53 и 1,38‰, соответственно. Величина изотопного состава азота в *Смешанном образце* в целом увеличивалась к концу эксперимента. По динамике существенное варьирование величины $\delta^{15}\text{N}$ в *Смешанном образце* получено для изотопного состава на участке VASdry, где в течение первого года шло обогащение изотопом ^{15}N , во второй год – обеднение, а к концу третьего года снова обогащение. На участке Iksa2 после увеличения значения величины $\delta^{15}\text{N}$ в течение одного года эксперимента произошло некоторое снижение, которое продолжалось в течение третьего года эксперимента. На участке Iksa1 величина $\delta^{15}\text{N}$ постепенно увеличивалась в течение всего эксперимента.

При низкой доступности азота в почве часть его поступает в растения через микоризу, что приводит к формированию более легкого изотопного состава азота и к утяжелению доступного азота. Согласно литературным данным влияние процесса азотфиксации на величину $\delta^{15}\text{N}$ неоднозначно (Климова и др., 2019; Макаров и др., 2019; Bowden, 1987; Aerts et al., 1999; Hobbie, et al., 2000, 2005), хотя увеличение содержания азота в почве и растительных остатках может быть обусловлено азотфиксацией за счет деятельности микроорганизмов. Считается, что при азотфиксации должно происходить обеднение изотопом ^{15}N растительных остатков, при этом в исходных образцах исходный изотопный состав должен быть тяжелее. Согласно полученным нами данным только в одном случае мы наблюдали подобную картину для растительных остатков *E. vaginatum*, когда в течение первого года происходило обеднение изотопного состава на всех исследуемых пунктах (рис. 4). Для *Sph. fuscum* в некоторых случаях также зафиксировано обеднение растительных остатков, но общей закономерности не выявлено.

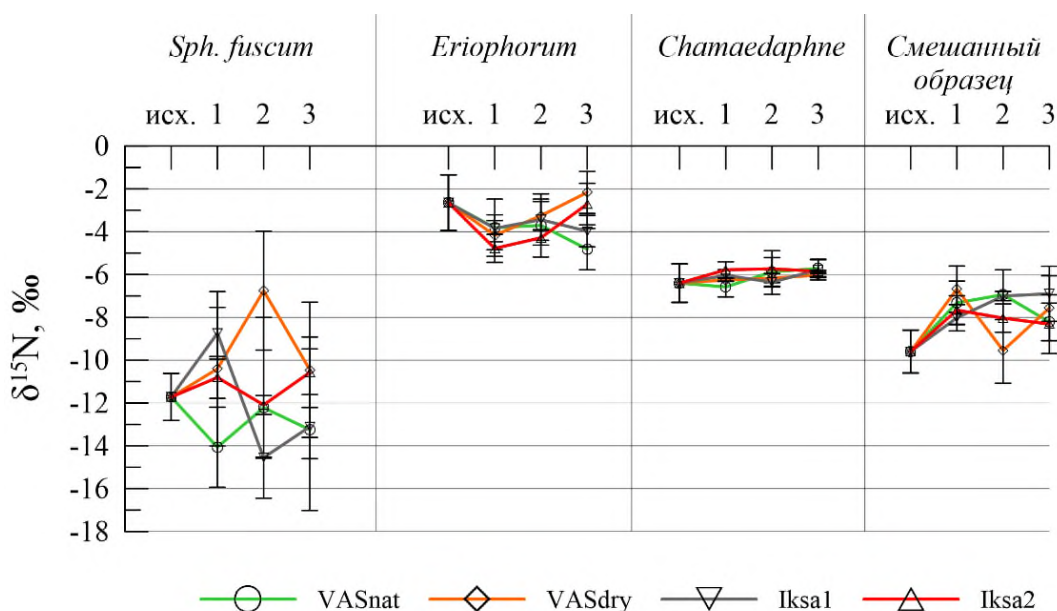


Рисунок 4. Изменение величины $\delta^{15}\text{N}$ в растительных остатках.

Оценка влияния гидротермических условий на изменение величины $\delta^{15}\text{N}$ в процессе разложения растительных остатков не выявила зависимости между температурой торфяной залежи, уровнем болотных вод и изотопным составом растительных остатков.

Согласно двухфакторному дисперсионному анализу, величина $\delta^{15}\text{N}$ в растительных остатках значительно различалась между видами растений ($p < 0,01$), однако практически не связана с местом закладки эксперимента и временем отбора проб. Анализ зависимости между потерей массы растительных остатков и изменением изотопного состава азота (рис. 5) показал наличие положительной связи между этими параметрами для *E. vaginatum* и *Ch. calyculata* ($r = 0,5$ и $0,43$ соответственно) и слабой отрицательной зависимости для *Смешанного образца* ($r = -0,29$). Для *Sph. fuscum* зависимость незначима.

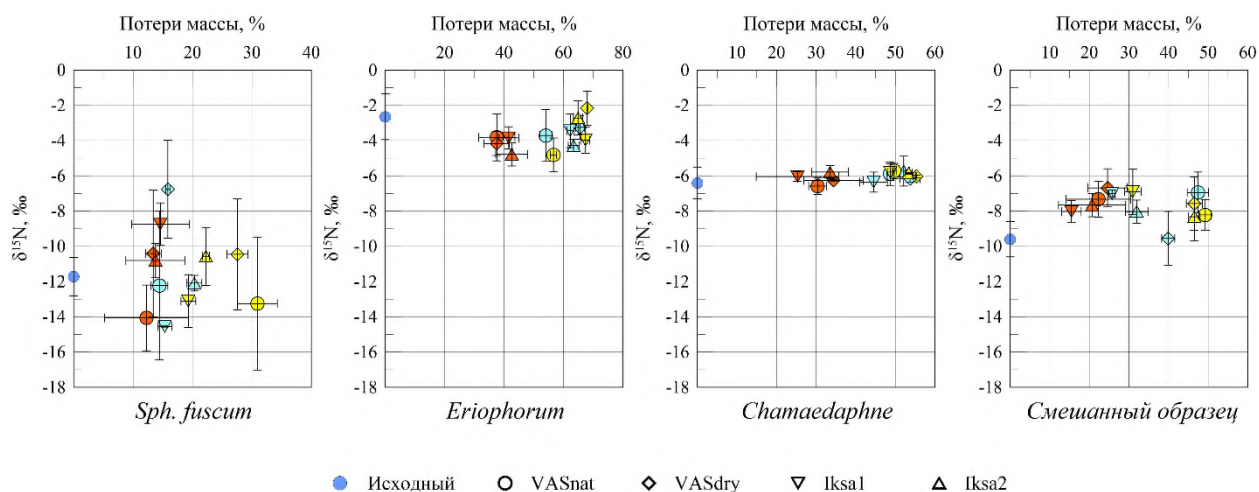


Рисунок 5. Зависимость величины $\delta^{15}\text{N}$ от потери массы за 1 год (оранжевый цвет), за 2 год (голубой цвет) и 3 год (желтый цвет).

Выявлена отрицательная зависимость между соотношением C/N и величиной $\delta^{15}\text{N}$ ($r = -0,85$), что свидетельствует о том, что при увеличении содержания азота и снижении содержания углерода в растительных образцах происходит увеличение величины $\delta^{15}\text{N}$. Однако при оценке зависимости между C/N и значением величины $\delta^{15}\text{N}$ для отдельных видов (рис. 6) выявлено, что для *E. vaginatum*, *Sph. fuscum* и *Смешанного образца* коэффициенты корреляции равны $-0,73$, $-0,52$ и $-0,63$ соответственно; для *Ch. calyculata* зависимость незначима.

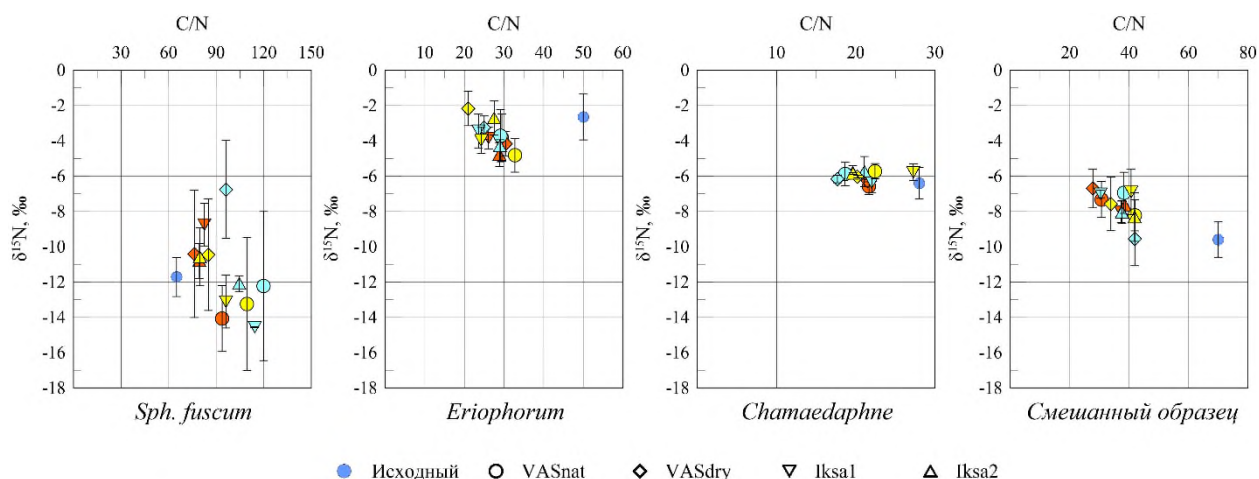


Рисунок 6. Зависимость величины $\delta^{15}\text{N}$ от соотношения C/N в растительных образцах за 1 год (оранжевый цвет), за 2 год (голубой цвет) и 3 год (желтый цвет).

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования получена оценка скорости разложения опада растений-торфообразователей, типичных для олиготрофных болот южно-таёжной подзоны

Западной Сибири в торфяной залежи 4 экосистем (естественной – VASnat, осушенной – VASdry, постпирогенных – Iksa1 и Iksa2).

1. Среди исследуемых растительных остатков, опад *Sph. fuscum* отличается наименее благоприятным химическим составом для микроорганизмов-деструкторов и в течение 36 месяцев подвергался наименьшему разложению (потери массы составили от 19 до 31%), что играет важнейшую роль в процессе накопления торфа.

2. В течение первого года разложение опада происходит с максимальной скоростью, достигая от 48 до 62% от общих потерь за три года. При смешивании опада проявляется неаддитивный эффект, т.е. *Смешанный образец* по потерям массы занимает промежуточное положение между показателями его отдельных компонент. Активное разложение для всех растительных образцов как через 12, так и через 36 месяцев после начала эксперимента выявлено в условиях VASdry.

3. Интенсивность процессов разложения растительных остатков в большей степени определяется условиями увлажнения. Уровень болотных вод наиболее сильное влияние оказывает на скорость трансформации *Смешанного образца* ($r=0,62$), при этом коэффициент корреляции между скоростью трансформации *S. fuscum* имеет отрицательное значение ($-0,28$). Влияние температуры торфяной залежи выражено слабо, значимые коэффициенты корреляции с *E. vaginatum*.

4. В ходе разложения органического вещества растительного опада происходят потери углерода (от 24% у *Sph. fuscum* до 62% у *E. vaginatum* от исходного содержания). Изменение содержания углерода хорошо коррелирует с потерями массы ($r=0,89$). Потери азота к концу третьего года составили от 21% в *Смешанном образце* до 46% у *Sph. fuscum* от исходного содержания. Выявлена тесная положительная зависимость между потерями массы и содержанием азота во всех образцах, за исключением *Sph. fuscum*.

5. Величина $\delta^{15}\text{N}$ в исходном опаде исследуемых видов растений значительно различалась, уменьшаясь в ряду *E. vaginatum* > *Смешанный образец* > *Ch. calyculata* > *Sph. fuscum*, однако была практически не связана с местом закладки эксперимента и временем отбора проб.

6. Выявлена зависимость между потерей массы растительных остатков и изменением изотопного состава азота для всех образцов, за исключением *Sph. fuscum*. На величину $\delta^{15}\text{N}$ оказывает влияние соотношением C/N ($r= -0,85$), что свидетельствует о том, что при увеличении содержания азота и снижении содержания углерода в растительных образцах происходит увеличение величины $\delta^{15}\text{N}$.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят кандидата физико-математических наук Е.А. Дюкарева (ИМКЭС СО РАН) за предоставленные данные о температуре торфяной залежи и уровнях болотных вод.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 22-27-00363).

ЛИТЕРАТУРА

Базанов В.А., Егоров Б.А., Льготин В.А., Скугарев А.А. Современная пространственная динамика Большого Васюганского болота (на примере междуречья Икса-Шегарка) // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / М.В. Кабанова (отв. ред.). Томск: Институт атмосферной оптики СО РАН, 2002. С. 190–196.

Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах / А.А. Тишков (отв. ред.). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 381 с.

Бамбалов Н.Н., Хоружик А.В., Лукошко Е.С., Стригутский В.П. Превращение отмерших растений в болотных биогеоценозах // Эксперимент и математическое моделирование в изучении биогеоценозов лесов и болот. Москва: Наука, 1990. С. 53–63.

Болота Западной Сибири их роль в биосфере / А.А. Земцова (отв. ред.). Томск: ТГУ. СибНИИТ, 1998. 72 с.

Головацкая Е.А., Никонова Л.Г. Влияние уровня болотных вод на процессы трансформации сфагновых мхов в торфяной почве олиготрофных болот // Почвоведение. 2017. № 5. С. 603–613. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0032180X17030030>.

Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю., Головченко А.В., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Умаров М.М. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1087–1096. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0032180X15090038>.

- Заварзин Г.А. Цикл углерода в природных экосистемах России // *Природа*. 1994. № 7. С. 15–18.
- Климова А. Ю., Степанов А. Л., Манучарова Н. А. Особенности трансформации соединений азота и углерода в олиготрофной торфяной почве // *Почвоведение*. 2019. № 10. С. 1198–1202. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19100046>.
- Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. Ленинград: Наука ЛО, 1978. 172 с.
- Кураков С.А., Крутиков В.А., Ушаков В.Г. Автономный измеритель профиля температуры АИПТ // *Приборы и техника эксперимента*. 2008. № 5. С. 166–167.
- Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды. Москва: Техносфера, 2013. 632 с.
- Макаров М.И., Бузин И.С., Тиунов А.В., Малышева Т.И., Кадулин М.С., Королева Н.Е. Изотопный состав азота в почвах и растениях горно-тундровых экосистем Хибин // *Почвоведение*. 2019. № 10. С. 1185–1197. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19100071>.
- Миронычева-Токарева Н.П., Косых Н.П., Вишнякова Е.К. Компоненты углеродного баланса на болотах средней тайги и лесотундры Западной Сибири // *Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее*. Томск: Изд-во НТЛ, 2007. С. 117–118.
- Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Динамика разложения органического вещества на болотах различного генезиса // *Болота и биосфера: Сборник материалов Третьей Научной Школы (13–16 сентября 2004 г.)*. / Л.И. Инишева (отв. ред.). Томск: Изд-во ЦНТИ, 2004. С. 23–29.
- Никонова Л.Г., Головацкая Е.А., Курьина И.В., Курганова И.Н. Скорость разложения растений-торфообразователей в олиготрофных болотах южно-таежной подзоны Западной Сибири: оценка влияния уровня болотных вод и температуры торфяной залежи // *Почвоведение*. 2019. № 9. С. 1092–1103. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19090065>.
- Паршина Е.К. Деструкция растительного вещества в болотных экосистемах таежной и лесотундровой зон Западной Сибири. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Томск: ТГУ, 2009. 23 с.
- Прокушкин С.Г., Прокушкин А.С., Сорокин Н.Д. Интенсивность разложения отдельных компонентов фитодетрита в листовничниках криолитозоны средней Сибири // *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2014. № 1. С. 76–85. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0002332914010093>.
- Раковский В.Е., Пигулевская Л.В. Химия и генезис торфа. Москва: Недра, 1978. 231 с.
- Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения. Москва: Недра, 1976. 487 с.
- Aerts R., Verhoeven J.T.A., Whigham D.F. Plant-mediated controls on nutrient cycling in temperate fens and bogs // *Ecology*. 1999. Vol. 80. No. 7. P. 2170–2181. DOI: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[2170:PMCONC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[2170:PMCONC]2.0.CO;2).
- Amundson R, Austin A.T., Schuur E.A.G., Yoo K., Matzek V., Kendall C., Uebersax A., Brenner D., Baisden W.T. Global patterns of the isotopic composition of soil and plant nitrogen // *Global Biogeochem Cycles*. 2003. No. 17. P.1031. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002GB001903>.
- Asada T., Warner B., Aravena R. Effects of early stage of decomposition on change in carbon and nitrogen isotopes in Sphagnum litter // *Journal of Plant Interactions*. 2005. No. 1. P. 229–237.
- Austin A.T., Vitousek P.M. Nutrient dynamics on a precipitation gradient in Hawai'i // *Oecologia*. 1998. Vol. 113. P. 519–529. DOI: <https://doi.org/10.1007/s004420050405>.
- Basilier K. Moss-associated nitrogen fixation in some mire and coniferous forest environments around Uppsala, Sweden // *Lindbergia*. 1979. Vol. 5. No. 2. P. 84–88.
- Berg B., Staaf H. Leaching, accumulation and release of nitrogen in decomposing forest litter // *Ecological Bulletins*. 1981. No. 33. P. 163–178.
- Bowden W.B. The biogeochemistry of nitrogen in freshwater wetlands // *Biogeochemistry*. 1987. Vol. 4. P. 313–348. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02187373>.
- Bragazza L., Buttler A., Siegenthaler A. Mitchel E.A. Plant litter decomposition and nutrient release in peatlands // *Carbon cycling in northern peatlands*. Geophysical Monograph Series. 2009. Vol. 184. P. 99–100. DOI: <https://doi.org/10.1029/2008GM000815>.

- Bragazza L., Iacumin P. Seasonal variation in carbon isotopic composition of bog plant litter during 3 years of field decomposition // *Biology and Fertility of Soils*. 2009. Vol. 46. P. 73–77. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-009-0406-7>.
- Bragazza L., Siffi C., Iacumin P., Gerdol R. Mass loss and nutrient release during litter decay in peatland: The role of microbial adaptability to litter chemistry // *Soil Biology and Biochemistry*. 2007. Vol. 39. No. 1. P. 257–267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.07.014>.
- Charman D. Peatlands and environmental change. UK: John Wiley & Sons Ltd, 2002. 301 p.
- Craine J.M., Elmore A.J., Aidar M.P.M., Bustamante M., Dawson T.E., Hobbie E.A., Kahmen A., Mack M.C., McLauchlan K.K., Michelsen A., Nardoto G.B., Pardo L.H., Peñuelas J., Reich P.B., Schuur E.A.G., Stock W.D., Templer P.H., Virginia R.A., Welker J.M., Wright I.J. Global patterns of foliar nitrogen isotopes and their relationships with climate, mycorrhizal fungi, foliar nutrient concentrations, and nitrogen availability // *New Phytologist*. 2009. Vol. 183. No. 4. P. 980–992. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02917.x>.
- Craine J.M., Wedin D.A., Chapin F.S., Reich P.B. Relationship between the structure of root systems and resource use for 11 North American grassland plants // *Plant Ecology*. 2003. Vol. 165. P. 85–100. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1021414615001>.
- Domisch T., Finér L., Laine J., Laiho R. Decomposition and nitrogen dynamics of litter in peat soils from two climatic regions under different temperature regimes // *European Journal of Soil Biology*. 2006. Vol. 42. No. 2. P. 74–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2005.09.017>.
- Drollinger S., Knorr K.H., Knierzinger W., Glatzel S. Peat decomposition proxies of Alpine bogs along a degradation gradient // *Geoderma*. 2020. Vol. 369. P. 114331. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114331>.
- Drollinger S., Kuzyakov Y., Glatzel S. Effects of peat decomposition on $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ depth profiles of Alpine bogs // *Catena*. 2019. Vol. 178. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.02.027>.
- Emmertson K.S., Callaghan T.V., Jones H.E., Leake J.R., Michelsen A., Read D.J. Assimilation and isotopic fractionation of nitrogen by mycorrhizal and nonmycorrhizal subarctic plants // *New Phytologist*. 2001. Vol. 151. No. 2. P. 513–524. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00179.x>.
- Fogel M., Wooller M., Cheeseman J., Smallwood B., Roberts Q., Romero I., Meyers M.J. Unusually negative nitrogen isotopic compositions ($\delta^{15}\text{N}$) of mangroves and lichens in an oligotrophic, microbially-influenced ecosystem // *Biogeosciences*. 2008. Vol. 5. No. 6. P. 1693–1704. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-5-1693-2008>.
- Fortuniak K., Pawlak W. Preliminary results of net ecosystem exchange of greenhouse gases (CO_2 , CH_4 , H_2O) at wetland of Biebrza National Park, Poland // *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: past and present*. 2014. P. 141–143.
- Golovatskaya E.A., Nikonova L.G. Influence of the level of bog waters on the processes of transformation of sphagnum mosses in peat soil of oligotrophic bogs // *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 50. No. 5. P. 580–588. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229317030036>.
- Golovatskaya E.A., Nikonova L.G., Simonova G.V., Kalashnikova D.A. Variability of the Carbon Isotope Composition of Peat-Forming Plants during the Biochemical Transformation // *Water*. 2022. Vol. 14. No. 24. P. 4035. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14244035>.
- Hobbie E.A., Jumpponen A., Trappe J. Foliar and fungal $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ ratios reflect development of mycorrhizae and nitrogen supply during primary succession: testing analytical models // *Oecologia*. 2005. Vol. 146. P. 258–268. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0208-z>.
- Hobbie E.A., Macko S.A., Williams M. Correlations between foliar $\delta^{15}\text{N}$ and nitrogen concentrations may indicate plant-mycorrhizal interactions // *Oecologia*. 2000. Vol. 122. P. 273–283. DOI: <https://doi.org/10.1007/PL00008856>.
- Hobbie E.A., Ouimette A.P. Controls of nitrogen isotope patterns in soil profiles // *Biogeochemistry*. 2009. Vol. 95. P. 355–371. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10533-009-9328-6>.
- Hobbie E.A., Högberg P. Nitrogen isotopes link mycorrhizal fungi and plants to nitrogen dynamics // *New Phytologist*. 2012. Vol. 196. No. 2. P. 367–382. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04300.x>.
- 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. Vol. 2. No. 3. P. 298–306. DOI: <https://doi.org/10.2307/1941863>.
- 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. Vol. 49. No. 4. P. 466–474. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229316040050>.
- Jonasson S., Shaver G.R. Within-Stand Nutrient Cycling in Arctic and Boreal Wetlands // *Ecology*. 1999. Vol. 80.

No. 7. P. 2139–2150. DOI: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[2139:WSNCIA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[2139:WSNCIA]2.0.CO;2).

Kätterer T., Reichstein M., Andren O. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models // *Biology and Fertility of Soils*. 1998. Vol. 27. No. 3. P. 258–262. DOI: <https://doi.org/10.1007/s003740050430>.

Kohzu A., Matsui K., Yamada T., Sugimoto A., Fujita N. Significance of rooting depth in mire plants: evidence from natural ^{15}N abundance // *Ecological Research*. 2003. Vol. 18. P. 257–266. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.2003.00552.x>.

Michelsen A., Quarmby C., Sleep D., Jonasson S. Vascular plant ^{15}N abundance in heath and forest tundra ecosystems is closely correlated with presence and type of mycorrhizal fungi in roots // *Oecologia*. 1998. Vol. 115. P. 406–418. DOI: <https://doi.org/10.1007/s004420050535>.

Miller O.K. Mycorrhizae, mycorrhizal fungi and fungal biomass in subalpine tundra at Eagle summit, Alaska // *Ecography*. 1982. Vol. 5. No. 2. P. 125–134. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1982.tb01026.x>.

Moore T., Basiliko N. Decomposition in boreal peatlands // *Boreal peatland ecosystems* / R. Kelman Wieder, Dale H. Vitt (ed.). Berlin: Springer Berlin, Heidelberg, 2006. P. 125–143. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-31913-9>.

Nordbakken J.F., Ohlson M., Hogberg P. Boreal bog plants: nitrogen sources and uptake of recently deposited nitrogen // *Environmental Pollution*. 2003. Vol. 126. P. 191–200. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00194-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00194-5).

Peltoniemi K., Strakova P., Fritze H., Iraizoz P.A., Pennanen T., Laiho R. How water-level drawdown modified litter-decomposing fungal and actinobacterial communities in boreal peatlands // *Soil Biology and Biochemistry*. 2012. Vol. 51. P. 20–34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.04.013>.

Saiz E., Sgouridis F., Driyfthout F.P., Ullah S. Biological nitrogen fixation in peatlands: Comparison between acetylene reduction assay and $^{15}\text{N}_2$ assimilation methods // *Soil Biology and Biochemistry*. 2019. Vol. 131. P. 157–165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.01.011>.

Schwintzer C.R., Lancelle S.A. Effect of water-table depth on shoot growth, root growth, and nodulation of *Myrica gale* seedlings // *The Journal of Ecology*. 1983. Vol. 71. No. 2. P. 489–501. DOI: <https://doi.org/10.2307/2259730>.

Thormann M.N., Bayley S.E. Decomposition along a moderate-rich fen-marsh peatland gradient in boreal Alberta, Canada // *Wetlands*. 1997. Vol. 17. P. 123–137. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03160724>.

Trentbath B.R., Diggle A.J. An interpretative model of carbon and nitrogen transformation applied to a residue incubation experiment // *Australian journal of agricultural research*. 1998. Vol. 49. No. 3. P. 537–554. DOI: <https://doi.org/10.1071/A97094>.

Vanhala P., Karhu K., Tuomi M., Bjorklof K., Fritze H., Lisk J. Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in southern and northern areas of the boreal forest zone // *Soil Biology and Biochemistry*. 2008. Vol. 40. No. 7. P. 1758–1764. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.02.021>.

Yin T., Feng M., Qiu C., Peng S. Biological Nitrogen Fixation and Nitrogen Accumulation in Peatlands // *Frontiers in Earth Science*. 2022. Vol. 10. P. 670867. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2022.670867>.

West P., Igoe J., Brockington D. Parks and peoples: the social impact of protected areas // *Annual Review of Anthropology*. 2006. Vol. 35. P. 251–277. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.35.081705.123308>.

Zechmeister H.G., Richter A., Smidt S., Hohenwallner D., Roder I., Maringer S., Wanek W. Total nitrogen content and $\delta^{15}\text{N}$ signatures in moss tissue: indicative value for nitrogen deposition patterns and source allocation on a nationwide scale // *Environmental Science & Technology*. 2008. Vol. 42. No. 23. P. 8661–8667. DOI: <https://doi.org/10.1021/es801865d>.

Поступила в редакцию 06.12.2023

Принята 12.12.2023

Опубликована 12.12.2023

Сведения об авторах:

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

Никонова Лилия Гарифулловна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории мониторинга углеродного баланса наземных экосистем ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск, Россия); lili112358@mail.ru

Калашникова Дарья Андреевна – кандидат химических наук, младший научный сотрудник лаборатории мониторинга углеродного баланса наземных экосистем ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск, Россия); terrezaprk@mail.ru

Симонова Галина Владимировна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биоинформационных технологий ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск, Россия); galina_simonova@inbox.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/)

CHANGES IN THE NITROGEN ISOTOPIC COMPOSITION DURING THE TRANSFORMATION OF PEAT-FORMING PLANT LITTER AT DRIED AND POST-PYROGENIC SITES OF OLIGOTROPHIC BOGS

© 2023 E. A. Golovatskaya , L. G. Nikonova , D. A. Kalashnikova , G. V. Simonova 

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia. E-mail: golovatskayaea@gmail.com

The aim of the study. Assessment of changes in the nitrogen isotopic composition ($\delta^{15}\text{N}$) during the decomposition of the main peat-forming plants' litter in peat of oligotrophic bog ecosystems in the southern taiga subzone of West Siberia.

Location and time of the study. The studies were carried out in 2019–2021 in two oligotrophic bogs: “Bakcharskoye” (field station “Vasyuganye” (IMCES SB RAS)) and “Iksinskoye”, which are the north-eastern spurs of the Great Vasyugan mire and located in the Bakcharsky district of the Tomsk region, Russia.

Methods. The decomposition rate of peat-forming plants' litter was determined by the method of partially isolated samples, which is widely used to study the transformation of plant material and peat. The nitrogen isotopic composition in the original and decomposed samples of the plant material was determined by isotope ratio mass spectrometry using a DELTA V Advantage mass spectrometer combined with a Flash 2000 elemental analyzer (EA-IRMS).

Results. A three-year study of the decomposition of peat-forming plants (*Sphagnum fuscum*, *Chamaedaphne calyculata*, *Eriophorum vaginatum* and a Mixed sample) in four ecosystems (natural - VASnat, drained - VASdry, post-pyrogenic - Iksa1 and Iksa2) showed that melioration and fire influenced the litter decomposition rate, increasing the latter in the drained bog and slowing down *Sph. fuscum* and Mixed sample decomposition by 1.5–9.0% at the site with pyrogenic effects. During the plant litter transformation carbon and nitrogen were released as 24–62% and 21–46%, respectively. In all studied samples, except for *Sph. fuscum*, a relationship was revealed between the plant litter mass loss and changes in the nitrogen isotopic composition.

Conclusions. The effect of peat fires is manifested by a decrease in the plant residue decomposition rate. The dynamics of changes in the isotopic composition during the transformation of the studied plant residues depended on the plant species, but does not depend on decomposition duration (1, 2, 3 years) and sample location.

Key words: transformation of plant residues; nitrogen isotopes; biogeochemical cycle; pyrogenic peatlands; drained peatlands; West Siberia.

How to cite: Golovatskaya E.A., Nikonova L.G., Kalashnikova D.A., Simonova G.V. Changes in the nitrogen isotopic composition during the transformation of peat-forming plant litter at dried and post-pyrogenic sites of oligotrophic bogs // *The Journal of Soils and Environment*. 2023. 6(4). e238. DOI: [10.31251/pos.v6i4.238](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.238). (in Russian with English abstract).

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank E.A. Dyukarev (IMKES SB RAS, Russia) for providing data on the temperature of the peat deposit and the levels of bog waters-

FUNDING

The study was financially supported by the Russian Science Foundation (grant No. 22-27-00363).

REFERENCES

- Bazanov V.A., Egorov B.A., L'gotin V.A., Skugarev A.A. Modern spatian dunamics of the Great Vasugan Mire (the case of the Ikxa –Shegarka interfluve). In book: The Great Vasugan Mire. Current status and development processes / M.V. Kabanov (ed.). Tomsk: Institute of Atmospheric Optics SB RAN, 2002. P. 190–196. (in Russian).
- Bazilevich N.I., Titlyanova A.A. Biotic turnover of five continents: element exchange processes in terrestrial natural ecosystems / A.A. Tishkov (ed.). Novosibirsk: Publishing House SB RAS, 2008. 381 p. (in Russian).
- Bambalov N.N., Horuzhik A.V., Lukoshko E.S., Strigutsky V.P. Transformation of dead plants in marsh biogeocenoses. In book: Experiment and mathematical modeling in the study of biogeocenoses of forests and bog. Moscow: Nauka Publ., 1990. P. 53–63. (in Russian).
- Mires of Western Siberia: their role in the biosphere / A.A. Zemtsov (ed.). Tomsk: Tomsk State University Publ., SibNIIT Publ., 2000. 72 p. (in Russian).
- 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. Vol. 50. No. 5. P. 580–588. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229317030036>.
- Dobrovol'skaya T.G., Zvyagintsev D.G., Chernov I.Y., Golovchenko A.V., Zenova G.M., Lysak L.V., Umarov M.M. The role of microorganisms in the ecological functions of soils. *Eurasian soil science*. 2015. Vol. 48. No. 9. P. 959–967. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229315090033>.
- Zavarzin G. A., Carbon Cycle in the Natural Ecosystems of Russia. *Priroda*. 1994. No. 7. P. 15–18. (in Russian).
- Klimova A.Y., Stepanov A.L., Manucharova N.A. Specific features of nitrogen and carbon transformation in an oligotrophic peat soil. *Eurasian Soil Science*. 2019. Vol. 52. No. 10. P. 1223–1226. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19100046>.
- Kozlovskaya L.S., Medvedeva V.M., Piavchenko N.I. Dynamics of organic matter in the process of peat formation. Leningrad: Nauka LO Publ, 1978. 172 p. (in Russian).
- Kurakov S.A., Krutikov V.A., Ushakov V.G. Autonomous meter of the temperature profile of the AIPT. Apparatus and experimental technique. 2008. No. 5. P. 166–167. (in Russian).
- Lebedev A.T. Mass Spectrometry for the Analysis of the Environment. Moscow: Tekhnosfer publ, 2013. 632 p. (in Russian).
- Makarov M.I., Buzin I.S., Malysheva T.I., Kadulin M.S., Tiunov A.V., Koroleva N.E. Nitrogen isotopes in soils and plants of tundra ecosystems in the Khibiny mountains. *Eurasian Soil Science*. 2019. Vol. 52. No. 10. P. 1195–1206. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229319100077>.
- Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P., Vishnyakova E.K. Components of the carbon balance in bogs of the middle taiga and forest–tundra of Western Siberia. In book: West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: past and present. Tomsk: NTI Publ., 2007. P. 117–118. (in Russian).
- Mironycheva–Tokareva N.P., Parshina E.K. Dynamics of organic matter decomposition in bogs of different genesis. In book: Bogs and biosphere: Proceedings of the Third Scientific School (September 13–16, 2004). L.I. Inisheva (ed.). Tomsk: CNTI Publ., 2004. P. 23–29. (in Russian).
- Nikonova L.G., Golovatskaya E.A., Kur'ina I.V., Kurganova I.N. Decomposition rate of peat–forming plants in oligotrophic bogs of the southern taiga subzone of Western Siberia: assessment of the effect of water table level and peat deposit temperature. *Eurasian Soil Science*. 2019. Vol. 52. No. 9. P. 1101–1111. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229319090060>.
- Parshina E.K. Destruction of plant matter in bog ecosystems of the taiga and forest-tundra zones of West Siberia. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Tomsk: Tomsk State University, 2009. 23 p. (in Russian).
- Prokushkin S.G., Prokushkin A.S., Sorokin N.D. The intensity of phytodetrite decomposition in larch forest of the permafrost zone in Central Siberia. *Biology Bulletin*. 2014. Vol. 41. No. 1. P. 89–97. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1062359014010075>.
- Rakovskiy V.E., Pigulevskaya L.V. Chemistry and genesis of peat. Moscow: Nedra, 1978. 231 p. (in Russian).
- Tyuremnov S.N. Peat deposits. Moscow: Nedra, 1976. 487 p. (in Russian).
- Aerts R., Verhoeven J.T.A., Whigham D.F. Plant-mediated controls on nutrient cycling in temperate fens and bogs. *Ecology*. 1999. Vol. 80. No. 7. P. 2170–2181. DOI: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[2170:PMCONC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[2170:PMCONC]2.0.CO;2).

- Amundson R, Austin A.T., Schuur E.A.G., Yoo K., Matzek V., Kendall C., Uebersax A., Brenner D., Baisden W.T. Global patterns of the isotopic composition of soil and plant nitrogen. *Global Biogeochem Cycles*. 2003. No. 17. P.1031. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002GB001903>.
- Asada T., Warner B., Aravena R. Effects of early stage of decomposition on change in carbon and nitrogen isotopes in Sphagnum litter. *Journal of Plant Interactions*. 2005. No. 1. P. 229–237.
- Austin A.T., Vitousek P.M. Nutrient dynamics on a precipitation gradient in Hawai'I. *Oecologia*. 1998. Vol. 113. P. 519–529. DOI: <https://doi.org/10.1007/s004420050405>.
- Basilier K. Moss-associated nitrogen fixation in some mire and coniferous forest environments around Uppsala, Sweden. *Lindbergia*. 1979. Vol. 5. No. 2. P. 84–88.
- Berg B., Staaf H. Leaching, accumulation and release of nitrogen in decomposing forest litter. *Ecological Bulletins*. 1981. No. 33. P. 163–178.
- Bowden W.B. The biogeochemistry of nitrogen in freshwater wetlands. *Biogeochemistry*. 1987. Vol. 4. P. 313–348. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02187373>.
- Bragazza L., Buttler A., Siegenthaler A. Mitchel E.A. Plant litter decomposition and nutrient release in peatlands. In book: *Carbon Cycling in Northern Peatlands*. Geophysical Monograph Series. 2009. Vol. 184. P. 99–100. DOI: <https://doi.org/10.1029/2008GM000815>.
- Bragazza L., Iacumin P. Seasonal variation in carbon isotopic composition of bog plant litter during 3 years of field decomposition. *Biology and Fertility of Soils*. 2009. Vol. 46. P. 73–77. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-009-0406-7>.
- Bragazza L., Siffi C., Iacumin P., Gerdol R. Mass loss and nutrient release during litter decay in peatland: The role of microbial adaptability to litter chemistry. *Soil Biology and Biochemistry*. 2007. Vol. 39. No. 1. P. 257–267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.07.014>.
- Charman D. *Peatlands and environmental change*. UK: John Wiley & Sons Ltd, 2002. 301 p.
- Craine J.M., Elmore A.J., Aidar M.P.M., Bustamante M., Dawson T.E., Hobbie E.A., Kahmen A., Mack M.C., McLaughlan K.K., Michelsen A., Nardoto G.B., Pardo L.H., Peñuelas J., Reich P.B., Schuur E.A.G., Stock W.D., Templer P.H., Virginia R.A., Welker J.M., Wright I.J. Global patterns of foliar nitrogen isotopes and their relationships with climate, mycorrhizal fungi, foliar nutrient concentrations, and nitrogen availability. *New Phytologist*. 2009. Vol. 183. No. 4. P. 980–992. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02917.x>.
- Craine J.M., Wedin D.A., Chapin F.S., Reich P.B. Relationship between the structure of root systems and resource use for 11 North American grassland plants. *Plant Ecology*. 2003. Vol. 165. P. 85–100. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1021414615001>.
- Domisch T., Finér L., Laine J., Laiho R. Decomposition and nitrogen dynamics of litter in peat soils from two climatic regions under different temperature regimes. *European Journal of Soil Biology*. 2006. Vol. 42. No. 2. P. 74–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2005.09.017>.
- Drollinger S., Knorr K.H., Knierzinger W., Glatzel S. Peat decomposition proxies of Alpine bogs along a degradation gradient. *Geoderma*. 2020. Vol. 369. P. 114331. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114331>.
- Drollinger S., Kuzyakov Y., Glatzel S. Effects of peat decomposition on $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ depth profiles of Alpine bogs. *Catena*. 2019. Vol. 178. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.02.027>.
- Emmertson K.S., Callaghan T.V., Jones H.E., Leake J.R., Michelsen A., Read D.J. Assimilation and isotopic fractionation of nitrogen by mycorrhizal and nonmycorrhizal subarctic plants. *New Phytologist*. 2001. Vol. 151. No. 2. P. 513–524. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00179.x>.
- Fogel M., Wooller M., Cheeseman J., Smallwood B., Roberts Q., Romero I., Meyers M.J. Unusually negative nitrogen isotopic compositions ($\delta^{15}\text{N}$) of mangroves and lichens in an oligotrophic, microbially-influenced ecosystem. *Biogeosciences*. 2008. Vol. 5. No. 6. P. 1693–1704. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-5-1693-2008>.
- Fortuniak K., Pawlak W. Preliminary results of net ecosystem exchange of greenhouse gases (CO_2 , CH_4 , H_2O) at wetland of Biebrza National Park, Poland. In book: *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: past and present*. 2014. P. 141–143.
- Golovatskaya E.A., Nikonova L.G. Influence of the level of bog waters on the processes of transformation of sphagnum mosses in peat soil of oligotrophic bogs. *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 50. No. 5. P. 580–588. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229317030036>.

- Golovatskaya E.A., Nikonova L.G, Simonova G.V, Kalashnikova D.A. Variability of the Carbon Isotope Composition of Peat-Forming Plants during the Biochemical Transformation. *Water*. 2022. Vol. 14. No. 24. P. 4035. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14244035>.
- Hobbie E.A., Jumpponen A., Trappe J. Foliar and fungal $^{15}\text{N}:$ ^{14}N ratios reflect development of mycorrhizae and nitrogen supply during primary succession: testing analytical models. *Oecologia*. 2005. Vol. 146. P. 258–268. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0208-z>.
- Hobbie E.A., Macko S.A., Williams M. Correlations between foliar $\delta^{15}\text{N}$ and nitrogen concentrations may indicate plant-mycorrhizal interactions. *Oecologia*. 2000. Vol. 122. P. 273–283. DOI: <https://doi.org/10.1007/PL00008856>.
- Hobbie E.A., Ouimette A.P. Controls of nitrogen isotope patterns in soil profiles. *Biogeochemistry*. 2009. Vol. 95. P. 355–371. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10533-009-9328-6>.
- Hobbie E.A., Högberg P. Nitrogen isotopes link mycorrhizal fungi and plants to nitrogen dynamics. *New Phytologist*. 2012. Vol. 196. No. 2. P.367–382. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04300.x>.
- 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. Vol. 2. No. 3. P. 298–306. DOI: <https://doi.org/10.2307/1941863>.
- 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. Vol. 49. No. 4. P. 466–474. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229316040050>.
- Jonasson S., Shaver G.R. Within-Stand Nutrient Cycling in Arctic and Boreal Wetlands. *Ecology*. 1999. Vol. 80. No. 7. P. 2139–2150. DOI: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[2139:WSNCIA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[2139:WSNCIA]2.0.CO;2).
- Kätterer T., Reichstein M., Andren O. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models. *Biology and Fertility of Soils*. 1998. Vol. 27. No. 3. P. 258–262. DOI: <https://doi.org/10.1007/s003740050430>.
- Kohzu A., Matsui K., Yamada T., Sugimoto A., Fujita N. Significance of rooting depth in mire plants: evidence from natural ^{15}N abundance. *Ecological Research*. 2003. Vol. 18. P. 257–266. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.2003.00552.x>.
- Michelsen A., Quarmby C., Sleep D., Jonasson S. Vascular plant ^{15}N abundance in heath and forest tundra ecosystems is closely correlated with presence and type of mycorrhizal fungi in roots. *Oecologia*. 1998. Vol. 115. P. 406–418. DOI: <https://doi.org/10.1007/s004420050535>.
- Miller O.K. Mycorrhizae, mycorrhizal fungi and fungal biomass in subalpine tundra at Eagle summit, Alaska. *Ecography*. 1982. Vol. 5. No. 2. P. 125–134. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1982.tb01026.x>.
- Moore T., Basiliko N. Decomposition in boreal peatlands. In book: *Boreal peatland ecosystems* / R. Kelman Wieder, Dale H. Vitt (ed.). Berlin: Springer Berlin, Heidelberg, 2006. P. 125–143. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-31913-9>.
- Nordbakken J.F., Ohlson M., Hogberg P. Boreal bog plants: nitrogen sources and uptake of recently deposited nitrogen. *Environmental Pollution*. 2003. Vol. 126. P. 191–200. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00194-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00194-5).
- Peltoniemi K., Strakova P., Fritze H., Iraizoz P.A., Pennanen T., Laiho R. How water-level drawdown modified litter-decomposing fungal and actinobacterial communities in boreal peatlands // *Soil Biology and Biochemistry*. 2012. Vol. 51. P. 20–34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.04.013>.
- Saiz E., Sgouridis F., Drijfhout F.P., Ullah S. Biological nitrogen fixation in peatlands: Comparison between acetylene reduction assay and $^{15}\text{N}_2$ assimilation methods. *Soil Biology and Biochemistry*. 2019. Vol. 131. P. 157–165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.01.011>.
- Schwintzer C.R., Lancelle S.A. Effect of water-table depth on shoot growth, root growth, and nodulation of *Myrica gale* seedlings. *The Journal of Ecology*. 1983. Vol. 71. No. 2. P. 489–501. DOI: <https://doi.org/10.2307/2259730>.
- Thormann M.N., Bayley S.E. Decomposition along a moderate-rich fen-marsh peatland gradient in boreal Alberta, Canada. *Wetlands*. 1997. Vol. 17. P. 123–137. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03160724>.
- Trentbath B.R., Diggle A.J. An interpretative model of carbon and nitrogen transformation applide to a residue incubation experiment. *Australian journal of agricultural research*. 1998. Vol. 49. No. 3. P. 537–554. DOI: <https://doi.org/10.1071/A97094>.
- Vanhala P., Karhu K., Tuomi M., Bjorklof K., Fritze H., Lisk J. Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in southern and northern areas of the boreal forest zone. *Soil Biology and Biochemistry*. 2008. Vol. 40. No. 7. P. 1758–1764. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.02.021>.

Yin T., Feng M., Qiu C., Peng S. Biological Nitrogen Fixation and Nitrogen Accumulation in Peatlands. *Frontiers in Earth Science*. 2022. Vol. 10. P. 670867. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2022.670867>.

West P., Igoe J., Brockington D. Parks and peoples: the social impact of protected areas. *Annual Review of Anthropology*. 2006. Vol. 35. P. 251–277. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.35.081705.123308>.

Zechmeister H.G., Richter A., Smidt S., Hohenwallner D., Roder I., Maringer S., Wanek W. Total nitrogen content and $\delta^{15}\text{N}$ signatures in moss tissue: indicative value for nitrogen deposition patterns and source allocation on a nationwide scale // *Environmental Science & Technology*. 2008. Vol. 42. No. 23. P. 8661–8667. DOI: <https://doi.org/10.1021/es801865d>.

Received 06 December 2023

Accepted 12 December 2023

Published 12 December 2023

About the authors:

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

Nikonova Liliya Garifullovna – Candidate of Biological Sciences, Researcher in the Laboratory for Monitoring the Carbon Balance of Terrestrial Ecosystems, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); lili112358@mail.ru

Kalashnikova Daria Andreevna – Candidate of Chemical Sciences, Junior Researcher in the Laboratory for Monitoring the Carbon Balance of Terrestrial Ecosystems, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); terrezaprk@mail.ru

Simonova Galina Vladimirovna – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Bioinformation Technologies, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); galina_simonova@inbox.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/)



ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2023 Г. Ф. Миллер , С. В. Соловьев , А. Н. Безбородова 

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

Цель исследования. Определить текущее состояние агрофизических и физико-химических свойств почв разновозрастных залежей лесостепной зоны юго-востока Западной Сибири, провести их почвенно-экологическую оценку и изучить растительный покров.

Место и время проведения. В течение нескольких полевых сезонов (с 2017 по 2022 гг.) проводили исследования почвенно-растительного покрова разновозрастных залежей Предсалаирской дренированной равнины (правобережная часть Новосибирской области).

Методы. Исследованы 12 почвенных разрезов на чернозёмах выщелоченных и оподзоленных, темно-серых лесных почвах. Часть почв имела различную степень смытости накануне перехода земельного участка из пашни в залежное состояние. Залежи классифицированы по возрасту на молодые (2–4 года), средние (5–15 лет) и старые (более 15 лет). Возраст залежей определяли, опираясь на данные космических снимков, информацию от местных органов власти и методологию, предложенную сотрудниками ИПА СО РАН. Отбор почвенных образцов проводили сплошной колонкой и определяли в них кислотность, гранулометрический состав, содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия. Отдельно провели отбор образцов для определения плотности почвы (объёмной массы). Для проведения почвенно-экологической оценки использовали методику расчёта почвенно-экологического индекса (ПЭИ), разработанную в Почвенном институте им. В.В. Докучаева.

Основные результаты. Для молодых и средневозрастных залежей получены низкие значения ПЭИ (38–41) по сравнению с целиной (63), что обусловлено пониженным содержанием гумуса и питательных элементов. Почвы старых залежей, не подвергавшиеся смыву, имеют среднее значение ПЭИ (55), в то время как почвы старых залежей, ранее смытые, имеют среднее значение ПЭИ (45). Почвенно-экологическая оценка разновозрастных залежей позволила зафиксировать общий тренд в сторону восстановления исходных агрофизических и физико-химических свойств почв. При этом значения ПЭИ молодых и средневозрастных залежей далеко не всегда заметно различимы, в то время как ПЭИ старых залежей явно демонстрирует восстановление их почвенных свойств, но только в тех случаях, если отсутствуют признаки эродированности. Растительный покров разновозрастных залежей характеризовался плавным изменением видового состава, в том числе, уменьшением доли одно- и двулетних видов. Увеличение общей надземной продукции происходило в первые 5–7 лет, после чего ее значения вышли на плато в зависимости от типа формируемого сообщества и условий.

Заключение. Учитывая состояние почв разновозрастных залежей, можно сделать вывод, что возвращение в сельскохозяйственный оборот молодых и средневозрастных залежей имеет смысл в качестве пастбищ и сенокосов. Использование их в качестве пашни нецелесообразно, в основном по причине разной степени смытости, из-за их расположения на склонах разной протяжённости и крутизны, а также недостаточного восстановления их свойств. Почвы старых залежей (в случае отсутствия признаков эродированности) вполне могут быть снова использованы в сельском хозяйстве, в том числе в качестве пашни.

Ключевые слова: залежи; почвенно-экологический индекс; растительный покров; Западная Сибирь; Новосибирская область; рациональное землепользование.

Цитирование: Миллер Г.Ф., Соловьев С.В., Безбородова А.Н. Почвенно-экологическая оценка разновозрастных залежей юго-востока Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 4. с.230. DOI: [10.31251/pos.v6i4.230](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.230).

ВВЕДЕНИЕ

Пахотные земли, переведённые в залежь, претерпевают ряд закономерных изменений, как в растительном покрове, так и в морфологической структуре и физико-химических свойствах почв; при этом с возрастом происходит накопление органического вещества (Еремич, 2014; Копысов и др., 2018). Такие земли нередко возвращают в сельскохозяйственный оборот. Однако целесообразность этого не всегда может оправдана как с экономической, так и с экологической

точки зрения (Данилов, 2019; Нечаева, 2023; Mamuye et al., 2020; Danilov et al., 2021). Это обусловлено целым рядом факторов – исходным состоянием почв и степенью их восстановления (время нахождения в состоянии залежи), рельефом, климатическими условиями и другими аспектами. Исследование текущего состояния почв залежей является вопросом, актуальным не только на региональном уровне, но и для страны в целом (Булышева и др., 2018). Залежи юго-востока Западной Сибири часто расположены на склонах различной крутизны, а почвообразующими породами служат легко размываемые суглинки.

Исследованные смытые почвы разновозрастных залежей расположены на склонах, имеющих крутизну в интервале 3–6°, что весьма существенно, поскольку при распашке склона с крутизной более 1° уже начинается развитие эрозионных процессов. Поэтому местные почвы подвержены эрозионным процессам различной интенсивности. Зачастую почвы, не имеющие признаков эродированности, являются эрозионноопасными.

Цель исследования – оценить текущее состояние агрофизических и физико-химических свойств почв залежных земель, провести их почвенно-экологическую оценку (с расчётом почвенно-экологического индекса), а также изучить растительный покров разновозрастных залежей лесостепной зоны юго-востока Западной Сибири.

В ходе длительного исследования, проведённого в течение нескольких полевых сезонов (с 2017 по 2022 гг.), авторами изучен почвенно-растительный покров разновозрастных залежей юго-востока Западной Сибири, часть результатов опубликована (Безбородова и др., 2018; Соловьев и др., 2018; Миллер и др., 2019; Филимонова и др., 2019).

Комплекс проведённых работ за весь период исследования даёт возможность судить о закономерностях изменения агрофизических и физико-химических свойств почв залежей в процессе восстановления их исходных зональных характеристик с учетом региональных и зональных особенностей территории юго-востока Западной Сибири, а также видового состава растений на разновозрастных залежах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовали почвы Предсалаирской дренированной равнины (правобережная часть Новосибирской области). Исследованы 12 почвенных разрезов на чернозёмах выщелоченных, оподзоленных, а также на темно-серых лесных почвах. Почвы молодых залежей представлены чернозёмом выщелоченным среднесмытым и тёмно-серой лесной, а почвы средневозрастных залежей – чернозёмами выщелоченными, в том числе, среднесмытыми (Миллер и др., 2019). Часть исследованных почв имела различную степень смытости накануне перехода земельного участка из пашни в залежное состояние. Залежи имеют возраст: молодой (2–4 года), средний (5–15 лет) и старый (более 15 лет). Возраст данных залежей определяли, опираясь на данные космических снимков, информацию от местных органов власти и методологию, разработанную сотрудниками Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Степанов и др., 2017). Исследование растительного покрова выполнено по принятым стандартным методикам (Худоногова, 2020).

Отбор почвенных образцов проводили сплошной колонкой и определяли в них кислотность, гранулометрический состав, содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия. Отдельно провели отбор образцов для определения плотности почвы (объёмной массы).

Для проведения почвенно-экологической оценки использована методика расчёта **почвенно-экологического индекса (ПЭИ)**, разработанная И.И. Кармановым в Почвенном институте им. В.В. Докучаева (Шишов и др., 1991). Методика расчёта ПЭИ сочетает в себе факторы почвенного плодородия, климатические и геоморфологические показатели оценки почв (Миллер и др., 2019; Шпедт и др., 2019).

Для изучения агрофизических и физико-химических свойств почв залежных земель использовали следующие методы: гранулометрический состав – ситово-пипеточный (Почвоведение ..., 2012); содержание органического углерода (с пересчётом на гумус) – по Тюрину (Некрасова, 2008); кислотность (рН) почвы – потенциометрическим методом (Почвоведение ..., 2012), плотность (объёмная масса) почвы – по (Терпелец, Слюсарев, 2010).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сукцессионные процессы на залежах в любом случае завершаются формированием так называемой вторичной целины. Фактически, полное восстановление растительности,

предшествовавшей распашке, невозможно; речь может идти лишь о формировании растительного покрова, весьма похожего на исходный.

При изучении растительного покрова разновозрастных залежей подтвердились общие закономерности, характерные для сукцессионных процессов лесостепной зоны. В частности, показано, что демутационные процессы подразделяются на четыре стадии: 1) пионерная (рудеральная) – возрастом 1–2 года; 2) переходная – 3–4 года; 3) длиннокорневищная (пырейная) – 6–10 (15) лет; 4) луговая (разнотравно-злаковая) – 15 и более лет. Таким образом, на основании стадий зарастания можно классифицировать залежи по возрасту на молодые (до 5 лет), средние (более 5–15 лет) и старые (более 15 лет).

Кроме того, показано, что с увеличением возраста залежей возрастает общее количество видов растений, в том числе и доля многолетних видов, а доля одно- и двулетних – сокращается (рисунок 1). Аналогичная ситуация происходит и с рудеральными видами растений, которые постепенно замещаются аборигенными (Соловьев и др., 2018). С учетом ранее опубликованных работ авторов (Соловьев и др., 2018; Филимонова и др., 2019) и недавно полученных данных, установлено увеличение общей надземной продукции (зелёная фитомасса и мортмасса), которое наблюдается, прежде всего, в первые 5–7 лет (возрастает в среднем с 600 г/м² до 1150 г/м²), а в последующие годы выходит на плато с незначительными колебаниями в зависимости от типа формируемого сообщества и конкретных условий.

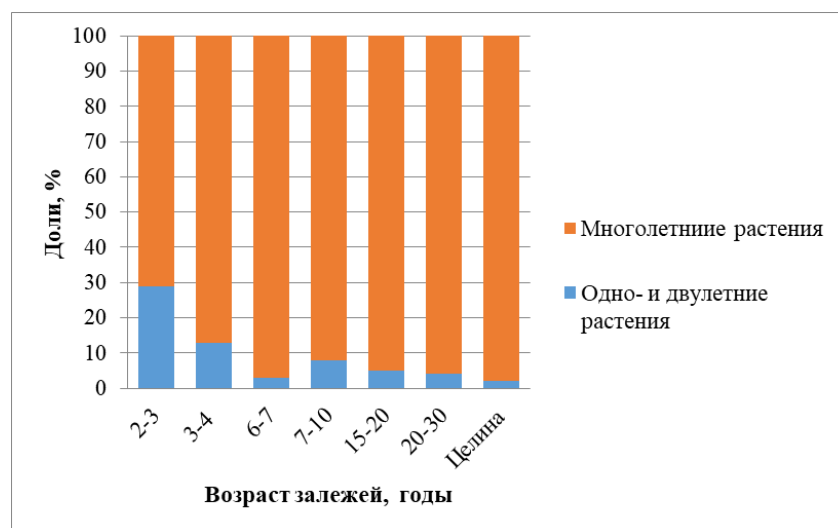


Рисунок 1. Соотношение многолетних и малолетних (одно- и двулетних) растений на разновозрастных залежах.

Для целинных вариантов чернозёмных почв характерны следующие показатели (гумусовый горизонт): рН – 6,1–6,5, объёмная масса – 0,90–0,93 г/см³, содержание гумуса – 7,2–9,8%, илистой фракции – 20,1–26,2%; для целинных серых лесных почв: рН – 5,8–6,5, объёмная масса – 1,10–1,36 г/см³, содержание гумуса – 9,0–10,8%, илистой фракции – 20,3–23,1%. Сравнение почвенных характеристик исследованных разновозрастных залежей демонстрирует весьма медленное восстановление исходных почвенных свойств. Представляется, что разновозрастные залежи (молодые, средневозрастные и старые) по степени восстановления указанных свойств можно выделить две группы: первая объединяет залежи молодые и средневозрастные, вторая – старые. Это объясняется тем, что в молодых (что ожидаемо) и даже в средневозрастных залежах отмечается лишь общий тренд в направлении восстановления таких исходных почвенных свойств как рН и распределение илистой фракции. Заметного изменения гумусного состояния почв этих залежей не отмечено. Вместе с тем, заметно восстановление исходной структуры пахотного горизонта, а также снижение значений объёмной массы почвы над подпашной подошвой – всё это прямо коррелирует с возрастом залежи (Безбородова и др., 2018).

На рисунках 2–3 приведены данные по изменению содержания гумуса, илистой фракции, рН и объёмной массы почв с глубиной на старовозрастных залежах. Подобные графики, касающиеся почвенных свойств молодых и средневозрастных залежей, приведены ранее (Миллер и др., 2019).

Анализ представленных графиков позволяет выявить следующие изменения почвенных свойств старых залежей по сравнению с молодыми и средневозрастными. Содержание гумуса в почвах молодых и средневозрастных залежей колеблется в интервале 5,5–6,1%, тогда как в старых залежах эта величина составляла 5,2–9,8%, причём в трех случаях из четырёх эти значения равнялись 8,7–9,8%. Наименьшее значение (5,2%) представляет собой явное отклонение от общей закономерности, связанное, судя по всему, с достижением данной почвой большей степени смывости ко времени прекращения ее обработки (см. рис. 2а).

Реакция среды почв старых залежей является близкой к нейтральной и нейтральной. Причём, близкой к нейтральной (рН 5,6) оказалась реакция одной из тёмно-серых лесных почв, в то время как рН другой тёмно-серой лесной почвы оказалась нейтральной – как и двух исследованных чернозёмных почв. Подобная картина является совершенно типичной: подтип тёмно-серых лесных почв зачастую имеет нейтральную реакцию среды (см. рис. 2б).

Показательным было то, что сдвиг в сторону уменьшения рН, т.е. увеличения кислотности, обнаружен именно в тёмно-серых лесных почвах, в то время как значения рН чернозёмов имели значения практически равные 7. Таким образом, если при сравнении значений рН почв молодых и средневозрастных залежей выявлено восстановление исходной реакции среды, то при сравнении рН почв средневозрастных и старых залежей заметных изменений в значениях уже не было. Однако установлено, что в тёмно-серых лесных почвах старых залежей, по сравнению с почвами того же типа под залежами средневозрастными, произошло изменение в распределении этих значений по глубине: если в последних сдвиг в сторону кислотности охватывал слой 0–20 см, то в почвах старых залежей это явление характерно для слоя 0–10 см. Для чернозёмных почв подобную картину не наблюдали (см. рис. 2б).

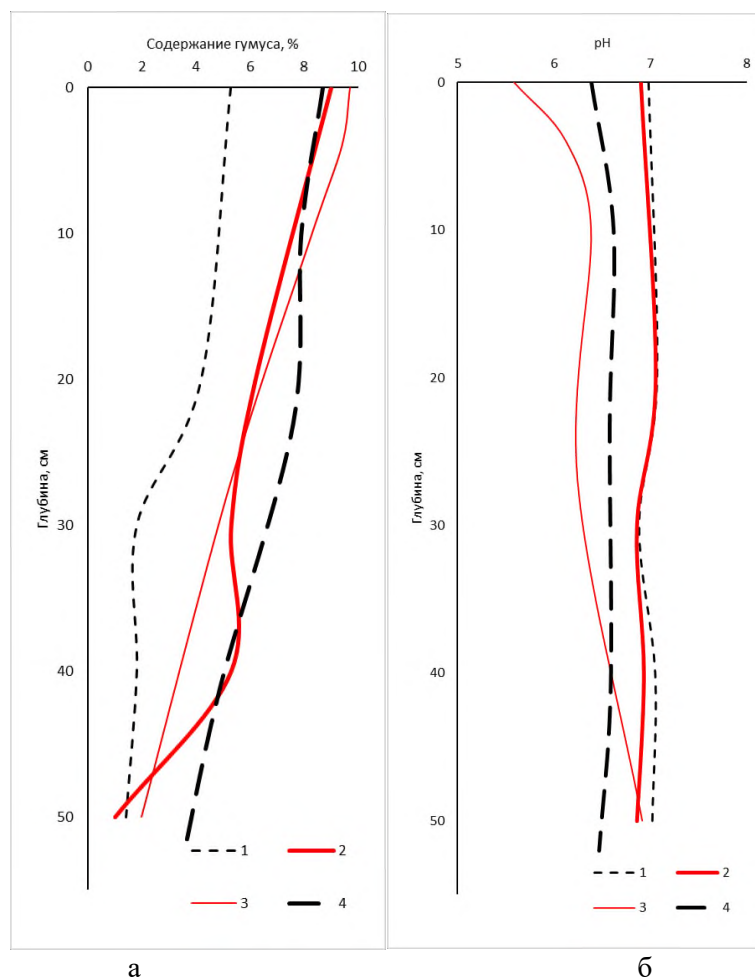


Рисунок 2. Изменение содержания гумуса (а) и рН (б) по профилю почв на старых залежах: 1 – чернозём оподзоленный слабосмыто-намытый, залежь 20 лет; 2 – чернозём оподзоленный слабосмыто-намытый, залежь 30 лет; 3 – тёмно-серая лесная почва, залежь более 15 лет; 4 – тёмно-серая лесная почва, залежь более 15 лет.

При исследовании объёмной массы почв старых залежей выявлены важные их отличия от средневозрастных. В чернозёмных почвах старых залежей в слое 10–25 см продолжается процесс уплотнения, связанный с восстановлением исходной структуры. В то же время, в слое 0–10 продолжается выраженное падение плотности почвы за счёт её разрыхления корневой массой растений. Что касается тёмно-серых лесных почв старых залежей, то дифференциация по плотности в бывшем пахотном горизонте по сравнению, как со средневозрастными залежами, так и с чернозёмами старых залежей, представляется явно менее заметной и выглядит на графике более плавной (см. рис. 3а).

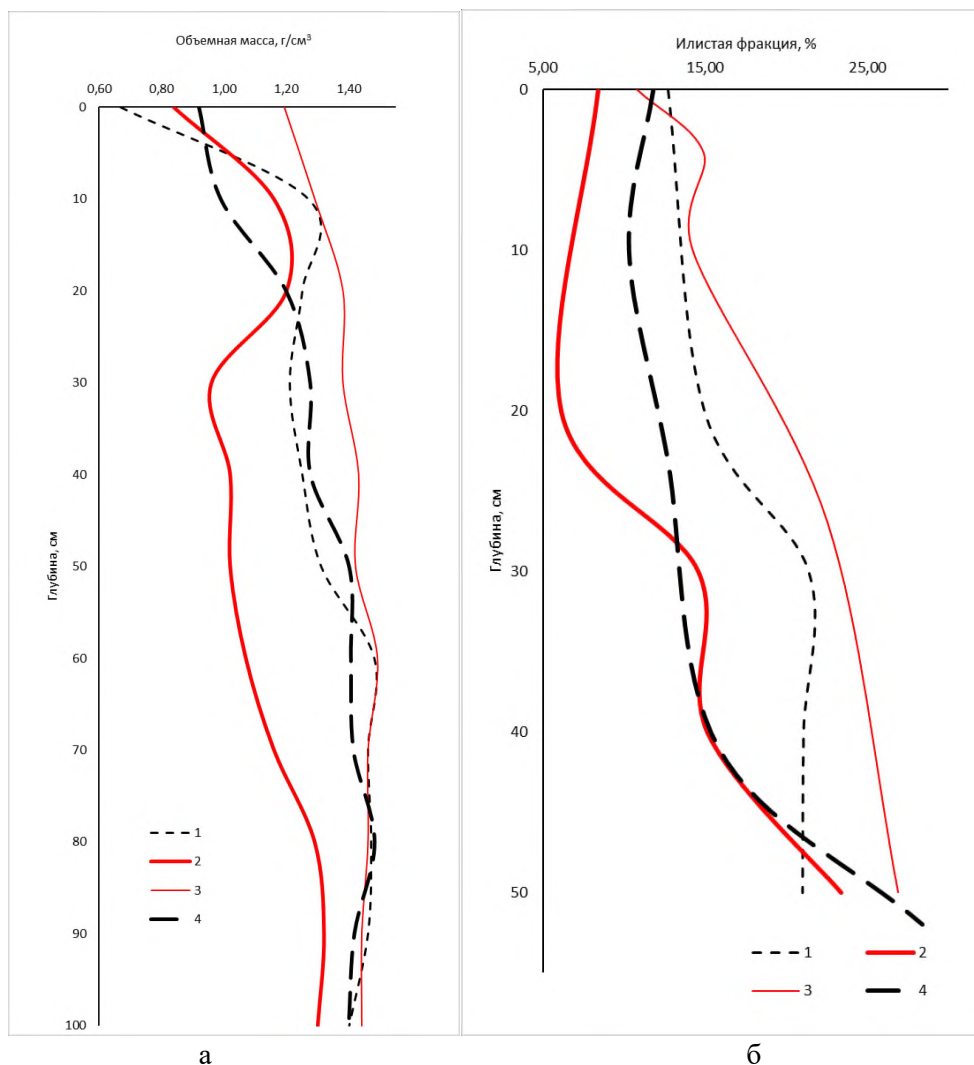


Рисунок 3. Изменение объёмной массы (а) и содержания илистой фракции (б) по профилю почв на старых залежах: 1 – чернозём оподзоленный слабосмыто-намытый, залежь 20 лет; 2 – чернозём оподзоленный слабосмыто-намытый, залежь 30 лет; 3 – тёмно-серая лесная почва, залежь более 15 лет; 4 – тёмно-серая лесная почва, залежь более 15 лет.

Илистая фракция, являющаяся наиболее лабильной частью гранулометрического состава почв, уже в молодых и средневозрастных залежах демонстрирует заметное снижение по содержанию в бывшем пахотном горизонте. В почвах старых залежей этот процесс ещё более заметен – продолжается очень выраженное обеднение их бывшего пахотного горизонта (слой 0–30 см) илистыми частицами (см. рис. 3б).

Текущее состояние залежей не может быть адекватно оценено без расчёта почвенно-экологического индекса, так как именно он является интегральным показателем, характеризующим их почвенно-экологическое состояние. Полученные результаты представлены на рисунке 4.

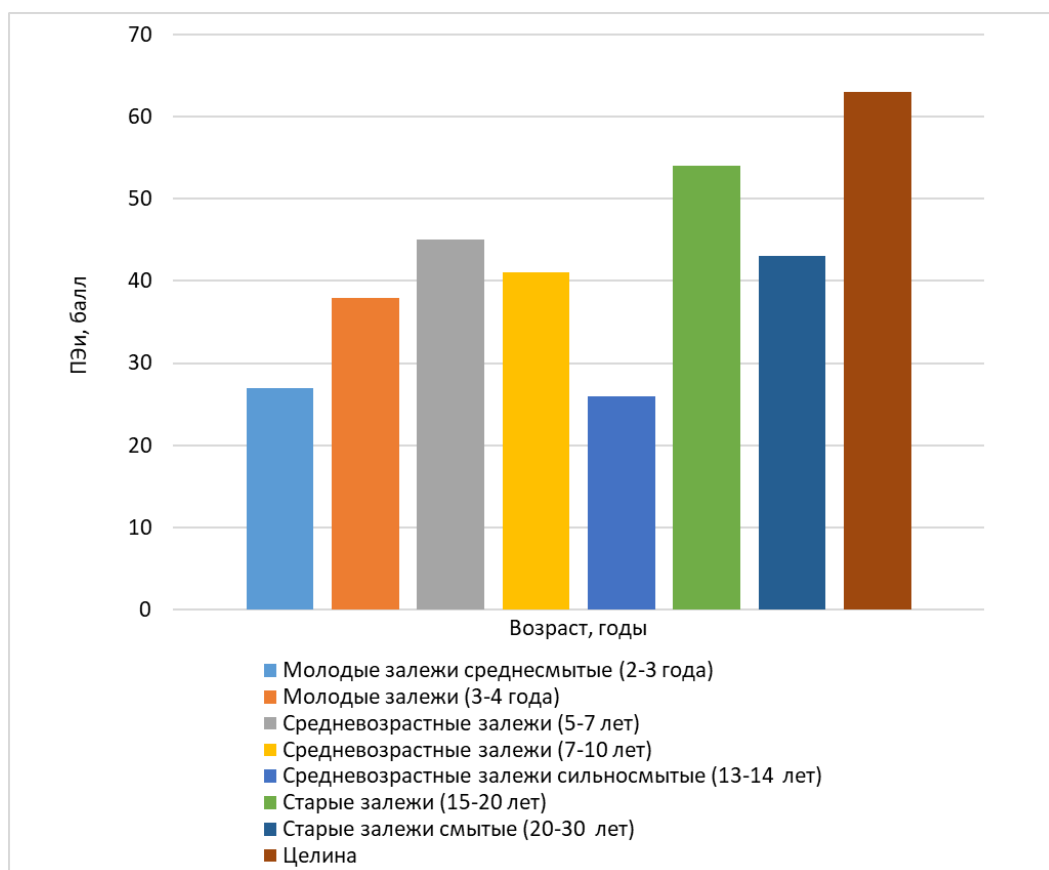


Рисунок 4. Значения почвенно-экологического индекса для почв разновозрастных залежей.

Почвы залежей молодого возраста ожидаемо обнаруживают наиболее низкие значения ПЭИ, составляющие в чернозёмах выщелоченных и темно-серых лесных почвах, соответственно, 27 и 38. Наблюдаемое различие значений ПЭИ в этом случае может являться как следствием смытости чернозёма выщелоченного, так и его очень непродолжительным пребыванием под залежью. Весьма близки значения ПЭИ (45 и 41) для почв средневозрастных залежей, представленных чернозёмами выщелоченными; залежи имеют возраст 5–7 и 7–10 лет соответственно. Как представляется, отсутствие значимой разницы в показателях ПЭИ почв молодых и средневозрастных залежей может быть объяснено тем, что средневозрастные залежи – как по степени восстановления исходных свойств почв, так и по стадии сукцессии – вовсе не обязательно заметно отличаются от молодых залежей.

Чернозём выщелоченный сильносмытый под залежью 13–14-летнего возраста показывает значение ПЭИ равное лишь 25, что вполне очевидно обусловлено степенью смытости. Почвы старых залежей (чернозёмы выщелоченные и оподзоленные, а также тёмно-серые лесные почвы) закономерно имеют наибольшие значения ПЭИ, однако и в этой возрастной категории заметно различие между смытыми и несмытыми вариантами – 45 и 55, соответственно.

Наибольшие значения ПЭИ характерны для почвы целины (чернозём оподзоленный среднемошный тучный тяжелосуглинистый) – 63, что объясняется фактическим отсутствием проявления эрозийных процессов (отсутствие распашки), а потому наиболее полным сохранением её производительности.

В качестве обобщения нужно отметить, что почвенно-экологическая оценка почв разновозрастных залежей юго-востока Западной Сибири показывает, что между почвами молодых и средневозрастных залежей значительных различий обычно не наблюдается. На фоне весьма серьёзной эрозийной опасности территории необходимо указать на недопустимость возвращения в сельскохозяйственный оборот в качестве пашни тех вариантов почв, которые ранее подвергались смыву. В то же время, возвращение в сельскохозяйственный оборот вариантов молодых и средневозрастных залежей, не подвергавшихся смыву (когда они были в пашне), также не представляется целесообразным, поскольку их ПЭИ все равно достаточно низок (ПЭИ = 38–41) в сравнении с целиной (ПЭИ = 63): в них снижено содержание гумуса и питательных элементов.

Что касается почв старых залежей, то их варианты, не подвергавшиеся ранее эрозионным процессам (среднее значение ПЭИ = 55, максимальное же достигает 61), как представляется, в случае необходимости могут быть возвращены в сельскохозяйственный оборот, в том числе, в качестве пашни. Если же говорить о старых залежах, испытывавших ранее процессы смыва, то, поскольку их ПЭИ, равный 45, оказался даже чуть ниже, чем у несмытых средневозрастных залежей (ПЭИ = 45), то об их возвращении в сельскохозяйственный оборот говорить преждевременно, так как это приведёт лишь к ухудшению почвенных свойств по сравнению с нынешним состоянием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ растительного покрова разновозрастных залежей показывает плавное изменение видового состава растений, в том числе, уменьшение с возрастом доли одно- и двулетних видов. Увеличение общей надземной продукции (зелёная фитомасса и мортмасса) наблюдается, как правило, в первые 5–7 лет развития залежей; в последующие годы продуктивность выходит на плато с незначительными колебаниями в зависимости от типа формируемого сообщества и конкретных условий.

Почвенно-экологическая оценка разновозрастных залежей юго-востока Западной Сибири позволила зафиксировать общий тренд в сторону восстановления исходных агрофизических и физико-химических свойств почв. При этом значения почвенно-экологического индекса (ПЭИ) молодых и средневозрастных залежей далеко не всегда заметно различимы, в то время как ПЭИ старых залежей явно демонстрирует восстановление их почвенных свойств, но только в тех случаях, если отсутствуют признаки эродированности.

Оценивая выявленное текущее состояние почв залежей, можно сделать вывод, что возвращение в сельскохозяйственный оборот молодых и средневозрастных залежей имеет смысл, прежде всего, в качестве пастбищ и сенокосов. Использование их в качестве пашни нецелесообразно зачастую по причине разной степени смывости из-за их расположения на склонах разной протяженности и крутизны, а также недостаточного восстановления их свойств. Почвы старых залежей (в случае отсутствия признаков эродированности) вполне могут снова использоваться в сельском хозяйстве, в том числе, и в качестве пашни.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 121031700316-9).

ЛИТЕРАТУРА

Безбородова А.Н., Миллер Г.Ф., Соловьев С.В., Филимонова Д.А. Почвенно-экологическая оценка эродированных черноземов юга Западной Сибири с учетом специфики климатических и геоморфологических особенностей территории // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 8. С. 59–63. DOI: [10.17513/mjpf.11365](https://doi.org/10.17513/mjpf.11365).

Булышева А.М., Хохлова О.С., Русаков А.В., Мякшина Т.Н. Изменение карбонатного состояния пахотных и залежных почв юга лесостепной зоны Среднерусской возвышенности (заповедный участок «Лес-на-Ворскле») // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2018. № 41. С. 6–26. DOI: [10.17223/19988591/41/1](https://doi.org/10.17223/19988591/41/1).

Данилов А.Н. Влияние распашки на плодородие агросерой почвы залежи в катене // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2019. № 2 (143). С. 180–190.

Еремин Д.И. Залечь как средство восстановления содержания и запасов гумуса старопашотных черноземов лесостепной зоны Зауралья // *Плодородие*. 2014. № 1 (76). С. 24–26.

Копысов И.Я., Тюлькина А.В., Тюлькин А.В. Изменение растительного покрова светло-серых лесных почв под влиянием разновозрастной залежи // *Экология родного края: проблемы и пути их решения. Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Вятский государственный университет; Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН*. 2018. С. 187–190.

Миллер Г.Ф., Филимонова Д.А., Безбородова А.Н., Соловьев С.В. Почвенно-экологическая оценка эрозионно-опасных почв под молодыми и средневозрастными залежами юго-востока Западной Сибири // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019. № 11. С. 26–29. DOI: [10.17513/mjpf.12926](https://doi.org/10.17513/mjpf.12926).

Некрасова О.А. Методы анализа органического вещества почв. Руководство к лабораторным занятиям. Екатеринбург, 2008. 107 с.

Нечаева Т.В. Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор) // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 2. e215. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>.

Почвоведение: учебно-методическое пособие / Новосибирский государственный аграрный университет; составитель Л.П. Галеева. Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2012. 95 с.

Степанов М.И., Сысо А.И., Чумбаев А.С., Миронычева-Токарева Н.П. Методические рекомендации по определению сроков пребывания земельных участков сельскохозяйственного назначения Новосибирской области в залежном состоянии. Новосибирск: Наука, 2017. 20 с.

Соловьев С.В., Миллер Г.Ф., Безбородова А.Н., Филимонова Д.А. Сукцессия на молодых и средневозрастных залежах лесостепной зоны Западной Сибири в пределах Новосибирской области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 10. С. 116–120. DOI: [10.17513/mjpf.12427](https://doi.org/10.17513/mjpf.12427).

Терпелец В.И., Слюсарев В.Н. Учебно-методическое пособие по изучению агрофизических и агрохимических методов исследования почв. Учебное издание. Краснодар: КубГАУ, 2010. 65 с.

Филимонова Д.А., Миллер Г.Ф., Соловьев С.В., Безбородова А.Н. Сравнение почвенных характеристик молодых и средневозрастных залежей эрозионно-опасных территорий юга Западной Сибири // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 10-1. С. 23–27. DOI: [10.17513/mjpf.12861](https://doi.org/10.17513/mjpf.12861).

Худоногова Е.Г. Геоботаника: фитоценология, география растений. Учебное пособие к лекционным, лабораторно-практическим и самостоятельным занятиям для бакалавров. Иркутск: Молодежный, 2020. 123 с.

Шишов Л.Л., Дурманов Д.Н., Карманов И.И. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв. Москва: Наука, 1991. 303 с.

Шпедт А.А., Аксенова Ю.В., Жуланова В.Н., Рассыпнов В.А., Ерунова М.Г., Бутырин М.В. Оценка агрочерноземов Сибири на основе современных подходов // Земледелие. 2019. № 4. С. 8–13. DOI: [10.24411/0044-39132019-10402](https://doi.org/10.24411/0044-39132019-10402).

Danilov D.A., Vayman A.A., Yanush S.Y. Change in the soil complex on fallow arable land of the boreal zone of North-West Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International science and technology conference "Earth science" 8–10 December 2020. Vol. 666. Vladivostok, Russian Federation. IOP Publishing Ltd, 2021. 666 062008. DOI: [10.1088/1755-1315/666/6/062008](https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/6/062008).

Mamuye M., Nebiyu A., Elias E., Berecha G. Short-term improved fallows of tephrosia vogelii and cajanus cajan enhanced maize productivity and soil chemical properties of a degraded fallow land in southwestern Ethiopia // Agroforestry Systems. 2020. Vol. 94. № 5. P. 1681–1691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00485-7>.

Поступила в редакцию 15.11.2023

Принята 19.12.2023

Опубликована 26.12.2023

Сведения об авторах:

Миллер Герман Федорович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); miller@issa-siberia.ru; miller_1981_gf@mail.ru

Соловьев Сергей Викторович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); solovyev@issa-siberia.ru

Безбородова Анна Николаевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); bezborodova@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/)

SOIL-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF ABANDONED LANDS OF DIFFERENT AGE IN THE SOUTHEAST OF WEST SIBERIA

© 2023 G. F. Miller , S. V. Solovyev , A. N. Bezborodova 

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: solovyev@issa-siberia.ru

The aim of the study. Assessment of the current state of agrophysical properties of soils, their soil-ecological status by calculating the soil-ecological index (SEI), as well as the study of vegetation cover of different-age abandoned lands in the forest-steppe zone of West Siberia within the Novosibirsk region.

Location and time of the study. Novosibirsk Region, 2017–2022.

Methods. Soils of the Predsalair drained plain (right-bank part of the Novosibirsk region) were studied. Twelve soil sections were studied on leached and podzolized chernozems, as well as on dark gray forest soils. Some of the studied soils had different degrees of washout prior to abandonment. The abandoned lands were young (2–4 years), middle (5–15 years) and old (more than 15 years). The age of these lands, i.e. the duration of their spontaneous self-revegetation, was determined based on satellite imagery data, information from local authorities and the methodology developed by the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. The study of vegetation cover was carried out according to standard methods. Soil samples were collected as a solid column; humus content, acidity, mobile forms of phosphorus and potassium, granulometric composition were determined. Samples were also taken to determine soil density (volumetric mass). For soil-ecological assessment the methodology of soil-ecological index (SEI) calculation was used. The methodology for SEI calculating combines soil fertility, climatic and geomorphologic soil factors. The SEI was calculated according to the methodology developed at the B.V. Dokuchaev Soil Institute by I.I. Karmanov. The following soil properties were also measured: granulometric composition by the sieve-pipette method, organic carbon (humus) by potassium dichromate digestion and pH by potentiometric method.

Results. The article presents the agrophysical properties of soils, their soil-ecological assessment (SEI) and describes the vegetation cover of different-aged abandoned and revegetating lands in the forest-steppe zone of West Siberia within the Novosibirsk region. The vegetation revealed a smooth change in the species composition of plants, including a decrease in the proportion of annual and biennial species. The total aboveground production increased during the first 5–7 years of revegetation, afterwards reaching a plateau depending on the type of the formed community and conditions. Low values of SEI (38–41) were obtained for young and middle-aged abandoned lands in comparison with the virgin land (63), being caused by the lower content of nutrient elements and humus. In the long-term abandoned lands soils, that were not washed away, had an average SEI value of 55, while soils of old fallow lands previously washed away had an average 45.

Conclusions. Based on the soil ecological condition in the studied abandoned lands, it can be concluded that the return of young and middle-aged lands to agricultural turnover makes sense as pastures and hayfields. Their use as arable land is inexpedient, mostly because of different degrees of washout due to their location on slopes of different length and steepness, as well as insufficient restoration of their properties. The old abandoned lands (in case of the absence of soil erosion) may well be returned to agricultural use, including as arable land.

Key words: abandoned arable lands; soil-ecological index; vegetation cover; West Siberia; Novosibirsk region; rational land use.

How to cite: Miller G.F., Solovyev S.V., Bezborodova A.N. Soil-ecological assessment of soils of abandoned lands of diggerent age in the southeast of West Siberia // *The Journal of Soils and Environment*. 2023. 6(4). e230. DOI: [10.31251/pos.v6i4.230](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.230). (in Russian with English abstract).

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No. 121031700316-9.

REFERENCES

Bezborodova A.N., Miller G.F., Solov'ev S.V., Filimonova D.A. Soil-ecological assessment of eroded chernozems in the south of Western Siberia, taking into account the specifics of climatic and geomorphological features of the territory. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* (International Journal of Applied and Fundamental Research). 2018. No. 8. P. 59–63. DOI: [10.17513/mjpf.11365](https://doi.org/10.17513/mjpf.11365). (in Russian).

- Bulysheva A.M., Khokhlova O.S., Rusakov A.V., Myakshina T.N. Changes in the carbonate state of arable and fallow soils in the south of the forest-steppe zone of the Central Russian Upland (reserved area "Les-na-Vorskla"). Tomsk State University Journal of Biology. 2018. No. 41. P. 6–26. DOI: [10.17223/19988591/41/1](https://doi.org/10.17223/19988591/41/1). (in Russian).
- Danilov A.N. Influence of plowing on the fertility of agro-gray soil of a fallow in a catena. *Bulletin of Krasnoyarsk Agrarian University*. 2019. No. 2 (143). P. 180–190. (in Russian).
- Eremin D.I. Fallowing as a means for restoring the content and reserves of humus in old arable chernozems of the Transural forest-steppe zone. *Plodorodie*. 2014. No. 1 (76). P. 24–26. (in Russian).
- Kopysov I.Ya., Tyul'kina A.V., Tyul'kin A.V. Changes in the Vegetation Cover of Light Gray Forest Soils under the Influence of Different Age Fallows. In book: Ecology of the native land: problems and ways of their solution. Materials of the XIII All-Russian scientific-practical conference with international participation. Vyatka State University; Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2018. C. 187–190. (in Russian).
- Miller G.F., Filimonova D.A., Bezborodova A.N., Solov'ev S.V. Soil-ecological assessment of erosion-hazardous soils under young and middle-aged deposits in the southeast of Western Siberia. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy (International Journal of Applied and Fundamental Research)*. 2019. No. 11. P. 26–29. DOI: [10.17513/mjpf.12926](https://doi.org/10.17513/mjpf.12926). (in Russian).
- Nekrasova O.A. Methods for the analysis of soil organic matter. Lab Guide. Ekaterinburg, 2008. 107 p. (in Russian).
- Nechaeva T.V. Abandoned lands in Russia: distribution, agroecological status and perspective use (a review) // *The Journal of Soils and Environment*. 2023. Vol. 6. No. 2. e215. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>. (in Russian).
- Soil science: textbook / Novosibirsk State Agrarian University; compiler L.P. Galeeva. Novosibirsk: NSAU Publishing House, 2012. 95 p. (in Russian).
- Stepanov M.I., Syso A.I., Chumbaev A.S., Mironicheva-Tokareva N.P. Methodical recommendations for determining the period of stay of agricultural land plots of the Novosibirsk region in fallow state. Novosibirsk: Nauka Publ., 2017. 20 p. (in Russian).
- Solov'ev S.V., Miller G.F., Bezborodova A.N., Filimonova D.A. Succession on young and middle-aged fallows of the forest-steppe zone of Western Siberia within the Novosibirsk region. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy (International Journal of Applied and Fundamental Research)*. 2018. No. 10. P. 116–120. DOI: [10.17513/mjpf.12427](https://doi.org/10.17513/mjpf.12427). (in Russian).
- Terpelets V.I., Slyusarev V.N. Teaching aid for the study of agrophysical and agrochemical methods of soil research. Training edition. Krasnodar: KubGAU, 2010. 65 p. (in Russian).
- Filimonova D.A., Miller G.F., Soloviev S.V., Bezborodova A.N. Comparison of soil characteristics of young and middle-aged deposits of erosion-hazardous territories in the south of Western Siberia // *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy (International Journal of Applied and Fundamental Research)*. 2019. № 10–1. C. 23–27. DOI: [10.17513/mjpf.12861](https://doi.org/10.17513/mjpf.12861). (in Russian).
- Khudonogova E.G. Geobotany: phytocenology, plant geography. Textbook for lectures, laboratory-practical and independent studies for Bachelors. Irkutsk: Molodezhnyy, 2020. 123 p. (in Russian).
- Shishov L.L., Durmanov D.N., Karmanov I.I. Theoretical foundations and ways of regulating soil fertility. Moscow: Nauka Publ., 1991. 303 p. (in Russian).
- Shpedt A.A., Aksenova Yu.V., Zhulanova V.N. Assessment of Siberian agrochernozems based on modern approaches. *Zemledelie*. 2019. No. 4. P. 8–13. DOI: [10.24411/0044-39132019-10402](https://doi.org/10.24411/0044-39132019-10402). (in Russian).
- Danilov D.A., Vayman A.A., Yanush S.Y. Change in the soil complex on fallow arable land of the boreal zone of North-West Russia. In book: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International science and technology conference "Earth science" 8–10 December 2020. Vol. 666. Vladivostok, Russian Federation. IOP Publishing Ltd, 2021. 666 062008. DOI: [10.1088/1755-1315/666/6/062008](https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/6/062008).
- Mamuye M., Nebiyu A., Elias E., Berecha G. Short-term improved fallows of tephrosia vogelii and cajanus cajan enhanced maize productivity and soil chemical properties of a degraded fallow land in southwestern Ethiopia. *Agroforestry Systems*. 2020. Vol. 94. No. 5. P. 1681–1691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00485-7>.

*Received 15 November 2023
Accepted 19 December 2023
Published 26 December 2023*

About the authors:

Miller German Fedorovich – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); miller@issa-siberia.ru; miller_1981_gf@mail.ru

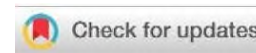
Solovyev Sergey Viktorovich – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); solovyev@issa-siberia.ru

Bezborodova Anna Nikolaevna – Candidate of Biological Sciences, Researcher in the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); bezborodova@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/)



ВОЗМОЖНОСТИ ФИЗИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ЭКОЛОГИИ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ АРЕАЛОВ)

© 2023 А. В. Чичулин

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

Цель исследования. Рассмотреть новые возможности современных физико-теоретических методов решения задач экологии почв, связанных с количественным описанием закономерностей системной организации почвенно-климатических ареалов в зависимости от совместного учёта гидротермических факторов внешней среды и свойств почвенного субстрата.

Методы. Методологический и физико-теоретический анализ экспериментальных и теоретических познавательных процедур, принятых в экологии почв, в частности – используемых понятий, гипотез и идеализаций. Математическое моделирование структуры взаимосвязей между факторами почвообразования.

Основные результаты. Методологический анализ предположений, лежащих в основе количественного определения двух традиционных гидротермических коэффициентов – радиационного индекса сухости (R/LP) и коэффициента увлажнения (P/E_0) даёт основание относить их к краевым (граничным) условиям почвы, определяемым, главным образом, климатическими характеристиками. Это является одной из причин их ограниченной применимости при рассмотрении почвенно-экологических задач, связанных с необходимостью количественного описания взаимосвязей между типами теплового и водного режимов почв и общими климатическими закономерностями их распространения на земной поверхности.

На основе фундаментального принципа аффинного подобия (разновидности общего принципа симметрии) предложены новые, обобщенные переменные R/E^{α} и P/E^{β} , в которых испарение почвенной влаги $E(R,P)$, определенное на всем диапазоне изменения средних многолетних климатических характеристик R (радиационного баланса) и P (осадков), выступает в роли общей системы отсчёта. Специфика гидротермического отклика почвенного субстрата определяется соответствующими структурно-функциональными индексами подобия α и β . Физический смысл новых переменных состоит в том, что они характеризуют полноту использования конкретным почвообразовательным процессом радиационной энергии (α) и осадков (β).

Заключение. Математическая модель, построенная на функциональной зависимости между обобщенными переменными, позволяет предсказать новые структурно-функциональные закономерности (радиальные и тангенциальные) в системной организации почвенно-климатических ареалов. По сравнению с климатическими гидро- и терморядами, предложенными В.Р. Волобуевым, структурно-функциональные закономерности лучше описывают экспериментальные данные.

Ключевые слова: симметрия; системная организация ареалов; индексы подобия почв; дискретный почвенный спектр; аридно-гумидный дуализм почв.

Цитирование: Чичулин А.В. Возможности физико-теоретических методов в экологии почв (на примере моделирования структуры почвенно-климатических ареалов) // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 6. № 4. e229. DOI: [10.31251/pos.v6i4.229](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.229).

МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Чтобы понять физические законы, мы должны усвоить себе раз и навсегда, что все они в какой-то степени приближённые.

А. Эйнштейн.

В парадигме современного теоретического (генетического) почвоведения понятие «взаимодействие» является ключевым. С точки зрения современной физики это относит почву к «неклассическим объектам» исследования, методологические и теоретические предпосылки

изучения которых *принципиально* отличаются от соответствующих предпосылок изучения «классических объектов» (Дышлевый, 1976). Перечислим их.

- Главной предпосылкой является предположение, что свойства «классических объектов» изучения не зависят от окружающих условий, в частности – от экспериментальных средств исследования. Предполагается, что этой зависимостью можно либо пренебречь, либо учесть при обработке результатов наблюдения и получить знание о физическом объекте «самом по себе». Для объекта «неклассического типа» связью с условиями и средствами исследования уже никак нельзя пренебречь. В методологических исследованиях об этом говорится как о необходимости в теории объекта учитывать «эффект познания», описывать не только объект сам по себе, но и взаимодействие объекта с условиями его познания. Именно поэтому для теоретического знания таких объектов характерно прежде всего органическое включение методологических принципов специального рода исследования, без которых такое знание не может быть построено (Овчинников, 1988; Фролов, 2002).

- Следующей предпосылкой изучения «неклассических объектов» является принятие условия, что для их физико-теоретического описания принципиально важным является *целостное* представление объектов, объединяющее их противоположные, порой взаимоисключающие аспекты (примерами таких объединений из области физики являются: пространство – время, волна – частица, инерция – тяготение, порядок – хаос) (Акчурин 1974; Овчинников, 1988). Вообще, следует подчеркнуть, что поиски единства на основе общих принципов представляют один из важнейших мотивов современной науки (Илларионов, 1979).

Примерами наиболее известных и выдающихся физических теорий, занимающимися «неклассическими объектами», служат специальная теория относительности (1905 г.), релятивистская теория гравитации (1915 г.), квантовая механика (1926–1930 гг.) и теория самоорганизации, синергетика (70-е годы XX века). Интересно отметить, что хотя эти теории были созданы на несколько десятилетий позже официально признанной даты оформления идейной основы генетического почвоведения («Русский чернозём» В.В. Докучаева опубликован в 1883 г.), они гораздо быстрее вышли на более высокий уровень теоретического и математического развития. Совершенно очевидно, что дело не в абстрактной «сложности» почвы, а в том, что реальные проблемы её изучения лежат в другой плоскости.

Дело в том, что в течении тысячелетий люди, работая с почвой, обходились качественно-наглядным, в чем-то даже мифопоэтическим пониманием происходящих в ней процессов. Для решения большинства практических задач этого было достаточно. С применением развитых к тому времени *количественных* – экспериментальных и теоретических – методов, почвоведы неизбежно стали встречаться с классическими методологическими проблемами исследования собственной познавательной деятельности. Такие ситуации неоднократно повторялись в истории науки – и задолго до, и после создания генетического почвоведения, когда «правильные» математические, физические, химические и другие количественные подходы оказывались в действительности не универсальными, а имеющими определенную, ограниченную область применения. «Классические» количественные теории, понятия и методы, развитые для описания «простых», однородных, обособленных объектов, будучи использованными при изучении почв, оказывались разобобщенными, даже противоречащими друг другу. Логика их развития требовала отказа от необоснованной абсолютизации достигнутого в них уровня познания действительности, оформленного в соответствующей «картине мира». Появилась необходимость поиска условий совместимости разобобщенных понятий – их обобщения. «Простые» решения приводили к «кризисной» ситуации в конкретно-теоретическом смысле именно потому, что в почвах преобладали «сложные», интегральные формы взаимодействующих структур и процессов. Их надо было не только увидеть, но и теоретически выразить полученные результаты в логике как традиционных, так и новых научных понятий.

Однако проблема заключалась в том, что такого обобщения требовала теория, но не практика сельского хозяйства. В почвоведении же практически всегда побеждали практические задачи. Дело в том, что люди с успехом занимались сельским хозяйством, ирригацией, мелиорацией, рекультивацией почв за много тысячелетий до В.В. Докучаева и оформления им генетического почвоведения как фундаментальной науки. Достигнутого уровня качественного и локального понимания происходящих процессов в почве было достаточно. Однако не было осознанной потребности в развитии единой *количественной* теории.

Между тем, явное осознание кризисных ситуаций и существующих теоретических противоречий исключительно важно для любой науки. Обращаясь в качестве контрастного примера к истории развития теоретических представлений в физике можно отметить, что именно во времена кризисных ситуаций в конкретно-научном смысле, разрешение различных противоречий обеспечивало революционные шаги в ее развитии. Важным является то, чтобы наличие противоречий осознавалось значительной частью научного сообщества.

Например, по воспоминаниям физика-теоретика А. Пайса (1989), А. Эйнштейн в 1949 г. описывал эпоху создания квантовой механики следующим образом: «Все мои попытки приспособить теоретические основы физики к новым результатам потерпели полную неудачу. Это было так, точно из-под ног ушла земля и нигде не видно было твердой почвы, на которой можно было бы строить» (цит. по: Пайс, 1989, с. 346). Интересно сопоставить эту «землю, уходящую из-под ног» у физиков со спокойным отношением почвоведов к теоретическим проблемам своей науки.

Говорить о сознательном замалчивании существующих проблем в почвоведении было бы, конечно, преувеличением. Как мы уже упоминали, объективные причины заключаются в реальной нацеленности почвоведения на решение не теоретических, а, исключительно, прикладных проблем. Хотя с этим, конечно же, мало кто согласится. Поэтому сошлёмся на мнение авторитетного почвовед-теоретика (и безусловно – практика) И.А. Соколова (2004, с. 4): «Работа в области генетического почвоведения – дело неблагодарное, особенно в наше время, когда столь популярно одно из древнейших и самых живучих заблуждений о том, что ценна только та наука, которая немедленно дает эффект для практики в форме материальной выгоды. История не раз опровергала и, казалось бы, хоронила это заблуждение. Но оно возрождается снова и снова. К почвоведению это приложимо в полной мере». И далее, говоря не только о стагнации, но даже деградации теоретического почвоведения, И.А. Соколов (2004, с. 5) пишет: «В настоящее время былая слава и былая роль генетического почвоведения в значительной степени утрачены. ... «тихий погром» в генетическом почвоведении остался почти незамеченным, ... деградация почвоведения снова до уровня только сельскохозяйственной науки началась с перевода Почвенного института им. В.В. Докучаева в ВАСХНИЛ ... Фундаментальная наука была вновь возвращена на додокучаевский уровень и сведена до одной из своих прикладных ветвей».

В зарубежном почвоведении ситуация немного другая. Явно просматривается общее понимание кризисной ситуации и предлагаются некоторые методы её разрешения. В данной работе их мы не рассматриваем, отметим только, что в программном резюме работы «Возможности современных и будущих фундаментальных исследований в почвоведении» (2000), написанной группой ведущих почвоведов США, озаглавленном «Культура фундаментальных исследований в науке о почве», отмечается, что «безусловные успехи, которых уже достигло прикладное почвоведение ... создали впечатление о том, что теоретическое почвоведение возникает обычно как побочный продукт при или после, прикладных исследований в области сельского хозяйства... Становится всё более очевидным, что сложность и разнообразие современных практических задач требует теперь *более широкого подхода к науке о почве*; подходы, стимулированные только прикладными задачами оценки земель, оказались недостаточными».

ТЕОРИЯ

Цель настоящей работы – рассмотреть возможности современных физико-теоретических методов решения задач экологии почв, связанных с построением математической модели, описывающей закономерности системной организации почвенно-климатических ареалов в зависимости от гидротермических факторов внешней среды и с учётом реакции почвенного субстрата на эти факторы. Новые возможности этих методов, реализованные в конкретной математической модели, выявляются в результате выполнения следующих процедур:

- Методологического анализа традиционных, применяемых в настоящее время, независимых гидротермических коэффициентов. Обоснования необходимости применения нового количественного метода их описания. Выбора нового элементарного объекта теории. Физико-теоретического обобщения традиционных коэффициентов. Установления связи между ними на основе выбора единой системы отсчета;

- Принятия гипотезы аффинного подобия для зависимости функции испарения почвенной влаги $E(R,P)$ как интегральной характеристики почвообразовательного процесса от гидротермических факторов R и P . Обоснования возможности учета свойств почвенного субстрата

через индексы подобия, совместно описывающих изменение масштаба $E(R,P)$. Отметим, что через теорию аффинного подобия в настоящей работе автоматически реализуется системный подход.

Краткий исторический очерк развития количественных методов описания зависимости характера почвенного покрова от гидротермических условий представляет собой одну из задач настоящей работы. Однако главная наша цель – как можно подробнее описать исходные методологические принципы построения новой физико-теоретической модели, саму модель и новые результаты (главным образом, на качественном уровне), полученные с её помощью.

С самого начала разработки основ генетического почвоведения почвоведы уделяли большое внимание характеристике климатических условий почвообразования. На рисунке 1 показано расположение почвенно-климатических ареалов в координатах: средний многолетний радиационный баланс R – средние многолетние осадки P (Волобуев, 1953; 1973; 1974). Задача заключается в том, чтобы найти универсальные, опирающиеся на фундаментальные физико-теоретические принципы, математические уравнения, описывающие структуру этих ареалов. История почвоведения и её современная фаза развития дают немало примеров решения этой задачи.

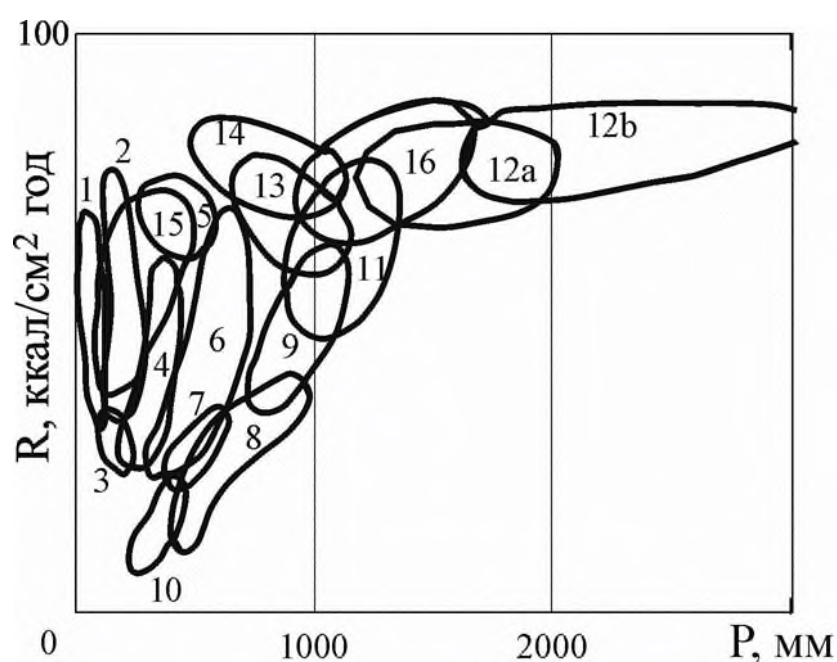


Рисунок 1. Расположение почвенно-климатических общностей (по Волобуеву, 1974): 1 – пески пустынь, 2 – серозёмы, 3 – бурые почвы полупустынь, 4 – каштановые почвы, 5 – каштановые почвы Африки, 6 – чернозёмы, 7 – серые лесные почвы, 8 – подзолы и подзолистые почвы, 9 – бурые лесные почвы, 10 – почвы тундр, 11 – желтозёмы, 12 – краснозёмы и латериты (12a – основной ареал, 12b – более редкое распространение), 13 – коричневые почвы сухих лесов и кустарников (Африка), 14 – чёрные почвы саванн и тропических прерий, 15 – светло-бурые почвы тропических полупустынь, 16 – красно-бурые почвы саванн. Расположение почвенно-климатических общностей представлено в координатах: средний многолетний радиационный баланс (R) – средние многолетние осадки (P).

За рубежом получили распространение следующие коэффициенты:

- дождевой фактор Ланга:

$$F_L = P/T \quad (1)$$

впоследствии непринципально модифицированный Мартони:

$$F_M = P/(T + 10) \quad (2)$$

где P – годовая суммы осадков P (мм), T – средняя годовая температура T ($^{\circ}\text{C}$);

- коэффициент NS Мейера, равный отношению осадков P к абсолютному дефициту насыщения воздуха водяными парами D :

$$NS = P/D \quad (3)$$

- показатель эффективности осадков:

$$I = \sum_{n=1}^{n=12} 115 \left(\frac{P}{T-10} \right)_n^{10} \quad (4)$$

основанный на суммировании месячных величин, причем осадки измеряются в дюймах, а среднемесячная температура – в градусах Фаренгейта (Иенни, 1948).

В бывшем СССР нашёл широкое применение (используется до сих пор) гидротермический коэффициент Селянинова, представляющий собой отношение суммы осадков (мм) за период с температурой выше 10°C к сумме температур (°C) за тот же период, увеличенное в 10 раз (Добровольский, Урусевская, 2004). Популярность и лучшую применимость, по сравнению с коэффициентами (1) – (4), ему обеспечил одновременный учёт (эмпирический) *пороговых* значений и тепла, и влаги. Эти коэффициенты можно условно отнести к традиционным.

В последнее время во многих практических работах (Казеев и др., 2015; Соколов, 2019; Губарев и др., 2022) используются и другие, реже применяемые, но также откровенно эмпирические гидротермические коэффициенты по Мезенцеву, индексы континентальности по Горчинскому, Конраду, Ценкеру и аридности по Емберже. Приводить явный вид этих коэффициентов здесь смысла не имеет. Можно сказать только, что они носят локальный характер, а их ограниченную применимость в теоретическом смысле, обеспечивает то, что все они характеризуют, главным образом, только климатические условия и не учитывают свойства почвенного субстрата.

Многообразие конкретных коэффициентов отражает, в конечном счёте, многообразие почвенных закономерностей. Однако, можно сказать, что их количество служит косвенным признаком существования упомянутой выше кризисной ситуации в теории почвообразования. Не все из перечисленных коэффициентов обладают одинаковой степенью общности и теоретической обоснованности. Поэтому в работе мы ограничимся только двумя коэффициентами в наибольшей степени удовлетворяющие этим условиям, а именно: а) безразмерный коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова, введенный по предложению В.В. Докучаева еще в 1904 г.:

$$K_P = P/E_0 \quad (5)$$

показывающий в какой мере выпадающие в данном регионе осадки P (мм) возмещают испаряемость E_0 (мм) с водной поверхности по эвапориметру; и б) радиационный индекс сухости, определенный М.И. Будыко в 1948 г.

$$K_R = R/LP \quad (6)$$

отражающий возможность накопления влаги при данных условиях R (ккал см² год), где L – скрытая теплота парообразования, принятая равной 600 (кал см⁻³) (Реймерс, 1990). На практике эти коэффициенты используются по отдельности. Ранее мы подробно разбирали причины их ограниченной применимости в этих случаях (Чичулин, 2019; 2020). Поэтому здесь только кратко напомним эти причины и подчеркнем возможность обобщения этих коэффициентов, в частности – совместного использования. Именно последнее обеспечивает возможность *целостного* физико-теоретического описания процессов гидротермического обмена почвы и окружающей среды.

Определенную степень общности и одновременно теоретической обоснованности, с точки зрения теории подобия, традиционным коэффициентам (5) и (6) придаёт безразмерный характер (Гухман, 1973). Обратим внимание, что в обоих определениях используются понятия потенциально возможных (максимальных) величин испарения – с водной поверхности, находящейся на поверхности почвы (для K_P) и полностью всех осадков (для K_R).

В этой работе лишь подчеркнём, что данные гидротермические коэффициенты, будучи совершенно правильными по отдельности и обеспечивающие простоту и удобство при решении задач климатической группировки почв, являются *взаимно несовместимыми*, их нельзя применять *одновременно*, для одинаковых условий они дают разные численные значения. Это проявляется в том, что гидроряды, рассчитанные на основе радиационного индекса сухости удовлетворяют условию:

$$R \propto P \quad (7)$$

тогда как аналогичные ряды, рассчитанные на основе коэффициента увлажнения – условию:

$$R \propto P^{1.48} \quad (8)$$

Физическая причина несовместимости (7) и (8) заключается в том, что радиационный индекс сухости в большей степени коррелирует с условиями существования аридных почв, а коэффициент увлажнения – с условиями для гумидных (рис. 2). Тем не менее, этих коэффициентов было вполне

достаточно для решения локальных прикладных задач, тем более, что они носят не абсолютный, а относительный характер, то есть, несмотря на свою количественную форму, эти коэффициенты служат лишь для качественной группировки почвенных ареалов. Но для решения глобальных экологических проблем, когда требуется теоретически рассматривать весь диапазон изменения гидротермических условий, необходимо выработать более глубокий уровень понимания взаимосвязей гидротермических параметров. Возникает задача: найти логические условия совместности этих коэффициентов, обобщить их. Сущность такого обобщения состоит в рассмотрении их совокупно, как единой логически связанной системы, в отыскании условий совместности результатов различных экспериментов. Напрямую это сделать невозможно. Но оказалось, что задачу можно решить, если *переопределить* традиционные коэффициенты следующим образом:

$$K_P = P/E(R, P) \text{ и } K_R = R/E(R, P) \quad (9)$$

Мы сохранили за новыми коэффициентами обозначения традиционных. Путаницы не должно возникнуть, поскольку они никогда в дальнейшем не используются вместе. Заметим, что новые коэффициенты (9) в асимптотических пределах при $E(R, P)_{P \rightarrow \infty}$ и $E(R, P)_{R \rightarrow \infty}$ переходит в традиционные коэффициенты (5) и (6). Тем самым выполняется фундаментальный методологический принцип соответствия, утверждающий, что любая новая научная теория или понятие должны включать старую теорию или понятие как частный асимптотический случай (Эйнштейн, Инфельд, 1965). Теплоту парообразования L мы положили равной 1 поскольку это не вносит в модель принципиальных изменений.

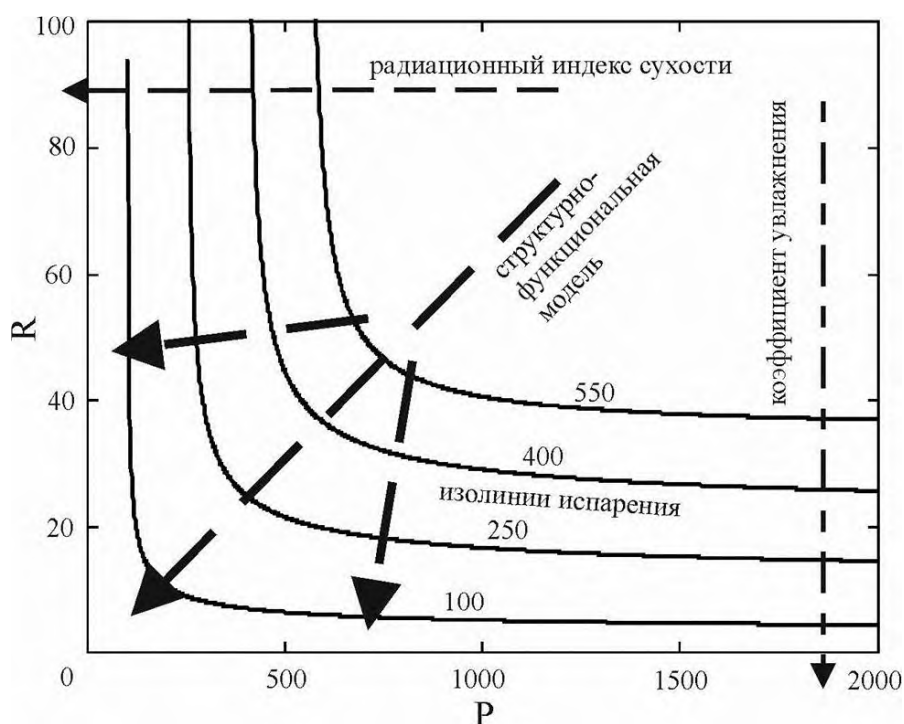


Рисунок 2. Изолинии испарения почвенной влаги. Единицы измерения радиационного баланса (R) и осадков (P) приведены на рис. 1. Тонкими штриховыми стрелками обозначены области действия традиционных гидротермических коэффициентов – радиационного индекса сухости и коэффициента увлажнения. Области подобия для почвенно-климатических ареалов ищутся путём сдвига изолиний либо только по оси осадков, либо только по оси радиационного баланса. Толстыми штриховыми стрелками – область действия рассматриваемой в работе физико-теоретической, структурно-функциональной модели. Для этой модели – глобальное подобие (для всех почвенно-климатических одинаково) определяется сдвигом всех изолиний испарения по диагонали с различными коэффициентами подобия ($\alpha=1,48$; $\beta=1$).

Условия (9), по существу, означает принятие гипотезы глобального подобия – для всех почвенно-климатических ареалов, во всем диапазоне изменения факторов R и P . Тогда как каждый

из традиционных гидротермических коэффициентов в качестве системы референции (системы отсчета) использует только отдельные части *граничных* условий $E(R,P)_{P \rightarrow \infty}$ и $E(R,P)_{R \rightarrow \infty}$ для испарения почвенной влаги E , новые коэффициенты для аналогичной цели используют полную кривую $E(R,P)$, тем самым *опосредованно* учитывая специфику испарения почвенной влаги из всего объема толщи почвенного субстрата (см. рис. 2). Именно это условие является основной причиной отличия результатов, описываемой в настоящей работе структурно-функциональной модели, от гидротермической системы В.Р. Волобуева и группировки почв на основании радиационного индекса сухости М.И. Будыко.

Физический смысл новых коэффициентов можно пояснить, сославшись на аналогию с обоснованием И.П. Герасимовым (1986) новой «парадигмы» – необходимости внести определённое дополнение в учение В.В. Докучаева о факторах почвообразования. Изучение генезиса почв должно идти не путём прямого сопоставления факторов почвообразования со свойствами почв (именно это делают традиционные коэффициенты (5, 6)), а через те почвенные процессы, которые формируют свойства почв под влиянием факторов (условий) почвообразования. Двучленную формулу «свойства почв ← факторы почвообразования» И.П. Герасимов предложил заменить в трехчленную «свойства почв ← процессы почвообразования ← факторы почвообразования» (Добровольский, 2005). Аналогичным образом в описываемой модели новые переменные опосредованно (забегая вперед, скажем – через индексы подобия α и β в определении (11)) учитывают изменение структуры взаимосвязей между переменными E , R , P для субстрата каждой почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рисунке 2 приведены изолинии испарения почвенной влаги $E(R, P)$, которые входят в определение новых коэффициентов (9). Они описываются выведенным нами на основе оцифрованных графических данных В.Р. Волобуева (1974) феноменологическим уравнением:

$$R(P, E) = \frac{E^{2.69} \left(\frac{E}{1000}\right)^{4.91} + 0.98}{(P-E)^{3.44} \left(\frac{E}{1000}\right)^{3.9}} + \left(\frac{E}{50}\right)^{1.48} \quad (10)$$

На этом же рисунке изображены области и характер сдвигов изолиний испарения почвенной влаги задаваемых традиционными (5), (6) (строго горизонтальный или вертикальный сдвиг) и новыми структурно-функциональными коэффициентами (9) (сдвиг по диагонали при преобразованиях аффинного подобия).

Однако преобразованием (9) задача решается не полностью. При выполнении этого условия уравнения, описывающие структуру почвенно-климатических ареалов, могут не стягиваться в единую функциональную зависимость. Этот вопрос мы не будем разбирать подробно в данной работе, отметим только, что следующий шаг в построении новых обобщенных переменных заключается в принятии гипотезы *локальной* однородности для *каждого* почвенно-климатического ареала по отдельности. Это достигается введением однородных функций с индексами подобия α и β :

$$K_R = R/E^\alpha, \quad K_P = P/E^\beta \quad (11)$$

После преобразований (11) почвенно-климатические ареалы стягиваются в практически однозначные криволинейные зависимости, описываемые уравнениями общего вида (рис. 3):

$$K_R = f(K_P) \quad (12)$$

Записывая это уравнение в развернутом виде, получим:

$$K_R(K_P) = \frac{a}{(K_P - b)^c} + d \quad (13)$$

Несмотря на свой феноменологический характер, это уравнение фиксирует очень интересный результат. Оказывается, что добиться максимальной корреляции (средние коэффициенты корреляции для всех почв практически равны 0,99) между новыми переменными K_R и K_P по (13) можно только введя начальные точки отсчета для них – b и d , разные для разных почв (рис. 4). Мы получили этот новый результат, заранее его не предполагая. Сопоставляя его с эмпирически фиксированным, например, в коэффициенте Селянинова, условием подсчёта температур выше 10 °С, можно утверждать, что мы получили новое, обобщенное условие.

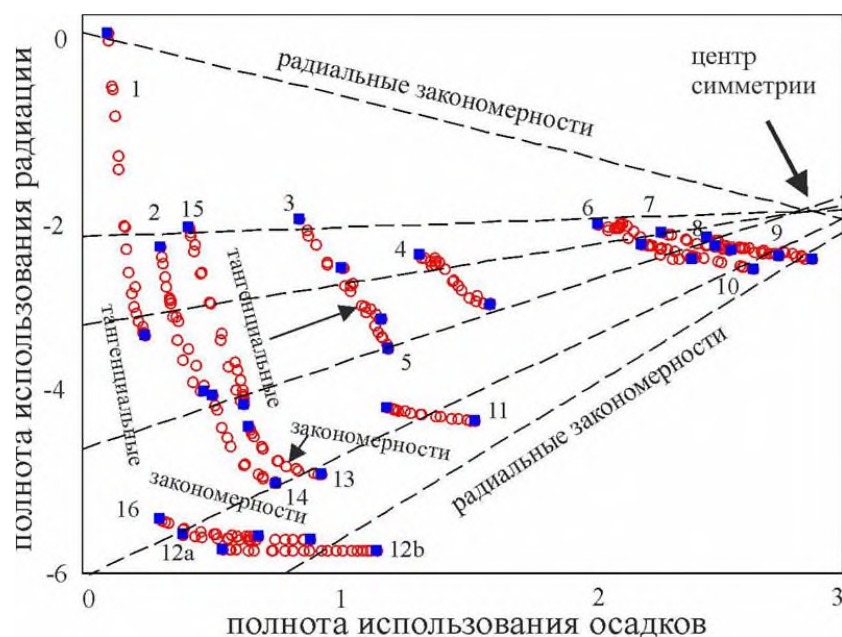


Рисунок 3. Расположение почвенно-климатических ареалов в обобщённых переменных (11), учитывающих свойства почвенного субстрата. Номера у линий соответствуют номерам ареалов, изображенных на рисунке 1. Вместо гидро- и терморядов В.Р. Волобуева выделяются новые – радиальные и тангенциальные закономерности. Тангенциальные составляющие представляют из себя почвенно-климатические ареалы, полученные преобразованием аффинного подобия из исходных данных, изображенных на рисунке 1, с индексами α и β , разными для разных ареалов. Они стягиваются практически в одну нелинейную зависимость, изображенную красными кружками, и описываются уравнениями (12) и (13). Границы ареалов, изображенные синими квадратами, располагаются на радиальных закономерностях, описываются линейными уравнениями и в своей совокупности указывают на существование центра симметрии – новой почвенно-климатической закономерности.

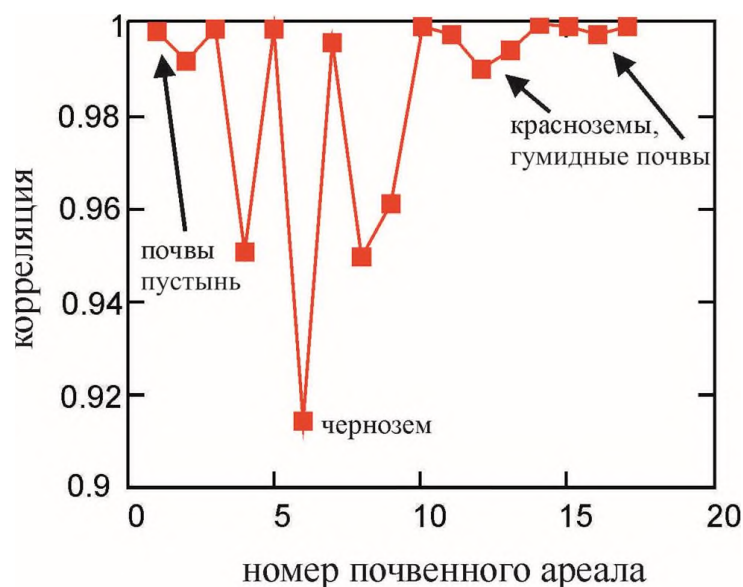


Рисунок 4. Коэффициенты корреляции для каждого из почвенно-климатических ареалов в новых переменных, изображенных на рисунке 3. Все ареалы характеризуются высокими коэффициентами корреляции, что свидетельствует об обоснованности принятой гипотезы однородности $R \sim E^\alpha$ и $P \sim E^\beta$ при математическом описании ареалов. Приведённые результаты интерпретируются таким образом: структуры аридных и гумидных ареалов являются самыми однородными, тогда как структуры ареалов чернозёмных почв характеризуются наибольшей неустойчивостью этих почв к изменению внешних гидротермических условий (наибольшей чувствительностью) и объединяют максимальное количество конкретных почвенных типов.

Для каждой почвы, для каждого вида растительности, при подсчёте корреляций между их изучаемыми характеристиками, количественные отсчеты температуры и влажности почвы необходимо вести не от абстрактного физического «нуля», а от физиологически обоснованной точки отсчета – b и d . Этот вывод перекликается с используемым в различных работах понятием «периода биологической активности» (Тейт, 1991). Напомним, что продолжительность периода биологической активности определяется как длительность периода, в течение которого температура воздуха устойчиво превышает 10° по Цельсию (по физическому смыслу близко к понятию, отражаемому в нашей модели коэффициентом d), а запас продуктивной влаги составляет не менее 1–2% (близко к понятию, отражаемому коэффициентом b).

Уравнение (13) можно назвать уравнением состояния почв, поскольку оно связывает между собой параметры, характеризующие внутренние свойства почвенного субстрата (a , c), внешние условия формирования почв (R , P), граничные условия (b , d) и специфическую реакцию *каждого отдельного* почвенно-климатического ареала на внешние факторы (α , β). Очевидно, что оно учитывает гораздо более богатые и тонкие взаимосвязи между почвенно-климатическими характеристиками, чем традиционные гидротермические коэффициенты. Приведём рассчитанные нами коэффициенты корреляций, характеризующие эти взаимосвязи для всех ареалов, изображенных на рис. 1:

$$\begin{aligned} \text{corr}(b, d) &= 0.786; \text{corr}(b, a) = 0.712; \text{corr}(b, c) = -0.769; \\ \text{corr}(d, c) &= -0.708; \text{corr}(a, c) = -0.709 \end{aligned} \quad (14)$$

Видно, что они достаточно высоки, особенно для нормативов, традиционных для почвоведения, и, по существу, утверждают необходимость учитывать одновременно все факторы – внешние и внутренние. Следует критически отнестись к высоким значениям этих корреляций, так как их значения почти целиком зависят от принятой модели испарения почвенной влаги. В модели Волобуева, рассмотренной в настоящей работе, это уравнение (10). Для ранее рассмотренной нами модели Будыко (Чичулин, 2020) эти коэффициенты близки к 1, но с нашей точки зрения, это свидетельствует не о тесной взаимосвязи действующих факторов, а о слишком грубой идеализации, принятой в этой модели. Поэтому на сегодняшний день основная проблема на пути введения структурно-функциональной модели в практику почвоведов, это как можно более точное экспериментальное изучение функции $E(R, P)$.

ВЫВОДЫ

1. «Картины мира», подразумеваемые традиционными гидротермическими коэффициентами, страдают односторонностью. Эти коэффициенты рассматривают *все* почвы как количественно подобные друг другу, причём радиационный индекс сухости Будыко за образец сравнения берёт аридные почвы (пески пустынь), а коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова – гумидные (краснозёмы). Причина такой односторонности заключается в том, что традиционные коэффициенты учитывают только климатические характеристики. Они не учитывают *реакцию почвенного субстрата* на внешние факторы. Математически это выражается в том, что системы координат, в которых применяются эти коэффициенты, являются декартовыми.

Эту проблему решает физико-теоретическая по форме и структурно-функциональная по сути модель, описанная в настоящей работе. «Картина мира», на которую она опирается, учитывает как количественное подобие почв, так и их качественное отличие друг от друга. При этом каждая почва обладает (разные почвы в разной степени) признаками как аридных, так и гумидных почв. По аналогии с квантово-волновым дуализмом можно говорить, что все почвы в модели подчиняются аридно-гумидному дуализму. Система координат для структурно-функциональной модели образована коэффициентами полноты использования почвами радиационного баланса и осадков, рассчитываемых их гиперболической функцией испарения почвенной влаги.

Законы аффинного подобия определяют класс почвенных систем, для которых уравнение состояния имеет вид (13). Замечательно, что в этот класс систем попадают все почвенно-климатические ареалы, для которых индивидуальные свойства различаются очень сильно – от аридных до гумидных. Следовательно, можно утверждать, что законы аффинного подобия представляют собой проявление некоторого глубокого свойства почвообразовательных процессов.

Специфика каждого почвообразовательного процесса (почвенного субстрата) опосредованно учитывается в уравнении состояния почв (13) через два масштабных фактора E^α и E^β . После определения новых, структурно-функциональных переменных (с точки зрения теории

подобия они называются обобщенными переменными), феноменологическое уравнение состояния становится одинаковым (ковариантным) для всех почв с учётом граничных условий b и d , а также внутренних свойств почвенного субстрата α и β .

2. Физический смысл новых переменных (11) заключается в том, что они представляют собой полноту использования конкретной почвой поступающих радиационной энергии и осадков. Разработанная модель, учитывая более полную, по сравнению с традиционными гидротермическими коэффициентами, связь испарения почвенной влаги E (R , P) с внешними факторами – радиационным балансом R и осадками P , устанавливает новые взаимосвязи между параметрами, характеризующими внешние климатические условия формирования почв и внутренние свойства почвенного субстрата. Коэффициенты корреляций этих взаимосвязей лежат в диапазоне от 0,7 до 0,8 (14).

3. Физико-теоретическая модель предсказывает новые результаты. Заменой переменных (5, 6) на (11) она переводит исходные почвенно-климатические ареалы, изображенные на рисунке 1, в результирующие ареалы, изображенные на рисунке 3. Видно, что в новом изображении каждый почвенный ареал не только стягивается в кривую, описываемую универсальным феноменологическим уравнением (13), но и все вместе они закономерно группируются, образуя новые структурно-функциональные закономерности – радиальные, тангенциальные и центр симметрии. Кроме этого, через коэффициент корреляции оказывается доступна определённая информация и о внутренней структуре каждого почвенно-климатического ареала.

4. Для современного периода развития генетического почвоведения существенно не просто найти эмпирические законы взаимосвязи почвенных феноменов в соответствии с «парадигмой» И.П. Герасимова – факторы → процессы → свойства, но крайне важно найти *законы перехода* от законов известных (синонимы – простых, физических) к законам более глубоким и общим (синоним – почвенным). Сделать это можно только развивая иерархию математических моделей на основе физико-теоретических методов и сопоставляя их с существующими эмпирическими методами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Со времен работ В.В. Докучаева, потребность в *интеграции* знаний о факторах почвообразования, *взаимодействующих* как между собой, так и с почвенным покровом, считается основным мотивом развития генетического почвоведения как фундаментальной науки. Однако удовлетворение этой потребности во многих случаях ограничивают лишь чисто внешним перечислением различных результатов, которые при этом сохраняют свою внутреннюю концептуальную обособленность (традиционные гидротермические коэффициенты). Не ставя под сомнение методологическую и методическую оправданность такой формы интеграции знаний как промежуточной стадии развития почвоведения, подчеркнем, что при этом достигается лишь организационное, но не концептуальное единство. Вариант концептуальной интеграции знаний, представленный в настоящей работе, который можно определить как объединение физико-теоретического и системного (в форме теории аффинного подобия) подходов, более полно и последовательно реализует основную идею В.В. Докучаева о взаимодействующих факторах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор признателен к.б.н. Чумбаеву А.С. и Филимоновой Д.А. за техническую помощь в подготовке статьи к печати.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 121031700316-9).

ЛИТЕРАТУРА

- Акчурин И.А. Единство естественно-научного знания. Москва: Наука, 1974. 208 с.
- Возможности современных и будущих фундаментальных исследований в почвоведении. Москва: ГЕОС, 2000. 138 с.
- Волобуев В.Р. Почвы и климат. Баку: Изд. Акад. Наук Азерб. ССР, 1953. 320 с.
- Волобуев В.Р. Система почв мира. Баку: ЭЛМ, 1973. 308 с.

- Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования. Москва: Наука, 1974. 128 с.
- Герасимов И.П. Учение В. В. Докучаева и современность. Москва: Мысль, 1986. 124 с.
- Гухман А.А. Введение в теорию подобия. Москва: Высшая школа, 1973. 296 с.
- Губарев Д.И., Левицкая Н.Г., Деревягин С.С. Влияние изменений климата на деградацию почв в аридных зонах Поволжья // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28. № 1 (90). С. 20–27. DOI: <https://doi.org/10.24412/1993-3916-2022-1-20-27>.
- Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. Москва: Изд-во МГУ, 2004, 460 с.
- Добровольский Г.В. Философские аспекты генетического почвоведения. Избранные труды по почвоведению Т.1. Общие вопросы теории и развития почвоведения. Москва: Изд-во МГУ, 2005. С. 66–83.
- Дышлевый П.С. Эволюция «принципов описания» в физическом познании. Москва: Наука, 1976. С. 91–117.
- Иенни Г. Факторы почвообразования. Перевод с английского. Москва: Гос. изд-во иностранной литературы, 1948. 348 с.
- Илларионов С.В. Дискуссия Эйнштейна и Бора. Эйнштейн и философские проблемы физики XX века. Москва: Наука, 1979. С. 465–483.
- Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Самохвалова Л.С., Колесников С.И. Влияние аридности и континентальности климата на биологические свойства почв в трансекте Ростов-на-Дону – Астрахань // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015. № 5. С. 46–53. DOI: <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-5-46-53>.
- Овчинников Н.Ф. Тенденция к единству науки. Москва: Наука, 1988. 272 с.
- Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. Москва: Наука, 1989. 568 с.
- Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. Москва: Мысль, 1990. 637 с.
- Соколов Д.А. Диверсификация почвообразования на отвалах угольных месторождений Сибири. Автореферат диссертации ... д-р биол. наук. Новосибирск, 2019. 45 с.
- Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: «Гуманитарные технологии», 2004. 288 с.
- Тейт Р.Л.Ш. Органическое вещество почвы. Биологические и экологические аспекты. Пер. с англ. Москва: Мир, 1991. 398 с.
- Фролов И. Т. Избранные труды. Т. 1: Жизнь и познание. Москва: Наука, 2002. 463 с.
- Чичулин А.В. Методологический анализ понятийного аппарата в экологии почв // Почвы и окружающая среда. 2019. Т. 2. № 3. е89. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v2i3.89>.
- Чичулин А.В. Физико-теоретические основы мезоскопического подхода к изучению почвенно-климатических закономерностей // Почвы и окружающая среда. 2020. Т. 3. № 2. е116. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v3i2.116>.
- Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. Развитие идей от первоначальных понятий до теории относительности и квантов. Перевод с английского. Москва: Наука, 1965. 328 с.

Поступила в редакцию 13.11.2023

Принята 30.12.2023

Опубликована 30.12.2023

Сведения об авторе:

Чичулин Александр Валентинович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); chichulin@issa-siberia.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



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

THE POSSIBILITY OF PHYSICO-THEORETICAL METHODS IN SOIL ECOLOGY (USING THE MODELLING OF SOIL-CLIMATIC AREAS STRUCTURE)

© 2023 A. V. Chichulin 

*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: chichulin@issa-siberia.ru*

The aim of the study was to consider the possibilities of up-to-date physical and theoretical methods for solving problems of soil ecology related to the mathematical description of the regularities of the systemic organization of soil-climatic areas according to hydrothermal factors of the environment.

Methods. Methodological analysis of the idealizations, hypotheses and concepts was used alongside with mathematical modeling.

Results. Methodological analysis of the assumptions underlying the quantitative determination of the two traditional hydrothermal coefficients (the radiation index of dryness, R/LP , and the moisture coefficient, P/E_0) justifies their attribution to the marginal (boundary) soil conditions, determined mainly by climatic characteristics. From the physico-theoretical (quantitative) point of view, this is one of the reasons for their limited applicability when considering soil and ecological problems related to the quantitative description of the relationship between the types of soil thermal and water regimes and the general climatic patterns of their distribution on the earth's surface.

Based on the fundamental principle of affine similarity (a variety of the general principle of symmetry), the article suggests the new generalized variables R/E^α and P/E^β . In these variables soil moisture evaporation $E(R,P)$, determined for the entire range of the average long-term climatic characteristics of R (radiation balance) and P (precipitation), acts as a general reference system. The specificity of the hydrothermal response of the soil substrate is determined by the corresponding structural and functional indices of similarity α and β . The physical meaning of the new variables is that they characterize the totality of radiation energy (α) and precipitation (β) use by specific soil-forming process.

Conclusions. A mathematical model, based on the functional association between the generalized variables, enables predicting new structural and functional regularities (radial and tangential) in the system of soil-climatic areas. In comparison with the climatic hydro- and thermoserries proposed by V. R. Volobuev, these regularities better describe the experimental data.

Key words: symmetry; system organization of areas; soil similarity indices; discrete soil spectrum; arid-humid dualism of soils.

How to cite: Chichulin A. V. The possibility of physico-theoretical methods in soil ecology (the case of modeling soil-climatic areas structure) // *Journal of Soils and Environment*. 2023. 6(4). e229. DOI: [10.31251/pos.v6i4.229](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.229). (in Russian with English abstract).

ACKNOWLEDGEMENTS

The author is grateful to Ph.D. Chumbaev A.S. and Filimonova D.A. for technical assistance in preparing the article for publication

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No. 121031700316-9.

REFERENCES

- Akchurin I.A. Unity of Natural Science Knowledge. Moscow, Nauka Publ., 1974. 208 p. (in Russian).
Possibilities of current and future fundamental research in soil science. Moscow: GEOS Publ., 2000. 138 p. (in Russian).
Volobuev V.R. Soils and Climate. Baku: Acad. Sci. Azeri. SSR, 1953. 320 p. (in Russian).
Volobuev V.R. Soil system of the world. Baku: ELM, 1973. 308 p. (in Russian).
Volobuev V.R. Introduction to the Energy of Soil Formation. Moscow: Nauka Publ., 1974. 128 p. (in Russian).
Gerasimov I.P. Teaching of V.V. Dokuchaev and modernity. Moscow: Mysl Publ., 1986. 124 p. (in Russian).
Gukhman A.A. Introduction to the Similarity Theory. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1973. 296 p. (in Russian).

- Gubarev D.I., Levitskaya N.G., Derevyagin S.S. Influence of climate changes on soil degradation in arid zones of the Volga region. *Arid Ecosystems*. 2022. Vol. 12. No. 1. P. 15–21. DOI: <https://doi.org/10.1134/S2079096122010061>.
- Dobrovolskiy G.V., Urusevskaya I.S. *Geography of Soils*. Moscow: MSU Publ., 2004. 460 p. (in Russian).
- Dobrovolskii G.V. Philosophical aspects of genetic soil science. *Selected Works on Soil Science Vol.1. General Issues of Theory and Development of Soil Science*. Moscow: Moscow University Publ., 2005. P. 66–83. (in Russian).
- Dyshlevoy P.S. Evolution of "Principles of Description" in Physical Cognition. Moscow: Nauka Publ., 1976. P. 91–117. (in Russian).
- Jenny G. Factors of soil formation. Translated from English. Moscow: Gos. Foreign Literature Publishing House, 1948. 348 p. (in Russian).
- Illarionov S.V. Discussion of Einstein and Bohr. *Einstein and the Philosophical Problems of Physics in the Twentieth Century*. Moscow: Nauka Publ., 1979. P. 465–483. (in Russian).
- Kazeev K.Sh., Kozun Yu.S., Samokhvalova L.S., Kolesnikov S.I. Influence of Aridity and Continentality of Climate on Soil Biological Properties in Transect of Rostov-on-Don – Astrakhan. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2015. No. 5. P. 46–53. DOI: <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-5-46-53>. (in Russian).
- Ovchinnikov N.F. *Tendency to the Unity of Science*. Moscow: Nauka Publ., 1988. 272 p. (in Russian).
- Pais A. *Scientific Activity and Life of Albert Einstein*. Moscow: Nauka Publ., 1989. 568 p. (in Russian).
- Reimers N.F. *Natural Resource Management*. Dictionary-reference book. Moscow: Mysl Publ., 1990. 637 p. (in Russian).
- Sokolov D.A. Diversification of Soil Formation on Dumps of Coal Deposits in Siberia. *Abstract of Dissertation ... Dr. of Biol. Sci.* Novosibirsk, 2019. 45 p. (in Russian).
- Sokolov I.A. *Theoretical Problems of Genetic Soil Science*. Novosibirsk: Humanitarian Technologies, 2004. 288 p. (in Russian).
- Tate R.L.III. *Soil organic matter. Biological and ecological effects*. N.Y. Chichester: John Wiley & Sons, 1987. 291 p.
- Frolov I.T. *Selected works. Vol.1: Life and Knowledge*. Moscow: Nauka Publ., 2002. 463 p. (in Russian).
- Chichulin A.V. Methodological analysis of the conceptual apparatus in the ecology of soils. *The Journal of Soils and Environment*. 2019. Vol. 2. No. 3. e89. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v2i3.89>. (in Russian).
- Chichulin A. V. Physical and theoretical foundations of mezosopic approach to the study of soil and climatic patterns. *The Journal of Soils and Environment*. 2020. Vol. 3. No. 2. e116. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v3i2.116>. (in Russian).
- Einstein A., Infeld L. *Evolution of Physics. The development of ideas from initial concepts to the theory of relativity and quanta*. Translated from English. Moscow: Nauka Publ., 1965. 328 p. (in Russian).

Received 13 November 2023

Accepted 30 December 2023

Published 30 December 2023

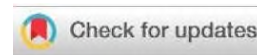
About the author:

Chichulin Alexander Valentinovich – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); chichulin@issa-siberia.ru

The author read and approved the final manuscript



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



ВАРЬИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЁМОВ ПРИОБСКОГО ПЛАТО В ГРАНИЦАХ КЛЮЧЕВОГО УЧАСТКА «ВОЛОДАРКА» (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)

© 2023 Е. Г. Захарова

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2,

г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: zakharova@issa-siberia.ru

Цель исследования – оценить пространственную неоднородность физико-химических свойств чернозёмов Приобского плато в границах ключевого участка «Володарка» и объяснить причины, обусловившие их варьирование.

Место и время проведения. Степная зона северо-восточной части Приобского плато в границах ключевого участка «Володарка» (52° 41-42' с.ш. и 83° 38' в.д.); обсуждаются результаты многолетних исследований (2007–2019 гг.).

Объект исследования. Чернозёмы, формирующиеся под сухостепной растительностью на лёссовых отложениях, а также на разных горизонтах палеопочв среднелейстоценового возраста, выходящих к поверхности.

Методы. Почвенные образцы отбирали до глубины 40 см сплошной колонкой с шагом от 2 до 10 см, учитывая видимые границы генетических горизонтов. Содержание органического углерода определяли методом бихроматного окисления.

Основные результаты. Изученные свойства чернозёмов, функционирующих в настоящее время в одних и тех же экологических условиях ключевого участка, расположенного на территории Алтайского края, имеют существенное варьирование характеристик, что подтверждается среднестатистическими величинами показателей и коэффициентами их варьирования. Наибольшие колебания всех показателей во всех разрезах наблюдаются, как правило, на глубине 10–20 см или 20–40 см, тогда как на глубине 0–10 см они изменяются менее существенно. Выявлено, что степень гумификации и запасы гумуса, а также запасы азота и обогащенность им гумусовых веществ в 40-см толще характеризуются как существенные и отличаются наибольшей амплитудой на глубине 20–40 см.

Заключение. Неоднородность даже в пределах 40-см толщи профилей основных свойств чернозёмов, расположенных в одних и тех же природных условиях Приобского плато в границах ключевого участка «Володарка», обусловлена присутствием в них признаков древнего педогенеза, не отвечающих сочетанию современных условий почвообразования сухостепного типа. Это подтверждается наличием и протяженностью в береговых обнажениях реки Обь четко просматриваемых среднелейстоценовых педокомплексов, разные горизонты которых выходят к поверхности и перекрываются продуктами современного почвообразования разной мощности. Сочетание неоднородностей почвенных профилей по свойствам, положению в береговом обнажении и их визуальной дифференциации позволило заключить, что причиной варьирования признаков состава и свойств изученных почв послужила история развития данной территории, которая обусловила выход палеопочв к поверхности. Знание неоднородности разных свойств почвенных профилей позволяет использовать изученные признаки их состава и свойств при мониторинге состояния современных почв, обосновании прогнозов их поведения при изменении экологических условий функционирования, а также при выявлении признаков древнего педогенеза с целью реконструкции палеоприродной среды.

Ключевые слова: чернозёмы; Приобское плато; варьирование почвенных свойств; палеопочвы.

Цитирование: Захарова Е.Г. Варьирование свойств чернозёмов Приобского плато в границах ключевого участка «Володарка» (Алтайский край, Россия) // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 4. e248. DOI: [10.31251/pos.v6i4.248](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.248).

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывная изменчивость свойств почв, как во времени, так и в пространстве, уже давно является общепризнанной (Качинский, 1930; Дмитриев, 1995; Самсонова, 2003; 2008; Бандыч, 2016), но причины варьирования свойств почв, распространенных на разных географических территориях с определенными наборами и сочетанием факторов и условий почвообразования, могут быть неоднозначными.

В научной литературе имеется немало работ как российских, так и зарубежных авторов, посвященных изучению варьирования разных свойств почв (Литвинович, 2007; Мудрых, 2018; Белик и др., 2020; Coşkun et al., 2016; Jiao и et al., 2020; Zhou et al., 2023; и др.), в том числе, и в Западной Сибири (Рассыпнов, 1977; Татаринцев, 1993; Михеева, 1997; 2001; Татаринцев, 1998; Крупкин, Топтыгин, 1999; Спицына, Бахарев, 2010; Бурлакова, 2022; и др.). Однако большинство материалов, касающихся сибирского региона, относится к сельскохозяйственным землям, их пахотным и (или) подпахотным горизонтам, тогда как варьирование свойств целинных вариантов почв Западной Сибири, изучено недостаточно. До сих пор окончательно не сформулированы закономерности изменчивости (и особенно причины) в пространстве и во времени, зависящие от многих внешних и внутренних факторов, поэтому проблема изучения неоднородности почв и почвенных свойств, получения новых материалов для территорий с разной историей происхождения и разными характеристиками имеет большое значение (Савич и др., 2021).

Варьирование свойств почв может наблюдаться даже на небольших участках территории (Козловский, 1970; Фридланд, 1970; Денисова, 1974; Correa, Klaus, 1989), отражаясь в морфологии почв или в их физико-химических и химических свойствах. Часто неоднородность свойств почв выявляется только по аналитическим данным (Махонина, 2004). Последние особенно важны, так как отражают кратковременные изменения природной среды, не сопоставимые по длительности с характерным временем формирования основных признаков почв (Арманд, Таргульян, 1974). Особенно важно выявлять в почвенных профилях свойства, не отвечающие современным природным факторам почвообразования, то есть следы палеопедогенеза (Красильников, Таргульян, 2019). Полигенетичный характер большинства почв делает необходимым изучение варьирования их свойств, которые все чаще используются при реконструкции палеоприродной среды и обосновании прогнозов возможного изменения компонентов экосистем, в том числе почв. В последнее время, в связи с проблемой глобального изменения климата, особое значение приобрело изучение варьирования содержания и распределения общего органического углерода и азота почвы, которые, во-первых, являясь основными элементами глобальных циклов, могут влиять на концентрацию парниковых газов в атмосфере и, во-вторых, играть решающую роль в поддержании функций экосистем (Wang et al., 2021).

В связи с возрастающей интенсивностью антропогенной нагрузки неоднородность почв становится все более актуальным предметом научных исследований (Жуков, Задорожная, 2017). Черноземы Приобского плато, составляя основной фонд пахотных земель Алтайского края, испытывают колоссальную антропогенную нагрузку, связанную со значительной распаханностью территории и длительным использованием почв в составе пахотных угодий (Бурлакова, Морковкин, 2005; Морковкин, 2012; Морковкин и др., 2013; Максимова, 2017; и др.). Изучение варьирования свойств почв играет важную роль в сельском хозяйстве, так как разные участки земли могут потребовать различных методов обработки и удобрений, чтобы достичь оптимальных результатов при выращивании сельскохозяйственных культур. Точное изучение и понимание варьирования свойств почв помогает оптимизировать использование земель и увеличить урожайность (Личман, Марченко, 2011; Морев, 2017; Scharf et al., 2005; Daughtry et al., 2005).

Для более точного изучения возможностей изменения свойств черноземов в связи с антропогенными нагрузками требуется основа, которая бы позволяла проводить сравнение почвенных свойств и их мониторинга с целинными вариантами почв. На территории Приобского плато сохранились лишь отдельные участки с такими почвами, поэтому нами проведено изучение изменчивости свойств целинных черноземов на одной из типичных территорий.

РАЙОН, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследования расположен на юге Западной Сибири, в пределах северо-восточной части Приобского плато, в непосредственной близости от левого берега реки Обь, где выделен ключевой участок «Володарка» (52° 41-42' с.ш. и 83° 38' в.д.). Он находится на восточной окраине Алейско-Порозихинского увала в 3–4 км южнее села Володарка. Территория ключевого участка представляет собой приподнятую слабоволнистую пологоувалистую равнину, расчлененную параллельными ложбинами древнего стока на ряд вытянутых с юго-запада на северо-восток водораздельных увалов с террасированными склонами, которые в верхней части имеют крутизну от 1,5 до 8–10° (Почвы..., 1959; Скрипко, 2015) (рис. 1).

Почвообразование на данной территории протекает в условиях континентального климата с недостаточным увлажнением (Энциклопедия..., 1995).

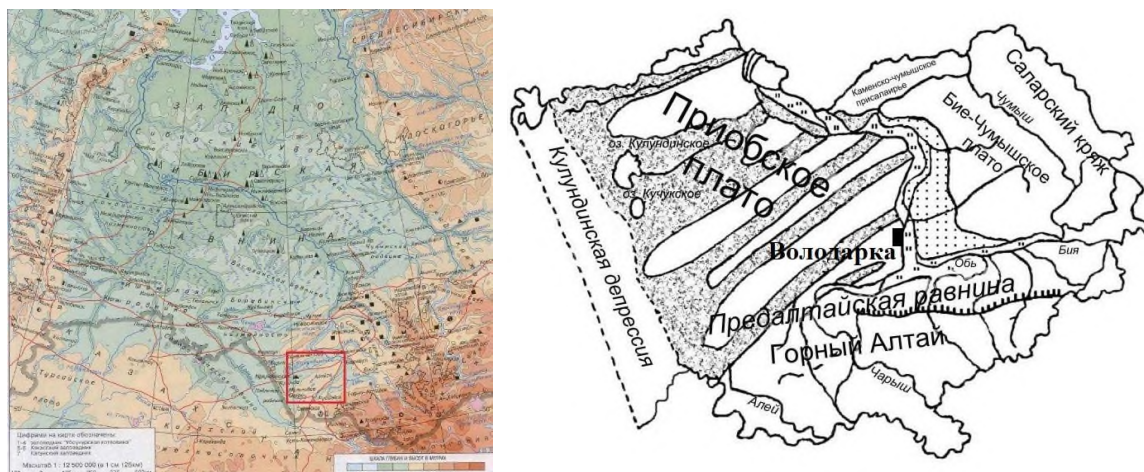


Рисунок 1. Географическое расположение ключевого участка «Володарка».

Ключевой участок «Володарка» шириной 300–400 м и протяженностью 2 км расположен вдоль берега реки Обь на высоте 30–40 м над урезом воды (рис. 2). Он характеризуется большой пестротой растительного покрова. Растительные ассоциации здесь могут меняться с типчаково-полынной, например, на тонконогово-полынную или разнотравно-злаковую. Почвы представлены чернозёмами обыкновенными и южными; в данной статье нами, в основном, обсуждается изменчивость ряда физико-химических признаков последних.



Рисунок 2. Вид территорий расположения объектов исследования на ключевом участке «Володарка» со стороны берегового обнажения р. Обь (фото автора).

Почвы. Вышеописанный ключевой участок был выбран с учетом комплексных многолетних исследований данной территории. В 2007 году в её границах было заложено 12 разрезов чернозёмов южных, вскрывающих верхнюю 40-см толщу, в местах с контрастными морфологическими свойствами почв. Из них было рассмотрено 11 разрезов, почвенные образцы для которых отбирали подробно сплошной колонкой с учётом визуальных границ генетических горизонтов каждые 5–10 см и (или) менее, согласно рекомендациям (Дергачева и др., 2002). Проводили их сравнение по основным аналитическим характеристикам и изменению с глубиной в пределах вскрытой толщи почв, а также по количественным характеристикам почвенных толщ: 0–10 см, 10–20 см и 20–40 см, в пределах каждой из которых отбирали, как правило, по два образца с учётом визуальных границ горизонтов.

Выявляли варьирование имеющих большое значение для плодородия почв C и N, а также состояние этих почв по другим физико-химическим свойствам: магнитной восприимчивости ($\chi \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/Г), $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, CaCO_3 , обменным основаниям – Ca^{2+} и Mg^{2+} , содержанию подвижных гумусовых веществ и соотношению в последних гуминовых кислот и фульвокислот. Рассмотрена также изменчивость содержания и соотношения основных групп гумусовых веществ в 40-см толще представителей чернозёмов, имеющих в пределах рассматриваемых мощностей включения разных горизонтов палеопочв, что позволяет учитывать их как для проведения реконструкции палеоприродной среды, так и обоснования прогнозов возможного изменения почв во времени (Дергачева, 2018).

Основные свойства почв изучали с использованием общепринятых в российском почвоведении методик исследования почв (Петербургский, 1958; Аринушкина, 1970; Воробьева, 1998): общий азот определен по Гинзбург; CO₂ карбонатов – по Шейблеру (Голубеву), рН водной вытяжки с помощью рН-метра АНИОН 4100, Россия (Аринушкина, 1970); общее содержание органического углерода (C_{орг}) – по Тюрину, фракционный состав гумуса – согласно методике В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (Методические указания..., 1975). Результаты, полученные по этой методике, как показала на большом аналитическом материале Н.В. Вашукевич (1996), являются репрезентативными. Данная модификация метода дает возможность определять и сравнивать почвы по характеристикам групп гумусовых веществ и их соотношению.

Измерение удельной магнитной восприимчивости почв проводили на приборе Kappabridge KLY-2 в лаборатории магнитных методов Института геофизики СО РАН под руководством З.Н. Гнибиденко. Образцы для определения предварительно просушивали на воздухе, растирали и пропускали через сито в 1 мм. Измерения МВ проводили в навеске 10 г и пересчитывали на 1 г массы воздушно-сухой почвы.

Математическая обработка полученных результатов проведена с использованием программ Microsoft Excel и STATISTICA 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Материалы исследования по варьированию свойств почв представляют не только исключительно научный, но и практический интерес, так как могут быть использованы при мониторинге почв и обосновании прогнозов их поведения в изменяющихся экологических условиях функционирования, а также при адаптации методов сельскохозяйственного их использования и охраны природы к конкретным характеристикам почвы на разных участках Приобского плато.

Исследование территории ключевого участка показало существенное варьирование морфологических свойств почв по ряду признаков. Мощность гумусированной толщи (горизонты А+АВ) колеблется от 3 до 52 см (табл. 1), её окраска может меняться с глубиной от тёмно-серой до буровато-серой и палевой с бурыми и палевыми пятнами.

Таблица 1

Морфолого-генетическая характеристика чернозёмов южных на ключевом участке «Володарка»

№ разреза	Мощность горизонта А+АВ, см	Структура		Глубина вскипания от НСl, см	Глубина максимума CaCO ₃ , см
		Горизонта А	Горизонта АВ		
1-07	32	комковатый	комковато-ореховатый	с поверхности	41–48
2-07	45	зернистый	мелко-ореховато-пылеватый, к низу непрочно-плитчатый	с поверхности	20–34
3-07	12	комковато-зернистый	комковато-ореховатый	с поверхности	40–47
4-07	3	зернистый	нет горизонта	с поверхности	5–24 32–40
6-07	25	комковато-зернистый	нет горизонта	с поверхности	29–41
7-07	52	непрочнореховатый	нет горизонта	с поверхности	56–62
8-07	48	комковато-ореховатый	нет горизонта	с поверхности	40–50
9-07	41	комковато-зернистый	комковато-зернистый	с поверхности	43–53
10-07	[A] _{Ca} – 14(30)	комковато-зернистый	нет горизонта АВ, есть [A] _{Ca} – зернистый	с поверхности	32–36
11-07	6	комковато-ореховатый	нет горизонта	с поверхности	8–15
12-07	[A ₁] ⁺ + [A ₁] ^{''} – 40(55)	комковато-зернистый	нет горизонта А+АВ, есть [A ₁] ⁺ + [A ₁] ^{''} – комковато зернистый	с поверхности	47–57

Глубина максимального вскипания от карбонатов варьирует от 5 до 62 см. Наблюдаются также различия в плотности, структуре горизонтов и форме карбонатов (Палеопочвы..., 2012). Кроме того, почвы могут отличаться по набору горизонтов, например, в разрезах 4-07, 6-07, 7-07, 8-07, 11-07 отсутствует горизонт АВ, а в разрезах 10-07 и 12-07 ниже горизонта А находятся горизонты палеопочв ($[A]_{Ca}$ и $[A_1'+A_1'']$ соответственно).

Выявленное варьирование почв по морфологическим признакам еще больше проявляется в аналитических характеристиках, таких как содержание общего органического углерода и азота, максимальное содержание $CaCO_3$, реакция среды, магнитная восприимчивость, обменные основания и подвижные гумусовые вещества.

Наиболее важным диагностическим признаком в почвах является содержание **общего органического углерода** ($C_{орг}$), распределение которого по горизонтам почвенного профиля специфично для типа почвы и обуславливает не только ее морфологические признаки, но также физико-химические и химические свойства (Завалин и др., 2018).

В исследованных почвах $C_{орг}$ варьирует в широких пределах – от 0,1 до 6,0% (рис. 3). Наибольшее его количество в верхней 10-см толще наблюдается в разрезе 2-07, наименьшее – в разрезе 4-07 (6,1 и 1,4%, соответственно), то есть в остальных изученных почвах оно лежит в этих пределах. Следующие 20 см почвенных профилей характеризуются значительно большей амплитудой колебаний содержания этого почвенного компонента (от 0,2 до 3,7%), а на глубине 20–40 см эта величина изменяется в пределах 0,1–2,8%.

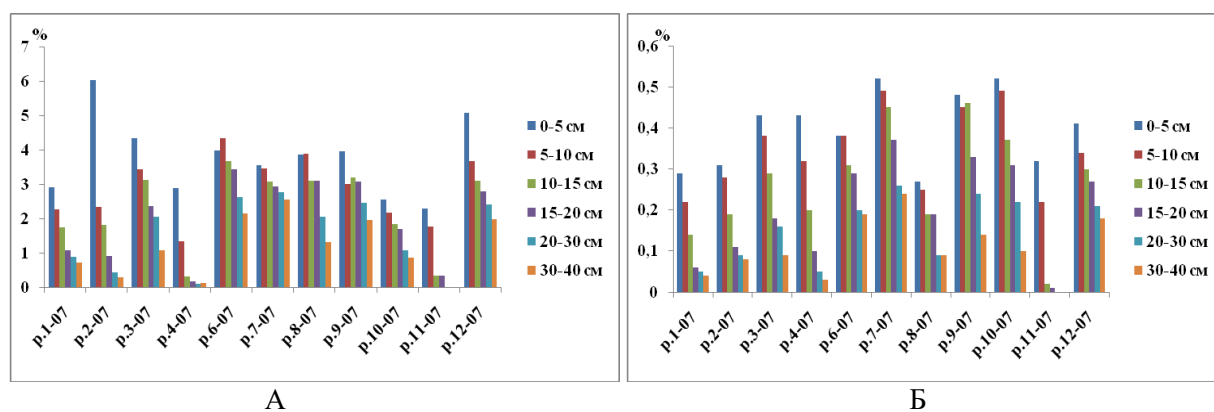


Рисунок 3. Изменчивость содержания общего органического углерода (А) и общего азота (Б) в верхней 40-см толще почв.

Распределение $C_{орг}$ с глубиной выявляет ещё больше различий в накоплении углерода в разных почвах, что иллюстрируется характером внутрипрофильного изменения органического углерода при подробном (каждые 2–5, но не более 10 см, с учетом морфологических границ горизонтов) отборе почвенных образцов (рис. 4). Так, в ряде разрезов (2-07, 4-07, 11-07) наблюдается резко убывающий характер распределения общего органического углерода. Например, в разрезе 4-07 в целом невысокое содержание $C_{орг}$ в горизонте A_d (2,9%) резко сокращается книзу и на глубине 5–16 см составляет не более 0,3%. Аналогичное распределение $C_{орг}$ наблюдается в разрезе 2-07, где резкое снижение выявлено с глубины 20–28 см, а также в разрезе 11-07 (с глубины 8–15 см), т.е. в средней части профиля. В то же время, в остальных разрезах содержание общего органического углерода вниз по профилю уменьшается постепенно. В большинстве из них (р. 3-07, 6-07–9-07) высокогумусированной является 40-см толща почвы, где содержание этого почвенного компонента не снижается менее 1,0%, в редких случаях составляя более 2,5%. В целом, на глубине 20–40 см эта величина не выходит за рамки значений от 0,11 до 2,7%.

Таким образом, изученные почвы существенно различаются не только по содержанию общего органического углерода, но также по характеру его распределения внутри профиля: амплитуда его колебаний варьирует с глубиной (см. рис. 3, 4).

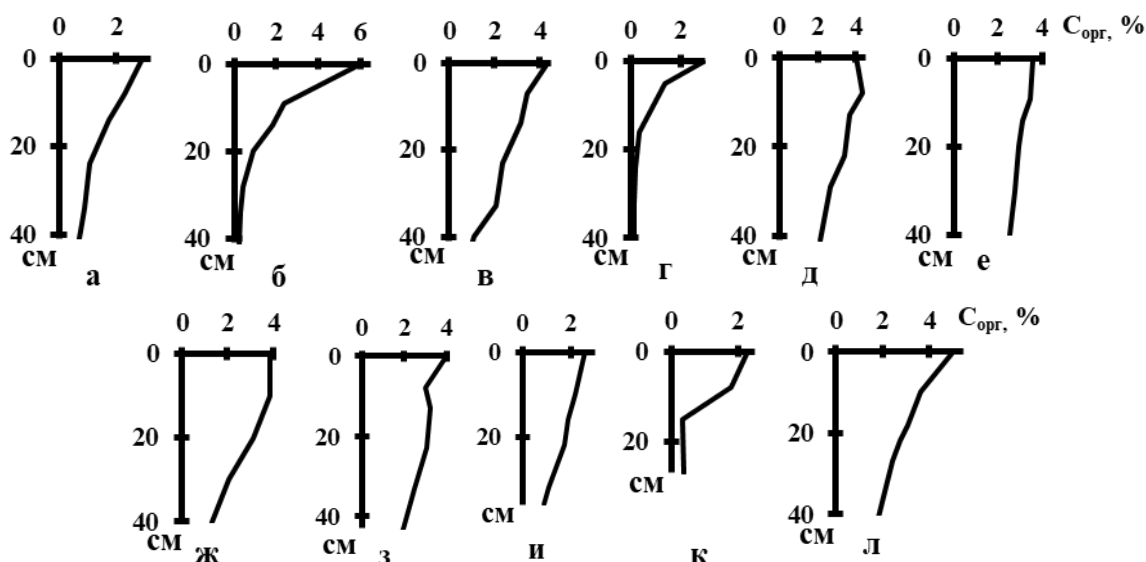


Рисунок 4. Изменение с глубиной содержания общего органического углерода ($C_{орг}$), разрезы: а – 1-07; б – 2-07; в – 3-07; г – 4-07; д – 6-07; е – 7-07; ж – 8-07; з – 9-07; и – 10-07; к – 11-07; л – 12-07.

С органическим веществом почвы связано основное количество азота почвы, который служит существенным показателем направленности и результативности почвообразовательного процесса, на что указывал еще И.В. Тюрин (1937). Запасы $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в почвах служат определяющим фактором их плодородия, поэтому выявлению содержания и особенностям распределения этих элементов должно уделяться, как правило, повышенное внимание.

Изучение в исследованных почвах содержания общего азота на глубине 0–10 см, 10–20 см и 20–40 см показало аналогичное его варьирование с $C_{орг}$ (рис. 5, см. также рис. 3). В почве, вскрытой разными разрезами, содержание азота на глубине 0–10 см лежит в пределах 0,22–0,52%, тогда как на глубинах 10–20 см и 20–40 см – в пределах 0,06–0,46 и 0,03–0,26%, соответственно. Количество азота с глубиной во всех разрезах снижается постепенно и не выходит за пределы 0,52–0,06% (рис. 5).

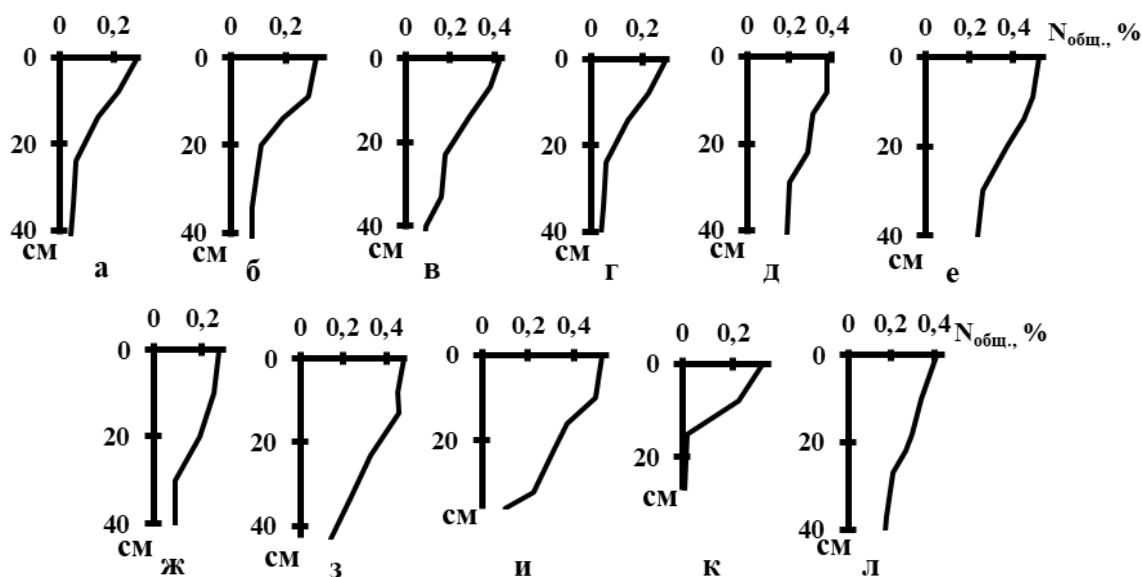


Рисунок 5. Изменение с глубиной содержания общего азота ($N_{общ}$), разрезы: а – 1-07; б – 2-07; в – 3-07; г – 4-07; д – 6-07; е – 7-07; ж – 8-07; з – 9-07; и – 10-07; к – 11-07; л – 12-07.

Данные по содержанию общего азота в изученных почвах подтвердили, что его уменьшение по профилю аналогично изменению содержания гумуса с глубиной. Распределение по почвенному профилю, как азота, так и углерода, в целом взаимосвязано, причем концентрирование их в отдельных генетических горизонтах зависит от биоклиматических условий, в которых формируется почва (Орлов, 1985). Именно отношение C:N в почвах чаще всего используется при оценке их потенциального плодородия.

В целом, величина C:N отражает насыщенность гумуса азотом; при этом её изменение связано с относительным содержанием в гумусе богатых углеродом гуминовых кислот, увеличение доли которых вызывает расширение отношения C:N (Кононова, 1963; Пономарева, Плотникова, 1980).

Хотя изменение содержания углерода и азота по профилю изученных почв происходит параллельно, количественные характеристики их изменения с глубиной различаются, что приводит к сужению соотношения C:N (Завалин и др., 2018).

Величина C:N в большинстве изученных почв имеет флуктуирующий характер (рис. 6). В целом, по вертикальному профилю она в ряде разрезов возрастает, увеличиваясь с 6–12 в верхних горизонтах до 10–21 – на глубине 30–40 см (например, пр. 1-07, 3-07, 6-07, 7-07, 9-07, 10-07, 11-07), в остальных – уменьшается от 8–23 до 4–13.

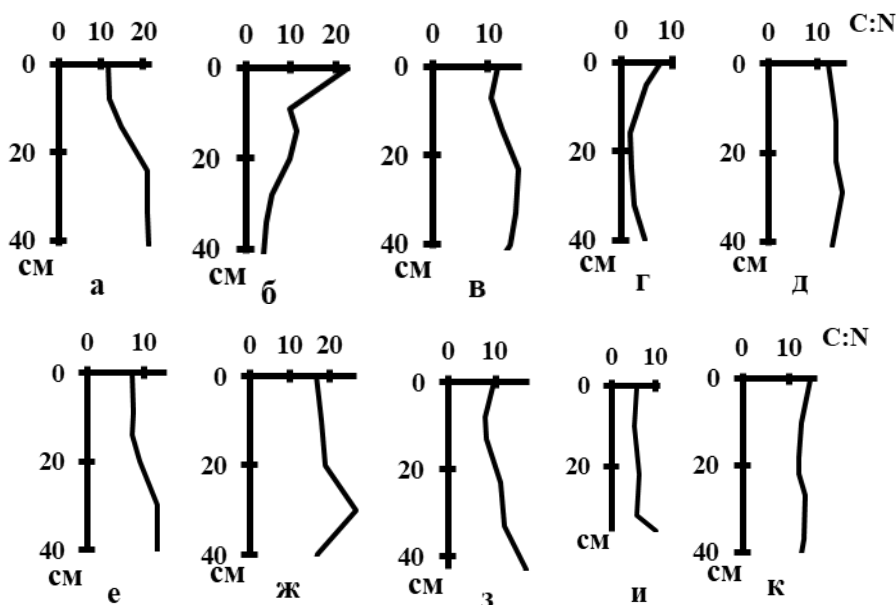


Рисунок 6. Изменение с глубиной соотношений C:N (по массовой доле), разрезы: а – 1-07; б – 2-07; в – 3-07; г – 4-07; д – 6-07; е – 7-07; ж – 8-07; з – 9-07; и – 10-07; к – 12-07.

Таким образом, изученные чернозёмы имеют разное содержание и распределение по профилю основных компонентов почв – общего органического углерода и общего азота.

Содержание и распределение карбонатов кальция также является весьма значимым и надёжным признаком при диагностике почвообразования и восстановлении биоклиматических условий прошлых эпох (Палеопочвы..., 2012). Уже самые верхние горизонты изучаемых почв содержат карбонат кальция (CaCO_3), хотя и в очень небольших количествах (рис. 7). Содержание CaCO_3 в почвах, вскрытых разными разрезами, лежит в пределах 0,4–17%. Если вскипание от соляной кислоты, показывающее присутствие карбонатов кальция в почвенной толще, начинается в пределах горизонта А (чаще всего в изученных разрезах – с поверхности), то максимальное их количество во всех профилях выявляется на разных глубинах, и, как правило, сопряжено с гумусонакоплением в вышележащей толще (см. табл. 1). В большинстве разрезов максимумы содержания карбонатов кальция находятся в пределах рассматриваемой 40-см толщи, за исключением разрезов 7-07, 9-07 и 12-07, в которых, согласно морфологическим описаниям (см. табл. 1), максимум карбонатов лежит за ее пределами.

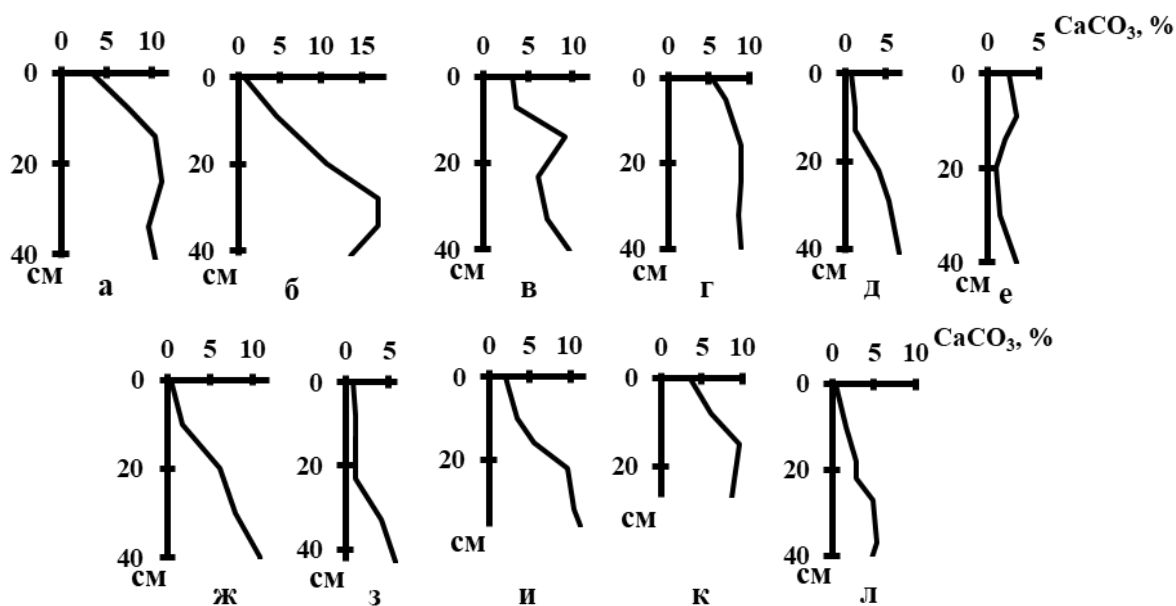


Рисунок 7. Изменение с глубиной содержания карбонатов кальция (CaCO_3), разрезы: а – 1-07; б – 2-07; в – 3-07; г – 4-07; д – 6-07; е – 7-07; ж – 8-07; з – 9-07; и – 10-07; к – 11-07; л – 12-07.

В последние десятилетия в комплекс характеристик почв разных условий формирования и разного геологического возраста все чаще вводится **магнитная восприимчивость (МВ)** почв (Бабанин, 1972; Ломов, Пеньков, 1979; Алексеев и др., 1988; Бабанин и др., 1995; Дергачева, 1997, 2018; Дервянко, Дергачева, 1998; Палеопочвы..., 2012; Вагапов, Алексеев, 2015; Чевычелов и др., 2021; Mullins, 1977; Maher, 1998; Jong et al., 2000; Alekseeva et al., 2007; и др.), которая является одним из значимых признаков при диагностике и сравнительных сопоставлениях почв. Особенности распределения внутри профиля общего органического углерода в разных типах автоморфных почв, в целом, аналогичны величине их магнитной восприимчивости (Бабанин, 1972; Бабанин и др., 1995; Соловьева, 1999; и др.). В случае гидроморфных почв распределение С и магнитной восприимчивости могут иметь обратный характер, так как в условиях гидроморфизма магнитные минералы переходят в немагнитные (путем лимонитизации). В нашем случае (рис. 8, см. также рис. 3 А) наблюдается, в целом, согласованное изменение общего органического углерода и удельной магнитной восприимчивости ($\chi \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г).

Величина МВ в разных разрезах неоднозначна. В большей части вскрытых толщ она более $1,5 \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г, достигая в некоторых разрезах в верхних горизонтах $2,5\text{--}3,0 \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г, в других – колеблется от величин меньше единицы до $1,3 \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г. Самая низкая магнитная восприимчивость и резкое ее уменьшение по профилю наблюдается в почве, вскрытой разрезом 4-07 ($0,7 \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г), самая высокая – в разрезе 8-07, где она достигает $2,5\text{--}3,0 \cdot 10^{-6}$ СГСЕ/г (рис. 8). Как показывают материалы изменения МВ с глубиной, разрезы отличаются неодинаковым характером изменения этого почвенного свойства. В одних профилях (pp. 3-07, 6-07, 10-07, 11-07, 12-07) выявлено равномерное убывание МВ книзу, в других (pp. 1-07, 2-07, 7-07, 9-07) – с её максимумом или минимумом в средней части профиля (иногда с несколькими максимумами), что свидетельствует о возможном присутствии гумусовых горизонтов палеопочв.

Изменение в почвенных профилях реакции среды также неоднозначно, хотя в целом величина $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ находится в согласии с распределением карбонатов кальция и других характеристик почвенной массы, что подтверждает полигенетичность некоторых почв (рис. 9). В почвах, вскрытых разными разрезами, реакция среды в верхней части профиля слабощелочная, с глубиной изменяется до пределов щелочного диапазона. Колебания $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ внутри профиля встречается редко. Как правило, происходит постепенный сдвиг реакции среды в сторону повышения щелочности.

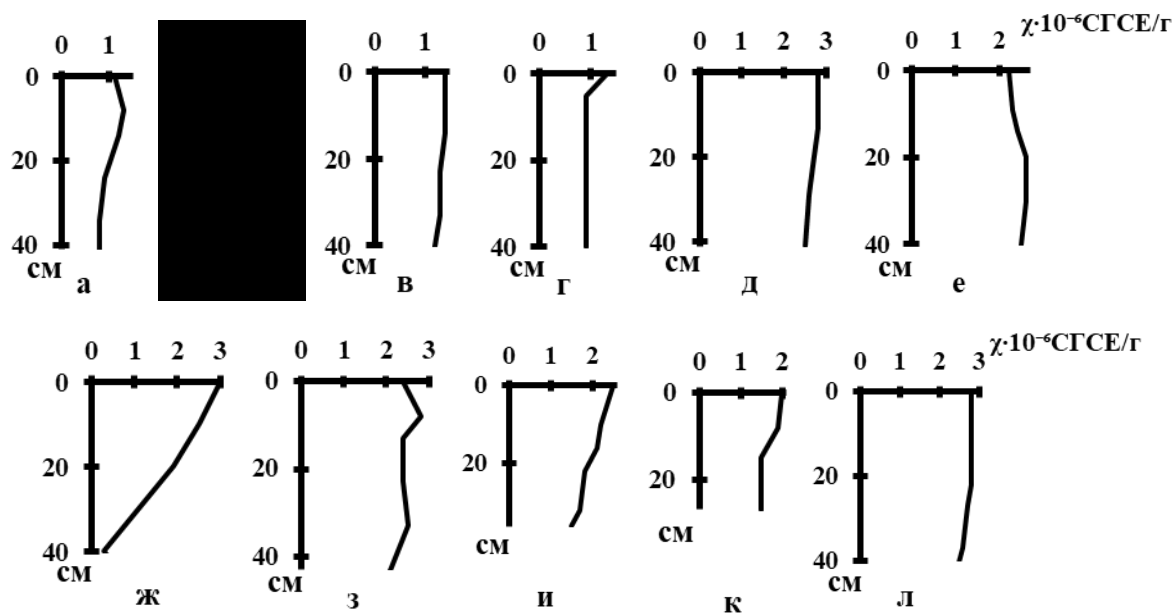


Рисунок 8. Изменение с глубиной величины магнитной восприимчивости, разрезы: а – 1-07; б – 2-07; в – 3-07; г – 4-07; д – 6-07; е – 7-07; ж – 8-07; з – 9-07; и – 10-07; к – 11-07; л – 12-07.

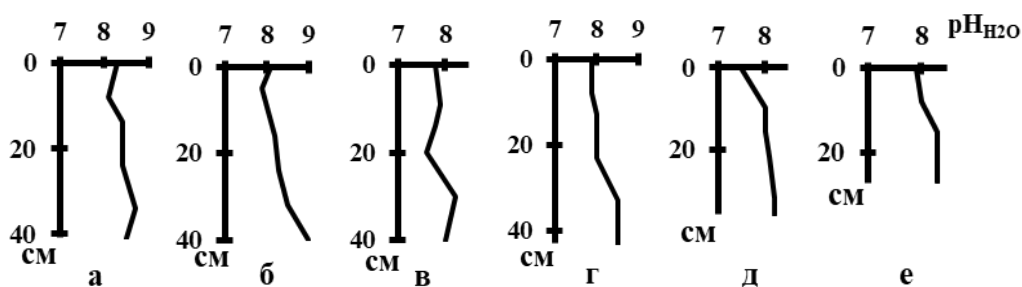


Рисунок 9. Изменение по профилю реакции почвенной среды, разрезы: а – 1-07; б – 4-07; в – 7-07; г – 9-07; д – 10-07; е – 11-07.

Чернозёмы Приобского плато отличаются относительно высоким содержанием суммы обменного кальция и магния ($\Sigma\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$), которое составляет 37–50 мг-экв/100 г почвы. Такая особенность не свойственна ни черноземам пониженных озерно-аллювиальных равнин Западной Сибири, ни даже типичным мощным черноземам Средне-Русской возвышенности, в которых их сумма чаще всего не превышает 30 мг-экв/100 г почвы (Хмелев, 1989; Хмелев, Танасиенко, 1983). В пределах изученных почвенных профилей содержание обменных кальция и магния варьирует с глубиной также существенно (рис. 10). В составе поглощённых катионов изученных чернозёмов значительно преобладает обменный кальций (Ca^{2+}); только в нижележащих горизонтах некоторых почв содержание обменного магния (Mg^{2+}) или близко к содержанию кальция (р. 9-07), или, как в разрезе 4-07, он преобладает (рис. 10). Повышенные количества магния, судя по мониторинговым исследованиям, встречаются крайне редко (Захарова, 2011). Отсутствие засоления почв на этих территориях отмечали ранее (Почвы..., 1959; Дергачева и др., 2011; и др.).

Изученные почвы различаются также по содержанию подвижных гумусовых веществ, которые играют существенную роль в обеспечении устойчивого снабжения растительных сообществ степных экосистем питательными веществами (Лыков, 1985; Гамзиков, Кулагина, 1992; Ковриго и др., 2000; Бурлакова, Морковкин, 2003, 2005; Скороходов, Зенкова, 2019; Бурлакова, 2022). Наиболее активной фракцией гумусовых веществ, участвующей в питании растений, являются бурые гуминовые кислоты и связанные с ними в комплекс фульвокислоты, т.е. гумусовые вещества фракции 1. Эти вещества обычно выделяются экстракцией 0,1 н. NaOH и разделяются на **гуминовые кислоты (ГК)** и **фульвокислоты (ФК)** в кислой среде с $\text{pH}=1-2$ (Лыков, 1985). Они являются важнейшим резервом питательных элементов для растительных и микробных сообществ, а также источником энергии микробиологических и других процессов в почвах, важных для сохранения и поддержания плодородия почв.

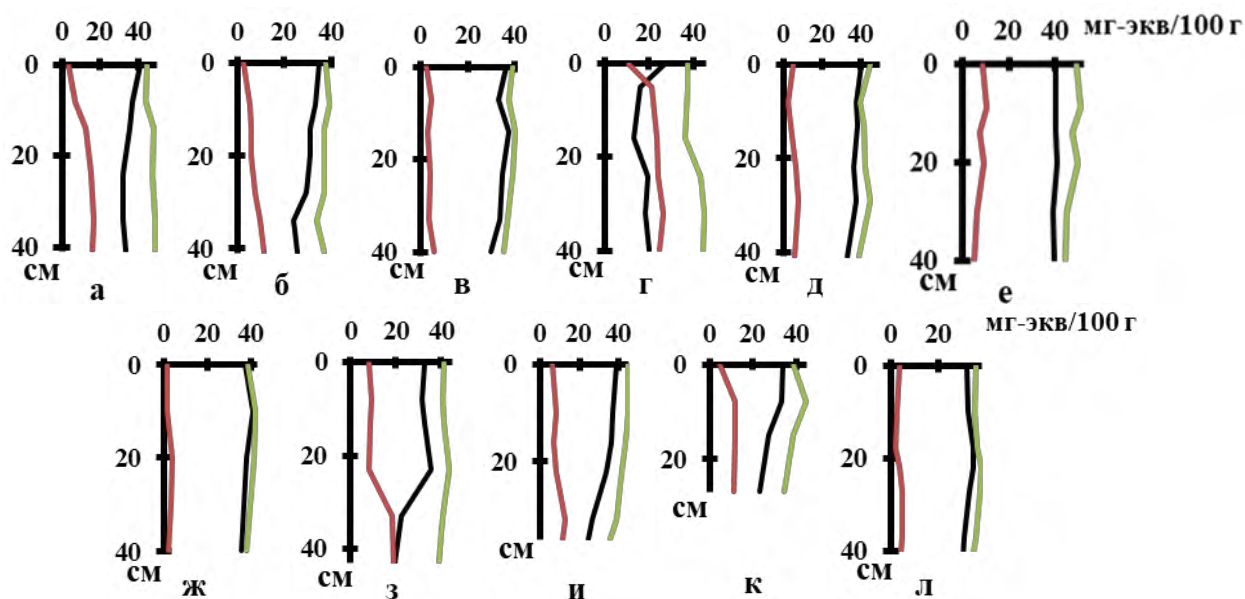


Рисунок 10. Изменение с глубиной содержания обменных оснований, разрезы: а – 1-07; б – 2-07; в – 3-07; г – 4-07; д – 6-07; е – 7-07; ж – 8-07; з – 9-07; и – 10-07; к – 11-07; л – 12-07. Обозначения: — Ca^{2+} ; — Mg^{2+} ; — $\Sigma\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$.

Содержание подвижных гумусовых веществ в изученных образцах из 11 разрезов, расположенных в разных концах ключевого участка, в целом не велико (не больше 21%), среди них преобладают фульвокислоты и, соответственно, соотношение $C_{\text{ГК}}:C_{\text{ФК}}$ – меньше 1,0 (рис. 11). Количественные показатели этого соотношения варьируют не только с глубиной внутри профиля, но и между разными разрезами. Пределы колебаний величины $C_{\text{ГК}}:C_{\text{ФК}}$ среди всех изученных образцов не выходят за рамки 0,07–0,92. Наименьшие значения этого отношения выявлены в разрезах 7-07 и 9-07, наибольшие – в разрезах 4-07, 11-07 и 12-07. Анализ изменения подвижных гумусовых веществ с глубиной показал абсолютное преобладание в гумусовых веществах ФК над ГК во всех горизонтах, варьирование величины соотношения этих компонентов гумуса, а также существенные амплитуды колебаний величины $C_{\text{ГК}}:C_{\text{ФК}}$ внутри профиля (см. рис. 11).

Как видно, перепад содержания подвижных ГК и ФК в почвенной толще каждого из изученных объектов – существенный. Наибольшие колебания между разными профилями для этих компонентов гумуса наблюдаются на глубине 30–40 см.

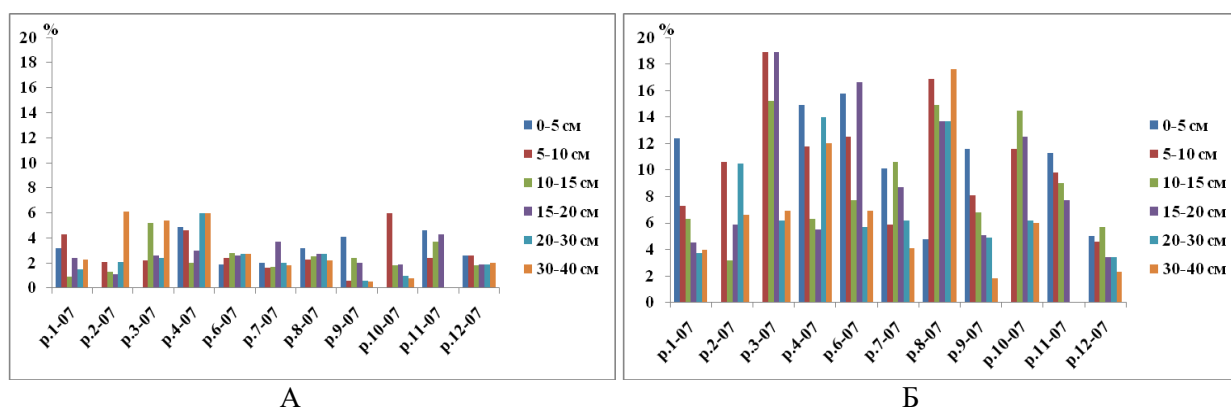


Рисунок 11. Варьирование содержания подвижных гумусовых веществ в верхней 40-см толще почв. Обозначения: А – гуминовые кислоты; Б – фульвокислоты.

Поскольку среди гумусовых веществ важное значение для плодородия почв имеют не только их подвижные, но и другие фракции, обеспечивающие структурность и порозность почв, тепловой, водный и другие режимы, рассмотрим особенности состава гумуса почв с разным характером изменений физико-химических и химических свойств по профилю на примере четырех наиболее различающихся разрезов (1-07, 4-07, 7-07 и 9-07).

В первых из изученных разрезов (1-07, 4-07) в составе гумуса преобладают фульвокислоты, в последних – 7-07 и 9-07 – гуминовые кислоты (рис. 12, А, Б). Содержание суммы гуминовых и фульвокислот по профилю в них неоднозначно в разных разрезах, причем различия их существенны: для первого компонента от 8,9 до 41,7%, для вторых – от 12,1 до 51,1%. Величина их соотношения ($C_{гк}:C_{фк}$) в разных разрезах неоднозначна (рис. 12, В). В разрезе 4-07 она только в верхнем горизонте несущественно превышает единицу, затем с глубиной резко уменьшается до 0,25. В разрезе 1-07 даже в горизонте А этот показатель составляет 0,7. В то же время, разрезы 7-07 и 9-07 имеют толщи с более высокими значениями $C_{гк}:C_{фк}$, которые могут превышать 2,5 в разных частях гумусово-аккумулятивной толщи, а на остальных глубинах не снижаться ниже 1,0. Наибольшая неоднородность почвенного профиля по составу гумуса выявлена в разрезе 7-07, где на фоне, в целом, постепенного снижения общего органического углерода, содержание и соотношение групп гумусовых веществ имеет возрастающе-убывающий характер.

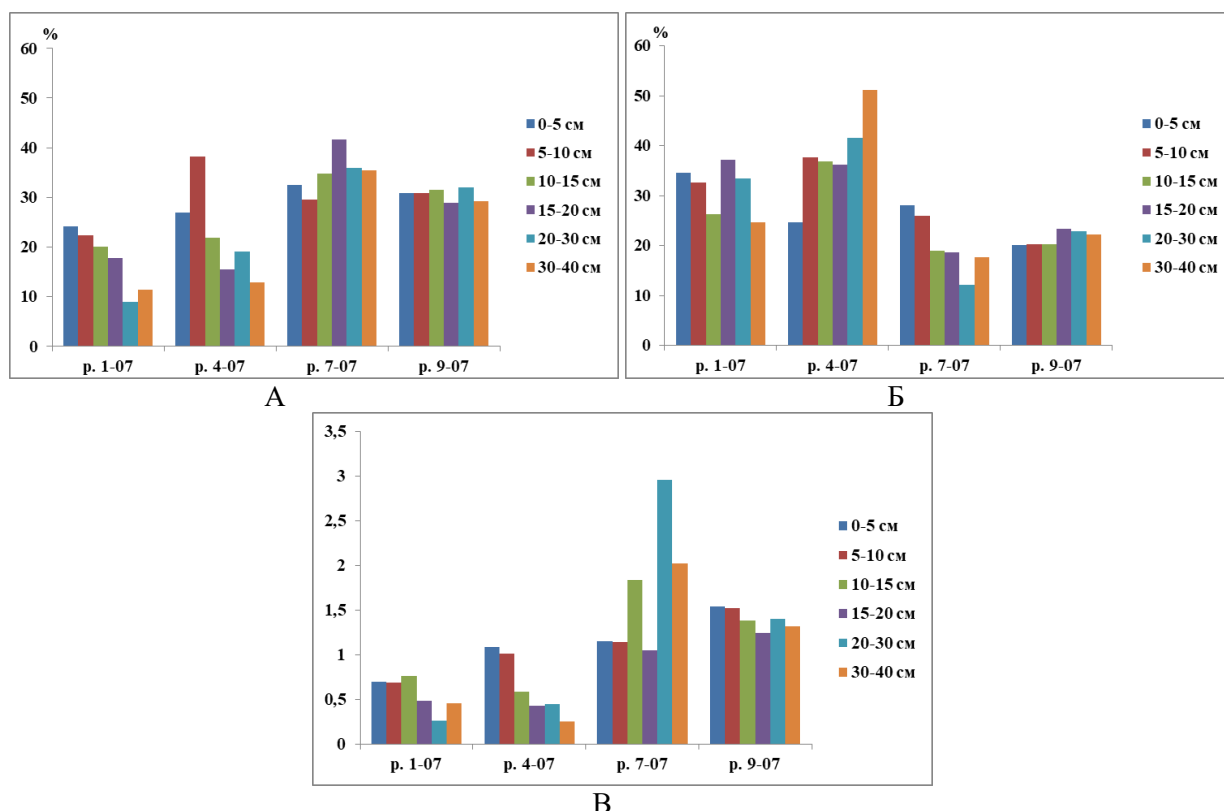


Рисунок 12. Варьирование группового состава гумуса в верхней 40-см толще почв. Обозначения: А – сумма гуминовых кислот; Б – сумма фульвокислот; В – отношение углерода гуминовых кислот к фульвокислотам.

Таким образом, варьирование свойств почв, проявляющееся в количественной неоднозначности и в разном характере изменения разных показателей с глубиной, проявляется также в неоднородности состава их гумуса, соотношении основных компонентов системы гумусовых веществ, в том числе, содержании и соотношении компонентов подвижных гумусовых веществ.

Существенная неоднородность черноземов Приобского плато подтверждается величинами среднестатистических параметров почвенных свойств и высокими значениями коэффициентов варьирования для большинства характеристик (табл. 2). Исключение составляет величина обменного Ca^{2+} во всей 40-см толще и содержание $N_{общ}$ на глубине 0–10 см, где эти величины свидетельствуют о небольшой изменчивости признака. Наибольшие колебания всех показателей во всех разрезах наблюдаются, как правило, на глубине 10–20 или 20–40 см, кроме содержания обменного Mg^{2+} , коэффициент варьирования которого очень существенный и примерно одинаковый (около 70%) на всех изученных глубинах.

Таблица 2

Основные характеристики почв «Володарки»

Показатели	Среднее \pm стандартное отклонение для слоя			Коэффициент варьирования (%) для слоя		
	0–10 см	10–20 см	20–40 см	0–10 см	10–20 см	20–40 см
	$C_{орг}$	3,3 \pm 1,11	2,11 \pm 1,15	1,50 \pm 0,90	32,7	53,1
$N_{общ}$	0,37 \pm 0,10	0,23 \pm 0,13	0,14 \pm 0,08	25,3	56,3	53,3
C:N	11,17 \pm 4,50	11,72 \pm 6,02	12,79 \pm 6,20	39,8	51,1	47,3
Ca^{2+}	34,83 \pm 5,50	32,85 \pm 6,78	30,00 \pm 6,60	15,8	20,2	21,5
Mg^{2+}	6,39 \pm 4,58	8,43 \pm 6,03	10,55 \pm 7,35	69,9	69,9	67,9
ГК подвижные	3,00 \pm 1,43	2,34 \pm 1,85	2,64 \pm 1,79	46,6	35,6	66,3
ФК подвижные	10,76 \pm 4,35	8,76 \pm 4,18	7,14 \pm 4,25	37,4	49,2	58,0

Наблюдаемая неоднородность свойств почв ключевого участка «Володарка», несомненно, будет сказываться и на почвенном плодородии. Для оценки влияния варьирования почвенных свойств этой территории на плодородие почв были оценены некоторые показатели гумусного состояния почв (согласно Д.С. Орлову и др., 2004), которые наиболее всего отражают уровень почвенного плодородия: степень гумификации и запасы гумуса (табл. 3), а также запасы азота и обогащенность им гумусовых веществ в слоях почвы 0–20 см, 20–40 см, 0–40 см (табл. 4).

Полученные данные показывают, что степень гумификации в разрезах 7-07 и 9-07 высокая во всех изученных толщах, а в разрезах 1-07 и 4-07 она изменяется на разных глубинах от средней до слабой. Наибольшие колебания этой величины для разных разрезов наблюдаются на глубине 20–40 см и находятся в пределах от 10,1 до 35,7. Запасы гумуса в 40-см толще колеблются от низких до очень высоких, составляя 109–534 т/га (см. табл. 3). Во всех изученных толщах наиболее высокие запасы гумуса выявлены в верхних 20 см почвы, но амплитуда колебаний достигает наибольшей величины на глубине 20–40 см, что подтверждается высоким коэффициентом варьирования (47,79%). Среди изученных, есть разрезы (2-07, 4-07), которые характеризуются очень низкими запасами гумуса в слое почвы 20–40 см.

Таблица 3

Варьирование степени гумификации и запасов гумуса в почвах «Володарки»

№ разреза	Степень гумификации*			Запасы гумуса, т/га**		
	0–20 см	20–40 см	0–40 см	0–20 см	20–40 см	0–40 см
1-07	21,1 ср.	10,1 слаб.	15,6 слаб.	166,6 выс.	72,1 низк.	238,7 ср.
2-07	–***	–	–	230,8 оч. выс.	30,0 оч. низк.	260,7 ср.
3-07	–	–	–	276,1 оч. выс.	139,7 ср.	415,8 выс.
4-07	25,6 ср.	16,0 слаб.	20,8 ср.	98,7 низк.	10,2 оч. низк.	108,9 низк.
6-07	–	–	–	321,4 оч. выс.	212,6 оч. выс.	534,0 оч. выс.
7-07	34,6 выс.	35,7 выс.	35,2 выс.	271,1 оч. выс.	236,6 оч. выс.	507,7 оч. выс.
8-07	–	–	–	301,4 оч. выс.	150,78 выс.	452,1 выс.
9-07	30,6 выс.	30,6 выс.	30,6 выс.	275,5 оч. выс.	196,6 выс.	472,1 выс.
10-07	–	–	–	171,8 выс.	86,3 низк.	258,1 ср.
11-07	–	–	–	136,3 ср.	–	136,3 низк.
12-07	–	–	–	304,3 оч. выс.	195,7 выс.	500,1 оч. выс.
Среднестатистические величины				232,18 \pm 76,31	195,70 \pm 79,57	353,14 \pm 156,02
Коэффициент варьирования, %				31,34	47,79	42,12

Примечание.

*Степень гумификации: слаб. – слабая; ср. – средняя; выс. – высокая.

**Запасы гумуса: оч. низк. – очень низкие; низк. – низкие; ср. – средние; выс. – высокие; оч. выс. – очень высокие.

***Тире – отсутствие данных.

Обогащенность гумуса азотом в 40-см толще изменяется от очень низкой до очень высокой и находится в пределах 20,0–6,9 (табл. 4). Запасы азота в изученных разрезах на разных глубинах не превышают 27 т/га. Наибольшее варьирование обогащенности гумуса азотом и запасов азота наблюдается аналогично запасам гумуса – на глубине 20–40 см, где коэффициенты варьирования больше, чем в верхней 20-см толще почвы.

Таблица 4

Варьирование запасов общего азота в почвенных профилях ключевого участка «Володарка»

№ разреза	Обогащенность гумуса азотом			Запасы азота, т/га		
	0–20 см	20–40 см	0–40 см	0–20 см	20–40 см	0–40 см
1-07	14,8	21,1	17,9	5,92	3,84	9,76
2-07	13,3	4,7	9,0	6,84	5,76	12,60
3-07	12,6	14,5	13,6	9,40	9,02	18,42
4-07	4,2	3,7	3,9	8,70	5,76	14,46
6-07	13,3	14,3	13,8	8,82	11,52	20,34
7-07	8,4	12,4	10,4	11,72	15,74	27,46
8-07	18,0	22,0	20,0	6,03	5,38	11,41
9-07	9,1	14,1	11,6	10,79	15,17	25,96
10-07	5,8	7,9	6,9	11,72	13,06	24,78
12-07	12,8	13,2	13,0	8,70	10,94	19,64
Среднестатистические величины	11,23±4,25	12,79±6,08	12,04±4,81	8,86±2,14	9,62±4,30	18,48±6,31
Коэффициент варьирования, %	35,94	45,12	38,06	22,88	41,20	32,37

По каждому из изученных показателей гумусного состояния почв наблюдаются в основном высокие значения коэффициентов варьирования (больше 30%). Исключение составляют запасы азота на глубине 0–20 см, где среднестатистические значения составляют $8,86 \pm 2,14$, а коэффициент варьирования – 23%.

Сопоставление изученных почв по всем характеристикам и их изменению с глубиной показало значительное флуктуирование количественных показателей всех почвенных свойств. Морфологические различия по окраске, плотности, структуре, неоднородности гумусового горизонта и лежащей под ним толщи, проявляющиеся в изученных почвах, объясняются тем, что на рассматриваемой территории современный гумусовый горизонт часто формируется на разных горизонтах (в том числе в горизонте [A]) палеопочв разного возраста, выходящих под влиянием экзогенных процессов на поверхность. В ряде разрезов под современной частью гумусового горизонта по плотности и несколько другому оттенку выявляется присутствие более древнего гумусового горизонта. Выявленное нарушение закономерностей изменения основных характеристик по профилю, присущих почвам черноземного ряда, происходит из-за того, что рассматриваемая их 40-см толща содержит разные горизонты, сформированные не только в современный период, но и переработанные педогенезом в прошлом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие современных почв на отложениях, переработанных древними процессами почвообразования в прошлом, обуславливает неоднородность их свойств. Варьирование свойств чернозёмных почв северо-восточной части Приобского плато объясняется сложной историей формирования территории и, в связи с этим, наличием в профилях остаточных признаков палеопедогенеза, которые могут присутствовать в виде педоседиментов, дериватов или хорошо сохранившихся горизонтов. Поэтому знание специфики современных почв на сложных территориях из-за их истории развития и знание варьирования их свойств должны учитываться при оценке потенциального плодородия земельных ресурсов подобных территорий. Почвенные свойства, обладая значительной пространственной неоднородностью даже на небольших площадях, формируют разные условия для режимов питания растительных сообществ. С точки зрения сельскохозяйственного производства создаются разные условия для роста и развития выращиваемых культур, что является отрицательным фактором, так как требует дифференцированного подхода к технологиям их возделывания. Подробное изучение исходных свойств почв позволяет получать данные о пространственной и временной изменчивости параметров почвенного плодородия и воздействовать на них в нужном месте и в необходимом направлении. Оценка варьирования показателей почвенных свойств, в связи с развитием адаптивно-ландшафтного земледелия, способствует принятию оптимальных решений при реализации стратегии точного земледелия.

Информация, полученная при изучении варьирования свойств почв, может использоваться, кроме того, при диагностике палеопочв и реконструкции палеоприродной среды, а также при

мониторинге современного состояния почв и обосновании прогнозов их поведения в изменяющихся экологических условиях функционирования.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 121031700309-1).

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев А.О., Ковалевская И.С., Моргун Е.Г., Самойлова Е.М. Магнитная восприимчивость почв сопряженных ландшафтов // Почвоведение. 1988. № 8. С. 27–35.

Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. Москва: МГУ, 1970. 487 с.

Арманд А.Д., Таргульян В.О. Некоторые принципиальные ограничения эксперимента и моделирования в географии (принцип дополнительности и характерное время) // Известия АН СССР. Серия географическая. 1974. № 4. С. 129–138.

Бабанин В.Ф. Магнитная восприимчивость основных почвенных типов СССР и использование ее в почвенных исследованиях: Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Москва, 1972. 25 с.

Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карпачевский Л.О., Иванов А.В., Морозов В.В. Магнетизм почв. Ярославль: Ярослав. гос. тех. ун-т, 1995. 222 с.

Бандыч Т.Ю. О современном подходе к изучению неоднородности почвенного покрова // Почвоведение и агрохимия. 2016. № 2 (57). С. 56–67.

Белик А.В., Горбунова Ю.С., Девятова Т.А., Алаева Л.А. Пространственное варьирование показателей экологического состояния дерново-лесных почв Усманского бора // Лесотехнический журнал. 2020. Том 10. № 3 (39). С. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.3/1>.

Бурлакова Л.М. Плодородие алтайских черноземов в системе агроценоза. Барнаул: РИО АГАУ, 2022. 203 с.

Бурлакова Л.М., Морковкин Г.Г. Современное состояние плодородия черноземов Алтайского края и проблема их рационального использования // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2003. № 5. С. 49–50.

Бурлакова Л.М., Морковкин Г.Г. Антропогенная трансформация почвообразования и плодородия черноземов в системе агроценозов // Агрохимический вестник. 2005. № 1. С. 2–4.

Вагапов И.М., Алексеев А.О. магнитная восприимчивость в оценке пространственной и профильной неоднородности почв, обусловленная палеоэкологическими факторами // Известия РАН. Серия географическая. 2015. № 5. С. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-5-99-106>.

Вашукевич Н.И. Органическое вещество голоцен-плиоценового хроноряды почв Предбайкалья: Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1996. 14 с.

Воробьева Л.А. Химический анализ почв. Москва: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.

Гамзиков Г.П., Кулагина М.Н. Изменение содержания гумуса в почвах в результате сельскохозяйственного использования. Москва: ВНИИТЭИагропром, 1992. 49 с.

Денисова Н.В. Формы неоднородности почвенного покрова в черноземной зоне европейской части Союза. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Москва, 1974. 24 с.

Дергачева М.И. Археологическое почвоведение. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. 228 с.

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

Дергачева М.И., Некрасова О.А., Лаврик Н.Л. Гуминовые кислоты современных почв Южного Урала: Препринт. Новосибирск, 2002. 24 с.

Дергачева М.И., Миронычева-Токарева Н.П., Пономарев С.Ю., Гаврилов Д.А. Общая характеристика района исследования и палеопочв // Материалы II Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого». Новосибирск: ООО «Талер-Пресс», 2011. С. 9–27.

Дервянко А.П., Дергачева М.И. Магнитная восприимчивость в археологии палеолита: к вопросу о реконструкции палеоклиматов // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 1998. С. 110–119.

- Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. Москва: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.
- Жуков А.В., Задорожная Г.А. Пространственная изменчивость твердости рекультивируемых почв // Принципы экологии. 2017. № 3 (24). С. 66–80.
- Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Азот в агросистеме на черноземных почвах. Москва: РАН, 2018. 180 с.
- Захарова Е.Г. Варьирование свойств в верхней части современных почв и поверхностных палеопочв ключевого участка Володарка (Барнаульское Приобье) // Материалы II Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого». Новосибирск: ООО «Талер-Пресс», 2011. С. 91–94.
- Качинский Н.А. Изучение физических свойств почвы и корневых систем растений при территориальных почвенных исследованиях. Москва: Госсельиздат, 1930. Ч. 1. 101 с.
- Ковриго В.П., Кауричев И.С., Бурлакова Л.М. Почвоведение с основами геологии. Москва: Колос, 2000. 416 с.
- Козловский Ф.И. Почвенный индивидуум и методы его определения // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. Москва: Наука, 1970. С. 42–59.
- Кононова М.М. Органическое вещество почвы. Москва: Изд-во АН СССР, 1963. 313 с.
- Красильников П.В., Таргульян В.О. На пути к «Новой географии почв»: вызовы и решения (обзор) // Почвоведение. 2019. № 2. С. 131–139. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020096>.
- Крупкин П.И., Топтыгин В.В. Совершенствование способов бонитировки почв (на примере Красноярского края) // Почвоведение. 1999. № 12. С. 1481–1491.
- Литвинович А.В. Пространственная неоднородность агрохимических показателей пахотных дерново-подзолистых почв // Агрехимия. 2007. № 5. С. 89–94.
- Личман Г.И., Марченко Н.М. Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия // Геоматика. 2011. № 4. С. 89–94.
- Ломов С.П., Пеньков А.В. Магнитная восприимчивость некоторых современных и ископаемых почв Таджикистана // Почвоведение. 1979. № 6. С. 100–109.
- Лыков А.М. Гумус и плодородие почвы. Москва: Московский рабочий, 1985. 192 с.
- Максимова Н.Б. Изменение структурного состава черноземов и каштановых почв по природным зонам юго-запада Алтайского края при длительном использовании в составе пахотных угодий // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 5. С. 71–75.
- Махонина Г.И. Начальные процессы почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Автореферат диссертации ... д-ра биол. наук. Томск, 2004. 38 с.
- Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах / Составители: В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова. Ленинград: ЛГУ, 1975. 105 с.
- Михеева И.В. Вероятностно-статистические модели свойств почв (на примере каштановых почв Кулундинской степи). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 200 с.
- Михеева И.В. Изменение пространственной вариабельности свойств почвы при антропогенном воздействии // Почвоведение. 1997. № 1. С. 102–109.
- Морев Д.В. Агроэкологическая оценка земель в условиях зонального ряда агроландшафтов с повышенной пестротой почвенного покрова. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Москва, 2017. 25 с.
- Морковкин Г.Г. Антропогенная трансформация почвообразования и плодородия черноземов в системе агроценозов (на примере степной зоны Алтайского края). Барнаул: РИО АГАУ, 2012. 271 с.
- Морковкин Г.Г., Байкалова Т.В., Максимова Н.Б., Овцинов В.И., Литвиненко Е.А., Дёмина И.В., Дёмин В.А. Оценка временной динамики структуры агроландшафтов и показателей плодородия почв степной зоны Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 9 (107). С. 33–42.
- Мудрых Н.М. Пространственное варьирование свойств в агродерново-подзолистой почве // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. С. 82–84.
- Орлов Д.С. Химия почв. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 376 с.

- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
- Палеопочвы, природная среда и методы их диагностики / отв. ред. Г.В. Добровольский, М.И. Дергачева. Новосибирск: ЗАО «ОФСЕТ», 2012. 264 с.
- Петербургский А.В. Практикум по агрономической химии. Москва: Сельхозгиз, 1958. 550 с.
- Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Ленинград: Наука, 1980. 221 с.
- Почвы Алтайского края. Москва: Изд-во АН СССР, 1959. 380 с.
- Распынов В.А. Вариабельность свойств почв и их хозяйственная продуктивность в условиях подзоны обыкновенных черноземов умеренно-засушливой колочной степи Алтайского края. Диссертация ... канд. биол. наук. Барнаул, 1977. 172 с.
- Савич В.И., Гукалов В.В., Сорокин А.Е., Конах М.Д. Агроэкологическая оценка взаимосвязей свойств почв во времени и в пространстве // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 106. С. 163–175. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-106-163-175>.
- Самсонова В.П. Пространственная вариабельность состава и свойств дерново-подзолистой почвы. Автореферат диссертации ... д-ра биол. наук. Москва, 2003. 51 с.
- Самсонова В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств на примере дерново-подзолистых почв. Москва, 2008. 160 с.
- Скорыходов В.Ю., Зенкова Н.А. Образование и содержание гумуса на черноземах южных Оренбургского Предуралья // Плодородие. 2019. № 6. С. 28–31. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.111.08>.
- Скрипко В.В. Оценка эколого-геоморфологического состояния Приобского плато на основе бассейнового анализа. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2015. 142 с.
- Соловьева Т.П. Магнитная восприимчивость почв Хакасии. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1999. 17 с.
- Спицына С.Ф., Бахарев В.Г. Варьирование валового содержания микроэлементов в почвах Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010. № 4 (66). С. 27–30.
- Татаринцев В.Л. Агрогенная эрозия и физическое состояние почв Алтайского Приобья // Антропогенная деградация почвенного покрова и меры её предупреждения: Тезисы докладов Всероссийской конференции (Москва, 16–18 июня 1998 г.). Москва, 1998. С. 46–47.
- Татаринцев Л.М. Физическое состояние основных пахотных почв юго-востока Западной Сибири. Диссертация ... д-ра. биол. наук. Новосибирск, 1993. 368 с.
- Тюрин И.В. Органическое вещество почв. Москва: Сельхозгиз, 1937. 287 с.
- Фридланд В.М. Элементарные почвенные ареалы как исходные единицы почвенно-географической таксономии и некоторые их производные // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. Москва: Наука, 1970. С. 5–14.
- Хмелев В.А. Лёссовые черноземы Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 200 с.
- Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Черноземы Кузнецкой котловины. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. 256 с.
- Чевычелов А.П., Алексеев А.А., Кузнецова Л.И. Магнитная восприимчивость мерзлотных почв лесной катены центральной Якутии // Сибирский лесной журнал. 2021. № 2. С. 32–42. DOI: <https://doi.org/10.15372/SJFS20210203>.
- Энциклопедия Алтайского края. Барнаул: Алт. кн. изд-во, 1995. Том 1. С. 350–367.
- Alekseeva T., Alekseev A., Maher B.A., Demkin V. Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of buried palaeosols // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2007. Vol. 249. P. 103–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.01.006>.
- Correa J.C., Klaus R. The Spatial Variability of Amazonian Soils under Natural Forest and Pasture // Geojournal. 1989. No. 4. P. 423–427.
- Coşkun G., Imanverdi E., Feride C., Zeynep D. Spatial variability of soil physical properties in a cultivated field // Eurasian Journal Soil Science. 2016. No. 5 (3). P. 192–200. DOI: <https://doi.org/10.18393/ejss.2016.3.192-200>.
- Daughtry C.S.T., Hunt Jr. E.R., Doraiswamy P.C., McMurtrey III J.E. Remote sensing the spatial distribution of crop residues // Agronomy Journal. 2005. Vol. 97. P. 864–871. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2003.0291>.

Jiao S., Li J., Li Y., Xu Z., Kong B., Li Y. & Shen Y. Variation of soil organic carbon and physical properties in relation to land uses in the Yellow River Delta, China // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Article number: 20317. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77303-8>.

Jong E. de, Pennock D.J., Nestor P.A. Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan, Canada // *Catena*. 2000. Vol. 40. Iss. 3. P. 291–305. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00080-1).

Maher B.A. Magnetic properties of modern soils and loessic paleosols: implications for paleoclimate // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1998. Vol. 137. P. 25–54.

Mullins C.E. Magnetic Susceptibility of Soil and its Significance in Soil Science – A Review // *Journal of Soil Science*. 1977. Vol. 28. P. 223–246.

Scharf P.C., Kitchen N.R., Sudduth K.A., Davis J.G., Hubbard V.C., Lory J.A. Field-Scale Variability in Optimal Nitrogen Fertilizer Rate for Corn // *Agronomy Journal*. 2005. Vol. 97. No 2. P. 452–461. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0452>.

Wang X., Li Y., Duan Y., Wang L., Niu Y., Li X., Yan M. Spatial Variability of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen in Desert Steppes of China's Hexi Corridor // *Frontiers in Environmental Science*. 2021. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.761313>.

Zhou J., Wang Y., Tong Y., Sun H., Zhao Y., Zhang P. Regional spatial variability of soil organic carbon in 0–5 m depth and its dominant factors // *Catena*. 2023. Vol. 231. P. 127–135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107326>.

Поступила в редакцию 01.11.2023

Принята 28.12.2023

Опубликована 30.12.2023

Сведения об авторе:

Захарова Елена Геннадьевна – младший научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); zakharova@issa-siberia.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



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

VARIATION OF PROPERTIES OF CHERNOZEMS IN THE PRIOBSKY PLATEAU WITHIN THE BORDERS OF THE KEY AREA “VOLODARKA” (ALTAI REGION, RUSSIA)

© 2023 E. G. Zakharova 

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Academician Lavrentiev Avenue, 8/2, Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: zakharova@issa-siberia.ru

The aim of the study. *To assess spatial heterogeneity of the chemical properties of the chernozems of the Near-Ob Plateau within the boundaries of the key site “Volodarka” and explain the reasons that determined the variation of the studied soil properties.*

Location and time of the study. *Steppe zone of the northeastern part of the Near-Ob Plateau within the boundaries of the key site “Volodarka” (52°41–42' N and 83°38'E); the results of the long-term research (2007–2019) are discussed.*

Objects of the study. *Chernozems that formed under the dry-steppe vegetation on loess deposits, as well as on different horizons of paleosols of Middle Pleistocene origin that reached surface.*

Methodology. *Soil samples were collected to a depth of 40 cm in a continuous column at an increment of 2 to 10 cm, taking into account the visible boundaries of genetic horizons. To characterize soil chemical properties, the methods commonly used in Russian soil science studies were used. Specifically, soil organic carbon content was determined by dichromate digestion method.*

Results. *The studied properties of chernozems, currently functioning in the same environmental conditions of the key area located on the territory of the Altai Territory, showed significant variation, as can be judged by comparing their means and coefficients of variation. The greatest fluctuations in all soil properties in all soil profiles were observed, as a rule, in the 10–20 or 20–40 cm layers, whereas in the 0–10 cm layer they changed less significantly. It was revealed that the degree of humification and humus reserves, as well as*

nitrogen reserves and the nitrogen enrichment of humic substances in the 0-40 cm layer, can be regarded as significant; they displayed the greatest variation in the 20–40 cm layer.

Conclusions. *The heterogeneity of the main properties of chernozems located in the same natural conditions of the Priob Plateau within the boundaries of the key site “Volodarka”, even within 0-40 cm layer, is most likely due to the currently present features of ancient pedogenesis. Those features do not correspond to the combination of modern soil formation conditions of the dry-steppe type: it is confirmed by the presence and extent of clearly visible Middle Pleistocene pedocomplexes in the coastal outcrops of the Ob River. Different horizons of those pedocomplexes reached the surface and had been overlaid by products of modern soil formation in layers of different thicknesses. The combination of heterogeneity of soil profiles in terms of properties, position in the coastal outcrop and their visual differentiation allowed us to conclude that the variation in the compositional characteristics and properties of the studied soils resulted from the history of the territory development, which determined the surfacing of the buried paleosols. The knowledge of the heterogeneity of soil profiles makes it possible to use the studied soil properties and characteristics of their composition for monitoring the state of modern soils, substantiating forecasts of their behavior under changing ecological conditions, as well as for identifying features of ancient pedogenesis in order to reconstruct the paleonatural environment.*

Key words: *chernozems; Near-Ob Plateau; variation of soil properties; paleosols.*

How to cite: *Zakharova E.G. Variation in the properties of chernozems in the Priob Plateau within the boundaries of the key site “Volodarka” (Altai Territory, Russia) // The Journal of Soils and Environment. 2023. 6(4). e248. DOI: [10.31251/pos.v6i4.248](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.248). (in Russian with English abstract).*

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 121031700309-1).

REFERENCE

- Alekseev A.O., Kovalevskaya I.S., Morgun E.G., Samoilova E.M. Magnetic susceptibility of soils in conjugated landscapes. *Pochvovedenie*. 1988. No. 8. P. 27–35. (in Russian).
- Arinushkina E.V. Procedures for soil analysis. Moscow: Moscow State University press, 1970. 486 p. (in Russian).
- Armand A.D., Targulyan V.O. Some fundamental limitations of experiment and modeling in geography (the principle of complementarity and characteristic time). *Izvestiya Academy of Sciences of the SSR. Series geographical*. 1974. No. 4. P. 129–138. (in Russian).
- Babanin V.F. Magnetic susceptibility of the main soil types of the USSR and its use in soil research. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Moscow, 1972. 25 p. (in Russian).
- Babanin V.F., Trukhin V.I., Karpachevskiy L.O., Ivanov A.V., Morozov V.V. Magnetism of soils. Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University, 1995. 222 p. (in Russian).
- Bandysh T.Yu. On the modern approach to the study of the heterogeneity of soil cover. *Pochvovedenie i Agrokhimia*. 2016. No. 2 (57). P. 56–67. (in Belarus).
- Belik A.V., Gorbunova Yu.S., Devyatova T.A., Alaeva L.A. Spatial variation of ecological indicators of soddy forest soils in Usmansky pine forest. *Forestry Engineering Journal*. 2020. Vol. 10. No. 3 (39). P. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.3/1>. (in Russian).
- Burlakova L.M. Fertility of Altai chernozems in the agrocenosis system. Barnaul: RIO AGAU, 2022. 203 p. (in Russian).
- Burlakova L.M., Morkovkin G.G. Current state of fertility of chernozems of the Altai Territory and the problem of their rational use. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2003. No. 5. P. 49–50.
- Burlakova L.M., Morkovkin G.G. Anthropogenic transformation of soil formation and fertility of chernozems in the system of agrocenoses. *Agrochemical Herald*. 2005. No. 1. P. 2–4. (in Russian).
- Vagapov I.M., Alekseev A.O. Magnetic Susceptibility in the Evaluation of Spatial and Profile Heterogeneity of Soils Conditioned by the Paleoecological Factors. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2015. No.(5). P. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-5-99-106>. (in Russian).
- Vashukevich N.I. Organic matter of the Holocene-Pliocene chronosequence of soils in the Pre-Baikal region. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1996. 14 p. (in Russian).
- Vorobyova L.A. Chemical analysis of soils. Moscow: Moscow State University Publishing House, 1998. 272 p. (in Russian).

- Gamzikov G.P., Kulagina M.N. Changes in humus content in soils as a result of agricultural use. Moscow: VNIITEIag-roprom, 1992. 49 p. (in Russian).
- Denisova N.V. Forms of heterogeneity of soil cover in the chernozem zone of the European part of the Union: Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Moscow, 1974. 24 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Archaeological soil science. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 1997. 228 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I. System of humic substances as the base for diagnostics of palaeosols and reconstruction of palaeoenvironment. Novosibirsk: Publ. House SB RAS, 2018, 292 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Nekrasova O.A., Lavrik N.L. Humic acids of modern soils of the Southern Urals: Preprint. Novosibirsk, 2002. 24 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Mironycheva-Tokareva N.P., Ponomarev S.Yu., Gavrilov D.A. General characteristics of the study area and paleosols. In book: Palaeosols – keepers of information about the natural environment of the past. Novosibirsk: Thaler-Press LLC, 2011. P. 9–27. (in Russian).
- Derevyanko A.P., Dergacheva M.I. Magnetic susceptibility in Paleolithic archeology: on the issue of reconstruction of paleoclimates. Problems of reconstruction of climate and natural environment of the Holocene and Pleistocene of Siberia. Novosibirsk: Publishing House of the Institute of Archeology and Ethnography SB RAS, 1998. P. 110–119. (in Russian).
- Dmitriev E.A. Mathematical statistics in soil science. Moscow: Moscow State University Publishing House, 1995. 320 p. (in Russian).
- Zhukov A.V., Zadorozhnaya G.A. Spatial heterogeneity of mechanical hardness of replantozems. Principles of the Ecology. 2017. No. 3 (24). P. 66–80. (in Russian).
- Zavalin A.A., Sokolov O.A., Shmyreva N.J. Nitrogen in agro-ecosystems on chernozem soils. Moscow: RAS, 2018. 180 p. (in Russian).
- Zakharova E.G. Variation of properties in the upper part of modern soils and surface paleosols of the key Volodarka site (Barnaul Ob region). In book: Palaeosols – keepers of information about the natural environment of the past. Novosibirsk: Thaler-Press LLC, 2011. P. 91–94. (in Russian).
- Kachinskij N.A. Study of the physical properties of soil and plant root systems during territorial soil studies. Moscow: Gosselizdat, 1930. Part 1. 101 p. (in Russian).
- Kovrigo V.P., Kaurichev I.S., Burlakova L.M. Soil science with the basics of geology. Moscow: Kolos Publ., 2000. P. 416. (in Russian).
- Kozlovsky F.I. Soil individual and methods for its determination. Patterns of spatial variation in soil properties and information and statistical methods for their study. Moscow: Nauka Publ., 1970. P. 123–129. (in Russian).
- Kononova M.M. Soil organic matter. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1963. 313 p. (in Russian).
- Krasilnikov P.V., Targulian V.O. Towards "New soil geography": challenges and solutions. A review. Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 2. P. 113–121. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229319020091>.
- Krupkin P.I., Toptygin V.V. Improving methods of soil grading (using the example of the Krasnoyarsk Territory). Pochvovedenie. 1999. No. 12. P. 1481–1491. (in Russian).
- Litvinovich A.V. Spatial heterogeneity of agrochemical indicators of arable soddy-podzolic soils. Agrokhimia. 2007. No. 5. P. 89–94. (in Russian).
- Lichman G.I., Marchenko N.M. Use of space monitoring and remote sensing for precision agriculture. Geomatics. 2011. No. 4. P. 89–94. (in Russian).
- Lomov S.P., Penkov A.V. Magnetic susceptibility of some contemporary and buried soils in Tadzhikistan. Pochvovedenie. 1979. No. 6. P. 100–109. (in Russian).
- Lykov A.M. Humus and soil fertility. Moscow: Moskovsky Rabochiy Publ., 1985. 192 p. (in Russian).
- Maksimova N.B. Changes in the structural composition of chernozems and chestnut soils in natural zones of the south-west of the Altai Territory during long-term use as part of arable land. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017. No. 5. P. 71–75. (in Russian).
- Makhonina G.I. Initial processes of soil formation in technogenic ecosystems of the Urals. Abstract of Dissertation. ... Dr. of Biol. Sci. Tomsk, 2004. 38 p. (in Russian).

- Guidelines for determining the content and composition of humus in soils. Compiled by: V.V. Ponomareva, T.A. Plotnikova. Leningrad: Leningrad State University, 1975. 105 p. (in Russian).
- Mikheeva I.V. Probabilistic-statistical models of soil properties (using the example of chestnut soils of the Kulunda steppe). Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 2001. 200 p. (in Russian).
- Mikheeva I.V. Change in spatial variability of soil properties under anthropogenic impact. *Pochvovedenie*. 1997. No. 1. P. 102–109. (in Russian).
- Morev D.V. Agroecological assessment of lands in the conditions of a zonal series of agricultural landscapes with increased diversity of soil cover. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Moscow, 2017. 25 p. (in Russian).
- Morkovkin G.G. Anthropogenic transformation of soil formation and fertility of chernozems in the system of agrocenoses (on the example of the steppe zone of the Altai Territory). Barnaul: RIO AGAU, 2012. 271 p. (in Russian).
- Morkovkin G.G., Baykalova T.V., Maksimova N.B., Ovtsinov V.I., Litvinenko E.A., Demina I.V., Demin V.A. Estimation of the temporal dynamics of the structure of agricultural landscapes and indicators of soil fertility in the steppe zone of the Altai Territory. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2013. No. 9 (107). P. 33–42. (in Russian).
- Mudrykh N.M. Spatial variation of properties in the agrosod-podzolic soil. *Anthropogenic Transformation of Environment*. 2018. P. 82–84. (in Russian).
- Orlov D.S. Soil chemistry. Moscow: Publishing house Moscow University, 1985. 376 p. (in Russian).
- Orlov D.S., Biryukova O.N., Rozanova M.S. Revised system of the humus status parameters of soils and their genetic horizons. *Eurasian Soil Science*. 2004. Vol. 37. No. 8. P. 798–805.
- Paleosoils, natural environment and methods of their diagnostics. Dobrovolsky G.V., Dergacheva M.I. (ed.). Novosibirsk: "Offset", 2012. 264 p. (in Russian).
- Petersburgsky A.V. Workshop on agronomic chemistry. Moscow: Selkhozgiz Publ., 1958. 550 p. (in Russian).
- Ponomareva V.V., Plotnikova T.A. Humus and soil formation. Leningrad: Nauka Publ., 1980. 221 p. (in Russian).
- Soils of the Altai region. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1959. 380 p. (in Russian).
- Rassypnov V.A. Variability of soil properties and their economic productivity in the conditions of the subzone of ordinary chernozems of the moderately arid splinter steppe of the Altai Territory. Dissertation ...Cand. of Biol. Sci. Barnaul, 1977. 172 p. (in Russian).
- Savich V.I., Gukalov V.V., Sorokin A.E., Konakh M.D., Agroecological evaluation of interrelationships of soil properties in time and space. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2021. Vol. 106. P. 163–175. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-106-163-175>. (in Russian).
- Samsonova V.P. Spatial variability of the composition and properties of soddy-podzolic soil. Abstract of Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Moscow, 2003. 51 p. (in Russian).
- Samsonova V.P. Spatial variability of soil properties using the example of soddy-podzolic soils. Moscow, 2008. 160 p. (in Russian).
- Skorokhodov V.Yu., Zenkova N.A. Formation and maintenance of humus in steam fields crop rotations and permanent pairon southern black Soilorenburg Cis-Urals. *Plodorodie*. 2019. No. 6. P. 28–31. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.111.08>. (in Russian).
- Skripko V.V. Assessment of the ecological and geomorphological state of the Priobsky plateau based on basin analysis. Barnaul: Altai State University Publishing House, 2015. 142 p. (in Russian).
- Solovyova T.P. Magnetic susceptibility of soils in Khakassia. Dissertation ...Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1999. 17 p. (in Russian).
- Spitsyna S.F., Bakharev V.G. Variation of the gross content of microelements in soils of the Altai Territory. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. No. 4 (66). 2010. P. 27–30. (in Russian).
- Tatarintsev V.L. Agrogenic erosion and the physical state of soils in the Altai Ob region. Anthropogenic degradation of soil cover and measures to prevent it: Theses of reports of the All-Russian Conference (Moscow, June 16–18, 1998). Moscow, 1998. P. 46–47. (in Russian).
- Tatarintsev L.M. Physical state of the main arable soils in the southeast of Western Siberia. Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1993. 368 p. (in Russian).
- Tyurin I.V. Soil organic matter. Moscow: Selkhozgiz Publ., 1937. 287 p. (in Russian).

- Fridland V.M. Elementary soil areas as the initial units of soil-geographical taxonomy and some of their derivatives. Patterns of spatial variation in soil properties and information-statistical methods for their study. Moscow: Nauka Publ., 1970. P. 5–14. (in Russian).
- Khmelev V.A. Loess chernozems of Western Siberia. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1989. 200 p. (in Russian).
- Khmelev V.A., Tanasienko A.A. Chernozems of the Kuznetsk basin. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1983. 256 p. (in Russian).
- Chevychelov A.P., Alekseev A.A., Kuznetsova L.I. Magnetic susceptibility of permafrost soils of the forest catena in Central Yakutia. *Sibirskij Lesnoj Zurnal (Siberian Journal Forestry Science)*. 2021. No. 2. P. 32–42. DOI: <https://doi.org/10.15372/SJFS20210203>. (in Russian).
- Encyclopedia of the Altai territory. Barnaul: Altai book publishing house, 1995. Part. 1. P. 350–367. (in Russian).
- Alekseeva T., Alekseev A., Maher B.A., Demkin V. Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of buried palaeosols. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2007. Vol. 249. P. 103–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.01.006>.
- Correa J.C., Klaus R. The Spatial Variability of Amazonian Soils under Natural Forest and Pasture. *Geojournal*. 1989. No. 4. P. 423–427.
- Coşkun G., Imanverdi E., Feride C., Zeynep D. Spatial variability of soil physical properties in a cultivated field. *Eurasian Journal Soil Science*. 2016. No. 5 (3). P. 192–200. DOI: <https://doi.org/10.18393/ejss.2016.3.192-200>.
- Daughtry C.S.T., Hunt Jr. E.R.; Doraiswamy P.C., McMurtrey III J.E. Remote sensing the spatial distribution of crop residues. *Agronomy Journal*. 2005. Vol. 97. P. 864–871. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2003.0291>.
- Jiao S., Li J., Li Y., Xu Z., Kong B., Li Y. & Shen Y. Variation of soil organic carbon and physical properties in relation to land uses in the Yellow River Delta, China. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Article number: 20317. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77303-8>.
- Jong E. de, Pennock D.J., Nestor P.A. Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan, Canada. *Catena*. 2000. Vol. 40. Iss. 3. P. 291–305. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00080-1).
- Maher B.A. Magnetic properties of modern soils and loessic paleosols: implications for paleoclimate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1998. Vol. 137. P. 25–54.
- Mullins C.E. Magnetic Susceptibility of Soil and its Significance in Soil Science – A Review. *Journal of Soil Science*. 1977. Vol. 28. P. 223–246.
- Scharf P.C., Kitchen N.R., Sudduth K.A., Davis J.G., Hubbard V.C., Lory J.A. Field-Scale Variability in Optimal Nitrogen Fertilizer Rate for Corn. *Agronomy Journal*. 2005. Vol. 97. No. 2. P. 452–461. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0452>.
- Wang X., Li Y., Duan Y., Wang L., Niu Y., Li X., Yan M. Spatial Variability of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen in Desert Steppes of China's Hexi Corridor. *Frontiers in Environmental Science*. 2021. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.761313>.
- Zhou J., Wang Y., Tong Y., Sun H., Zhao Y., Zhang P. Regional spatial variability of soil organic carbon in 0–5 m depth and its dominant factors. *Catena*. 2023. Vol. 231. P. 127–135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107326>.

Received 01 November 2023

Accepted 28 December 2023

Published 30 December 2023

About the author:

Zakharova Elena Gennadijevna – Junior Researcher in the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); zakharova@issa-siberia.ru

The author read and approved the final manuscript



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



ДИНАМИКА ЛЕТНИХ ЗАПАСОВ ВЛАГИ В ПРОФИЛЕ НЕЭРОДИРОВАННЫХ И ЭРОДИРОВАННЫХ ЧЕРНОЗЁМОВ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2023 А. А. Танасиенко , А. С. Чумбаев , Г. Ф. Миллер , С. В. Соловьев 

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

Цель исследования. Выявить наличие и причины летнего дефицита влаги в профиле незэродированных и эродированных почв на фоне многолетнего увеличения увлажнения территории юго-востока Западной Сибири.

Место и время проведения. Рассмотрен водный режим чернозёмов выщелоченных Кузнецкой котловины (1968–1979 гг.), чернозёмов обыкновенных Новосибирского Приобья (1984–1993 гг.), чернозёмов выщелоченных Предсалаирья (с 1995 по н.в.) под целинной растительностью и его изменение в результате обработки почвы и эрозионных процессов.

Методы. Исследовали влажность каждого 10-сантиметрового слоя почвы до глубины 150 см. В лабораторных условиях для определения содержания влаги в почвенных образцах использовали термостатно-весовой метод. Данные по количеству осадков и температуре воздуха тёплого периода получены из климатических справочников, сети Интернет и собственных наблюдений на ключевых участках.

Основные результаты. Установлено, что ранней весной (апрель) запасы влаги в 1,5-метровой толще целинного чернозёма выщелоченного на 50 мм меньше, чем в чернозёме пашни. Эта разница в запасах влаги сохраняется в течение всего лета; к середине октября различия в запасах влаги в профиле незэродированных чернозёмов исчезает. На пополнение запасов почвенной влаги отрицательное влияние оказывает поверхностный сток ливневых вод, поэтому профиль эродированных чернозёмов оказывается недонасыщен влагой. Весенний дефицит влаги в 1,5-метровой толще почв, распространённых на склонах юго-восточной и юго-западной экспозиций, примерно одинаков (58 и 48 мм, соответственно), а в июне сильнее иссушен профиль пахотного слабоэродированного чернозёма, расположенного на склоне юго-восточной экспозиции (дефицит влаги 101 и 48 мм, соответственно).

Заключение. Недонасыщенность влагой почвенного профиля распаханых незэродированных чернозёмов весной, редкие и незначительные по количеству осадки первой половины тёплого периода, высокая температура воздуха в это же время привели к существенному расходу почвенной влаги и образованию ее дефицита к августу в сухой и нормальный по увлажнению циклы. За последние 10 лет (2013–2022 гг.) наблюдается определенная тенденция трансформации непромывного типа водного режима чернозёмов Предсалаирья в периодически промывной тип, за счет увеличения количества раннеосенних осадков и температур воздуха.

Ключевые слова: твердые и жидкие атмосферные осадки; запас почвенной влаги; циклы атмосферного увлажнения; чернозёмы Западной Сибири.

Цитирование: Танасиенко А.А., Чумбаев А.С., Миллер Г.Ф., Соловьев С.В. Динамика летних запасов влаги в профиле незэродированных и эродированных чернозёмов юго-востока Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 4. e232. DOI: [10.31251/pos.v6i4.232](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.232).

ВВЕДЕНИЕ

Земельный фонд юго-востока Западной Сибири на 01.01.2021 г. (Доклад о состоянии..., 2022) характеризуется относительно хорошей освоенностью. Сельскохозяйственные угодья Новосибирской и Кемеровской областей, а также Алтайского края (как субъектов федерации, наиболее показательных для указанной территории) в общей площади сельскохозяйственных земель этих регионов составляют 54, 42 и 22%, соответственно. В то же время, в общей площади сельскохозяйственных угодий Сибирского федерального округа их доля составляет 19, 6 и 26%, соответственно.

В пределах сибирской черноземной фации чернозёмы Западной Сибири занимают наибольшую площадь – более 13 млн га (Хмелев, Танасиенко, 2009а, б). Общая площадь черноземов в Западной Сибири в составе пашни составляет 10,7 млн га.

К началу века наибольшая доля негативных процессов, касающихся почвенного покрова территории Российской Федерации, приходится на процесс водной эрозии, действие которого выявлено на 15% обследованной территории страны. Сибирский федеральный округ (СФО) относится к территориям, где данное явление представлено весьма широко: им охвачено 7,8% территории. Из обследованных в СФО 1859,4 тыс. га, площадь, подверженная процессу водной эрозии, составила 156,08 тыс. га, из которых на слабосмытые почвы приходится 107,13 тыс. га, на среднесмытые 41,34 тыс. га, на сильносмытые – 7,61 тыс. га (Доклад о состоянии..., 2022).

Насколько угрожающий характер принял процесс водной эрозии на юго-востоке Западной Сибири особенно наглядно демонстрируется на примере Кемеровской области, где при общей площади пашни в 1535,5 тыс. га водной эрозией охвачено 25,4% территории, что составляет 389,1 тыс. га (Государственный (национальный) доклад..., 2020).

Население Западной Сибири к 50-м годам XX века существенно увеличилось, что повлекло за собой расширение посевных площадей. К этому времени лучшие почвы Западной Сибири (чернозёмы), распространённые на относительно выровненной территории, были полностью вовлечены в сельскохозяйственное производство. Дальнейшее освоение целинных и залежных земель под пашню осуществлялось уже на эрозионно-опасных склоновых поверхностях, крутизна которых нередко превышала 3° и даже 6°. Это привело к тому, что на изученной территории в настоящее время около 7 млн га земель в разной степени подвержено эрозии и дефляции (Танасиенко, 2003).

Основы изучения водного режима почв под естественной и культурной растительностью в элювиальных ландшафтах заложены работами В.В. Докучаева (1954) и А.А. Измаильского (1937). Известно, что склоны занимают большие территории, чем выровненные водораздельные пространства (Шурикова, 1981). В этой связи не случаен повышенный интерес многих исследователей к изучению водного режима почв элювиальных, трансэлювиальных и трансаккумулятивных ландшафтов (Швебс, 1960; Шикла, 1962; Герцык, 1966; Роде, 1978; Базыкина и др., 2015; Базыкина, Овечкин, 2016; и др.).

Почвы элювиальных ландшафтов самые удобные для возделывания сельскохозяйственной продукции, поэтому повсеместно в лесостепной и степной зонах они распаханы. Согласно Б.Б. Полюнову (1953, с. 38), элювиальные ландшафты занимают самую высокую позицию катены и характеризуются «... залеганием на водоразделах, независимостью процесса почвообразования от грунтовых вод, отсутствием притока материала путем жидкого и твёрдого бокового стока, наличием расхода материала путём стока, просачивания и выноса минеральных элементов ...». В условиях Западной Сибири водный режим автоморфных пахотных почв в лесостепной и степной зонах складывается по типу непромытого. Почвенные запасы влаги пополняются только за счёт атмосферных осадков. Вследствие значительной расчленённости территории, глубокого зимнего промерзания и практической водонепроницаемости почв в период снеготаяния, 40–60% осенне-зимне-ранневесенних осадков теряется за счёт поверхностного стока и физического испарения. В итоге, даже при снеготаянии и в довегетационный период, в большинстве случаев чернозёмы характеризуются значительным дефицитом влаги, который не всегда ликвидируется осадками теплого периода. Рост и урожайность возделываемых культур оказывается в зависимости от летних осадков, выпадающих крайне неравномерно. Это отрицательно сказывается на водном режиме незэродированных, эродированных и намытых почв и, в конечном итоге, на урожае сельскохозяйственных культур.

Цель исследования – выявить наличие и причины летнего дефицита влаги в профиле незэродированных и эродированных почв на фоне многолетнего увеличения увлажнения территории юго-востока Западной Сибири.

Для достижения поставленной цели был сделан анализ температуры воздуха и количества осадков, выпадающих в тёплый период года в исследованных геоморфологических районах юго-востока Западной Сибири, запасов общей влаги в профиле естественных и антропогенно-преобразованных почв, а также потерь талых и ливневых вод вследствие их поверхностного стока.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящей статье рассмотрен водный режим почв Предалтайской лесостепной провинции, а именно: чернозёмов выщелоченных Кузнецкой котловины (наблюдения 1968–1979 гг.), чернозёмов обыкновенных Новосибирского Приобья (1984–1993 гг.), чернозёмов выщелоченных

Предсалаирья (с 1995 г. по н.в.) под целинной растительностью и его изменение в результате обработки почвы и эрозионных процессов (рисунок).

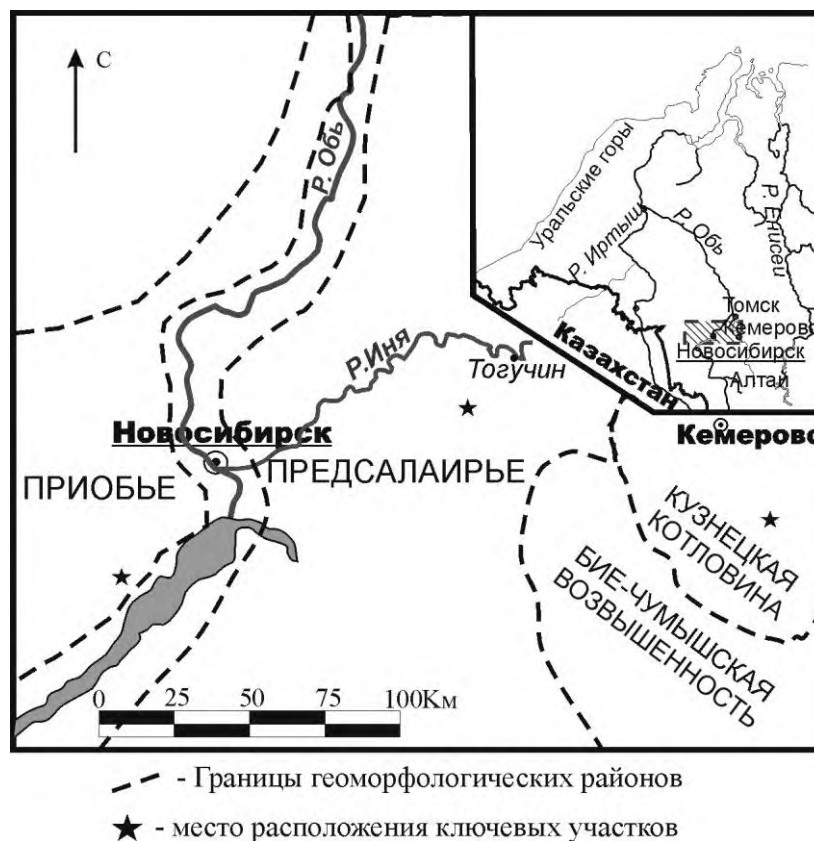


Рисунок. Карта-схема геоморфологического районирования Предалтайской лесостепной провинции (составлено по: Орлов, 1983).

С целью изучения водного режима чернозёмов систематически отбирались образцы почвы каждого 10-сантиметрового слоя до глубины 150 см. В лабораторных условиях для определения содержания влаги в почвенных образцах использовали термостатно-весовой метод (Вадюнина, Корчагина, 1973). В первые годы наблюдения летом проводились ежедекадно, а в последующие годы – 2 раза в месяц. Скважины располагались треугольником на расстоянии 1,5 м друг от друга. На всех точках наблюдений был проведен анализ плотности почв буровым методом Качинского, до глубины 150 см. Расчет запасов почвенной влаги (мм) производился путем перемножения влажности почв (%) на плотность соответствующего слоя. Гранулометрический состав исследуемых почв определялся методом пипетки в варианте Качинского. Классификация почв по гранулометрическому составу произведена по Н.А. Качинскому (1959).

Данные по количеству осадков, температуре воздуха тёплого периода были получены из климатических справочников (Климатологический справочник СССР, 1962; Метеорологический ежемесячник, 1961–1990; Справочник по климату СССР, 1977), по данным метеостанций Ордынское (Приобье), Тогучин (Предсалаирье) и Кемерово (Кузнецкая котловина), сети Интернет (Специализированные массивы...; Расписание Погоды) и собственных наблюдений на ключевых участках.

Юго-восток Западной Сибири характеризуется довольно высокой степенью освоенности территории; целинные участки с соответствующими почвами практически не сохранились. Однако, как полагал А.Ф. Большаков (1961), целинные аналоги позволяют изучить закономерности режима влажности чернозёмов без наложения изменений, вызванных обработкой и эрозионными процессами.

Вследствие большой горизонтальной и вертикальной расчленённости Предсалаирья и Кузнецкой котловины, каждый пятый гектар пашни в той или иной степени подвержен эрозионным процессам. Расчленение территории Новосибирского Приобья гораздо меньше вышеназванных регионов, поэтому здесь эродирован только каждый 14-й гектар пашни. Среди

эродированных почв наибольшее распространение получили слабоэродированные (86%), на долю среднеэродированных чернозёмов приходится почти 13% пашни. Сильноэродированные чернозёмы занимают немногим более 1%. Слабонамытые полугидроморфные лугово-чернозёмные почвы встречаются крайне редко.

Водный режим рассматривается как совокупность поступления и расхода почвенной влаги, суммарное выражение которой во времени определяется влагооборотом (Бялый, 1971).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Климат исследованной территории – континентальный, с жарким летом и холодной зимой. Ранее (Чумбаев и др., 2020), было установлено, что в нормально снежный цикл атмосферного увлажнения (1963–1987 гг.) в Предсалаирье (метеостанция Тогучин) температура воздуха в зимний период опускается до минус 30°C при средней величине минус 13,5°C. В многоснежный цикл атмосферного увлажнения (1988–2012 гг.) средняя температура воздуха зимой повысилась на 1,6°C в сравнении с нормально снежным циклом, а в очень многоснежный цикл (2013 – настоящее время) – на 2,3°C. Следовательно, в течение последних 60 лет отчётливо прослеживается потепление зимних периодов на юго-востоке Западной Сибири.

Самый жаркий месяц тёплого периода года – июль. В этом месяце воздух прогревается в среднем до +20...+23°C. Установлено, что среднегодовые температуры воздуха летом в различные циклы увлажнения очень близки между собой. Однако среднегодовая температура воздуха с 1963 г. по настоящее время увеличилась с 0,5 до 1,9°C, или на 12,5%.

Минимальное количество жидких атмосферных осадков свойственно апрелю. В начале тёплого периода количество жидких атмосферных осадков во всех трёх исследованных регионах практически одинаковое и колеблется в пределах 19–27 мм (табл. 1). Максимальное количество осадков выпадает в июле. Среднее количество осадков тёплого периода варьирует от 273 мм при сухом цикле увлажнения (метеостанция Ордынское) и до 386 мм во влажном цикле (метеостанция Кемерово агро). Предсалаирье и Кузнецкая котловина находятся в лесостепной зоне, а Приобье – в переходной части от лесостепи к степи. Поэтому в первых двух регионах общее количество жидких осадков в отдельные циклы увлажнения на 30–40 мм больше, чем в Приобье.

Материалы, представленные в табл. 1, позволяют сделать вывод о значительном варьировании атмосферных осадков тёплого периода, которое связано с ритмичностью их выпадения. В Новосибирском Приобье среднее количество жидких осадков за 80-летний период составляет 308 мм, против 345 мм выпавших в Кузнецкой котловине. По сухости тёплого периода Предсалаирье занимает промежуточное положение между Кузнецкой котловиной и Приобьем.

Многолетние наблюдения за количеством выпадающих твёрдых атмосферных осадков позволили зафиксировать увеличение увлажнённости территории Кузнецкой котловины (от 75 мм в 1940-х годах до 180 мм в конце 2020 года). Следовательно, за 80 лет среднее выпадение твёрдых атмосферных осадков увеличилось почти в 2,5 раза. Это позволило выявить четыре 25-летних цикла выпадения осадков холодного периода (Танасиенко и др., 2019). Среднее количество жидких осадков за этот же период также возросло (от 273 мм в 1940 г. до 386 мм в 2020 г.). Однако ожидаемого деления этого временного отрезка на 25-летние циклы увлажнения в тёплый период года не произошло. Поэтому к каждому из ранее выделенных 25-летних циклов холодного периода были искусственно присоединены аналогичные циклы тёплого периода. Оказалось, что и в таком случае осадки тёплого периода условно можно диагностировать как сухие циклы атмосферного увлажнения (меньше 315 мм), нормальные циклы (316–360 мм), а также влажные циклы (количество жидких осадков более 360 мм).

Количество выпадающих осадков на территории центрально-чернозёмной зоны (ЦЧЗ) России (Кузнецов, Демидов, 2002) немногим (на 48 мм) превышает увлажнение территории юго-востока Западной Сибири, например, Кузнецкой котловины. Важно подчеркнуть, что на территории ЦЧЗ количество выпавших жидких атмосферных осадков в апреле и сентябре в 2 раза превышает таковое в Кузнецкой котловине, а в августе большее увлажнение характерно для территории Кузнецкой котловины, нежели ЦЧЗ. Однако это не эрозионно-опасные месяцы. В самый эрозионно-опасный период (май–июль) увлажнение территории сравниваемых районов очень близко между собой. О значительной потере для почвенного профиля осадков, выпадающих с поверхностным стоком, свидетельствуют следующие примеры. Из 25 мм атмосферных осадков, выпавших в июле 1968 г. в Кузнецкой котловине, на поверхностный сток ливневых вод расходовалось 15 мм осадков, в июне 1969 г. из 36 мм дождевых вод 20 мм атмосферных осадков

мигрировало по поверхности склоновых почв в гидрографическую сеть (Танасиенко, 1992). Ещё больший поверхностный сток ливневых вод характерен для территории Предсалаирья (в пределах Новосибирской области). Например, 10 июня 1980 г. на поле, засеянное пшеницей, выпало 40 мм осадков в виде ливня, из которых 32 мм мигрировало с поверхностным стоком за пределы обрабатываемого склона.

Таблица 1

Количество осадков (мм) тёплого периода в различные циклы увлажнения тёплого периода на юго-востоке Западной Сибири

n	Месяц	Циклы			
		Предсалаирье. Метеостанция <i>Тогучин</i>	Предсалаирье. Метеостанция <i>Тогучин</i>	Предсалаирье. Метеостанция <i>Тогучин</i>	Предсалаирье. Метеостанция <i>Тогучин</i>
		нормальный (1938–1962 гг.)	нормальный (1963–1987 гг.)	нормальный (1988–2012 гг.)	влажный (2013–2020 гг.)
25	IV	21 ± 2,8	26 ± 2,6	27 ± 2,5	23 ± 4,1
	V	36 ± 3,4	38 ± 3,4	36 ± 5,1	62 ± 9,4
	VI	59 ± 5,2	46 ± 5,5	58 ± 5,2	39 ± 5,0
	VII	79 ± 6,5	63 ± 6,4	74 ± 8,5	75 ± 8,7
	VIII	65 ± 6,5	64 ± 5,9	63 ± 7,0	61 ± 7,2
	IX	45 ± 4,5	38 ± 4,3	50 ± 5,3	43 ± 6,1
	X	39 ± 3,6	43 ± 4,2	41 ± 2,9	58 ± 6,6
	Итого	–	344	318	349
		Новосибирское Приобье. Метеостанция <i>Ордынское</i>	Новосибирское Приобье. Метеостанция <i>Ордынское</i>	Новосибирское Приобье. Метеостанция <i>Ордынское</i>	Новосибирское Приобье. Метеостанция <i>Ордынское</i>
		сухой (1938–1962 гг.)	сухой (1963–1987 гг.)	сухой (1988–2012 гг.)	влажный (2013–2020 гг.)
25	IV	23 ± 2,9	25 ± 3,1	23 ± 3,3	24 ± 3,8
	V	30 ± 3,0	32 ± 2,5	44 ± 7,4	59 ± 7,7
	VI	53 ± 5,8	43 ± 5,0	47 ± 2,3	41 ± 5,4
	VII	74 ± 8,8	59 ± 7,6	71 ± 9,1	88 ± 9,1
	VIII	63 ± 5,9	47 ± 5,8	36 ± 6,4	66 ± 6,3
	IX	38 ± 4,5	30 ± 4,7	27 ± 6,0	32 ± 3,7
	X	33 ± 3,2	37 ± 3,2	35 ± 6,1	54 ± 5,9
	Итого	–	314	273	283
		Кузнецкая котловина. Метеостанция <i>Кемерово агро</i>	Кузнецкая котловина. Метеостанция <i>Кемерово агро</i>	Кузнецкая котловина. Метеостанция <i>Кемерово агро</i>	Кузнецкая котловина. Метеостанция <i>Кемерово агро</i>
		нормальный (1938–1962 гг.)	нормальный (1963–1987 гг.)	нормальный (1988–2012 гг.)	влажный (2013–2020 гг.)
25	IV	19 ± 2,2	23 ± 2,3	27 ± 2,5	23 ± 4,1
	V	41 ± 3,6	42 ± 3,4	38 ± 3,9	56 ± 8,8
	VI	56 ± 4,0	61 ± 6,9	69 ± 5,8	49 ± 7,8
	VII	74 ± 4,5	59 ± 7,9	66 ± 6,6	97 ± 11,5
	VIII	60 ± 5,1	67 ± 5,3	61 ± 4,9	61 ± 5,2
	IX	45 ± 3,9	34 ± 4,2	43 ± 4,3	51 ± 4,8
	X	27 ± 2,9	39 ± 3,1	43 ± 2,1	49 ± 4,6
	Итого	–	322	325	347

Примечание.

n – число повторностей. ± SE (standard error) – стандартная ошибка среднего.

Известно, что общее количество жидких осадков позволяет судить лишь о потенциальной возможности увлажнения того или иного исследуемого региона, поскольку увеличение объёма осадков не всегда сопровождается соответствующим увеличением усвоения почвой дождевых вод. Величина поверхностного стока зависит, в основном, от интенсивности дождей, их продолжительности и частоты выпадения (Черемисинов, 1968; Заславский, 1979), а также от инфильтрационной способности почвы (Львович, 1974).

Водный режим чернозёмов Кузнецкой котловины. Наши исследования содержания общей влаги в профиле незэродированных и эродированных чернозёмов Кузнецкой котловины в тёплый сезон года пришлись на период нормального цикла увлажнения территории в тёплый период (табл. 2).

Таблица 2

Динамика запасов влаги и её дефицит от НВ в профиле чернозёмов различной степени эродированности Кузнецкой котловины нормального цикла увлажнения, тёплый период 1968–1979 гг.

Слой, см	НВ, мм	Запасы / прибавка (+) или дефицит (-) влаги (мм) во второй декаде:			
		апреля	июня	августа	октября
Чернозёмы выщелоченные тяжелосуглинистые (54°44'53,5" с.ш., 86°39'55,3" в.д.)					
Неэродированные, целина, n = 8					
0–30	135	150 / +15	94 / -41	85 / -50	111 / -24
30–50	71	38 / -33	52 / -19	42 / -29	51 / -20
50–100	155	109 / -46	101 / -54	53 / -102	112 / -43
100–150	143	117 / -26	113 / -30	115 / -28	122 / -21
0–150	504	414 / -90	360 / -144	295 / -209	396 / -108
Неэродированные, пашня, n = 8 (54°44'11,0" с.ш., 86°39'32,4" в.д.)					
0–30	122	138 / +16	88 / -34	80 / -42	96 / -26
30–50	70	58 / -12	51 / -19	45 / -25	51 / -19
50–100	154	138 / -16	99 / -55	116 / -38	120 / -34
100–150	143	129 / -14	121 / -22	123 / -20	130 / -13
0–150	489	463 / -26	359 / -130	364 / -125	397 / -92
Слабоэродированные, пашня, склон юго-восточной экспозиции, n = 7 (54°44'08,3" с.ш., 86°39'39,5" в.д.)					
0–30	95	101 / +6	74 / -21	70 / -25	96 / +1
30–50	56	56 / 0	45 / -11	40 / -16	54 / -2
50–100	143	113 / -30	102 / -41	93 / -50	110 / -33
100–150	138	104 / -34	110 / -28	105 / -33	105 / -33
0–150	432	374 / -58	331 / -101	308 / -124	365 / -67
Среднеэродированные, пашня, склон юго-восточной экспозиции, n = 8 (54°44'06,6" с.ш., 86°39'44" в.д.)					
0–30	99	102 / +3	82 / -17	66 / -33	91 / -8
30–50	57	45 / -12	48 / -9	40 / -17	49 / -8
50–100	141	102 / -39	109 / -32	107 / -34	111 / -30
100–150	135	110 / -25	118 / -17	121 / -14	123 / -12
0–150	432	359 / -73	357 / -75	334 / -98	374 / -58
Сильноэродированные, пашня, склон юго-восточной экспозиции, n = 8 (54°44'00,8" с.ш., 86°39'52,1" в.д.)					
0–30	93	91 / -2	68 / -25	64 / -29	81 / -12
30–50	60	48 / -12	45 / -15	38 / -22	45 / -15
50–100	151	109 / -42	110 / -41	101 / -50	108 / -43
100–150	135	101 / -34	84 / -51	106 / -29	95 / -40
0–150	439	349 / -90	307 / -132	309 / -130	329 / -110
Слабонамытые*, пашня, шлейф склона юго-восточной экспозиции, n = 8 (54°43'56,4" с.ш., 86°39'54,7" в.д.)					
0–30	104	112 / +8	90 / -14	91 / -13	101 / -3
30–50	73	74 / +1	60 / -13	56 / -17	64 / -9
50–100	143	148 / +5	132 / -11	129 / -14	137 / -6
100–150	146	155 / +9	155 / +9	154 / +8	164 / +18
0–150	466	489 / +23	437 / -29	430 / -36	466 / 0

Примечание.

НВ – наименьшая влагоемкость. n – число повторностей. *Слабонамытые полугидроморфные лугово-черноземные почвы.

В естественном состоянии водный режим чернозёмов выщелоченных (целина) этого региона имеет ряд характерных особенностей. Как правило, снеготаяние заканчивается до оттаивания почвы, а наличие растительной подстилки, ветоши и мощной дернины (10–15 см) способствуют более полному, чем на пахотных склонах, впитыванию снеготалых вод и жидких летних осадков. Поэтому здесь, в большинстве случаев, во второй декаде апреля слой 0–30 см насыщен влагой, превышающей величину **наименьшей влагоемкости (НВ)**. Следует отметить, что, начиная со

второй декады июня и до конца тёплого периода, в этом слое дефицит влаги варьировал в пределах 24–50 мм. Наибольший дефицит влаги в целинном чернозёме (50 мм) зафиксирован в августе. Дефицит влаги в слое 50–100 см равен вышерасположенному полуметровому слою, а слой 100–150 см гораздо лучше насыщен влагой, чем вышележащий, однако меньше, чем верхний. Влияние талых вод здесь, вероятно, сказывается не так сильно, как в вышележащих слоях. Об этом свидетельствует довольно высокое содержание общей влаги в данном слое в течение всего периода наблюдений. Обычно недонасыщенность слоя 100–150 см до величины НВ составляет 15–25%.

Оценивая весенние запасы влаги 1,5-метрового слоя целинного чернозёма, следует отметить, что в 60% случаев наблюдается промачивание 50-сантиметровой толщи до НВ. Накопленная в период снеготаяния влага очень быстро расходуется естественной растительностью, у которой начало вегетационного периода более чем на месяц опережает развитие агроценоза. В итоге, в середине июня количество общей влаги в слое 0–50 см в засушливые годы резко снижается до величины завядания растений, а в нормальные по увлажнению годы она находится в труднодоступном для растений состоянии. Летние дожди не компенсируют текущий расход влаги из данного слоя, промачивая максимум верхнюю 30-сантиметровую толщу почвы. В годы же с обильным количеством осадков летнего периода верхний полуметровый слой существенно пополняется влагой, содержание которой становится ближе к НВ. Осенние запасы влаги в 30-сантиметровом слое целинного чернозёма, хотя и превышают июньские и августовские запасы, но оказываются меньшими (на 39 мм) в сравнении с весенними.

Весной, во время снеготаяния (преимущественно первая половина апреля), в результате быстрого нарастания положительных температур воздуха днём и возврата отрицательных температур ночью, почва успеваеет оттаять на очень небольшую глубину (не более 20 см). Поэтому даже высокие снеготопы (более 120 мм) почти не оказывают большого влияния на пополнение запасов влаги почвенного профиля глубже 50 см. В итоге, при количестве осенне-зимних осадков, соответствующих среднемноголетней норме, после снеготаяния в почвенном профиле чернозёмов (независимо от степени смытости) может отмечаться дефицит влаги, величина которого минимальна лишь для слоя 30–50 см (9 мм). В слое 50–100 и 100–150 см дефицит может достигать 40 мм и более.

По интенсивности влагооборота чернозёмы элювиальных ландшафтов Кузнецкой котловины и Предсалаирья сходны с чернозёмами выщелоченными лесостепи Омской области (Журавлев, 1959) и Тобол-Ишимского междуречья (Каретин, 1982), но заметно отличаются от аналогичных почв европейской части России (Большаков, 1961; Афанасьева, 1966; Акентьева, 1971) меньшей глубиной влагооборота, более поздним иссушением корнеобитаемого слоя. Сходство водного режима чернозёмов Западной Сибири обуславливается, вероятно, тем, что корневая система районированных сортов сельскохозяйственных культур сосредоточена, в основном, в верхнем полуметровом слое. Высокие температуры воздуха в июне и июле, незначительное количество осадков в засушливые годы способствуют сильному иссушению именно этого слоя почвы, что не свойственно, например, курским чернозёмам (Большаков, 1961).

На долю трансэлювиальных ландшафтов приходится более 60% исследуемой территории. Они характеризуются привнесением вещества не только из атмосферы, но и боковым внутрпочвенным стоком. Поверхностный сток здесь обусловлен либо дождями, либо талыми водами. Возникают эти потоки тогда, когда поверхность склона не может по той или иной причине вместить всего количества поступающей жидкости.

Около 80% всех сельскохозяйственных угодий Кузнецкой котловины и Предсалаирья расположены на склонах крутизной до 10° (Танасиенко, 1992) и представлены слабо-, средне- и сильноэродированными чернозёмами выщелоченными. Слабоэродированные чернозёмы распространены в верхней трети склона, где его крутизна колеблется в пределах 1–3°. При наличии вод различного генезиса, около 40% их мигрирует по поверхности склона за пределы пашни. В итоге, в профиле слабоэродированных чернозёмов формируется существенный дефицит влаги, который, нужно отметить, мало чем отличается от характера распределения влаги в почвах элювиальных ландшафтов. Запасы влаги в профиле слабоэродированных чернозёмов во второй половине апреля оказываются на 90 мм меньшими, чем в неэродированных почвах. Пониженные запасы влаги в профиле слабоэродированных чернозёмов объясняются обеднением их гумусового

горизонта органическим веществом, обменными основаниями и илистой фракцией, ответственными за структурообразование и водопоглощение.

При сопоставлении среднесезонных запасов общей влаги в профиле слабоэродированных почв в различные сезоны года, обращают на себя внимание практически одинаковые её запасы в верхнем слое почв вне зависимости от сезона, несколько повышенная аккумуляция к началу лета (на 15 мм), особенно в чернозёмах, занимающих склон юго-западной экспозиции. Интенсивный влагооборот в слабоэродированных чернозёмах охватывает в основном метровую толщу. Содержание общей влаги в слое 100–150 см варьирует в пределах 105–120 мм при средних многолетних запасах в 109 мм и остаётся практически неизменным в течение года.

Слабоэродированные чернозёмы, распространённые на склонах юго-восточной и юго-западной экспозиций с крутизной 2–3°, в сравнении с почвами элювиальных ландшафтов, летом (июнь–август) недополучают различное количество влаги. Лучшее увлажнение присуще почвам юго-западной экспозиции, дефицит влаги в которых в среднем равен 75 мм против 112 мм, характерных для профиля почв юго-восточной экспозиции.

Среднеэродированные чернозёмы обычно занимают вторую треть склона. Как справедливо отмечал В.Р. Вильямс (1950), количество воды, проникающее в почву, становится всё меньше по мере удаления от водораздела. Нашими исследованиями установлено, что среднеэродированные чернозёмы суше в засушливые годы и влажнее в годы с повышенным количеством атмосферных осадков в сравнении с расположенными выше по склону слабоэродированными почвами; наиболее активным влагооборотом охвачена метровая толща чернозёмов.

Сильноэродированные чернозёмы распространены, в случае прямого и длинного склона, в средней, наиболее крутой его части, либо на выпуклой части сложного выпукло-вогнутого склона. Как в том, так и в другом случае, через участки сильноэродированных почв, в силу крутосклонного рельефа, с большой скоростью мигрирует значительное количество воды с поверхностным стоком, который формируется в том случае, если запасы воды в снеге достигают 60 мм. Меньшие запасы ещё до наступления снеготаяния сублимируются и испаряются в результате повышенной инсоляции южного склона. Поэтому сильноэродированные чернозёмы получают значительно меньшее количество влаги, чем почвы плакоров или слабо- и среднеэродированные их аналоги. Сильноэродированные чернозёмы Кузнецкой котловины отличаются от всех почв катены максимальным дефицитом влаги как в начале (73 мм), так и в конце (110 мм) тёплого периода.

Почвы трансаккумулятивных ландшафтов – полугидроморфные лугово-чернозёмные намывные почвы – расположены на шлейфах склонов и балок. Данные ландшафты накапливают влагу не только за счёт атмосферных осадков, но и за счёт поверхностного стока талых и дождевых вод. Вследствие редукции стока потоки талых и, особенно, ливневых вод в нижней трети склона наблюдаются гораздо дольше, чем в верхней трети, где их существование, по мнению В.Р. Вильямса (1950), непродолжительно. В лугово-чернозёмных намывных почвах активным влагооборотом охвачена метровая толща, что подтверждается стабильным увлажнением иллювиально-карбонатного горизонта (слой 100–150 см) в течение всего тёплого периода. Профиль намывных почв, в отличие от остальных почв катены, весной и осенью не испытывает недостатка влаги.

Водный режим чернозёмов Новосибирского Приобья. Наблюдения за водным режимом обыкновенных чернозёмов Новосибирского Приобья пришлось на сухой цикл атмосферного увлажнения, характеризующийся повышенной среднемесячной температурой воздуха и невысоким количеством осадков. За три месяца первой половины тёплого периода их выпало всего около 105 мм, что на 20 мм меньше, чем во влажный цикл. Высокая температура воздуха и небольшое количество осадков летом способствовали интенсивному расходованию запасов почвенной влаги целинной растительностью.

Запасы общей влаги в чернозёме обыкновенном (целина) Новосибирского Приобья максимальны только ранней весной (табл. 3). Эта влага сконцентрирована, в основном, в верхнем полуметре; её запасы во 2-й декаде апреля составляли в среднем 140 мм. Иллювиальный и иллювиально-карбонатный горизонты (50–150 см) суммарно содержали столько же влаги, сколько вмещал гумусовый горизонт. Осадки второй половины тёплого периода (август–октябрь) оказывают очень малое влияние на пополнение запасов влаги в профиле целинных почв. Октябрьские осадки пополняют запасы влаги только в гумусовом слое чернозёмов.

Иллювиальный и иллювиально-карбонатный горизонты целины в нормальный цикл увлажнения тёплого периода «уходят» в зиму сильно иссушенными.

Таблица 3

Динамика запасов влаги и её дефицит от НВ в профиле чернозёмов различной степени эродированности Новосибирского Приобья, сухой цикл увлажнения, тёплый период 1985–1992 гг.

Слой, см	НВ, мм	Запасы / прибавка (+) или дефицит (–) влаги (мм) во второй декаде:			
		апреля	июня	августа	октября
Чернозёмы обыкновенные среднесуглинистые Неэродированные, целина, n = 8 (54°32'57,8" с.ш., 82°15'21,9" в.д.)					
0–30	89	97 / +8	71 / –18	52 / –37	81 / –8
30–50	60	42 / –18	37 / –22	41 / –19	51 / –9
50–100	120	70 / –50	78 / –42	66 / –54	54 / –66
100–150	109	68 / –41	72 / –37	68 / –41	67 / –42
0–150	378	277 / –101	258 / –120	227 / –151	253 / –125
Неэродированные, пашня, n = 8 (54°32'45,7" с.ш., 82°16'22,3" в.д.)					
0–30	92	105 / +13	63 / –29	52 / –40	80 / –12
30–50	54	51 / –3	35 / –19	27 / –27	32 / –22
50–100	111	87 / –24	68 / –43	60 / –51	62 / –49
100–150	107	86 / –21	62 / –45	65 / –42	67 / –40
0–150	364	329 / –35	228 / –136	204 / –160	241 / –123
Слабоэродированные, пашня, n = 8 (54°32'24,9" с.ш., 82°17'30,6" в.д.)					
0–30	93	110 / +17	71 / –22	55 / –38	80 / –13
30–50	53	45 / –8	46 / –7	32 / –21	44 / –9
50–100	104	82 / –22	105 / +1	72 / –32	86 / –18
100–150	100	84 / –16	103 / +3	95 / –5	84 / –16
0–150	350	321 / –29	325 / –25	254 / –96	294 / –56
Среднеэродированные, пашня, n = 8 (54°32'18,1" с.ш., 82°18'03,5" в.д.)					
0–30	85	92 / +7	51 / –34	44 / –41	70 / –15
30–50	54	32 / –23	31 / –23	25 / –29	34 / –20
50–100	100	69 / –31	68 / –32	55 / –45	61 / –39
100–150	105	63 / –42	72 / –33	67 / –38	72 / –33
0–150	344	256 / –89	222 / –122	191 / –153	237 / –107
Лугово-чернозёмная слабомытая почва, пашня, n = 8 (54°32'06,7" с.ш., 82°18'32" в.д.)					
0–30	100	122 / +22	103 / +3	94 / –6	118 / +18
30–50	60	80 / +20	63 / +3	62 / +2	73 / +13
50–100	115	155 / +40	127 / +12	124 / +9	132 / +17
100–150	125	140 / +15	122 / –3	120 / –5	126 / +1
0–150	400	497 / +97	415 / +15	400 / 0	449 / +49

Примечание.

НВ – наименьшая влагоёмкость. n – число повторностей.

Водный режим чернозёмов обыкновенных Новосибирского Приобья несколько отличается от режима чернозёмов выщелоченных Кузнецкой котловины. Среднесуглинистый гранулометрический состав чернозёмов обыкновенных, низкое содержание ила в его структуре определили сравнительно невысокую водоудерживающую способность данных почв.

Ранней весной запасы влаги в профиле неэродированных чернозёмов пашни на 50 мм превышают таковые целинного чернозёма. Благодаря осенней отвальной вспашке профиль неэродированного обыкновенного чернозёма ранней весной лучше увлажнен, чем целинный его аналог. Почвы в зиму «уходят» недонасыщенными влагой. Осенний её дефицит в метровом слое достигал 83 мм, а в полутораметровой толще – 123 мм.

Слабоэродированные чернозёмы, в отличие от неэродированных, характеризуются лучшей увлажненностью профиля в течение всего тёплого периода. Дефицит влаги во второй

декаде июня в профиле слабоэродированных почв в шесть раз, а во второй декаде августа – в полтора раза оказывается меньшим, чем в неэродированных почвах в те же сроки. Объяснения такому неординарному накоплению влаги в профиле слабоэродированных обыкновенных чернозёмов Приобья пока мы не находим.

Полутораметровый профиль среднеэродированных обыкновенных чернозёмов даже ранней весной сильнее иссушен, чем слабоэродированных. Выпавшие в первой половине тёплого периода (апрель–июнь) 172 мм жидких атмосферных осадков оказались недостаточными для ликвидации уже существующего дефицита влажности (122 мм), который к августу увеличился до 153 мм. Сентябрьские и октябрьские осадки были малочисленными и не в состоянии ликвидировать значительный дефицит влаги, достигающий 107 мм.

Запас влаги в профиле лугово-чернозёмной среднесуглинистой слаботорамытой почвы в течение всего тёплого периода превышал величину НВ.

Водный режим чернозёмов Предсалаирья (в пределах Новосибирской области). Изучение водного режима неэродированных и эродированных чернозёмов в тёплый период года проводилось после нормально снежного (1994–2012 гг.) и нормально влажного (1988–2012 гг.) циклов атмосферного увлажнения территории Предсалаирья (табл. 4).

Таблица 4

Динамика запасов влаги и её дефицит от НВ в профиле чернозёмов различной степени эродированности Новосибирского Предсалаирья, нормальный цикл атмосферного увлажнения в тёплый период (1994–2012 гг.)

Слой, см	НВ, мм	Запасы / прибавка (+) или дефицит (–) влаги (мм) во второй декаде:				
		апреля	июня	августа	октября	октябрь (2013–2019 гг.)
Чернозёмы выщелоченные тяжелосуглинистые						
Неэродированные, целина, n = 13 (55°01'54,0" с.ш., 83°51'29,2" в.д.)						
0–30	104	138 / +34	Не опр.	Не опр.	124 / +20	129 / +25
30–50	51	74 / +23	То же	То же	65 / +14	73 / +22
50–100	138	158 / +20	-«-	-«-	125 / –13	159 / +21
100–150	134	161 / +27	-«-	-«-	124 / –10	156 / +22
0–150	427	531 / +104	-«-	-«-	438 / +11	517 / +90
Неэродированные, пашня, n = 12 (55°02'07,4" с.ш., 83°51'33,2" в.д.)						
0–30	101	122 / +21	73 / –28	58 / –43	115 / +14	124 / +23
30–50	58	65 / +7	38 / –20	30 / –28	64 / +6	74 / +16
50–100	133	103 / –30	105 / –28	84 / –49	124 / –9	138 / +5
100–150	124	94 / –30	101 / –23	90 / –34	123 / –1	123 / –1
0–150	416	384 / –32	317 / –99	262 / –154	426 / +10	459 / +43
Слабоэродированные, пашня, n = 8 (55°01'44,9" с.ш., 83°50'47,5" в.д.)						
0–30	98	114 / +16	83 / –15	61 / –37	99 / +1	94 / –4
30–50	56	53 / –3	54 / –2	35 / –21	49 / –7	54 / –2
50–100	140	104 / –36	113 / –27	97 / –43	102 / –38	134 / –6
100–150	131	107 / –24	114 / –17	96 / –35	110 / –21	146 / +15
0–150	425	378 / –47	364 / –61	289 / –136	360 / –65	428 / +3
Сильноэродированные, залежь, n = 8 (55°01'37,0" с.ш., 83°50'35,4" в.д.)						
0–30	90	124 / +34	Не опр.	Не опр.	97 / +7	94 / +4
30–50	51	52 / +1	То же	То же	54 / +3	60 / +9
50–100	126	89 / –37	-«-	-«-	117 / –9	143 / +17
100–150	121	79 / –42	-«-	-«-	121 / 0	158 / +37
0–150	388	344 / –44	-«-	-«-	389 / +1	455 / +67

Примечание.

НВ – наименьшая влагоёмкость. n – число повторностей.

Характерная особенность водного режима почв этой территории состоит в том, что профиль целинного чернозёма хорошо увлажнён как ранней весной, так и в предзимье. Увлажнение гумусового горизонта неэродированных чернозёмов пашни, из-за отсутствия поверхностного и бокового внутриводного стока вод различного генезиса, ранней весной и поздней осенью на 20–30 мм превышает НВ (Танасиенко, 2003). Однако в июне–августе в этом же горизонте

возникает существенный (50–70 мм) дефицит влаги, обусловленный транспирацией и физическим испарением. Недонасыщенность влагой иллювиального и иллювиально-карбонатного горизонтов варьирует в пределах 30–40 мм.

Запасы влаги в профиле слабоэродированных чернозёмов Предсалаирья мало чем отличаются от таковых в неэродированных почвах. Обращает на себя внимание лишь довольно высокая осенняя иссушенность профиля слабоэродированных почв в сравнении с неэродированными. Вероятно, это может быть объяснено как большей инсоляцией поверхности склона юго-восточной экспозиции, так и редко происходящим поверхностным стоком дождевых вод.

Сильноэродированные чернозёмы на исследуемом участке более 15 лет находятся в залежном состоянии. Это оказало значительное влияние на аккумуляцию и расходование влаги почвенным профилем. Содержание влаги во второй декаде апреля на 35 мм превышало НВ. Дефицит влаги в иллювиальном и иллювиально-карбонатном горизонтах сильноэродированных почв на 20 мм превышал таковой в целинных и распаханых почвах.

Согласно нашим наблюдениям за осенними запасами почвенной влаги, в последние 10 лет (2013–2022 гг.) происходит трансформация водного режима чернозёмов лесостепной зоны Западной Сибири в сторону периодически промывного. Материалы табл. 4 свидетельствуют, что в профиле неэродированных целинных и распаханых чернозёмов, а также залежных почв, осенние запасы влаги на 90, 43 и 67 мм, соответственно, превышают НВ. Запасы влаги, практически соответствующие НВ, свойственны и слабоэродированным чернозёмам. Высокая осенняя увлажнённость почв катены в исследуемый период обусловлена увеличением поступления твёрдых и жидких атмосферных осадков и, пусть невысоким, но еще положительным температурам воздуха, что приводит к впитыванию атмосферных осадков.

Выпадающие в тёплый период года осадки в виде дождей, в зависимости от интенсивности выпадения, могут наносить значительный ущерб почвам в результате их миграции по склонам в виде поверхностного стока. Поэтому нельзя обойти вниманием процесс смыва почвы ливневыми водами. Ливневая эрозия – это скоротечный процесс, приуроченный к всплескам интенсивности жидких осадков. Поскольку ливни очень неравномерно распределяются на территории по слою осадков и интенсивности – могут на одном и том же участке выпадать в течение тёплого периода многократно, а могут в течение ряда лет не проливаться вовсе.

На юго-востоке Западной Сибири наибольшему смыву ливнями подвергаются чернозёмы парующих полей, занятых пропашными культурами и культурами сплошного сева, но на ранних стадиях развития растений, когда еще очень мала их почвозащитная роль (июнь – первая половина июля). В среднем смыв твёрдой фазы с чернозёмов выщелоченных слабоэродированных в период выпадения ливней составляет 4,6 т/га на склонах крутизной более 3° (табл. 5). С ростом уклона местности масса вынесенной почвы резко увеличивается и уже при крутизне 3–6° смыв достигает 14 т/га, а при 6–9° – 22 т/га (Танасиенко, 1992). Характерно, что на этих же почвах при тех же уклонах талые воды выносят в 3–4 раза меньше твёрдых частиц, чем при выпадении ливней.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что за 80-летний период наблюдения тренд количества осадков на юго-востоке Западной Сибири направлен в сторону увеличения. К каждому из ранее выделенных 25-летних циклов холодного периода были присоединены данные по увлажнению за тёплый период и полученные периоды были охарактеризованы как сухой, нормальный и влажный. Четвёртый цикл начался в 2013 г. и, вероятно, будет длиться до 2037 г., имея признаки очень влажного, так как в среднем за 2013–2020 гг. количество выпавших жидких атмосферных осадков в Кузнецкой котловине и Новосибирском Приобье в 1,26 раза превышало количество осадков, выпавших в нормальный цикл увлажнения территории юго-востока Западной Сибири.

2. Зона активного влагооборота в целинных чернозёмах юго-востока Западной Сибири ограничивается 120-сантиметровой толщиной, хотя зона активного иссушения не опускается ниже 60 см. В нормальные по увлажнению годы зона активного иссушения вообще не возникала, либо её существование ограничивалось коротким периодом. Во влажные годы эта зона частично или полностью замещается зоной менее интенсивного иссушения (70–80% от НВ).

Таблица 5

Сток ливневых вод и смыв твёрдой фазы чернозёмов разной степени эродированности

Культура	Месяц	Степень эродированности	Крутизна склона, град	Количество осадков, мм	Интенсивность ливня, мм/мин	Слой стока, мм	Смыв почвы, т/га
Чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый. Кузнецкая котловина							
Пшеница	VII	Слабая	2–3	41,0	1,3	Не опр.*	1,8
	VII	Средняя	3–6	25,6	1,5	15,3	1,9
	VIII	То же	3–6	30,0	1,0	18,5	2,2
Овес	VI	Слабая	2–3	36,0	1,5	Не опр.*	6,2
	VI	Средняя	3–6	36,0	1,5	То же*	9,7
	VI	Сильная	6–9	36,0	1,5	–«–*	12,5
Кукуруза	VI	Слабая	2–3	36,0	1,0	19,5	1,5
	VII	Слабая	2–3	38,5	1,1	–«–*	5,1
	VII	Средняя	3–6	17,0	1,3	9,0	1,2
	VII	Средняя	3–6	38,5	1,1	16,0	2,9
	VIII	Средняя	3–6	19,0	1,2	10,0	1,7
	VII	Сильная	6–9	38,5	1,1	Не опр.*	13,3
Без культуры	V	Слабая	2–3	25,0	1,2	–«–*	5,3
	V	Средняя	3–6	25,0	1,2	–«–*	9,1
	V	Средняя	3–6	41,0	1,3	–«–*	23,5
	VIII	Сильная	6–9	25,0	1,2	–«–*	15,6
	VIII	Сильная	6–9	41,0	1,3	–«–*	46,7
Чернозём оподзоленный среднесуглинистый. Предсалаирье							
Пшеница	VI	Слабая	1	40,0	2,0	32,0	12,5
	VI	Средняя	1–3	40,0	2,0	32,0	50,0

Примечание.

*Учёт твёрдого стока проводили методом объёма водоройн.

3. Недонасыщенность влагой почвенного профиля распаханых незэродированных чернозёмов весной, редкие и незначительные по количеству осадков дожди первой половины тёплого периода, высокая температура воздуха в это же время привели к существенным расходам почвенной влаги. Её запасы к середине июня в гумусовом горизонте (слой 0–50 см) на 53 мм, а в слое 50–100 см (в иллювиальном горизонте) на 55 мм были меньше НВ. Минимальными потерями почвенной влаги характеризовался третий полуметр чернозёмов пашни – 22 мм. Дожди второй половины тёплого периода не повлияли на водный режим чернозёма пашни.

4. На иссушение профиля слабоэродированных чернозёмов существенное влияние оказывает экспозиция склона. Эти чернозёмы распространены в основном на склонах южной ориентации. В результате повышенного прихода солнечной энергии на эти склоны увеличивается физическое испарение влаги и её транспирация возделываемыми культурами. Поэтому почвы склонов начинают раньше испытывать недостаток влаги, чем чернозёмы плакоров. Лучшее увлажнение присуще почвам юго-западной экспозиции, дефицит влаги в которых в среднем равен 75 мм против 112 мм, характерных для профиля почв юго-восточной экспозиции; активным влагооборотом охвачена лишь метровая толща.

5. Во влажном цикле атмосферного увлажнения территории Предсалаирья в 1,5-метровой толще целинного чернозёма осенние запасы влаги на 80 мм, в профиле незэродированного чернозёма пашни – на 30 мм, в слабоэродированной почве – почти на 70 мм больше, чем в тех же чернозёмах в нормальном цикле атмосферного увлажнения. Это ещё раз подтверждает нашу гипотезу о вероятной трансформации непромывного типа водного режима чернозёмов юго-востока Западной Сибири в периодически промывной.

6. Смыв почвы ливневыми водами в 2–3 раза превышает отчуждение почвенного материала тальными водами, что объясняется большой интенсивностью выпадающих осадков за единицу времени.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 121031700316-9).

ЛИТЕРАТУРА

Акентьева Л.И. Водный режим черноземов обыкновенных под сельскохозяйственными культурами в Ворошиловградской области // Почвоведение. 1971. № 6. С. 69–79.

Афанасьева Е.А. Черноземы Средне-Русской возвышенности. Москва: Наука, 1966. 224 с.

Базыкина Г.С., Извеков А.С., Жданов С.Г. Водный режим и продуктивность предкавказских агрочерноземов обыкновенных в период аномальных погодных условий 2007–2013 гг. // Почвоведение. 2015. № 3. С. 296–307.

Базыкина Г.С., Овечкин С.В. Влияние цикличности климата на водный режим и карбонатный профиль черноземов центра европейской части России и сопредельных территорий // Почвоведение. 2016. № 4. С. 475–488.

Большаков А.Ф. Водный режим мощных черноземов Средне-Русской возвышенности. Москва: Изд-во АН СССР, 1961. 200 с.

Бялый А.М. Водный режим в севообороте на черноземных почвах юго-востока. Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. 232 с.

Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. Москва: Высшая школа, 1973. 393 с.

Вильямс В.Р. Основные черты влияния элементов рельефа на водный режим // Собрание сочинений. Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1950. Т. 5. С. 296–310.

Герцык В.В. Водный режим черноземных почв на склонах разной экспозиции // Почвоведение 1966. № 6. С. 37–47.

Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2019 году. Москва, 2020. 206 с.

Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 384 с.

Докучаев В.В. Наши степи прежде и теперь // Избранные сочинения. Москва: Сельхозгиз. 1954. 708 с.

Заславский М.Н. Эрозия почв. Москва: Мысль, 1979. 255 с.

Журавлев М.З. Водный режим черноземов лесостепи Западной Сибири // Труды института. Омск: СХИ, 1959. Т. 34. 142 с.

Измаильский А.А. Как высохла наша степь. Москва, Ленинград: Сельхозгиз, 1937. 75 с.

Каретин Л.Н. Черноземные и луговые почвы Тобол-Ишимского междуречья. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1982. 294 с.

Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. Москва: Изд-во АН СССР, 1958. 191 с.

Климатологический справочник СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1962. Вып. 20. Ч. 7, 8. 395 с.

Кузнецов М.С., Демидов В.В. Эрозия почв лесостепной зоны центральной России: моделирование, предупреждение и экологические последствия. Москва: Изд-во ПОЛТЕЛС, 2002. 184 с.

Львович М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее. Москва: Мысль, 1974. 448 с.

Метеорологический ежемесячник. Новосибирск. 1961–1990. Вып. 20. Ч. 2. № 1–12.

Орлов А.В. Эрозия и эрозионно-опасные земли Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1983. 208с.

Польнов Б.Б. Учение о ландшафтах // Вопросы географии. 1953. № 33. С. 30–45.

Расписание Погоды. [Электронный ресурс]. URL: <https://rp5.ru/> (дата обращения 20.10.2023).

Роде А.А. Многолетняя изменчивость атмосферных осадков и элементов водного баланса почв // Вопросы водного режима почв. Ленинград: Гидрометеиздат. 1978. С. 3–129.

Специализированные массивы для климатических исследований. [Электронный ресурс]. URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (дата обращения 24.02.2020).

Справочник по климату СССР. Новосибирск, 1977. Ч. 2. Вып. 20. Кн. 1. 472 с.

Танасиенко А.А. Эродированные черноземы юга Западной Сибири. Новосибирск: Сибирская издательская фирма, 1992. 152 с.

Танасиенко А.А. Специфика эрозии почв в Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 176 с.

Танасиенко А.А., Чумбаев А.С., Якутина О.П., Филимонова Д.А. Весенний дефицит влаги в профиле эродированных черноземов в зависимости от увлажнения территории юго-востока Западной Сибири // Почвоведение. 2019. № 8. С. 935–945. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19080148>.

Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2009а. 349 с.

Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Черноземы Новосибирской области, проблемы, проблемы их рационального использования и охраны // Сибирский экологический журнал. 2009б. Т. 16. № 2. С. 151–154.

Черемисинов Г.А. Эродированные почвы и их продуктивное использование. Москва: Колос, 1968. 215 с.

Чумбаев А.С., Танасиенко А.А., Миллер Г.Ф., Соловьев С.В. Изменение климатических характеристик холодного периода гидрологического года юго-востока Западной Сибири и его влияние на глубину промерзания почв региона // Почвы и окружающая среда. 2020. Т. 3. № 3. e117. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.117>.

Швебс Г.И. Влияние экспозиции склона на запасы влаги в почве // Труды института СГМИ. Одесса, 1960. Вып. 22. С. 49–57.

Шикула Н.К. Водно-физические свойства эродированных почв Донбасса // Почвоведение. 1962. № 2. С. 96–104.

Шурикова В.И. Плодородие почв, подверженных водной эрозии, и пути его повышения: Обзор. Информ. Москва: ВАСХНИЛ, 1981. 42 с.

Поступила в редакцию 21.11.2023

Принята 30.12.2023

Опубликована 30.12.2023

Сведения об авторах:

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

Миллер Герман Федорович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); miller_1981_gf@mail.ru

Соловьев Сергей Викторович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); solovyev@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/)

DYNAMICS OF SUMMER MOISTURE RESERVES IN THE PROFILE OF NON-ERODED AND ERODED CHERNOZEMS IN THE SOUTHEAST OF WEST SIBERIA

© 2023 A. A. Tanasienko , A. S. Chumbaev , G. F. Miller , S. V. Solovyev 

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: chumbaev@issa-siberia.ru

The aim of the study. *To identify the presence and causes of summer moisture deficit in the profile of non-eroded and eroded soils against the background of multi-year increase in moisture content in the southeast of West Siberia.*

Location and time of the study. *The water regime of Protocalcic Chernozems (Siltic) of the Kuznetsk Basin (1968-1979), Calcic Chernozems (Siltic) of the Priobie (1984–1993), Protocalcic Chernozems (Siltic) of the Predsalaire (1995 and up to the present time) under virgin vegetation and water regime changes as a result of tillage and erosion processes is considered.*

Methods. *Soil moisture content of each 10-cm layer to a depth of 150 cm was investigated. Under laboratory conditions, the thermostat-weight method was used to determine the moisture content of the samples. Data about the precipitation and warm period air temperature were obtained from climate reference books, Internet weather archives and authors' observations at key study sites.*

Results. *It was established that in early spring (April) moisture reserves in the 0-1,5-m of the virgin chernozem profile were 50 mm less than in the arable chernozem. This difference in moisture reserves was maintained during the entire summer. But by mid-October the difference in moisture reserves between the non-eroded chernozems disappeared. The replenishment of soil moisture reserves was negatively influenced by the surface runoff of storm water. Therefore, the profile of these chernozems was under-saturated with moisture. Its spring deficit in the 0–1,5 m of soil profiles located on the slope of southeastern and southwestern exposition was approximately the same (58 and 48 mm, respectively), and in June the profile of the arable weakly eroded chernozem located on the southeastern slope was more dried up (moisture deficit of 101 and 48 mm, respectively).*

Conclusions. *The moisture deficit in the arable non-eroded chernozem profiles in spring, together with sparse precipitation in the first half of the warm period combined with high air temperature markedly decreases soil moisture, bringing its deficit by August during the dry and regular hydrological cycles. The last 10 years (2013–2022) saw the tendency of the non-leaching moisture regime type of the Cis-Salaire chernozems being transformed into intermittently leaching type due to increased early autumn precipitation and air temperature.*

Key words: *solid and liquid atmospheric precipitation; soil moisture reserve; cycles of atmospheric moistening; chernozems of West Siberia.*

How to cite: *Tanasienko A.A., Chumbaev A.S., Miller G.F., Solovyev S.V. Dynamics of summer moisture reserves in the profile of non-eroded and eroded chernozems in the southeast of West Siberia // The Journal of Soils and Environment. 2023. 6(4). e232. DOI: [10.31251/pos.v6i4.232](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.232). (in Russian with English abstract).*

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No. 121031700316-9.

REFERENCES

- Akentieva L.I. Water regime of ordinary chernozems under agricultural crops in Voroshilovgrad region. *Pochvovedenie*. 1971. No. 6. P. 69–79. (in Russian).
- Afanasyeva E.A. Chernozems of the Middle Russian Upland. Moscow: Nauka Publ., 1966. 224 p. (in Russian).
- Bazykina G.S., Izvekova A.S., Zhdanov S.G. Water regime and productivity of pre-Caucasian agrochernozem ordinary soils in the period of abnormal weather conditions 2007–2013. *Pochvovedenie*. 2015. No. 3. P. 296–307. (in Russian).
- Bazykina G.S., Ovechkin S.V. Influence of climate cyclicity on the water regime and carbonate profile of chernozems in the center of the European part of Russia and adjacent territories. *Pochvovedenie*. 2016. No. 4. P. 475–488. (in Russian).

- Bolshakov A.F. Water regime of thick chernozems of the Middle Russian Upland. Moscow: AS USSR Publ., 1961. 200 p. (in Russian).
- Byaly A.M. Water regime in crop rotation on chernozem soils of the South-East. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971. 232 p. (in Russian).
- Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Methods of research of physical properties of soils and soils. Moscow: Higher School, 1973. 393 p. (in Russian).
- Williams V.R. Main features of the influence of relief elements on water regime. Collected Works. Moscow: State Publishing House of Agricultural Literature, 1950. Vol. 5. P. 296–310. (in Russian).
- Gertsyk V.V. Water regime of chernozem soils on slopes of different exposure. Pochvovedenie. 1966. No. 6. P. 37–47. (in Russian).
- State (national) report on the state and use of land in the Russian Federation in 2019. Moscow, 2020. 206 p. (in Russian).
- Report on the state and use of agricultural lands of the Russian Federation in 2020. Moscow: FGBNU "Rosinformagroteh", 2022. 384 p. (in Russian).
- Dokuchaev V.V. Our steppes before and now. Selected Works. Moscow: Selkhozgiz. 1954. 708 p. (in Russian).
- Zaslavsky M.N. Soil erosion. Moscow: Mysl Publ., 1979. 255 p. (in Russian).
- Zhuravlev M.Z. Water regime of chernozems in the forest-steppe of Western Siberia. Proceedings of the Institute. Omsk: Agricultural Institute, 1959. Vol. 34. 142 p. (in Russian).
- Izmailsky A.A. How our steppe dried up. Moscow, Leningrad: Selkhozgiz, 1937. 75 p. (in Russian).
- Karetin L.N. Black earth and meadow soils of the Tobol-Ishim interfluve. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1982. 294 p. (in Russian).
- Kachinsky N.A. Mechanical and microaggregate composition of soil, methods of its study. Moscow: AS USSR, 1958. 191 p. (in Russian).
- Climatological reference book of the USSR. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1962. Vol. 20. No. 7, 8. 395 p. (in Russian).
- Kuznetsov M.S., Demidov V.V. Soil erosion in the forest-steppe zone of central Russia: modeling, prevention and ecological consequences. Moscow: POLTELS Publishing House, 2002. 184 p. (in Russian).
- Lvovich M.I. World water resources and their future. Moscow: Mysl Publ., 1974. 448 p. (in Russian).
- Meteorological Monthly. Novosibirsk. 1961–1990. Vol. 20. Part. 2. No. 1–12. (in Russian).
- Orlov A.V. Erosion and erosion-hazardous lands in Western Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1983. 208 p. (in Russian).
- Polynov B.B. The doctrine of landscapes. Voprosy geografii. 1953. No. 33. P. 30–45. (in Russian).
- Weather Schedule. <https://rp5.ru/> (accessed on 20.10.2023). (in Russian).
- Rohde A.A. Multiyear variability of atmospheric precipitation and elements of soil water balance. Issues of soil water regime. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978. P. 3–129. (in Russian).
- Specialized arrays for climate research. <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (accessed on 24.02.2020). (in Russian).
- Handbook on the climate of the USSR. Novosibirsk, 1977. Part 2. Vol. 20. Book 1. 472 p. (in Russian).
- Tanasienko A.A. Eroded chernozems in the south of Western Siberia. Novosibirsk: Siberian Publishing Company, 1992. 152 p. (in Russian).
- Tanasienko A.A. Erosion in Siberian Soils. Novosibirsk: SB RAS, 2003. 176 p. (in Russian).
- Tanasienko A.A., Chumbaev A.S., Yakutina O.P., Filimonova D.A. The impact of climatic humidity of the southeastern part of Western Siberia on spring deficit of moisture in the profiles of eroded chernozems. Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 8. P. 935–944. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229319080143>.
- Khmelev V.A., Tanasienko A.A. Land resources of the Novosibirsk region and ways of their rational use. Novosibirsk: SB RAS, 2009a. 349 p. (in Russian).
- Khmelev V.A., Tanasienko A.A. Black earths of Novosibirsk region, problems, problems of their rational use and protection. Sibirskij ekologicheskij zhurnal. 2009b. Vol. 16. No. 2. P. 151–154. (in Russian).
- Cheremisinov G.A. Eroded soils and their productive utilization. Moscow: Kolos Publ., 1968. 215 p. (in Russian).

Chumbaev A.S., Tanasienko A.A., Miller G.F., Solovev S.V. Change in climatic characteristics of the cold period of the hydrological year in the south-east of Western Siberia. The Journal of Soils and Environment. 2020. Vol. 3. No. 3. e117. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.117>. (in Russian).

Shwebs G.I. Influence of slope exposure on soil moisture reserves. Proceedings of the Institute of SSMI. Odessa, 1960. Iss. 22. P. 49–57. (in Russian).

Shikula N.K. Water-physical properties of eroded soils of Donbass. Pochvovedenie. 1962. No. 2. P. 96–104. (in Russian).

Shurikova V.I. Fertility of soils subjected to water erosion and ways to increase it: Review. Inform. Moscow: VASHNIL, 1981. 42 p. (in Russian).

Received 21 November 2023

Accepted 30 December 2023

Published 30 December 2023

About the authors:

Tanasienko Anatoly Alekseevich – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Soil-Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); tanasienko@issa-siberia.ru

Chumbaev Alexander Sergeevich – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory in the Laboratory of Soil-Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); chumbaev@issa-siberia.ru

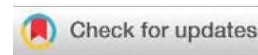
Miller German Fedorovich – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil-Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); miller_1981_gf@mail.ru

Solovyev Sergey Viktorovich – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil-Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); solovyev@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/)



ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th В ПОЧВАХ г. ОЛЕНЕГОРСКА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2023 С. А. Игловский , А. В. Баженов , Е. Ю. Яковлев 

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

E-mail: abv-2009@yandex.ru

Цель исследования. Определить удельную активность и основные закономерности пространственного распределения радиоцезия (^{137}Cs) и естественных радионуклидов (^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K) в почвах г. Оленегорска (Мурманская область) в зависимости от районирования и типа городской застройки.

Место и время проведения. Экспедиционные работы по отбору почвенных проб из верхнего слоя (0–5 см) в г. Оленегорске Мурманской области проведены летом 2018 года. Для изучения удельной активности радиоцезия и естественных радионуклидов образцы почвы были отобраны в 24 точках. Подобные исследования городских почв в Оленегорске ранее не проводились.

Методы. В лабораторных условиях образцы почвы высушивали до воздушно-сухого состояния и помещали в сосуд Маринелли для измерения удельной активности ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K методом гамма-спектрометрии. Регистрацию гамма-излучений от счетного образца почв, а также обработку спектров проводили с использованием программно-аппаратурного комплекса «Прогресс-гамма» ФВКМ.412131.002-03. Калибровку гамма-спектрометра по энергии для контроля за сохранностью параметров установки проводили после каждого измерения с использованием комбинированного контрольного источника ОИСН-137-1 в сосуде Маринелли объёмом 1 литр. Минимальное время экспонирования счетного образца составляло 3600 секунд; время экспонирования в отдельных образцах со слабой активностью увеличивали.

Основные результаты. Максимальные значения удельной активности ^{137}Cs (47,5 Бк/кг) зафиксированы в ненарушенных почвах природных ландшафтов в северо-западной части города, не подверженных антропогенному воздействию. Максимальные значения удельной активности ^{40}K (293,8 Бк/кг) выявлены в почвах озеленённых территорий в центральной и юго-восточной частях города в пределах застройки многоэтажными жилыми домами, что объясняется разной плотностью растительности, легко вовлекающей ^{40}K в биологический круговорот. Максимальные значения удельной активности ^{226}Ra и ^{232}Th в почвах достигали 14,6, и 12,2 Бк/кг в районах много- и среднеэтажной застройки.

Результаты корреляционного анализа между удельной активностью радионуклидов и содержанием частиц почвенного скелета (2 мм), фракций почвенного мелкозема (менее 1 мм) показали, что ^{137}Cs имеет весьма высокую по силе связь с частицами почвенного скелета и с фракцией мелкозёма <45 мкм, а также умеренную силу связи с фракцией мелкозёма 45 мкм. Умеренная сила связи отмечена между ^{232}Th и ^{226}Ra , а также между ^{40}K и частицами почвенного скелета (2 мм).

Заключение. Полученные данные по накоплению радиоцезия и естественных радионуклидов (^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K) в почвах г. Оленегорска не превышают предельно допустимых концентраций, характерных для урбанизированных территорий Мурманской области.

Ключевые слова: удельная активность; городские почвы; ^{137}Cs ; ^{232}Th ; ^{226}Ra ; ^{40}K ; г. Оленегорск; Мурманская область.

Цитирование: Игловский С.А., Баженов А.В., Яковлев Е.Ю. Пространственное распределение ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в почвах г. Оленегорска (Мурманская область) // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 4. e225. DOI: [10.31251/pos.v6i4.225](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.225).

ВВЕДЕНИЕ

Кольский полуостров является местом потенциально опасным в плане загрязнения радионуклидами в результате трансграничного воздушного переноса (Никанов и др., 2019; Мелентьев, 2021; Kuzmenkova, Vorobyova, 2015). Загрязнение почв радиоцезием (^{137}Cs) соответствует уровню мирового фона и ранее «существенных участков со следами выпадения радиоактивных осадков после аварии на Чернобыльской АЭС не выявлено» (Романович и др., 2006), а удельная активность естественных радионуклидов радия (^{226}Ra) и тория (^{232}Th) в ненарушенных почвах Хибинской тундры на болотных участках варьирует от 7,03 до 71,06 Бк/кг,

в горной тундре – от 15,17 до 27,75 Бк/кг (Никанов и др., 2019). Предыдущие исследования (Никанов и др., 2019; Мелентьев, 2021; Kuzmenkova, Vorobyova, 2015) не обнаружили повышенных значений естественной и техногенной радиоактивности в почвах Мурманской области.

Много пыли и сажи выбрасывает в атмосферу Оленегорский горно-обогатительный комбинат (АО «Олкон»), делая город наиболее запыленным в Мурманской области (Рюмина, 2014) и создавая в нём одну из самых важных экологических проблем. Предприятие является одним из крупнейших в регионе и самым северным в России производителем железорудного сырья, выпускающим железорудный концентрат с содержанием железа до 72% (Даувальтер, 2020). Пылеватые частицы, содержащие высокие концентрации железа, после снеготаяния аккумулируются в почвах, загрязняя их и оказывая негативное влияние на здоровье человека и биоту (Салтан и др., 2022).

Радиационная обстановка в г. Оленегорске определяется, в основном, распределением природного ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в породах и почвах. Радиационную обстановку города можно считать вполне благополучной. Более низкие фоновые значения характерны для городских окраин, пустырей, парковых зон и спортивных площадок. Высоко- и среднеэтажные жилые массивы и производственные территории характеризуются несколько более высокими значениями. Такие колебания гамма-фона связаны, в первую очередь, с особенностями применяемых при строительстве материалов – кирпича, щебня, наполнителей асфальта (Сергеев, 2023).

Цель исследования – определить удельную активность и основные закономерности пространственного распределения радиоцезия (^{137}Cs) и естественных радионуклидов (^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K) в почвах г. Оленегорска (Мурманская область) в зависимости от районирования и типа городской застройки. Подобные исследования городских почв в Оленегорске ранее не проводились.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспедиционные работы по определению удельной активности ^{137}Cs и естественных радионуклидов (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) в почвах г. Оленегорска (Мурманская область) проведены летом 2018 г. На предварительном этапе исследования на территории Оленегорска были выделены функциональные зоны в соответствии с типом застройки, а также намечена сеть точек отбора почвенных образцов (рис. 1). Для выполнения поставленной задачи в 24 точках отобрали образцы из верхнего 5-ти сантиметрового слоя почвы.

В лабораторных условиях отобранные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 105°C до постоянной массы. После взвешивания аликвоту почвы помещали в сосуд Маринелли для измерения удельной активности изотопов методом гамма-спектрометрии. Регистрацию гамма-излучений от счетного образца почв, а также обработку спектров проводили с использованием программно-аппаратурного комплекса «Прогресс-гамма» ФВКМ.412131.002-03 (Методика измерения..., 2016). Калибровку гамма-спектрометра по энергии для контроля за сохранностью параметров установки проводили после каждого измерения с использованием комбинированного контрольного источника ОИСН-137-1 в сосуде Маринелли объемом 1 литр. Минимальное время экспонирования счётного образца составляло 3600 секунд; время экспонирования в отдельных образцах со слабой активностью увеличивали.

Содержание фракционного состава почвенных проб определили с помощью просеивающей машины AS200 (Retsch, Германия) ситами с диаметром 200 мм и размером ячеек: <45, 45, 100, 250, 500 мкм, 1 и 2 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В городе Оленегорске широкое распространение имеют урбиквазиземы с горизонтом «урбик» – зоной аккумуляции и биогенной трансформации органо-минерального и искусственного материала, формирующейся синлитогенно под влиянием антропогенной деятельности. Горизонт характеризуется тем, что содержит не менее 10% антропогенных включений. Реплантоземы формируются на газонах в кварталах с каменной застройкой. Хорошо сформировавшийся почвенный профиль отмечается под древесной и кустарниковой растительностью в парковых и лесных зонах (Крячюнас и др., 2020).

Функциональное зонирование территории г. Оленегорска приведено на рисунке 1 (Карта градостроительного зонирования..., 2015; Фофанова, Андреев, 2021). В зоны застройки домами

высокой этажности попадают точки отбора почвенных образцов под номером 3, 4, 5, 6; средней этажности – 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 22, 23; делового, общественного и коммерческого назначения – 15, 18, 20, 21; объектов здравоохранения – 7; природного ландшафта – 1; производственных объектов - 2; объектов прогулок и отдыха – 16.

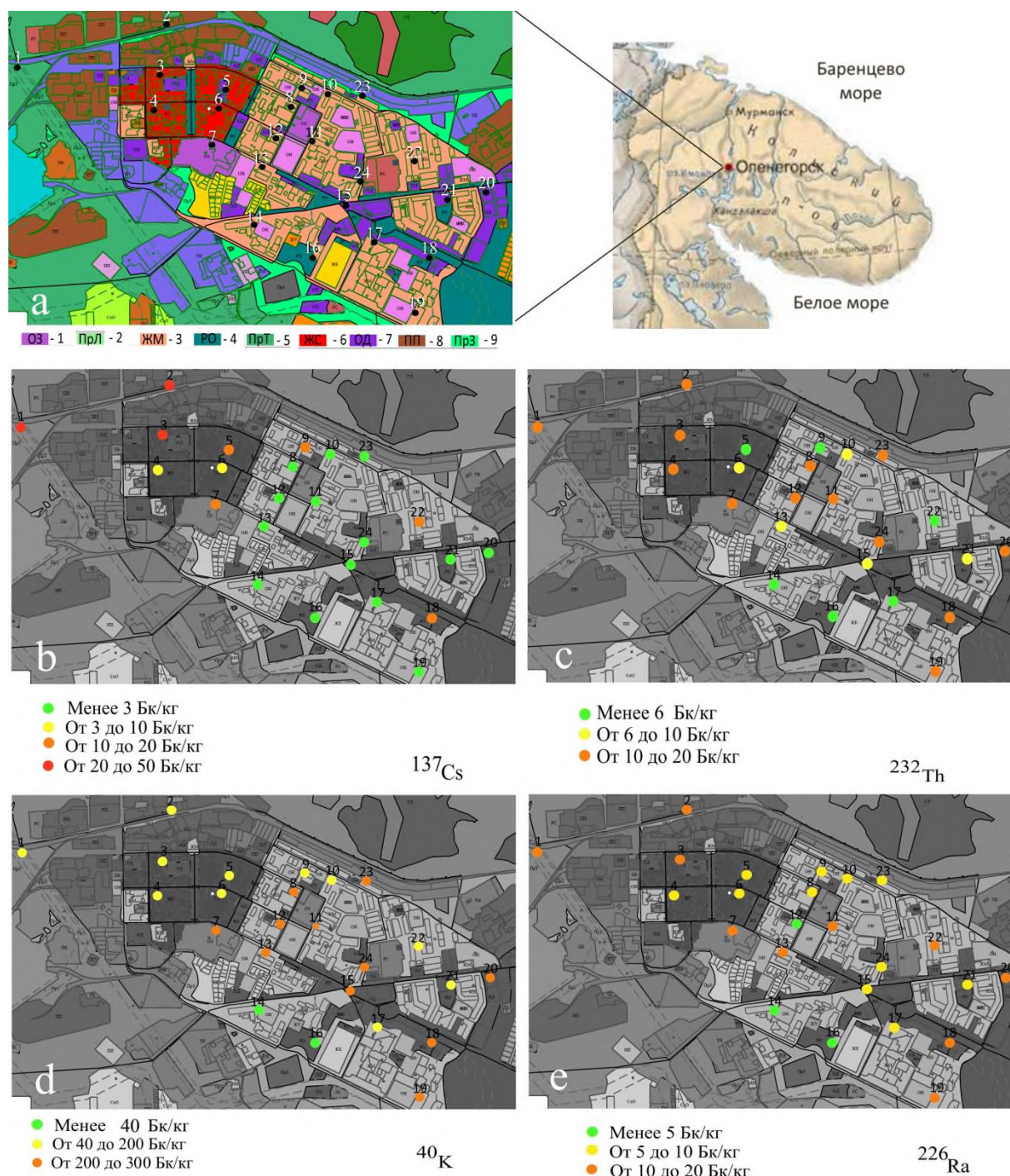


Рисунок 1. Расположение точек отбора почвенных проб в Оленегорске (а) на фрагменте картосхемы функционального зонирования территории города (Карта градостроительного зонирования..., 2015), включая: 1 – объекты здравоохранения, 2 – территории, покрытые лесом и кустарником, 3 – зона застройки многоэтажными многоквартирными жилыми домами, 4 – зона прогулок и отдыха, 5 – зона природного ландшафта, 6 – зона застройки среднеэтажными жилыми домами; 7 – зона застройки делового, общественного и коммерческого назначения, 8 – производственные объекты, 9 – зона защитного озеленения. Пространственное распределение удельной активности цезия и естественных радионуклидов в почвах города Оленегорска (Бк/кг): ^{137}Cs (b), ^{232}Th (c), ^{40}K (d) и ^{226}Ra (e).

Установлено, что максимальные значения удельной активности радиоцезия составили 47,5 Бк/кг (точка 1, рис. 1а, б) в ненарушенных почвах природных ландшафтов в северо-западной части города, а именно – в подзолах иллювиально-железистых супесчаных на озерно-ледниковой равнине (Атлас Мурманской области, 1971). Значения активности ^{137}Cs (от 10 до 39,1 Бк/кг), имеющего антропогенное происхождение, выявлены в почвах центральной и восточной частях города в пределах застройки многоэтажными многоквартирными жилыми домами, делового, общественного и коммерческого назначения, объектов здравоохранения (точки 2, 3, 5, 7, 9, 18, 22). Для почв в остальных районах города значения ^{137}Cs составили менее 10 Бк/кг.

Максимальные значения удельной активности ^{40}K (293,8 Бк/кг) зафиксированы в почвах центральной и юго-восточной частях города в пределах застройки многоэтажными многоквартирными жилыми домами, объектов здравоохранения, делового, общественного и коммерческого назначения. Значения удельной активности ^{40}K от 40 до 200 Бк/кг выявлены в ненарушенных почвах природного ландшафта в западной и северной частях города – в подзолах иллювиально-железистых супесчаных на озерно-ледниковой равнине (Атлас Мурманской области, 1971), а также в почвах застройки многоэтажными жилыми домами. Они совпадают с максимальными значениями удельной активности радиоцезия (рис. 1д). Для почв южной части города значения удельной активности ^{40}K составили менее 40 Бк/кг.

Максимальные значения удельной активности ^{232}Th (12,2 Бк/кг) приурочены к почвам зоны застройки высокой и средней этажности; значения менее 10 Бк/кг встречаются в почвах центральной части города (рис. 1с). Максимальные значения удельной активности ^{226}Ra (14,6 Бк/кг) установлены в почвах на территории многоэтажной и среднеэтажной застройки; значения менее 10 Бк/кг встречаются в почвах центральной части города (рис. 1б).

Среднее значение удельной активности ^{137}Cs в почвах вблизи многоэтажных жилых домов составило 4,64 Бк/кг, в пределах среднеэтажных жилых домов – 12,25 Бк/кг, в районах застройки делового, общественного и коммерческого назначения – 6,50 Бк/кг (рис. 2).

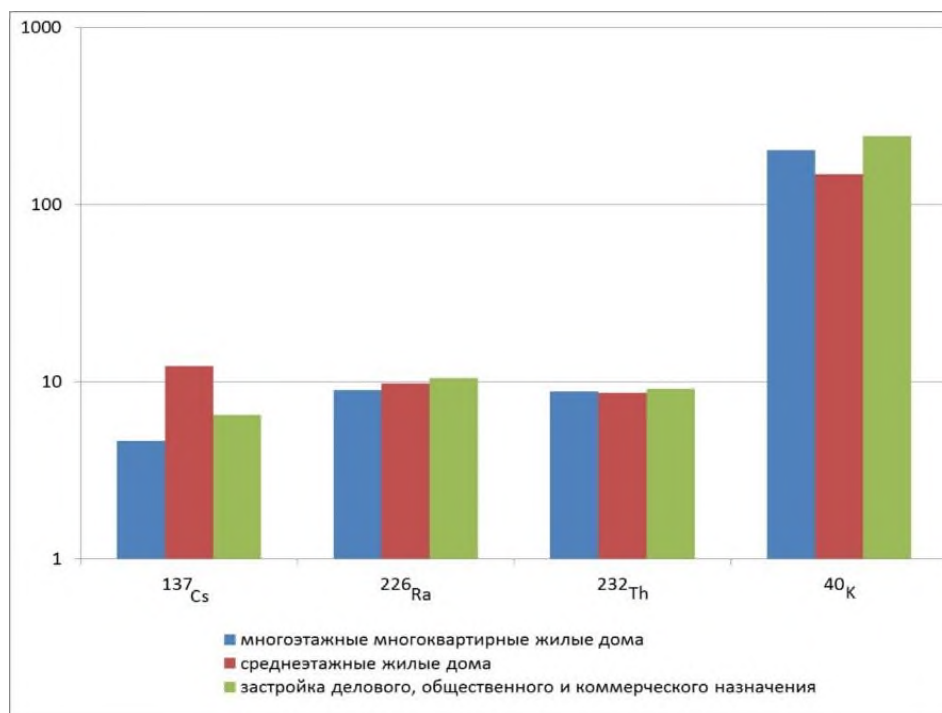


Рисунок 2. Средние значения удельной активности радиоцезия и естественных радионуклидов (Бк/кг) в почвах функциональных зон г. Оленегорска: синий – многоэтажной застройки жилыми домами, красный – застройки среднеэтажными жилыми домами, зеленый – застройки делового, общественного и коммерческого назначения. Использован логарифмический масштаб.

Среднее значение удельной активности ^{226}Ra рядом с многоэтажными жилыми домами составило 8,94 Бк/кг, в пределах среднеэтажных жилых домов – 9,75 Бк/кг, в почвах застройки делового, общественного и коммерческого назначения – 10,53 Бк/кг. Среднее значение удельной

активности ^{232}Th в почвах вблизи многоэтажных жилых домов составило 8,84 Бк/кг, в пределах среднеэтажных жилых домов – 8,68 Бк/кг, в районах застройки делового, общественного и коммерческого назначения – 9,1 Бк/кг. Соответствующий показатель для ^{40}K в почвах вблизи многоэтажных жилых домов составил 203,31 Бк/кг, в пределах среднеэтажных жилых домов – 148,75 Бк/кг, в районах застройки делового, общественного и коммерческого назначения – 243,68 Бк/кг (см. рис. 2).

В таблице 1 представлены статистические показатели изменения удельной активности радионуклидов в почвах г. Оленегорска. Среднеквадратическое отклонение позволяет оценить, насколько значения из множества могут отличаться от среднего значения. Так, для ^{137}Cs это отклонение выше среднего значения, для ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K – почти в три раза меньше среднего значения. Для ^{137}Cs совокупность оказалась неоднородной (71%), для других естественных радионуклидов – однородной (менее 33%).

Таблица 1

Статистические показатели изменения удельной активности радионуклидов в почвах

Статистический параметр	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Выборка (n)	10	21	19	22
Максимум, Бк/кг	47,5	15,6	15,9	293,8
Минимум, Бк/кг	5,6	5,4	5,5	70,0
Среднеквадратичное отклонение по выборке, Бк/кг	13,63	2,95	2,58	62,26
Коэффициент вариации, %	71	29	25	32

Основную часть почвенных образцов составили фракции мелкозема с размером 100 и 250 мкм (по 23 и 22% соответственно), минимальное количество – с размером <45 мкм (4%) (рис. 3).

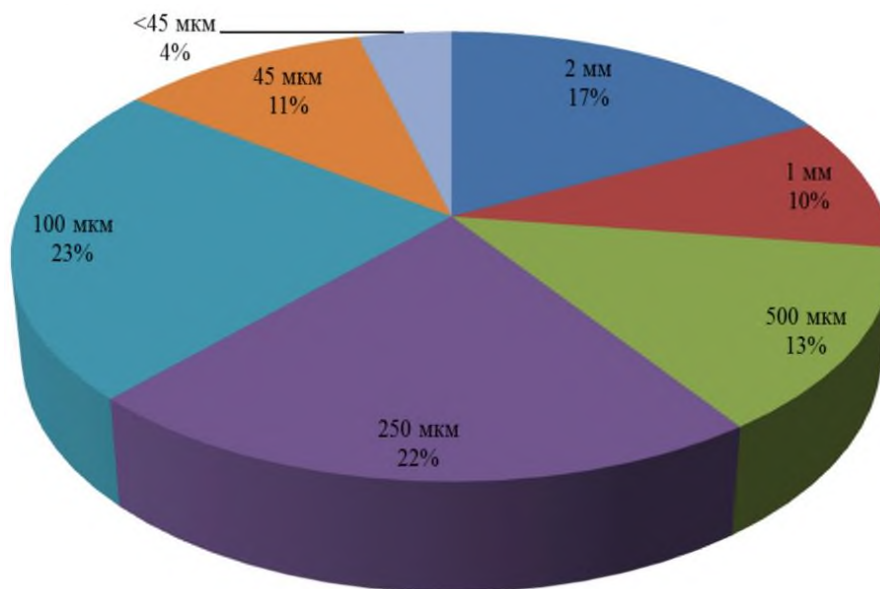


Рисунок 3. Соотношение фракционного состава почв г. Оленегорска (%).

Результаты корреляционного анализа (табл. 2) между удельной активностью радионуклидов и содержанием частиц почвенного скелета (2 мм), фракциями мелкозёма (менее 1 мм) показали, что ^{137}Cs имеет весьма высокую по силе связь (по шкале Чеддока) с частицами почвенного скелета и с фракцией мелкозёма <45 мкм, а также умеренную силу связи с фракцией мелкозёма 45 мкм. Умеренная сила связи отмечена между ^{232}Th и ^{226}Ra , а также между ^{40}K и частицами почвенного скелета (2 мм).

Таблица 2

Корреляционная матрица между удельной активностью радионуклидов и содержанием частиц почвенного скелета (2 мм), фракций почвенного мелкозёма (менее 1 мм)*

	2 мм	1 мм	500 мкм	250 мкм	100 мкм	45 мкм	<45 мкм	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
2 мм	1										
p-value	-										
1 мм	0,43	1									
p-value	0,141	-									
500 мкм	-0,57	-0,06	1								
p-value	0,041	0,838	-								
250 мкм	-0,81	-0,46	0,08	1							
p-value	0,001	0,070	0,733	-							
100 мкм	-0,85	-0,58	-0,09	0,88	1						
p-value	0,000	0,018	0,689	0,000	-						
45 мкм	-0,45	-0,48	0,20	0,05	0,30	1					
p-value	0,125	0,061	0,360	0,831	0,161	-					
<45 мкм	0,22	-0,09	-0,07	-0,55	-0,45	0,39	1				
p-value	0,461	0,742	0,744	0,006	0,030	0,068	-				
¹³⁷ Cs	0,98	-0,21	-0,47	-0,67	-0,46	0,47	0,82	1			
p-value	0,019	0,643	0,172	0,036	0,176	0,173	0,004	-			
²²⁶ Ra	0,40	0,05	-0,13	-0,39	-0,39	0,05	0,20	0,57	1		
p-value	0,171	0,866	0,579	0,082	0,078	0,838	0,384	0,085	-		
²³² Th	0,22	0,16	-0,19	-0,28	-0,31	-0,06	0,09	0,09	0,45	1	
p-value	0,500	0,576	0,427	0,244	0,192	0,810	0,724	0,856	0,059	-	
⁴⁰ K	0,37	0,16	0,10	0,10	-0,13	-0,64	-0,40	-0,22	0,08	0,19	1
p-value	0,208	0,545	0,671	0,646	0,575	0,001	0,063	0,542	0,734	0,434	-

Примечание.

*Градиенты силы связи обозначены цветом от красного с минимальным до зелёного с максимальным значением коэффициента корреляции; критические значения коэффициентов корреляции выделены жирным цветом. p-value – наименьшее значение уровня значимости.

ВЫВОДЫ

1. Полученные данные по удельной активности радиоцезия (¹³⁷Cs) и естественных радионуклидов (²³²Th, ²²⁶Ra, ⁴⁰K) в почвах г. Оленегорска не превышают предельно допустимых концентраций, характерных для урбанизированных территорий Мурманской области.

2. Максимальные значения удельной активности ¹³⁷Cs (47,5 Бк/кг) отмечены в ненарушенных почвах природных ландшафтов в северо-западной части города, не подверженных антропогенному воздействию.

3. При рассмотрении пространственного распределения естественных радионуклидов выявлено, что максимальные значения удельной активности ^{40}K получены в почвах озеленённых территорий, что объясняется разной плотностью растительности, легко вовлекающей ^{40}K в биологический круговорот; в центральной и юго-восточной частях города в пределах застройки многоэтажными жилыми домами этот показатель составил 293,8 Бк/кг. Максимальные значения удельной активности ^{226}Ra и ^{232}Th в почвах достигали 14,6 и 12,2 Бк/кг и были приурочены к районам многоэтажной и среднеэтажной застройки.

4. Результаты корреляционного анализа между удельной активностью радионуклидов и содержанием частиц почвенного скелета (2 мм), фракций почвенного мелкозёма (менее 1 мм) показали, что ^{137}Cs имеет весьма высокую по силе связь с частицами почвенного скелета и с фракцией мелкозёма <45 мкм, а также умеренную силу связи с фракцией мелкозёма 45 мкм. Умеренная сила связи отмечена между ^{232}Th и ^{226}Ra , а также между ^{40}K и частицами почвенного скелета (2 мм).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвы застройки высоко- и среднеэтажными жилыми кварталами и промышленными территориями имеют несколько более высокие значения удельной активности радионуклидов по сравнению с городскими окраинами, зонами пустырей, парковых зон и спортплощадок. Оленегорск является запылённым городом, и в связи с этим, с мелкими пылеватыми частицами (<45 мкм) происходит связывание ^{137}Cs в почвах. Необходима разработка мер по снижению запылённости на горно-обогатительном комбинате, что повлечёт за собой улучшение экологической ситуации в городе. Исходя из наших данных, максимальные значения удельной активности радионуклидов приурочены к почвам кварталов, где комбинат непосредственно граничит с городской территорией. В этих точках необходимо продолжение мониторинговых работ по изучению удельной активности радионуклидов.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ гос. регистрации 122011300333-1) и гранта РНФ № 20-77-10057.

ЛИТЕРАТУРА

Атлас Мурманской области. Москва, 1971. 33 с.

Даувальтер В.А. Геохимия озёр в зоне влияния Арктического железорудного предприятия // Геохимия. 2020. Т. 65. № 8. С. 797–810. DOI: <https://doi.org/10.31857/S001675252008004X>.

Карта градостроительного зонирования г. Оленегорска, 2015. URL: https://olenegorsk.gov-murman.ru/city/master-plan/k_zon.jpg (дата обращения 24.10.2023).

Крячюнас В.В., Кузнецова И.А., Котова Е.И., Игловский С.А., Мироненко К.А., Суханов С.Г. Содержание и особенности распределения естественных и техногенных радионуклидов в почвах малого арктического города // Экология человека. 2020. № 5. С. 11–20. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-5-11-20>.

Мелентьев Г.Б. Естественная радиоактивность редкометалльно специализированного минерального сырья и урбанизированных территорий Карело-Кольского региона как фактор их радиозоологической оценки // Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Геология Докембрия. 2021. № 2. С. 27–43. DOI: <https://doi.org/10.17076/geo1284>.

Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». Москва: ООО НТЦ «Амплитуда», 2016. 12 с.

Никанов А.Н., Гудков А.Б., Шелков М.В., Попова О.Н., Щербина Ф.А., Щербина А.Ф. Характеристика радиационного фона арктической территории в районе расположения горно-обогатительного комплекса // Экология человека. 2019. № 5. С. 11–14. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-5-11-14>.

Романович И.К., Чернев А.В., Стамат И.П., Венков В.А., Кормановская Т.А. Дозы облучения населения Мурманской области природными источниками излучения и радионуклидами глобальных выпадений // Экология промышленного производства. 2006. № 1. С. 36–38.

Рюмина Л.В. Экологические проблемы Кольского полуострова // Жизнь Земли. Сер. Землеведение, экология, геодинамика. 2014. Т. 35–36. С. 76–81.

Салтан Н.В., Святковская Е.А., Тростенюк Н.Н. Оценка загрязнения снегового покрова урбоэкосистем

Кольского Севера в зоне влияния железнодорожных отводов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 78–83. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-1-078-083>.

Сергеев С. Куда ведет грибная тропа, а также взгляд экологов на Оленегорск и окрестности // Оленегорск: Люди. События. Факты, 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://olenegorsk.ol-cbs.ru/page/kuda-vedet-gribnaja-tropa> (дата обращения 24.10.2023).

Фофанова А.Ю., Андреев Д.М. Решение вопросов благоустройства с участием населения (на примере муниципального образования г. Оленегорска с подведомственной территорией Мурманской области) // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 78–3. С. 7–11. DOI: <https://doi.org/10.18411/trnio-10-2021-85>.

Kuzmenkova N.V., Vorobyova T.A. Landscape-geochemical mapping of territory in the north-west of Kola Peninsula // Journal of Geochemical Exploration. 2015. Vol. 154. P. 194–199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.12.016>.

Поступила в редакцию 09.11.2023

Принята 28.12.2023

Опубликована 28.12.2023

Сведения об авторах:

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

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

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

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

SPATIAL DISTRIBUTION OF ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th IN SOILS OF THE OLENEGORSK CITY (MURMANSK REGION)

© 2023 S. A. Iglovsky , A. V. Bazhenov , E. Y. Yakovlev 

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

The goal of the study is obtain original data and identify the main patterns of spatial distribution of radionuclides in the soils of Olenegorsk, depending on zoning and urban development, focusing one specific activity of ^{137}Cs and natural radionuclides, namely ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K , in soils. Such studies of urban soils in Olenegorsk have not been carried out earlier.

Location and time of the study. Soil samples in the city of Olenegorsk, Murmansk region, were collected in the summer of 2018.

Methods. Soil samples were collected at 24 study sites on the territory of the Olenegorsk city from the upper 0–5 cm layer. Under laboratory conditions, the samples were dried at 105° C to constant mass. Then soil aliquots were placed in a Marinelli vessel to measure isotope specific activity using gamma spectrometry. Registration of gamma radiation from a countable soil sample, as well as processing of spectra, was carried out using the Progress-gamma software and hardware complex FVKM.412131.002-03. Calibration of the gamma spectrometer by energy to monitor the safety of the installation parameters was carried out after each measurement using a combined control source OISN-137-1 in a 1-liter Marinelli vessel. The minimum exposure time for the counting sample was 3600 seconds. However, depending on the activity of a sample, the exposure time in individual samples with weak activity was increased.

Main results: The maximal specific activity of ^{137}Cs in urban soils of Olenegorsk was 47.5 Bq/kg in the northwestern part of the city in the undisturbed soils of the natural landscape. Maximal values of ^{40}K specific

activity reached 293.8 Bq/kg in the central and south-eastern parts of the city within the boundaries of multi-storey residential district. The maximal specific activity of ^{226}Ra in soils reached 14.6, and that of ^{232}Th reached 12.2 Bq/kg, being confined to soils in the area of high-rise and mid-rise buildings, most likely, due to the differential vegetation density since the latter easily involves ^{40}K into the biotic turnover. Maximal values of soil ^{226}Ra and ^{232}Th specific activity (14.6 and 12.2, respectively) were determined in areas with multi-storey and mid-rise buildings.

The correlation analysis between the radionuclides and soil skeleton particles (≥ 2 mm) and finer (≤ 1 mm) fractions showed rather close association of radionuclides with soil skeleton and < 45 μm particles, as well as a moderately strong correlation with the 45 μm fraction. Moderately strong correlation was found between ^{232}Th and ^{226}Ra , and between ^{40}K and soil skeleton particles.

Conclusion. The obtained data about the accumulation of ^{137}Cs and natural radionuclides (^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K) in the soils of Olenegorsk do not exceed the maximum permissible concentrations, characteristic of the urbanized areas of the Murmansk region.

Key words: Specific activity; urban soils; ^{137}Cs ; ^{232}Th ; ^{226}Ra ; ^{40}K ; Olenegorsk; Murmansk region.

How to cite: Iglovsky S.A., Bazhenov A.V., Yakovlev E.Yu. Spatial distribution of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th in soils of Olenegorsk city (Murmansk region) // *The Journal of Soils and Environment*. 2023. 6(4). e225. DOI: 10.31251/pos.v6i4.225 (in Russian with English abstract).

FINANCIAL SUPPORT

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 122011300333-1) and the Russian Science Foundation (grant No. 20-77-10057).

REFERENCES

- Atlas of Murmansk Province. Moscow 1971. 33 p. (in Russian).
- Dauwalter V.A. Geochemistry of lakes in the zone of influence of the Arctic iron ore enterprise. *Geohimiya*. 2020. Vol. 65. No. 8. P. 797–810. DOI: <https://doi.org/10.31857/S001675252008004X>. (in Russian).
- Urban zoning map of Olenegorsk, 2015. URL: https://olenegorsk.gov-murman.ru/city/master-plan/k_zon.jpg (accessed on 24.10.2023). (in Russian).
- Kryauchynas V.V., Kuznetsova I.A., Kotova E.I., Iglovsky S.A., Mironenko K.A., Sukhanov S.G. Natural and technogenic radionuclides in soils in a small Russian arctic town. *Human Ecology*. 2020. No. 5. P. 11–20. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-5-11-20>. (in Russian).
- Melentyev G.B. Natural radioactivity of rare-metal specialized mineral raw materials and urbanized areas in the Karelian-Kola region as a factor for their radioecological assessment. *Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science. Precambrian Geology Series*. 2021. No. 2. P. 27–43. DOI: <https://doi.org/10.17076/geo1284>. (in Russian).
- Methodology of radionuclide activity measurement using scintillation gamma spectrometer with software "Progress". Moscow: LLC STC "Amplitude", 2016. 12 p. (in Russian).
- Nikanov A.N., Gudkov A.B., Shelkov M.V., Popova O.N., Shcherbina F.A., Shcherbina A.F. Mining and processing plant activities and the levels of background radiation in an arctic setting. *Human Ecology*. 2019. No. 5. P. 11–14. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-5-11-14>. (in Russian).
- Romanovich I.K., Chernev A.V., Stamat I.P., Venkov V.A., Kormanovskaya T.A. Exposure doses of the population of the Murmansk region by natural sources of radiation and radionuclides of global fallout. *Industrial Ecology*. 2006. No. 1. P. 36–38. (in Russian).
- Ryumina L.V. Environmental problems of the Kola Peninsula. *Life of the Earth. Series: Geoscience, Ecology, Geodynamics*. 2014. Vol. 35. P. 76–81. (in Russian).
- Saltan N.V., Svyatkovskaya E.A., Trostenyuk N.N. Assessment of pollution of the snow cover of urban ecosystems of the Kola North in the zone of influence of railway branches. *Theoretical and Applied Ecology*. 2022. No. 1. P. 78–83. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-1-078-083>. (in Russian).
- Sergeyev S. Where the mushroom trail leads, as well as the ecologists' view of Olenegorsk and its surroundings. Olenegorsk: People. Events. Facts, 2023. [Electronic resource]. URL: <https://olenegorsk.ol-cbs.ru/page/kuda-vedet-gribnaja-tropa> (accessed on 24.10.2023). (in Russian).
- Fofanova A. Yu., Andreev D. M. Solving issues of improvement with the participation of the population (using the example of the municipal formation of Olenegorsk with the subordinate territory of the Murmansk region).

Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2021. No. 78–3. P. 7–11. DOI: <https://doi.org/10.18411/trnio-10-2021-85>. (in Russian).

Kuzmenkova N.V., Vorobyova T.A. Landscape-geochemical mapping of territory in the north-west of Kola Peninsula. Journal of Geochemical Exploration. 2015. Vol. 154. P. 194–199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.12.016>.

Received 09 November 2023

Accepted 28 December 2023

Published 28 December 2023

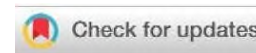
About the authors:

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

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

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

The authors read and approved the final manuscript



РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЧВЕННО-ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2023 С. Я. Кудряшова , А. С. Чумбаев 

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

Представлены основные результаты теоретических и экспериментальных исследований лаборатории почвенно-физических процессов ИПА СО РАН, полученные на основе выполнения государственных программ по изучению и освоению земельного фонда Сибири. Отмечены новые направления деятельности лаборатории, в том числе выполнение теоретических и экспериментальных работ в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ», который предполагает учёт данных о бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах.

Ключевые слова: физика почв в Сибири; лаборатория почвенно-физических процессов; исторические аспекты; современные направления деятельности.

Цитирование: Кудряшова С.Я., Чумбаев А.С. Развитие теоретических и экспериментальных исследований почвенно-физических процессов в Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 4. e221. DOI: [10.31251/pos.v6i4.221](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.221)

Как показывают многочисленные теоретические наработки и практический опыт освоения почв в различных биоклиматических зонах страны, почвенно-физические свойства и режимы являются важными составляющими почвенного плодородия, которые в значительной степени определяют условия роста и развития растений, производительность труда в земледелии и объём получаемой сельскохозяйственной продукции. Для таких регионов как Западная Сибирь, почвенный покров которой представлен сложным сочетанием типов почв, различающихся по агрономической ценности и мелиоративным свойствам, физические основы почвенного плодородия являются необходимым, а в некоторых случаях, главным фактором эффективного землепользования и охраны почв.

Подчёркивая важность агрофизических свойств для решения принципиальных вопросов использования сельскохозяйственных территорий, К.П. Горшенин (1955) в первом и единственном на тот период времени обобщении, освещающем основные географические закономерности распределения и свойства главнейших типов почв Сибири от Урала до Байкала, с сожалением отмечает: «...при выполнении настоящей работы выявлена недостаточность данных для характеристики почв в отношении их физических свойств, водного режима и структуры, особенно динамики этих свойств». Поэтому в числе первых подразделений Отдела почвоведения Биологического института СО АН СССР, доктор сельскохозяйственных наук Р.В. Ковалев организовал лабораторию физики, мелиорации и эрозии почв. Руководителем объединённой лаборатории был назначен кандидат сельскохозяйственных наук В.П. Панфилов. Целевые исследования Отдела почвоведения в 1950–1960 гг. были сосредоточены в горных районах юга Сибири, на территории которых маршрутными и стационарными методами получен большой объём фактического материала, ставший основой для создания первой целостной и глубокой характеристики почвенного покрова Горного Алтая (Панфилов, 1956; 1964).

Наряду с географо-генетическим направлением почвенных исследований значительные успехи были достигнуты при изучении агрофизических свойств почв, которые имели большое практическое значение для их агромелиоративной оценки и теоретического обоснования комплекса зональных систем земледелия. Для территорий обширного горного обрамления юга Сибири одной из первых представлена оценка мелиоративных особенностей почв сухостепных котловин, составляющих основной фонд сельскохозяйственных земель Горно-Алтайской автономной области (рис. 1).

Специализированная лаборатория физики почв была выделена как самостоятельное подразделение из объединённой лаборатории физики, мелиорации и эрозии почв в 1968 г.,

одновременно с созданием Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО АН СССР – научного центра по изучению почв Сибири. Основные направления научных исследований Института были связаны с решением государственных программ по изучению и освоению земельного фонда Сибири. Планы тематических заданий по рациональному использованию земельных ресурсов в ближайшей и отдалённых перспективах включали широкий спектр задач по вовлечению резервных территорий в хозяйственное использование, созданию зональных систем земледелия, разработке и применению агромелиоративных мероприятий, а также вопросы прогнозирования воздействия мелиораций на свойства почв и состояние почвенного покрова.



Рисунок 1. Панфилов В.П. и Ковалев Р.В. (фото 1); Хмелев В.А. (крайний слева), Мальгин М.А. (второй слева), Панфилов В.П. (крайний справа) (фото 2) в период исследования почвенного покрова Горно-Алтайской автономной области (1964–1965 гг.).

В развитие почвенно-мелиоративного направления, имевшего большое значение для определения земельно-ресурсного потенциала региона, в числе ведущих подразделений Института существенный вклад внесли исследования лаборатории физики почв, в результате которых были получены показатели агрофизических свойств почв и параметры их водно-физического и температурного режимов в различных природно-климатических зонах Сибири.

Программа научной деятельности лаборатории физики почв и профессиональный рост её сотрудников формировались в процессе выполнения научно-производственных программ. К числу наиболее значимых можно отнести этап, связанный с выполнением программы по изучению физики, водного режима и водного баланса почв Кулундинской степи, который способствовал сплочению лаборатории как научного коллектива. Другой важный период связан с выполнением большого объёма работ по разделам государственной целевой научно-исследовательской программы «Сибирь», по результатам которых лаборатория физики почв получила статус ведущей организации в области исследования фундаментальных почвенно-физических процессов и количественной оценки физических свойств почв.

Комплексная программа Сибирского отделения АН СССР, Министерства мелиорации и водного хозяйства РСФСР и Министерства сельского хозяйства РСФСР «Орошение и обводнение Кулундинской степи». Развитие агропромышленного комплекса на территории Сибири в 1960–1970 годы являлось необходимой основой для реализации проектов по освоению её природных ресурсов. Тематическими планами научных учреждений и проектных организаций было предусмотрено проведение исследований для обеспечения высоких темпов сельскохозяйственного производства на основе его интенсификации. В системе мер, направленных на интенсификацию сельского хозяйства в засушливых зонах страны, решающая роль была отведена орошению, защите почв от ветровой эрозии и улучшению их водного баланса.

Молодой коллектив лаборатории физики почв проводил разноплановые полевые и лабораторные исследования физических свойств, водного режима и водного баланса почв Кулундинской степи, следуя шутливому лозунгу: «*Наш девиз, как заклинание, трудиться до влажности устойчивого завядания!*». В течение сравнительно короткого периода сотрудниками лаборатории были изучены региональные особенности водно-физических и мелиоративных свойств почв степной зоны Западной Сибири (рис. 2). По данным детального исследования элементов водного баланса почв и их гидротермического режима было показано, что чернозёмы и каштановые почвы Кулундинской степи, в отличие от их европейских аналогов, характеризуются пониженной влагоёмкостью и значительно меньшей мощностью слоя активного влагооборота. Впервые для почв

Сибири в модельных полевых опытах были установлены закономерности передвижения и доступности растениям различных форм почвенной влаги.

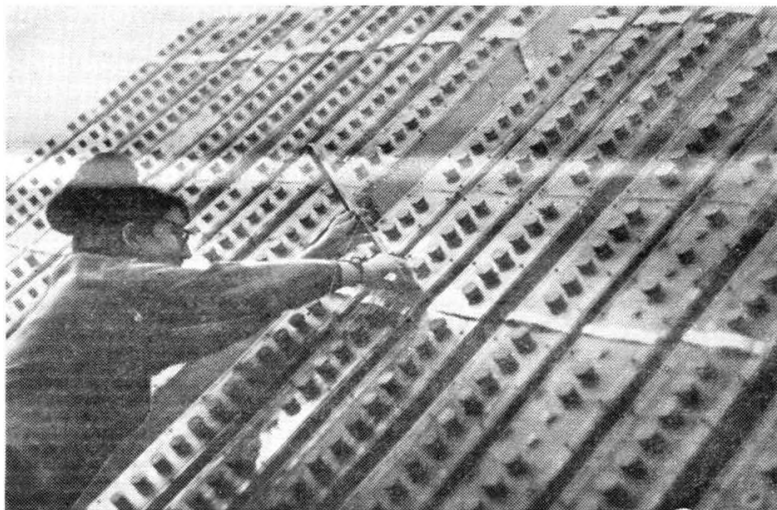


Рисунок 2. Аспирантка лаборатории физики почв Чащина Н.И. за изучением процессов передвижения влаги в почвенных моделях.

Итогом этого цикла работ стала фундаментальная монография В.П. Панфилова «*Физические свойства и водный режим почв Кулундинской степи*» (Панфилов, 1973), в которой была дана агрометрическая оценка водно-физических свойств почв, определены закономерности их изменений в связи с условиями почвообразования, обоснованы теоретические подходы и практические рекомендации, направленные на повышение плодородия пахотных и орошаемых земель крупнейшего сельскохозяйственного района Западной Сибири.

Государственная целевая научно-исследовательская программа «Сибирь», подпрограмма «Земельные ресурсы». В связи с перспективой широкого осуществления грандиозных по масштабам проектов на базе сырьевых и энергетических ресурсов Сибири, по заданию ГКНТ СССР была сформирована одна из самых крупных научно-практических программ с целью интенсификации использования природного потенциала почвенного покрова – «*Разработка научных основ рационального использования, охраны и воспроизводства земельных ресурсов Сибири (1970–1986 гг.)*». В выполнении проекта приняли участие практически все специализированные подразделения научно-исследовательских и проектных институтов СО АН СССР, СО ВАСХНИЛ, МВХ РСФСР, СибНИИГМа, Минсельхоза СССР, Минвуза СССР, Запсибгипрозема. Научно-производственным объединением под руководством Р.В. Ковалева был выполнен значительный объём работ, позволяющий успешно решать задачи научного и прикладного характера, связанные с использованием земельных ресурсов, как отдельных регионов, так и крупных природно-техногенных комплексов. Итоги выполнения заданий и этапов проведения научно-исследовательских работ, а также законченных разработок организаций соисполнителей широко обсуждались на рабочих и отчётных совещаниях.

В.П. Панфилов стал координатором почвенно-мелиоративного направления программы «Сибирь» и ответственным исполнителем нескольких тематических заданий Госагропрома СССР и ГКНТ СССР.

Координационная программа по разделу «Исследовать изменение агрофизических свойств и режимов почв под воздействием интенсификации земледелия и обосновать их оптимальные параметры». В современной концепции устойчивого развития сельского хозяйства достижения агрофизики рассматриваются в качестве основной теоретической и информационно-технической базы для создания новейших высоких аграрных технологий, направленных на эффективное использование земель, воспроизводство плодородия почв и повышение урожаев сельскохозяйственных культур. Высоко оценивая значение агрофизики в современном земледелии, необходимо отметить, что ещё 40–50 лет назад почвенный покров огромной территории Сибири,

которая начиная с 1940–1950 гг. являлась объектом реализации крупных научно-производственных проектов, был практически не изучен в отношении его агрофизических характеристик.

В рамках научно-исследовательской программы «Сибирь» для многих природно-климатических областей и районов впервые были проведены комплексные исследования физических основ почвенного плодородия земель пахотного фонда и земель, перспективных для мелиоративного освоения и сельскохозяйственного использования. В выполнении работ принимали участие многие коллективы академических и ведомственных институтов республик, краёв и областей страны. Разработка научно-методического обеспечения и координация работ осуществлялась лабораторией физики почв ИПА под руководством *В.П. Панфилова*. Успешное решение такой масштабной научно-практической проблемы стало возможным благодаря хорошо организованному взаимодействию всех участников проекта. В результате творческого сотрудничества разных организаций за сравнительно короткий срок были изучены агрофизические свойства и режимы основных типов почв земельного фонда Сибири, их региональные особенности и сезонная динамика.

В решении общих задач подпрограммы по конструктивной мобилизации почвенного покрова «Земельные ресурсы» большое внимание было уделено изучению агрофизических свойств почв Западно-Сибирского региона. Территория Западной Сибири, почвенный покров которой характеризуется четко выраженной широтной зональностью на равнинах и высотной поясностью в горных областях, была выбрана в качестве модельного полигона для отработки приёмов интенсивных технологий земледелия и типовых зональных, региональных и ландшафтных систем мелиорации и химизации, направленных на получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

Изучение агрофизических свойств почв Западной Сибири, которое выполняли сотрудники лаборатории физики почв, проведено с использованием новых полевых и лабораторных методов, с привлечением точной аппаратуры и измерительной техники. Для всех почвенно-климатических зон Западной Сибири и ее горного обрамления получены характеристики твёрдой фазы основных типов почв и их водно-физических свойств, установлены особенности гидротермического и воздушного режимов, радиационные параметры приземного слоя воздуха, определены приёмы и средства регулирования внешних условий жизни растений.

Материалы почвенно-физических исследований, полученные сотрудниками лаборатории – *М.М. Ландиной*, *А.П. Трубецкой*, *Н.И. Чащиной* и данные, накопленные в литературе, систематизированы и обобщены *В.П. Панфиловым* в коллективной монографии «*Агрофизическая характеристика почв Западной Сибири*», которая и в настоящее время является фундаментальным изданием для специалистов в области почвоведения, современного земледелия и экологии (Агрофизическая характеристика..., 1976).

Выполненные *М.М. Ландиной* (1986; 1992) многолетние исследования почвенного газообмена, имели новое теоретическое и прикладное значение, как результаты, характеризующие биологическую активность почвы и представляющие важный процесс в глобальном цикле углерода.

Обширные материалы глубокого профильного изучения свойств, режимов и плодородия сибирских чернозёмов при орошении, их ирригационного освоения, рационального использования и охраны обобщены в коллективной монографии «*Чернозёмы: свойства и особенности орошения*» (1988), которая отражает широкий спектр научно-практических проблем исследования региональных и провинциальных особенностей генетических и мелиоративных свойств чернозёмов Западной Сибири. В рамках данной программы выполнен большой цикл работ по изучению структуры порового пространства, энергетики почвенной влаги, тепловых и воздушных свойств различных типов почв. Впервые в условиях сибирского региона рассмотрены сущность взаимосвязи физических свойств почв и главных показателей их биологической активности. Особое внимание уделено исследованию и агро-мелиоративной оценке водно-тепловых свойств и режимов сибирских чернозёмов в целях обоснования перспектив развития на их основе оросительной мелиорации. Новые обширные материалы глубокого профильного изучения этих почв способствовали решению проблемы их ирригационного освоения, рационального использования и охраны.

В монографии «*Чернозёмы: свойства и особенности орошения*» (1988) дана оценка воздействия на свойства и режимы чернозёмов ненормированного орошения; исследованы закономерности нисходящего и восходящего передвижения почвенной влаги, её доступность растениям в диапазоне естественного и дополнительного увлажнения. С учётом полученных данных теоретически и экспериментально обоснованы допустимые пределы (степень, глубина,

диапазон) увлажнения автоморфных почв Западной Сибири при поливах, рекомендованные в качестве обязательных элементов водного режима, свойств почв и, в целом, экологоохранной технологии орошения. Несомненным достижением необходимо признать разработку концепции использования и охраны сибирских чернозёмов в орошаемом земледелии, что послужило началом разработки научных основ орошения и охраны почв Западно-Сибирского региона.

По проблеме орошения чернозёмов Приобья представлена сравнительная оценка свойств и режимов неорошаемых и орошаемых чернозёмов и выявлены характер, направленность и интенсивность трансформации этих свойств в условиях орошения (Панфилов и др., 1989; Панфилов, Шапорина, 1990; Шапорина, Танасиенко, 2014). Изучены особенности строения почвенно-грунтовых толщ Приобья, влияющие на процессы миграции влаги, как вертикальной, так и горизонтальной – поверхностной и внутрипочвенной. Теоретически и экспериментально обоснованы пути экологически безопасного регулирования влагообмена в орошаемых чернозёмах.

Необходимость развития обобщающих концепций в почвенной физике явилась основой для анализа экспериментального материала с точки зрения структурно-функционального подхода. На примере процессов внутрипочвенного теплообмена рассмотрены методические вопросы использования термодинамических и кибернетических представлений при описании процессов почвообразования. Эти вопросы объединены в рамках структурно-генетической модели, в теоретических построениях которой использовано понятие обратной связи, реализующей принцип гомеостатического равновесия почвы при воздействии на неё внешних возмущений (Чичулин, 1991).

С использованием современных подходов к изучению гидрофизических свойств почв и категорий почвенной влаги установлено, что во всем интервале увлажнения от наименьшей влагоёмкости и ниже, влага в иллювиальных горизонтах подтипов серых лесных почв находится в основном в ультрапорах диаметром менее 3 мкм, под преимущественным действием сорбционных сил и характеризуется высоким потенциалом давления, очень слабой подвижностью и доступностью для растений. В процессе испарения и восходящего движения влаги к испаряющему слою в этих почвах не выражены: стадия с постоянной высокой интенсивностью испарения и граница резкого изменения подвижности почвенной влаги, соответствующая влажности разрыва капилляров (Панфилов и др., 1984; Слесарев, Кудряшова, 1988).

Необходимо подчеркнуть значительный вклад в выполнении государственной целевой программы «Сибирь», сотрудников лаборатории эрозии почв ИПА СО АН СССР, научно-производственный потенциал которой в связи с реорганизацией Института в 1996 г. был объединён с лабораторией физики почв и сформировано новое структурное подразделение – *лаборатория почвенно-физических процессов*. Основоположником эрозионных исследований в Сибири является А.Д. Орлов, под руководством которого выполнено почвенно-эрозионное районирование юга Западной Сибири и разработаны системы противоэрозионных мероприятий с целью интенсификации использования разной степени эродированных земель. Итогом исследований стала монография А.Д. Орлова «Водная эрозия почв Новосибирского Приобья» (Орлов, 1971) – первая сводная работа, посвященная распространению эрозии почв в Сибири. Одной из наиболее значимых программ того времени, в выполнении которой принимали участие сотрудники лаборатории, было изучение современных эрозионных и геохимических процессов в горно-таёжных ландшафтах с целью выяснения их устойчивости к различным хозяйственным воздействиям человека (С.Р. Ковалева, В.В. Реймхе), которая осуществлялась на Байкальском стационаре АН СССР в рамках проекта Верховного Совета СССР «О мерах по дальнейшему улучшению охраны природы и рациональному использованию природных ресурсов» (1972).

Новое, ландшафтное направление развития почвенно-эрозионных процессов сформулировано А.Д Орловым на основе комплексного анализа большого объёма фактических данных, полученных в результате изучения эрозионных процессов в специфических природно-климатических условиях Западной Сибири. Материалы, имеющие высокую степень научной и практической значимости, обобщены в монографии А.Д. Орлова «Эрозия и эрозионно-опасные земли Западной Сибири» (Орлов, 1983), которая была представлена им в качестве докторской диссертации и успешно защищена в 1984 г.

В 1985 г. А.Д. Орлов возглавил Бурятский институт биологии СО АН СССР, в связи с его отъездом, заведующим лабораторией стал кандидат биологических наук В.В. Реймхе, под руководством которого значительное внимание уделялось изучению оврагообразования, одного из наиболее интенсивных современных процессов преобразования естественных природных

ландшафтов в разных по биоклиматическим и геолого-геоморфологическим условиям регионам Сибири (Реймхе, 1986). Большой объём фактического материала по генезису основных типов оврагов Западной Сибири, формированию ежегодного поверхностного стока талых вод и его влиянию на динамику роста оврагов, их морфометрических показателей, обоснованию противоовражных мероприятий обобщён А.Ф. Путиным в монографии «*Эрозия почв в лесостепи Западной Сибири*» (Путилин, 2002), которая в дальнейшем была положена в основу его докторской диссертации. Единственным специалистом, изучавшим поверхностный и внутрисочвенный сток талых вод на серых лесных почвах Присалаирья была С.Р. Ковалева. Основой её монографии «*Эрозионная деформация почвенного покрова*» (Ковалева, 1992) стал материал многолетнего изучения структуры почвенного покрова, природного и антропогенного характера проявления эрозионных процессов, приводящих к деформации почвенного покрова лесостепи Западной Сибири.

В период 1996–2008 гг. лабораторию почвенно-физических процессов, сформированную из лабораторий эрозии почв и физики почв, возглавлял доктор биологических наук А.А. Танасиенко. К числу основных достижений лаборатории, безусловно, следует отнести научные результаты, обобщённые А.А. Танасиенко в монографии «*Специфика эрозии почв в Сибири*» (Танасиенко, 2003), в которой впервые для обширного региона рассмотрена специфика эрозионных процессов в условиях резко континентального климата, выявлены закономерности стока талых вод и смыва почв в зональном аспекте; детально охарактеризован сезонно-мерзлотный режим эродированных почв и выявлено влияние глубины промерзания профиля тёмно-серых лесных и чернозёмных почв на величину и интенсивность поверхностного стока талых вод, качество отчуждаемого почвенного материала; рассмотрены экологические аспекты эрозии почв и обоснована эрозионная стойкость пахотных чернозёмов Сибири с учётом их генетических свойств.

Совместно с А.С. Чумбаевым впервые охарактеризован гидротермический режим склоновых почв Предсалаирья в холодный период гидрологического года как один из ведущих факторов весенней эрозии почв, при этом особое внимание уделено вопросам развития эрозионных процессов в зависимости от гидротермических условий почв (Чумбаев, 2005; Tanasienko et al., 2009; 2011).

На основе обобщения литературных и собственных материалов В.А. Хмелевым и А.А. Танасиенко подготовлена фундаментальная монография «*Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования*» (Хмелев, Танасиенко, 2009), в которой представлены данные об использовании и качественном состоянии чернозёмных почв Предалтайской и Западно-Сибирской лесостепных провинций, представляющих основной фонд пахотных земель Западной Сибири.

Почвы Кузбасса, наиболее промышленно развитого региона Западной Сибири, детально проанализированы в совместной монографии В.А. Хмелева и А.А. Танасиенко «*Почвенные ресурсы Кемеровской области и пути их рационального использования*» (Хмелев, Танасиенко, 2013), значительная часть которой посвящена анализу проблемы по охране и рациональному использованию почв, в особенности, наиболее ценных для земледелия, чернозёмов. Даны рекомендации по защите этих почв от процессов дефляции и эрозии, контролю за их отводом для несельскохозяйственных нужд, в первую очередь, для открытой (карьерной) добычи каменного угля. Подчёркнута важность рационального использования и сохранения чернозёмов для будущих поколений и для народного хозяйства Кузбасса.

Новым направлением деятельности лаборатории почвенно-физических процессов является участие в выполнении теоретических и экспериментальных работ в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «*Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учёта данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах*» (рег. № 123030300031-6).

Для достижения цели проекта выполнен анализ имеющейся инфраструктуры пробных площадей по оценке пулов углерода и эмиссии CO₂ из почв естественных экосистем, а также постагрогенных территорий лесостепной зоны Западной Сибири. Получены аналитические данные определения запасов CO₂ в почвах ранее изучавшихся хронорядов в лесных и травяных экосистемах Новосибирской области в рамках экстенсивного мониторинга.

На основе архивных и современных материалов проведены инвентаризация имеющихся в ИПА СО РАН пробных площадей и оценка пула почвенного углерода в различных типах наземных экосистем (леса, степи, луга и залежи) Западной Сибири.

Сформированы цифровые многопараметрические базы данных по запасам $C_{орг}$ в почвах естественных экосистем и залежей лесостепной и степной зон Западной Сибири. На основе данных многолетних полевых исследований сотрудников ИПА СО РАН составлено описание 69 пробных площадей, в том числе 67 на территории Западной Сибири. На основе ретроспективного анализа литературных данных дана оценка полноты исследований пула почвенного углерода и эмиссии CO_2 из почв различных типов наземных экосистем Западной Сибири. С учётом репрезентативности рельефа, почвенно-растительного покрова и климатических особенностей региона разработан проект создания сети измерительных площадок для мониторинга потоков CO_2 из почвы (рис. 3).

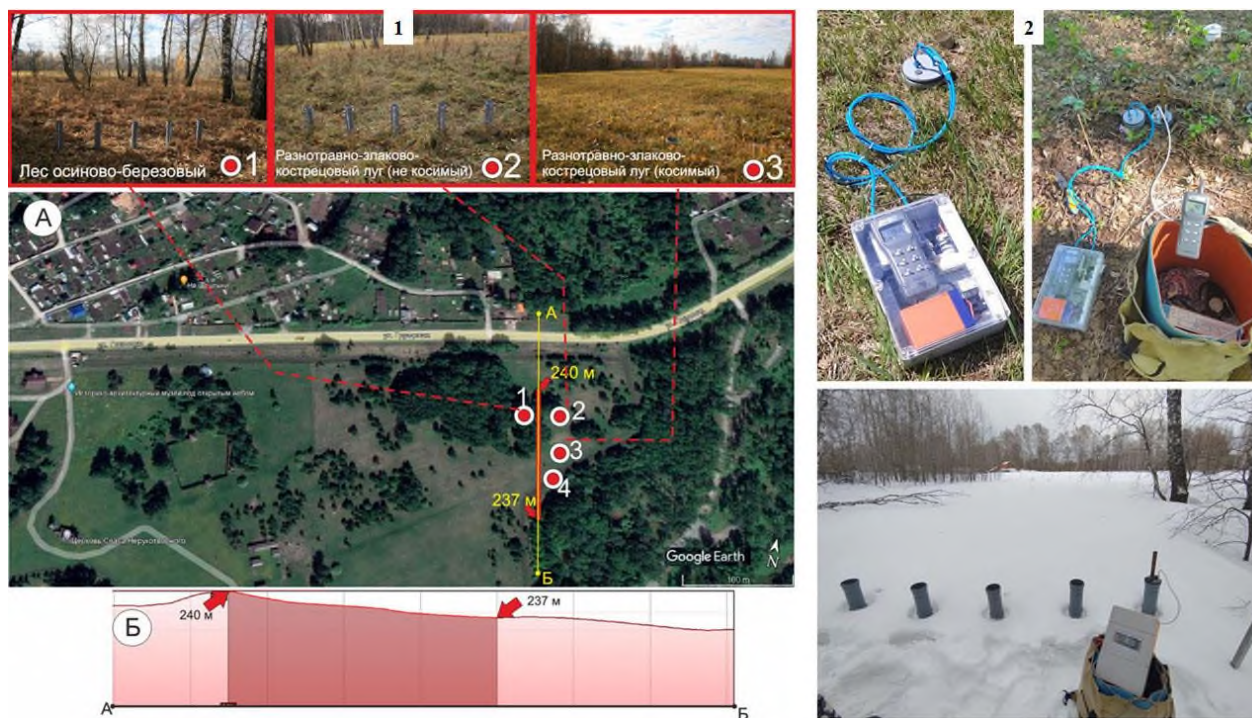


Рисунок 3. Круглогодичный интенсивный мониторинг эмиссии CO_2 из почв репрезентативных экосистем (фото 1) с помощью инфракрасного газоанализатора VentPro (Россия) (фото 2).

С ноября 2022 года ведутся регулярные (еженедельно), круглогодичные измерения эмиссии CO_2 из почв на территории Историко-архитектурного музея под открытым небом Института археологии и этнографии СО РАН ($54,85117^\circ$ с.ш., $83,18309^\circ$ в.д.) в осиново-березовом лесу и на двух вариантах луга – косимый и некосимый. Все площадки расположены на тёмно-серой лесной почве (Luvic Greyzemic Phaeozem (Siltic)). Измерения производятся камерным методом с помощью инфракрасного газоанализатора VentPro (производство Россия).

В полевой сезон 2023 г. сотрудниками ИПА СО РАН – участниками проекта ВИП ГЗ проведён полевой этап наземных исследований для определения пула углерода в естественных луговых экосистемах лесостепной зоны Западной Сибири. Выполнена закладка 5 пробных площадей на участках естественных луговых сообществ, характеризующих один из доминирующих компонентов лесостепного ландшафта (рис. 4). Работы на пробных площадях включали геоботанические, почвенные, почвенно-зоологические, почвенно-микробиологические и биогеоценологические исследования. Базой размещения сотрудников и первичной камеральной обработки полученных образцов служил полевой стационар ИПА СО РАН, расположенный в селе Усть-Каменка Тогучинского района Новосибирской области.



Рисунок 4. Участники полевого этапа наземных исследований пула углерода в естественных луговых экосистемах лесостепной зоны Западной Сибири.

Таким образом, более полувека назад основатели Сибирских научных школ физики и эрозии почв начали вести научные изыскания теоретических и экспериментальных основ почвенно-физических факторов продукционного процесса, а их ученики – современный научный коллектив лаборатории почвенно-физических процессов ИПА СО РАН – продолжают начатое дело и ведут работы как фундаментального, так и прикладного значения.

Сегодня по-прежнему сохраняется актуальность исследования физических свойств и режимов почв, тем более в условиях глобальных и региональных изменений климата. Учитывая тот факт, что хозяйственная деятельность человека и его влияние на экосистемы за последнее столетиекратно увеличилось по сравнению с более ранними периодами освоения Сибири, особо важными становятся мониторинговые исследования различных почвенно-физических параметров естественных и антропогенно-преобразованных территорий.

ЛИТЕРАТУРА

- Агрофизическая характеристика почв Западной Сибири / В.П. Панфилов (отв. ред.). Новосибирск: Наука, 1976. 544 с.
- Горшенин К.П. Почвы южной части Сибири (от Урала до Байкала). Москва: Изд-во АН СССР, 1955. 591 с.
- Ковалева С.Р. Эрозионная деформация почвенного покрова. Новосибирск: Наука, 1992. 160 с.
- Ландина М.М. Физические свойства и биологическая активность почв. Новосибирск: Наука, 1986. 141 с.
- Ландина М.М. Почвенный воздух. Новосибирск: Наука, 1992. 167 с.
- Орлов А.Д. Водная эрозия почв Новосибирского Приобья. Новосибирск: Наука, 1971. 176 с.
- Орлов А.Д. Эрозия и эрозионно-опасные земли Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1983. 243 с.
- Панфилов В.П. Краткая характеристика почвенного покрова Горно-Алтайской автономной области // Естественная кормовая база Горно-Алтайской автономной области (Труды Биол. ин-та СО АН СССР. Выпуск 2). Новосибирск, 1956. С. 126–135.
- Панфилов В.П. Мелиоративные особенности почв сухих котловин Горного Алтая // Труды конференции почвоведов Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, 1964. С. 423–427.
- Панфилов В.П. Физические свойства и водный режим почв Кулундинской степи. Новосибирск: Наука, 1973. 260 с.

Панфилов В.П., Кудряшова С.Я., Харламов И.С. Гидротеплофизические свойства серых лесных почв Западной Сибири и их агрономическая оценка // Проблемы использования и охраны почв Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Изд-во Наука. 1984. С. 21–26.

Панфилов В.П., Шапорина Н.А., Сенькова Л.А., Чичулин А.В., Слесарев И.В., Пономарев А.П. Изменение агрофизических свойств черноземов Приобья и Северной Кулунды при орошении // Мелиорация и водное хозяйство. 1989. № 11. С. 20–21.

Панфилов В.П., Шапорина Н.А. Допустимые уровни увлажнения почв Западной Сибири при орошении // Почвоведение. 1990. № 5. С. 76–86.

Путилин А.Ф. Эрозия почв в лесостепи Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2002. 184 с.

Реймхе В.В. Эрозионные процессы в лесостепных ландшафтах Забайкалья (на примере бассейна р. Куйтунки). Новосибирск: Наука, 1986. 120 с.

Слесарев И.В., Кудряшова С.Я. О поведении влаги в черноземах южных тяжелосуглинистых // Черноземы: свойства и особенности орошения. Новосибирск: Изд-во Наука, 1988. С. 232–236.

Танасиенко А.А. Специфика эрозии почв в Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 176 с.

Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 349 с.

Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Почвенные ресурсы Кемеровской области и пути их рационального использования. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 477 с.

Черноземы: свойства и особенности орошения / В.П. Панфилов (отв. ред.). Новосибирск: Наука, 1988. 128 с.

Чичулин А.В. Термодинамические особенности и кибернетические аспекты почвообразования в связи с внутрипочвенным теплообменом // Почвообразование и антропогенез: структурно-функциональные аспекты. Новосибирск: Наука, 1991. С. 5–29.

Чумбаев А.С. Внутрипочвенный мерзлотный экран как фактор формирования поверхностного стока талых вод // Сибирский экологический журнал. 2005. № 5. С. 865–869.

Шапорина Н.А., Танасиенко А.А. Проблемы орошения черноземов Приобья. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 137 с.

Tanasienko A.A., Yakutina O.P., Chumbaev A.S. Snowmelt runoff parameters and geochemical migration of elements in the dissected forest-steppe of West Siberia // Catena. 2009. Vol. 78. Iss. 2. P. 122–128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.03.008>.

Tanasienko A.A., Yakutina O.P., Chumbaev A.S. Effect of snow amount on runoff, soil loss and suspended sediment during periods of snowmelt in southern West Siberia // Catena. 2011. Vol. 87. Iss. 1. P. 45–51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.05.004>.

Поступила в редакцию 13.10.2023

Принята 20.10.2023

Опубликована 26.12.2023

Сведения об авторах:

Кудряшова Светлана Яковлевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); kudryashova@issa-siberia.ru

Чумбаев Александр Сергеевич – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); chumbaev@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/)

DEVELOPMENT OF THEORETICAL FOUNDATIONS AND EXPERIMENTAL STUDIES OF SOIL PHYSICAL PROCESSES IN WEST SIBERIA

© 2023 S. Ya. Kudryashva , A. S. Chumbaev 

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: kudryashova@issa-siberia.ru, chumbaev@issa-siberia.ru

The article presents the main results of theoretical and experimental studies of soil physical processes, obtained during working on state programs aimed at studying and developing the land fund of Siberia. New research areas are described as well, including theoretical and experimental work within the framework of the innovative project of the Russian Federation “Unified National System for Monitoring Climate-Active Substances”, involving recording data on the carbon budget in forests and other terrestrial ecosystems.

Key words: soil physics in Siberia; laboratory of soil-physical processes; historical aspects; current areas of research.

How to cite: Kudryashva S.Ya., Chumbaev A.S. Development of theoretical foundations and experimental studies of soil physical processes in West Siberia // *The Journal of Soils and Environment*. 2023. 6(4). e221. DOI: [10.31251/pos.v6i4.221](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.221) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

- Agrophysical characterisation of soils of West Siberia / V.P. Panfilov (ed.). Novosibirsk: Nauka Publ., 1976. 544 p. (in Russian).
- Gorshenin K.P. Soils of the southern part of Siberia (from the Urals to Baikal). Moscow: Publ. House of the Academy of Sciences of the USSR, 1955. 591 p. (in Russian).
- Kovaleva S.R. Erosion deformation of the soil cover. Novosibirsk: Nauka Publ., 1992. 160 p. (in Russian).
- Landina M.M. Physical properties and biological activity of soils. Novosibirsk: Nauka Publ., 1986. 141 p. (in Russian).
- Landina M.M. Soil air. Novosibirsk: Nauka Publ., 1992. 167 p. (in Russian).
- Orlov A.D. Water erosion of soils of the Novosibirsk Priobie. Novosibirsk: Nauka Publ., 1971. 176 p. (in Russian).
- Orlov A.D. Erosion and erosion-hazardous lands of West Siberia. Novosibirsk: Nauka Publ., 1983. 243 p. (in Russian).
- Panfilov V.P. Brief characteristics of the soil cover of the Gorno-Altai Autonomous Region. Natural food supply of the Gorno-Altai Autonomous Region (Proceedings of Biological Institute SB AN USSR. Iss. 2). Novosibirsk, 1956. P. 126–135. (in Russian).
- Panfilov V.P. Ameliorative features of soils of dry hollows of the Altai Mountains. Proceedings of the Conference of Soil Scientists of Siberia and the Far East. Novosibirsk, 1964. P. 423–427. (in Russian).
- Panfilov V.P. Physical properties and water regime of soils of Kulunda steppe. Novosibirsk: Nauka Publ., 1973. 260 p. (in Russian).
- Panfilov V.P., Kudryashova S.Ya., Kharlamov I.S. Hydrothermophysical properties of gray forest soils in West Siberia and their agronomic assessment. In book: Problems of use and protection of soils in Siberia and the Far East. Novosibirsk: Nauka Publ., 1984. P. 21–26. (in Russian).
- Panfilov V.P., Shaporina N.A. Senkova L.A., Chichulin A.V., Slesarev I.V., Ponomarev A.P. Change of agrophysical properties of chernozems of Priobie and Northern Kulunda under irrigation. Melioration and Water Management. 1989. No. 11. P. 20–21. (in Russian).
- Panfilov V.P., Shaporina N.A. Permissible soil moistening levels by irrigation in West Siberia. Pochvovedenie. 1990. No. 5. P. 76–86. (in Russian).
- Putilin A.F. Soil erosion in the forest-steppe of West Siberia. Novosibirsk: Nauka Publ., 2002. 184 p. (in Russian).
- Reimkhe V.V. Erosion processes in forest-steppe landscapes of Transbaikalia (on the example of the Kuitunka River basin). Novosibirsk: Nauka Publ., 1986. 120 p. (in Russian).
- Slesarev I.V., Kudryashova S.Ya. On the behavior of moisture in southern heavy loamy chernozems. In book: Chernozems: properties and features of irrigation. Novosibirsk: Nauka Publ., 1988. P. 232–236. (in Russian).
- Tanasienko A.A. Specifics of soil erosion in Siberia. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 2003. 176 p. (in Russian).
- Khmelev V.A., Tanasienko A.A. Soil resources of the Novosibirsk region and ways of their rational use. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 2009. 349 p. (in Russian).

Khmelev V.A., Tanasienko A.A. Soil resources of the Kemerovo region and ways of their rational use. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 2013. 477 p. (in Russian).

Chernozems: properties and features of irrigation / V.P. Panfilov (ed.). Novosibirsk: Nauka Publ., 1988. 128 p. (in Russian).

Chichulin A.V. Thermodynamic features and cybernetic aspects of soil formation in connection with intrasoil heat exchange. In book: Soil formation and anthropogenesis: structural and functional aspects. Novosibirsk: Nauka Publ., 1991. P. 5–29. (in Russian).

Chumbaev A.S. Intrasoil frozen screen as a factor in the formation of surface meltwater runoff. Sibirskij ekologicheskij zhurnal. 2005. No. 5. P. 865–869. (in Russian).

Shaporina N.A., Tanasienko A.A. Problems of irrigation of chernozems of the Ob region. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 2014. 137 p. (in Russian).

Tanasienko A.A., Yakutina O.P., Chumbaev A.S. Snowmelt runoff parameters and geochemical migration of elements in the dissected forest-steppe of West Siberia. Catena. 2009. Vol. 78. Iss. 2. P. 122–128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.03.008>.

Tanasienko A.A., Yakutina O.P., Chumbaev A.S. Effect of snow amount on runoff, soil loss and suspended sediment during periods of snowmelt in southern West Siberia. Catena. 2011. Vol. 87. Iss. 1. P. 45–51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.05.004>.

Received 13 October 2023

Accepted 20 October 2023

Published 26 December 2023

About the authors:

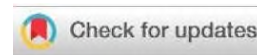



Kudryashova Svetlana Yakovlevna – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); kudryashova@issa-siberia.ru

Chumbaev Alexander Sergeevich – 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

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/)

**ВЕХИ ИСТОРИИ ЛАБОРАТОРИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЧВ ИПА СО РАН**© 2023 В. А. Андроханов , А. Н. Беспалов , Д. А. Соколов 

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

Лаборатория рекультивации почв была организована в 1968 году, в год основания Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО АН СССР. За свою 55-летнюю историю лаборатория является одним из немногих подразделений ИПА, которое не меняло свое название и основные направления исследований. Менялись времена, менялось отношение к науке и рекультивации, менялись заведующие лабораторией, но сохранялись её традиции. На основе анализа трудов сотрудников лаборатории рекультивации почв можно выделить три этапа развития исследований почв техногенных ландшафтов. На первом этапе происходит аккумуляция информации о свойствах техногенных субстратов, потенциале их плодородия и специфике условий техногенного почвообразования. Вторым этапом является обобщение и генетической интерпретацией накопленного материала, результатом которой является появление классификации почв техногенных ландшафтов. Отмечено, что разработанная в лаборатории классификация хорошо коррелирует с другими классификационными системами (Классификация и диагностика почв России (2004), Полевой определитель почв (2008), Keys to Soil Taxonomy (2014), IUSS Working Group WRB (2022)). Для третьего этапа характерно расширение географии работ сотрудников, интерполяция и корректировка представлений о свойствах и режимах почв техногенных ландшафтов.

В настоящее время коллектив лаборатории рекультивации почв ИПА СО РАН продолжает исследование техногенных ландшафтов, расположенных в различных регионах Российской Федерации, активно используя опыт и наработки основателей лаборатории. Первоочередное внимание уделяется оценке почвенно-экологического состояния и перспектив дальнейшего использования нарушенных территорий на основе почвенно-генетических и почвенно-географических исследований. Лаборатория рекультивации почв решает фундаментальные проблемы, связанные с исследованием процессов первичного почвообразования и восстановления почвенных функций на нарушенных территориях, а также успешно выполняет научно-практические работы по решению задач рекультивации на конкретных техногенных объектах.

Ключевые слова: рекультивация; техногенные ландшафты; технопедогенез; Technosol.

Цитирование: Андроханов В.А., Беспалов А.Н., Соколов Д.А. Вехи истории лаборатории рекультивации почв ИПА СО РАН // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 4. e242. DOI: [10.31251/pos.v6i4.242](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.242).

Лаборатория рекультивации почв была создана в 1968 году, в год основания Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО АН СССР. За весь период своего существования лаборатория не меняла своего название и основных направлений исследования. На основе анализа трудов сотрудников лаборатории рекультивации почв можно выделить три этапа развития исследований почв техногенных ландшафтов. На первом этапе происходит аккумуляция информации о свойствах техногенных субстратов, потенциале их плодородия и специфике условий техногенного почвообразования. Вторым этапом является обобщение и генетической интерпретацией накопленного материала, результатом которой является появление классификации почв техногенных ландшафтов (Гаджиев, Курачев, 1992; Курачев, Андроханов, 2002; Андроханов, Курачев, 2010). Отмечено (Соколов, Андроханов, 2023; Sokolov et al., 2021), что разработанная в лаборатории классификация почв техногенных ландшафтов хорошо коррелирует с другими классификационными системами, в том числе с Классификацией и диагностикой почв России (2004), Полевым определителем почв (2008), Keys to Soil Taxonomy (2014), IUSS Working Group WRB (2022, далее – WRB). Для третьего этапа характерно расширение географии работ сотрудников, интерполяция и корректировка представлений о свойствах и режимах почв техногенных ландшафтов. Рассмотрим данные этапы более подробно.

Предпосылками для создания лаборатории явился тот факт, что с 50-х годов 20 века начался бурный рост добывающей промышленности в СССР. Так, за период с 1951 по 1965 гг. добыча угля в Кузбассе была увеличена в два раза; в этот период начался переход от шахтного способа добычи полезных ископаемых к карьерному, что привело к существенному увеличению

техногенного воздействия на окружающую среду (Карпенко, 1971). Уже к концу 60-х – началу 70-х годов стали организовываться научные мероприятия, посвященные проблемам восстановления земель, нарушенных промышленной деятельностью. В тот же период сотрудники лаборатории участвовали в общеинститутских научных мероприятиях, посвященных проблемам восстановления земель, нарушенных промышленной деятельностью. Результатом таких мероприятий явилось обобщение опыта по рекультивации специалистами различного профиля, в том числе геоботаниками, микробиологами, лесотехниками, геологами, представителями сельскохозяйственных и технических наук. Проведенные мероприятия показали, что поскольку процесс формирования техногенных ландшафтов приводит к коренному преобразованию всех компонентов экосистем, то и вопросы, связанные с их восстановлением, должны решаться комплексно. Выявленные особенности трансформации компонентов техногенных ландшафтов не просто взаимосвязаны, они находятся в зависимости и отражаются в свойствах молодых почв (Ковалев и др., 1972). Утверждение этого мнения способствовало выдвиганию на первый план почвенного направления в исследовании процессов восстановления техногенных ландшафтов.



Рисунок 1. Сергей Сергеевич Трофимов.

Первым руководителем и создателем лаборатории был *Сергей Сергеевич Трофимов* (рис. 1). Одним из первых трудов лаборатории стала его 2-х томная докторская диссертация «Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области» (Трофимов, 1971), которая была защищена в 1971 году. В диссертации, помимо материалов по изучению естественных почв, были включены 5 глав, посвященные биологической рекультивации. В этих главах рассматриваются направления, которые послужили и до сих пор служат основой для многих исследований лаборатории. В частности, вопросы классификации техногенного рельефа и вскрышных пород, одна глава посвящена направлениям рекультивации и окупаемости затрат на её проведение.

Из числа сотрудников лаборатории, работавших вместе с С.С. Трофимовым, следует отметить *Фикрата Кафаровича Рагим-Заде*, труды которого посвящены оценке потенциала плодородия вскрышных пород (Рагим-Заде, 1977) и пригодности для формирования почвенного покрова (Рагим-Заде и др., 1979). *Егором Радионовичем Кандрашиным* выявлены особенности естественного зарастания отвалов высшей растительностью, продемонстрирована роль биоценоза и его структурных элементов в эволюции молодых почв техногенных экосистем (Кандрашин, 1989). Е.Р. Кандрашин вместе с аспирантами С.С. Трофимова *Леонидом Прокофьевичем Баранником* и стали основоположниками работ по лесной рекультивации. Ими была проведена *Василием Ивановичем Щербатенко* работа по оценке степени пригодности различных древесных пород для целей лесной рекультивации (Баранник, Кандрашин, 1979). *Фарид Абдуллаевич Фаткулин*, изучая процессы органонакопления и гумусообразования в молодых почвах отвалов, показал, что особенностью гумусонакопления в почвах техногенных ландшафтов является высокая вариабельность его темпов и скорости (Фаткулин, 1988).

Из числа сотрудников института, которые активно сотрудничали с лабораторией во времена С.С. Трофимова, нужно выделить *Ию Леонидовну Клевенскую*, которая в последствии стала сотрудницей лаборатории рекультивации почв. Ия Леонидовна исследовала развитие функций микробиоценозов в молодых почвах (Клевенская, 1992).

Таким образом, за первые 20 лет существования лаборатории рекультивации почв была проведена большая работа по инвентаризации условий, определяющих почвообразование в техногенных ландшафтах. Было получено большое количество данных по химическим и

физическим свойствам техногенных элювиев и их роли в почвообразовании в зависимости от различных технологических условий. Итогом многолетней работы можно считать ранжирование техногенных субстратов по нескольким классам потенциального плодородия (Рагим-Заде и др., 1979), по техногенным формам рельефа (Рагим-Заде, 1992). Проведённые в 1970-80-е гг. исследования стали фундаментом для работ, развивающих представления о почвах техногенных ландшафтов не только с рекультивационных, но и функциональных, экологических и генетических позиций.

Постепенный переход от утилитарного подхода к генетическому можно наблюдать в работах *Святослава Александровича Таранова*. С целью оценки разнокачественности условий формирования фитоценозов и их связи со свойствами молодых почв С.А. Тарановым было показано, что различные сочетания условий могут обуславливать лесную, дерново-степную, луговую или болотную направленность почвообразования (Таранов и др., 1979). Почвенно-генетический подход был использован и в последних работах С.С. Трофимова, в которых рассматриваются факторы, определяющие скорость тех или иных элементарных почвообразовательных процессов (Трофимов, Таранов, 1987).



Рисунок 2. Владимир Михайлович Курачев.

Начало второго этапа развития исследований лаборатории рекультивации почв следует вести с 1989 года, когда её возглавил *Владимир Михайлович Курачев* (рис. 2). В новой экономической реальности, которая оформилась в стране в 90-е годы, рекультивация потеряла то значение, которое имела в предыдущие десятилетия. Предприятия, оказывавшие воздействие на окружающую среду, закрывались или приобретали новых собственников, которым не выгодно было заниматься рекультивацией. В то же время в отечественном почвоведении приобретает популярность и начинает господствовать субстантивно-генетический подход. В таких условиях особое внимание получают исследования не направлений рекультивации и разработка технологий, а процессы самовосстановления техногенных экосистем.

Владимир Михайлович, будучи почвоведом-генетиком, утверждал, что поверхностные образования техногенных ландшафтов являются почвами в полном смысле этого слова и работать с ними нужно опираясь на почвенные подходы. В 1992 году им совместно с И.М. Гаджиевым была разработана и опубликована *классификация почв техногенных ландшафтов* (Гаджиев, Курачев, 1992). Появление классификации стало ключевым моментом для признания почв техногенных ландшафтов не только в лаборатории, но и за её пределами. Отличительная особенность предложенной классификации заключается в том, что диагностика каждого таксономического уровня опирается, преимущественно, на почвенно-генетические или породные признаки, отражающие специфику современного почвообразования. Создание и последующее развитие этой классификации (Курачев, Андроханов, 2002; Андроханов, Курачев, 2010) позволило вывести изучение техногенных ландшафтов на новые иерархические уровни организации почвенной массы – уровни почвенных контуров, ареалов, районов. Это дало возможность картографировать поверхности техногенных объектов. С почвенно-генетических позиций стали рассматриваться физические (Госсен, Беланов, 2011), химические (Полохин, 2008; Соколов, 2009; Полохин, 2010) и другие свойства техногенных образований (Андроханов и др., 2004), особенности формирования растительных сообществ (Курачев и др., 1994; Глебова, 2005). Полученные с использованием данной классификации знания позволили с почвенно-генетических позиций обосновать стратегию рекультивации земель (Гаджиев и др., 2001), а также оценивать ресурсы (Семина др., 2013) и эффективность рекультивационных мероприятий (Шипилова, 2012; Госсен, 2013).

Необходимо отметить, что классификация почв техногенных ландшафтов (Гаджиев, Курачев, 1992; Курачев, Андроханов, 2002; Андроханов, Курачев, 2010), разработанная в ИПА СО РАН, на много опередила своё время. Так, реферативная группа Technosol появилась в WRB во втором издании, увидевшем свет только 2006 г. В WRB объектами классификации выступают образования, как обладающие «традиционными» почвенными признаками, так и любой субстрат, находящийся в пределах двух метров от поверхности и контактирующий с атмосферой. Принципы классификации базируются на измеряемых диагностических признаках почвенного профиля. Поэтому классификации ИПА и WRB хорошо коррелируют. Классификация почв техногенных ландшафтов, разработанная в ИПА СО РАН, неплохо коррелирует и с другими почвенными классификациями, в том числе с Классификацией и диагностикой почв России (2004), в которой техногенные почвы не выделяются как таковые, а относятся к техногенным поверхностным образованиям. При этом те из них, которые имеют признаки органонакопления соответствуют почвам ствола первичного почвообразования (Соколов, Андроханов, 2023; Sokolov et al., 2021).



Рисунок 3. Владимир Алексеевич Андроханов.

Разработанная классификация открыла новые перспективы в изучении техногенных ландшафтов. Реализованы они были в диссертационной работе *Владимира Алексеевича Андроханова* (рис. 3), защищённой в 2005 году и оформленной в виде монографии 2010 году (Андроханов, Курачев, 2010). В 2011 году Владимир Алексеевич становится заведующим лабораторией. В эти годы в стране доля полезных ископаемых, прежде всего угля и руд, добываемых карьерным способом, достигает 70% и техногенные ландшафты становятся привычным явлением не только для традиционных добывающих районов, но и практически для всех регионов Сибири. В таких условиях в исследованиях лаборатории начинает преобладать географический подход, соответственно, география работ сотрудников расширяется.

Третий этап развития лаборатории рекультивации почв, началом которого можно считать 2010 год, ознаменован тем, что помимо почвенных исследований возобновились микробиологические и начались энтомологические работы. *Валентиной Сергеевной Артамоновой* проводятся исследования морфологического разнообразия и скорости роста колоний азотобактерий (Артамонова и др., 2011) и плесневых грибов на отвалах не только угледобычи, но и на фитоксичных субстратах отходов переработки сульфидсодержащих руд (Артамонова и др., 2021). Полученные данные расширяют представления об экологии микроорганизмов в почвах техногенных ландшафтов (Артамонова, 2021). *Алексеем Николаевичем Беспаловым* проводятся исследования биоразнообразия и обилия жужелиц на угольных отвалах (Беспалов, Андроханов, 2019), изучается специфика восстановления сообществ жужелиц на участках разных направлений рекультивации (Беспалов, 2014). В последние годы данные исследования проводятся и на таких техногенных объектах как золоотвалы (Беспалов, Беланов, 2020).

Географические, генетические и экологические аспекты эволюции почв техногенных ландшафтов Сибири представлены в исследованиях *Дениса Александровича Соколова*. Продолжаются работы по усовершенствованию классификации почв техногенных ландшафтов (Androkhov, Sokolov, 2021). Так, если в первых редакциях классификации подтипы эмбриозёмов выделяли по проявлению процессов, протекающих в естественных почвах, например, чернозёмах выщелоченных или оподзоленных, то расширение географии исследований и накопление фактического материала повлекло за собой изменение подходов к дифференциации подтипов (Соколов, 2019). Поэтому в последних редакциях классификации критериями определения подтипов служат свойства типодиагностических горизонтов. Такой подход позволяет оценивать

почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов с использованием дистанционных методов (Соколова и др., 2020).

В 2010-2020 гг. показано, что развитие почвообразовательных процессов в техногенных ландшафтах далеко не всегда соответствуют зональной специфике и, прежде всего, связано со свойствами почвообразующего субстрата. Направленность зонального и техногенного почвообразования совпадает только в тех районах, где свойства техногенных субстратов близки таковым почвообразующих пород естественных ландшафтов (Соколов, 2019). Наиболее наглядно это проявляется в условиях умеренного континентального климата, где на отвалах суглинистых пород, также как и в естественных почвах, ведущим процессом почвообразования выступает аккумулятивно-гумусовый. Кроме того, этот процесс является основным для почв районов с гумидным климатом, но только на породах с высоким литогенным потенциалом гумусонакопления (Соколов и др., 2015), на породах, которые содержат или способны к продуцированию достаточного количества тонкодисперсного материала, пригодного для образования органоминеральных комплексов.

Сотрудники лаборатории продолжают расширять географию работ. Помимо изучения техногенных ландшафтов Кузбасса (Госсен, Соколов, 2014), исследуются почвы промышленных объектов Южной Сибири (Гуркова и др., 2022), Дальнего Востока (Krupskaya et al., 2020), а также Арктики и Субарктики (Сысо и др., 2022). *Иваном Петровичем Белановым* изучается биоразнообразие и трансформация поверхности гидроотвалов различной природы происхождения при естественном самовосстановлении в природно-климатических условиях Сибири и Дальнего Востока (Беланов и др., 2022; Наумова и др., 2019).

Все эти годы основная часть работ сотрудников проводилась на *Атамановском научно-исследовательском стационаре*, который был организован в 1970 году в Кемеровской области (рис. 4). Место расположение стационара было выбрано не случайно, так как Кемеровская область является лидером по добычи угля в России. Особое внимание в работах сотрудников лаборатории уделялось и уделяется отвалам угольных месторождений. Это связано с тем, что сегодня добыча угля занимает лидирующую позицию по масштабам приумножения техногенных ландшафтов не только в Сибири, но и во всем мире (Sokolov et al., 2021). Сейчас в Кемеровской области нарушено более ста тысяч гектаров, из которых рекультивировано менее одной трети, но повторно использовать можно лишь несколько сотен гектаров таких земель. За более чем 50 лет сотрудники ИПА СО РАН обследовали практически все угольные районы и месторождения, находящиеся в разных природно-климатических условиях: от Горной Шории до северной лесостепи и степных ландшафтов Кузнецкой котловины. На стационаре было проведено большое количество научных исследований, он востребован и в настоящее время.



Рисунок 4. Атамановский стационар ИПА СО РАН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время коллектив лаборатории рекультивации почв ИПА СО РАН продолжает исследование техногенных ландшафтов, расположенных в различных регионах Российской Федерации, активно используя опыт и наработки основателей лаборатории. Первоочередное

внимание уделяется оценке почвенно-экологического состояния и перспектив дальнейшего использования нарушенных территорий на основе почвенно-генетических и почвенно-географических исследований. Лаборатория рекультивации почв решает фундаментальные проблемы, связанные с исследованием процессов первичного почвообразования и восстановления почвенных функций на нарушенных территориях, а также успешно выполняет научно-практические работы по решению задач рекультивации на конкретных техногенных объектах.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 121031700316-9).

ЛИТЕРАТУРА

- Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 205 с.
- Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 221 с.
- Артамонова В.С., Андроханов В.А., Соколов Д.А., Лютых И.И., Бортникова С.Б., Водолеев А.С. Эколого-физиологическое разнообразие микробных сообществ в техногенно-нарушенных ландшафтах Кузбасса // *Сибирский экологический журнал*. 2011. Т. 18. № 5. С. 735–746.
- Артамонова В.С. Фитобиомы в техногенной среде обитания (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 6–12. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-2-006-012>.
- Артамонова В.С., Бортникова С.Б., Черный Н.К. Проблемы и перспективы вовлечения отходов обогащения полиметаллических и железных руд в биологическую консервацию // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. № 1. С. 87–101. DOI: <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-1-87-101>.
- Баранник Л.П., Кандрашин Е.Р. Лесовозобновление на породных отвалах угольных разрезов Южного Кузбасса // Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. С. 172–179.
- Беланов И.П., Тараненко Д.Е., Владимирова Н.В., Новгородова Т.А. Влияние муравьев на свойства почв техногенных ландшафтов, формирующихся на поверхности золоотвалов ТЭЦ в посттехногенный период // Муравьи и защита леса: сборник материалов XVI Всероссийского мирмекологического симпозиума (27–31 августа 2022 г.) / Е.Б. Федосеева (отв. ред.). Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2022. С. 56–60.
- Беспалов А.Н. Влияние различных направлений рекультивации на сообщества жуков-жужелиц (Coleoptera, Carabidae) техногенных экосистем отвалов угледобычи Кемеровской области // *Евразийский энтомологический журнал*. 2014. Т. 13. № 5. С. 438–444.
- Беспалов А.Н., Андроханов В.А. Влияние специфики почвенного покрова посттехногенных ландшафтов Кузбасса на восстановление сообществ жуков-жужелиц (Coleoptera, Carabidae) // *Экология и промышленность России*. 2019. Т. 23. № 1. С. 55–59.
- Беспалов А.Н., Беланов И.П. Жуки-жужелицы (Coleoptera, Carabidae) как природный индикатор процессов развития биоценоза золоотвалов твердотопливной теплоэлектростанции на примере ТЭЦ № 5 (Новосибирск). // Почвы и окружающая среда. 2020. Т. 3. № 4. с132. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v3i4.132>.
- Гаджиев И.М., Курачев В.М. Генетические и экологические аспекты исследования и классификации почв техногенных ландшафтов // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. С. 6–15.
- Гаджиев И.М., Курачев В.М., Андроханов В.А. Стратегия и перспективы решения проблем рекультивации нарушенных земель. Новосибирск: ЦЭРИС, 2001. 37 с.
- Глебова О.И. Биогеографическая диагностика эмбриоземов Кузбасса: Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2005. 18 с.
- Госсен И.Н., Соколов Д.А. Оценка содержания гумуса в почвах рекультивированных отвалов угольных разрезов Кузбасса // *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета*. 2014. № 4 (33). С. 33–40.
- Госсен И.Н. Почвенно-экологическая эффективность технологий рекультивации нарушенных земель в Кузбассе: Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2013. 20 с.

- Госсен И.Н., Беланов И.П. Гранулометрический состав эмбриоземов в техногенных ландшафтах лесостепной зоны Кузбасса // *Сибирский экологический журнал*. 2011. Т. 18. № 5. С. 713–718.
- Гуркова Е.А., Андроханов В.А., Соколов Д.А. Рекультивационный потенциал ландшафтов Республики Тувы, нарушенных добычей полезных ископаемых // *Экология и промышленность России*. 2022. Т. 26. № 8. С. 40–47. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-8-40-47>.
- Кандрашин Е.Р. Сукцессии биоты в техногенных экосистемах (на примере Кузнецкого угольного бассейна): Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Днепропетровск, 1989. 17 с.
- Карпенко З.Г. Кузнецкий угольный: 1721-1971. Кемерово: Кемеровское книжное издательство, 1971. 109 с.
- 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.
- Клевенская И.Л. Эволюция микробоценозов и их функции // *Экология и рекультивация техногенных ландшафтов*. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. С. 149–199.
- Ковалев Р.В., Трофимов С.С., Горбунов Н.И. Совещание по рекультивации земель в Сибири и на Урале // *Почвоведение*. 1972. № 12. С. 138–139.
- Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // *Сибирский экологический журнал*. 2002. Т. 9. № 3. С. 255–262.
- Курачев В.М., Кандрашин Е.Р., Рагим-заде Ф.К. Сингенетичность растительности и почв техногенных ландшафтов: экологические аспекты, классификация // *Сибирский экологический журнал*. 1994. Т. 1. № 3. С. 208–213.
- Наумова Н.Б., Беланов И.П., Аликина Т.Ю. Таксономическое разнообразие бактериального ансамбля в эмбриоземе самозарастающего золоотвала // *Почвы и окружающая среда*. 2019. Т. 2. № 3. е84. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v2i3.84>.
- Полевой определитель почв. Москва: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Полохин О.В. Гумусное состояние молодых почв техногенных ландшафтов // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2010. № 10. С. 40–44.
- Полохин О.В. Трансформация литогенных форм фосфатов при почвообразовании в техногенных ландшафтах (на примере КАТЭКа): Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2008. 18 с.
- Рагим-заде Ф.К. Техногенные элювии вскрышных пород угольных месторождений Сибири, оценка их пригодности для восстановления почвенного покрова: Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1977. 22 с.
- Рагим-заде Ф.К., Фаткулин Ф.А., Щербинин В.И. Инструкция по почвенно-литологическому обследованию техногенных ландшафтов Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 32 с.
- Рагим-заде Ф.К. Эволюция техногенного рельефа и почвообразование // *Экология и рекультивация техногенных ландшафтов*. Новосибирск: Наука, 1992. С. 45–61.
- Семина И.С., Шипилова А.М., Беланов И.П., Андроханов В.А. Сохранение ресурсов рекультивации как основа экологической безопасности функционирования техногенных ландшафтов // *Проблемы региональной экологии*. 2013. № 5. С. 17–20.
- Соколов Д.А. Окислительно-восстановительные процессы в почвах техногенных ландшафтов. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2009. 17 с.
- Соколов Д.А. Диверсификация почвообразования на отвалах угольных месторождений Сибири. Автореферат диссертации ... д-р биол. наук. Новосибирск, 2019. 45 с.
- Соколов Д.А., Андроханов В.А. Эволюция представлений о почвах техногенных ландшафтов в работах сотрудников лаборатории рекультивации почв ИПА СО РАН // *Почвы и окружающая среда: Сборник научных трудов Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.)*. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.
- Соколов Д.А., Мерзляков О.Э., Доможакова Е.А. Оценка литогенного потенциала гумусонакопления в почвах отвалов каменноугольных месторождений Сибири // *Вестник Томского государственного университета*. 2015. № 399. С. 247–253. DOI: <https://doi.org/10.17223/15617793/399/40>.

Соколова Н.А., Госсен И.Н., Соколов Д.А. Оценка пригодности вегетационных индексов для выявления почвенно-экологического состояния поверхности отвалов антрацитовых месторождений // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 1. С. 62–68. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-1-62-68>.

Сысо А.И., Соколов Д.А., Сиромля Т.И., Ермолов Ю.В., Махатков И.Д. Антропогенная трансформация свойств почв ландшафтов Таймыра // Почвоведение. 2022. № 5. С. 521–537. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X22050082>.

Таранов С.А., Кандрашин Е.Р., Фаткулин Ф.А., Шушуева М.Г. Парцеллярная структура фитоценоза и неоднородность молодых почв техногенных ландшафтов // Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука, 1979. С. 19–57.

Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. Диссертация ... д-р биол. наук. Новосибирск, 1971. 825 с.

Трофимов С.С., Таранов С.А. Особенности почвообразования в техногенных экосистемах // Почвоведение. 1987. № 11. С. 95–99.

Фаткулин Ф.А. Органическое вещество молодых почв техногенных экосистем Кузбасса. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1988. 17 с.

Шпилова А.М. Постмелиоративное развитие и почвенно-экологическое состояние рекультивированных территорий лесостепной зоны Кузбасса. Автореферат диссертации. ... канд. с.-х. наук. Барнаул, 2012. 22 с.

Androkhanov V.A., Sokolov D.A. Soil evolution and reclamation of technogenic landscapes in Siberia // Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals / V. Litvinenko (ed.). London, UK: CRC Press. Taylor & Francis Group, 2021. P. 268–273. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003164395>.

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. Union of Soil Sciences, Vienna. International 2022. 234 p.

Keys to Soil Taxonomy. 12th edition. Washington: USDA-Natural resources conservation service, 2014. 372 p.

Krupskaya L.T., Androkhanov V.A., Belanov I.P. Technogenic surface formations within the limits of mining-industrial system of the dalnegorsky district of the primorsky krai as the reclamation site // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference «EarthScience», 2020. P. 032046. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/3/032046>.

Sokolov D.A., Androkhanov V.A., Abakumov E.V. Soil formation in technogenic landscapes: trends, results, and representation in the current classifications (Review) // Tomsk State University Journal of Biology. 2021. No. 56. P. 6–32. DOI: <https://doi.org/10.17223/19988591/56/1>.

Поступила в редакцию 15.12.2023

Принята 23.12.2023

Опубликована 30.12.2023

Сведения об авторах:

Андроханов Владимир Алексеевич – доктор биологических наук, директор ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); androhanov@issa-siberia.ru

Беспалов Алексей Николаевич – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); bespalov@issa-siberia.ru

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

MILESTONES IN THE HISTORY OF THE SOIL RECLAMATION LABORATORY OF ISSA SB RAS

© 2023 V. A. Androkhanov , A. N. Bepalov , D. A. Sokolov 

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: bepalov@issa-siberia.ru

The Soil Reclamation Laboratory was organized in 1968, the year of the foundation of the Institute of Soil Science and Agrochemistry (ISSA) of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. Over its 55-year history, the laboratory has been one of the few IPA departments that has not changed its name and main research directions. Times have been changing, attitudes towards science and reclamation have been also changing, as well as the heads of the laboratory, but its traditions have been preserved. Based on the analysis of the laboratory's publications, three stages of soil research in technogenic landscapes can be distinguished. At the first stage, information is accumulated about the properties of man-made substrates, their fertility potential and conditions of technogenic soil formation. The second stage is marked by the generalization and genetic interpretation of the accumulated material, which result in the classification of soils of such man-made landscapes. It is noteworthy that the classification developed in the laboratory correlates well with other classification systems (Classification and diagnostics of soils of Russian (2004), Field guide for Russian soil (2008), Keys to Soil Taxonomy (2014), IUSS Working Group WRB (2022)). The third stage is characterized by the expansion of the geography of field research, interpolation and correction of ideas about the soil properties and regimes in the man-made landscapes.

Currently, the team of researchers of the soil reclamation laboratory continues to study man-made landscapes located in various regions of the Russian Federation, actively using the experience and achievements of the founders of the laboratory. The main attention is paid to the assessment of the soil-ecological status and prospects for further use of disturbed territories on the basis of soil-genetic and soil-geographical studies. Thus, the soil reclamation laboratory continues to work on fundamental problems related to primary soil formation and restoration of soil functions in disturbed areas, as well as to carry out scientific and practical work related to solving reclamation problems at specific man-made sites.

Key words: *reclamation; technogenic landscapes; soil formation; Technosol.*

How to cite: *Androkhanov V.A., Bepalov A.N. Sokolov D.A. Milestones in the history of the Soil Reclamation Laboratory of ISSA SB RAS // The Journal of Soils and Environment. 2023. 6(4). e242. DOI: [10.31251/pos.v6i4.242](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.242). (in Russian with English abstract).*

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No. 121031700316-9.

REFERENCES

- Androkhanov V.A., Kulyapina E.D., Kurachev V.M. Soils of Technogenic Landscapes: Genesis and Evolution. Novosibirsk: SB RAS Publ., 2004. 205 p. (in Russian).
- Androkhanov V.A., Kurachev V.M. Soil and Ecological State of Technogenic Landscapes: Dynamics and Assessment. Novosibirsk: SB RAS Publ., 2010. 221 p. (in Russian).
- Artamonova V.S., Androkhanov V.A., Sokolov D.A., Lyutykh I.V., Bulgakova V.V., Bortnikova S.B., Vodoleev A.S. Ecological-Physiological Diversity of Microbial Communities in the Anthropogenically Impacted Landscapes of Kuzbass. Contemporary Problems of Ecology. 2011. Vol. 4. No. 5. P. 540–549. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995425511050158>.
- Artamonova V. S. Phytobiomes in the technogenic environment (review). Theoretical and Applied Ecology. 2021. No. 2. P. 6–12. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-2-006-012>. (in Russian).
- Artamonova V.S., Bortnikova S. B., Chernyy N.K. Problems and prospects of involving waste from polymetallic and iron ore processing in biological conservation. Anthropogenic Transformation of Environment. 2021. Vol. 7. No. 1. P. 87–101. DOI: <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-1-87-101>. (in Russian).
- Barannik L.P., Kandrashin E.R. Forest restoration on breed dumps of coal mines of Southern Kuzbass. In book: Soil formation in anthropogenic landscapes. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1979. 172–179 p. (in Russian).
- Belanov I.P., Taranenko D.E., Vladimirova N.V., Novgorodova T.A. Influence of ants on the technosol forming on the surface of the ash-disposals of the chpp in the post-technogenic period ants and forest protection. In book: Ants

- and forest protection. Materials of the 16th All-Russian Myrmecological Symposium (August 27–31, 2022) / E.B. Fedoseeva (ed.). Moscow: Association of Scientific Publications of KMK, 2022. 56–60 p. (in Russian).
- Bespalov A.N. Effect of the various ways of a recultivation on carabid communities of man-caused ecosystems of dumps of coal mining of the Kemerovo region. *Euroasian entomological journal*. 2014. Vol. 13. No. 5. P. 438–444. (in Russian).
- Bespalov A.N., Androkhonov V.A. The Influence of the Specificity of the Soil Cover of Post-Technogenic Landscapes of Kuzbass on the Restoration of Communities of Carabid Beetles (*Coleoptera, Carabidae*). *Ecology and Industrie of Russia*. 2019. Vol. 23. Iss. 1. P. 55–59. (in Russian).
- Bespalov A.N., Belanov I.P. Ground beetle (*Coleoptera, Carabidae*) communities as natural indicators of ecosystem restoration on the terminated fly ash dump of the thermoelectric power station (Novosibirsk, Russia). *The Journal of Soils and Environment*. 2020. Vol. 3. No. 4. e132. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v3i4.132>. (in Russian).
- Gadzhiev I.M., Kurachev V.M. Genetic and ecological aspects of research and classification of soils of technogenic landscapes. In book: Ecology and reclamation of technogenic landscapes. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1992. 6–15 p. (in Russian).
- Gadzhiev I.M., Kurachev V.M., Androkhonov V.A. Strategy and Prospects for Solving the Problems of Reclamation of Disturbed Lands. Novosibirsk: CERIS Publ., 2001. 37 p. (in Russian).
- Glebova O.I. Biogeograficheskaya diagnostika embryozemov Kuzbassa. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 2005. 18 p. (in Russian).
- Gossen I.N., Sokolov D.A. Estimation of humus content in the soils of coal section reclaimed heaps in Kuzbassa. *Bulletin of Novosibirsk State Agrarian University*. 2014. No. 4 (33). P. 33–40. (in Russian).
- Gossen I.N. Soil and Ecological Efficiency of Reclamation Technologies for Disturbed Lands in Kuzbass. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 2013. 20 p. (in Russian).
- Gossen I.N., Belanov I.P. Granulometric composition of embryozems in the technogenic landscapes of the forest-steppe zone of Kuzbass. *Contemporary Problems of Ecology*. 2011. Vol. 4. No. 5. P. 524–527. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995425511050122>.
- Gurkova E.A., Androkhonov V.A., Sokolov D.A. Recultivation potential of landscapes of the republic of Tuva, disrupted by mining. *Ecology and Industrie of Russia*. 2022. Vol. 26. Iss. 8. P. 40–47. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-8-40-47>. (in Russian).
- Kandrashin E.R. Biota successions in technogenic ecosystems (on the example of the Kuznetsk coal basin). Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Dnepropetrovsk, 1989. 17 p. (in Russian).
- Karpenko Z.G. Kuznetsky ugolny: 1721-1971. Kemerovo: Kemerovo Book Publishing House, 1971. 109 p. (in Russian).
- Classification and diagnostics of soils of Russian / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian).
- Klevenskaya I.L. Evolution of microbecenoses and their functions. In book: Ecology and reclamation of technogenic landscapes. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1992. 149–199 p. (in Russian).
- Kovalev R.V., Trofimov S.S., Gorbunov N.I. Meeting on land reclamation in Siberia and in the Urals. *Pochvovedenie*. 1972. No. 12. P. 138–139. (in Russian).
- Kurachev V.M., Androkhonov V.A. Classification of soils of technogenic landscapes. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2002. Vol. 9. No. 3. P. 255–262. (in Russian).
- Kurachev V.M., Kandrashin E.R., Rahim-zade F.K. Syngenetics of vegetation and soils of technogenic landscapes: ecological aspects, classification. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 1994. Vol. 1. No. 3. P. 208–213. (in Russian).
- Naumova N.B., Belanov I.P., Alikina T.Y. Taxonomic diversity of bacterial assemblage in technosol of the revegetating fly ash dump. *The Journal of Soils and Environment*. 2019. Vol. 2. No. (3). e84. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v2i3.84>. (in Russian).
- Field guide for Russian soil. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2008. 182 p. (in Russian).
- Polokhin O.V. Humus state of the young soils in the man-affected landscapes. *Bulletin of Krasnoyarsk Agrarian University*. 2010. No. 10. P. 40–44. (in Russian).
- Polokhin O.V. Transformation of lithogenic forms of phosphates in soil formation in technogenic landscapes (on the example of KATEK). Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 2008. 18 p. (in Russian).

- Rahim-zade F.K. Technogenic eluviums of overburden rocks of coal deposits of Siberia, assessment of their suitability for the restoration of soil cover. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1977. 22 p. (in Russian).
- Rahim-zade F.K., Fatkulin F.A., Shcherbinin V.I. Instruction for Soil and Lithological Survey of Technogenic Landscapes of Siberia. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1979. 32 p. (in Russian).
- Rahim-zade F.K. Evolution of Technogenic Relief and Soil Formation. In book: Ecology and Reclamation of Technogenic Landscapes. Novosibirsk: Nauka Pnbl., 1992. 45–61 p. (in Russian).
- Semina I.S., Shipilova A.M., Belanov I.P., Androkhanov V.A. Conservation of restoration resources as the basis of the environmental safety of the technogenic landscapes functioning. Regional Environmental Issues. 2013. No. 5. P. 17–20. (in Russian).
- Sokolov D.A. Redox Processes in Soils of Technogenic Landscapes. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 2009. 17 p. (in Russian).
- Sokolov D.A. Diversification of Soil Formation on the Dumps of Coal Deposits in Siberia. Abstract of Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Novosibirsk, 2019. 45 p. (in Russian).
- Sokolov D.A., Androkhanov V.A., Evolution of ideas about the soils of technogenic landscapes in the works of employees of the Laboratory of Soil Reclamation ISSA SB RAS. In book: Soils and Environment. Collection of scientific papers of the All-Russian Conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, 2–6 October, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.
- Sokolov D.A., Merzlyakov O.E., Domozhakova E.A. Estimation of lithogene potential of humus accumulating in soils of coal-mine dumps of Siberia. Tomsk State University Journal. 2015. No. 399. P. 247–253. DOI: <https://doi.org/10.17223/15617793/399/40>. (in Russian).
- Sokolova N.A., Gossen I.N., Sokolov D.A. Assessment of the Suitability of Vegetation Indices to Identify Soil and Ecological Condition of the Surface of Anthracite Deposits Dumps. Ecology and Industry of Russia. 2020. Vol. 24. Iss. 1. P. 62–68. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-1-62-68>. (in Russian).
- Syso A.I., Sokolov D.A., Siromlya T.I., Ermolov Y.V., Makhatkov I.D. Anthropogenic transformation of soil properties in Taimyr landscapes. Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55. № 5. P. 541–555. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229322050088>.
- Taranov S.A., Kandrashin E.R., Fatkulin F.A., Shushueva M.G. Parcel structure of phytocenosis and heterogeneity of young soils of technogenic landscapes. In book: Soil formation in anthropogenic landscapes. Novosibirsk: Nauka Publ., 1979. 19–57 p. (in Russian).
- Trofimov S.S. Ecology of Soils and Soil Resources of the Kemerovo Region. Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1971. 825 p. (in Russian).
- Trofimov S.S., Taranov S.A. Features of soil formation in technogenic ecosystems. Pochvovedenie. 1987. No. 11. P. 95–99 p. (in Russian).
- Fatkulin F.A. Organic matter of young soils of technogenic ecosystems of Kuzbass. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1988. 17 p. (in Russian).
- Shipilova A.M. Post-melioration development and soil-ecological state of the reclaimed territories of the forest-steppe zone of Kuzbass. Abstract of Dissertation ... Cand. of Agricultural Sci. Barnaul, 2012. 22 p. (in Russian).
- Androkhanov V.A., Sokolov D.A. Soil evolution and reclamation of technogenic landscapes in Siberia. In book: Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals / V. Litvinenko (ed.). London, UK: CRC Press. Taylor & Francis Group, 2021. P. 268–273. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003164395>.
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. Union of Soil Sciences, Vienna. International 2022. 234 p.
- Keys to Soil Taxonomy. 12th edition. Washington: USDA-Natural resources conservation service, 2014. 372 p.
- Krupskaya L.T., Androkhanov V.A., Belanov I.P. Technogenic surface formations within the limits of mining-industrial system of the dalnegorsky district of the primorsky krai as the reclamation site. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference «EarthScience», 2020. P. 032046. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/3/032046>.

Sokolov D.A., Androkhanov V.A., Abakumov E.V. Soil formation in technogenic landscapes: trends, results, and representation in the current classifications (Review). Tomsk State University Journal of Biology. 2021. No. 56. P. 6–32. DOI: <https://doi.org/10.17223/19988591/56/1>.

Received 15 December 2023

Accepted 23 December 2023

Published 30 December 2023

About the authors:

Androkhanov Vladimir Alekseevich – Doctor of Biological Sciences, Director of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); androkhanov@issa-siberia.ru

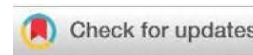
Bespalov Alexey Nikolaevich – Candidate of Biological Sciences, Researcher in the Laboratory of Reclamation of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; bespalov@issa-siberia.ru

Sokolov Denis Aleksandrovich – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Soil Reclamation of the Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS (Novosibirsk, Russia); sokolovdenis@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/)



РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О БИОТИЧЕСКОМ КРУГОВОРОТЕ

© 2023 А. А. Титлянова

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

В течение последних 50-ти лет А.А. Титляновой совместно с коллегами из лаборатории биогеоценологии ИПА СО РАН активно ведутся работы по изучению процессов и компонентов биотического круговорота: выделены потоки веществ и их запасы в различных блоках экосистемы, установлены режимы круговорота. В полевых экспериментах показано, что чем ближе к стационарному состоянию экосистема, тем более замкнутым становится её биотический круговорот, и тем меньшую роль в миграции веществ играют абиотические процессы. Исследования разнообразных экосистем подтвердили, что климатические и погодные условия, положение и экспозиция экосистемы в рельефе, свойства почвы определяют величину чистой первичной продукции травяных экосистем. В статье обсуждены ранее полученные данные по динамике фитомассы экосистем и оценены величины чистой первичной продукции – надземной и подземной. Подземная часть растений, корни и корневища сохраняют жизнь травяной экосистемы при любых климатических условиях. Устойчивость травяных экосистем во времени определяется изменением видового состава, различными стратегиями выживания организмов, высокой продуктивностью доминантных видов растений, фондом семян в почве и их приносом ветром и стекающей по катене водой из других экосистем, быстрым освобождением питательных элементов из растительных остатков при их минерализации. Рассмотрев различные сукцессии в экосистемах, сделан вывод, что набор типов сукцессий гораздо больше, чем определяется словами «первичная» и «вторичная». Первичной сукцессией является только самозарастание не заселённых растениями мест, а вторичные сукцессии разнообразны: пирогенная (обновляющая сукцессия), пастбищная (непрерывная и обратимая), залежная и т.д. В каждой экосистеме работает не только круговорот, но и непрерывные мощные входящие и исходящие потоки веществ и энергии. Круговорот веществ выглядит не кругом, а сетью многообразных процессов.

Ключевые слова: чистая первичная продукция; устойчивость травяных экосистем; сукцессии.

Цитирование: Титлянова А.А. Развитие представлений о биотическом круговороте // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 4. e239. DOI: [10.31251/pos.v6i4.239](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.239).

Великий русский мыслитель В.И. Вернадский создал теорию взаимодействия различных оболочек земли и воздуха, разработал представление о биотическом круговороте и главную роль в круговороте отвел живым организмам. Всем! И назвал всю совокупность различных организмов от дерева и слона до мельчайшего микроба – живым веществом.

В дальнейшем теорию биотического круговорота разрабатывали разные учёные в разных странах. Лаборатория биогеоценологии Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО РАН занималась биотическим круговоротом в травяных экосистемах. Ранее было введено два понятия: *структура растительного вещества* и *чистая первичная продукция экосистемы*. В структуру растительного вещества входят следующие блоки: зелёная фитомасса, ветошь, подстилка, живые и мертвые подземные органы растений. *Продукция* – это количество органического вещества, которое создаётся зелёной фитомассой экосистемы за определённый период, обычно за год. *Чистая первичная продукция* – *NPP (net primary production)* – это общая продукция минус дыхание растений. Продукция измеряется в г/м² в год или т/га в год. Рассмотрим продукцию только травяных экосистем в различных аспектах.

Травяные экосистемы широко распространены, они существуют во всех зонах: в тундрах (тундровые злаки), в лесах (под пологом деревьев и на полянах), в огромной степной полосе, в пустынях, в приливной полосе рек и морей (Титлянова, 2023а).

Абиотические и биотические процессы. Первые работы по биотическому круговороту проведены в 1970-х годах на стационаре Карачи, Барабинская низменность. Была выбрана катена, на которой размещалось около 10 различных экосистем – от луговой степи (на вершине катены) до озера с окружающим его болотом. Группой сотрудников ИПА под руководством профессора *Натальи Ивановны Базилевич* изучались абиотические процессы, а биотические процессы, создающие круговорот, исследовались группой студентов Новосибирского государственного

университета (НГУ) под руководством доцента *Аргенты Антониновны Титляновой* (Титлянова, 1977).

В число абиотических процессов были включены дождевые воды, воды поверхностного стока, боковой сток, просачивание растворов из почвы в подпочву и далее в грунт и грунтовые воды, а также восходящие процессы. Всего 12 абиотических потоков.

В числе биотических процессов для углерода рассматривалась чистая первичная продукция, для минеральных элементов – потребление их корнями из почвы. Все остальные процессы для углерода, азота и минеральных элементов одинаковы. К ним относятся: транслокация химических элементов из подземных органов в надземные и обратно, вымывание элементов из надземных органов, корневые выделения в почву, отмирание надземных и подземных органов растений, переход ветоши в подстилку, минерализация и гумификация мёртвых надземных и подземных растительных остатков, минерализация гумуса. Всего 16 биотических потоков.

Были изучены абиотические и биотические процессы для пяти экосистем (сверху вниз по катене): луговая степь на обыкновенном чернозёме, солонцеватая степь, мезофитный луг, солончаковый луг, болото на торфяно-болотной засоленной почве. Показано, что чем ближе к стационарному состоянию (к степи) приближается экосистема, тем более замкнутым становится её биотический круговорот и тем меньшую роль в миграции играют абиотические процессы.

Факторы, влияющие на продукцию травяных экосистем. Кроме климатических и погодных условий продукцию экосистем определяют:

- 1) положение экосистемы в рельефе от элювиальной позиции к аккумулятивной;
- 2) свойства почвы – олуговение, засоление, мерзлотность;
- 3) экспозиция экосистемы на повышенных элементах рельефа.

Величины запасов вещества и чистой первичной продукции (надземной и подземной) опубликованы ранее (Биологическая продуктивность ..., 1988; Титлянова, Вишнякова, 2022, Титлянова, 2023б; Титлянова и др., 2023).

Подземная часть растений, корни и корневища сохраняют жизнь травяной экосистемы при любых климатических условиях. В экстремальных условиях для сообщества эволюционно выгодно концентрировать свой основной фонд биомассы в почве – среде, более защищённой от влияния резко меняющихся внешних условий.

Структурно-функциональная организация травяных экосистем. Для травяных экосистем представляется целесообразным выделить три дополняющих друг друга структуры (Титлянова, 2023а):

1. Видовая структура, где компонентами являются виды, а связями – конкурентные, симбиотические и другие межвидовые взаимоотношения.
2. Трофическая структура, где компоненты – трофические группы, выделенные с разной степенью детальности, а связи – питание одних групп другими.
3. Структура биотического круговорота, где компонент – любое природное тело, участвующее в обменных процессах, а связи – сами обменные процессы, т.е. перенос вещества и энергии.

Функционирование структур определяется следующим образом:

1. Функционирование видовой структуры – это смена видов во времени (т.е. в сезонном цикле или сукцессии) за счёт конкурентных и адаптационных механизмов.
2. Функционирование трофической структуры – это изменение состава и объёма трофических групп и интенсивности питания в сезонном цикле или сукцессии.
3. Функционирование биотического круговорота – это изменение фондов веществ и энергии в компонентах и интенсивностей обменных процессов в сезонном цикле и сукцессии.

Устойчивость травяных экосистем. Травяные экосистемы чрезвычайно устойчивы по целому ряду причин:

1. Громадное видовое разнообразие (более 200 000 известных видов).
2. Наличие банка семян в почве и постоянный привнос семян со стороны.
3. Смена видов при изменении условий. Например, долгий дождевой период – засуха; изменение пастбищной нагрузки с быстрым изменением состава трав от хорошо поедаемых (низкая нагрузка) до не поедаемых (колючие, несъедобные травы); огневое воздействие, когда после пала и частичного выгорания верхнего слоя почвы через несколько лет происходит резкий подъём запасов растительного вещества и продукции.

4. Высокие запасы и продукция подземных органов растений, позволяющая использовать питательные резервы и воду всей толщи почвы.

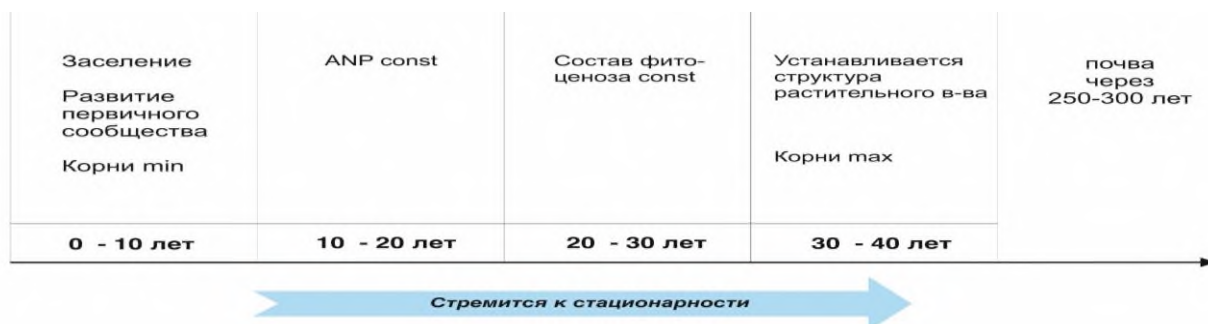
5. Выживание подземных органов растений в мёрзлой или очень сухой почве.

6. Быстрое освобождение питательных элементов из растительных остатков при их минерализации.

Специально остановимся на подземной сфере фитоценоза. Здесь виды переживают неблагоприятные для зелёной фитомассы не только короткие периоды мороза и засух, но и длительные периоды (десятки, сотни лет) избыточной пастбищной нагрузки. Быстрая смена доминантов в надземном ярусе связана с сохранением в почве корневищ и узлов кушения угнетённых видов. Способность к активному восстановлению в травостое любого вида растений сохраняется, пока живы его подземные органы. Подземная страта – это система жизнеобеспечения травяного сообщества, выполняющая наряду с физиологическими функциями (потребление воды и питательных элементов) функции хранения видового богатства (Титлянова и др., 1996).

Сукцессии и биотический круговорот. Сукцессия понимается как направленные во времени изменения отдельных компонентов экосистемы и всей экосистемы в целом.

Сукцессии делятся на *первичные* и *вторичные*. Первичная сукцессия развивается практически от нуля до зрелого стационарного сообщества. В развитии автотрофного звена первичной сукцессии, формирующейся на глинистых породах, можно выделить несколько этапов (рисунок), каждый из которых занимает около 10 лет. Первый этап – заселение свободной поверхности бактериями, гифами грибов, семенами растений, простейшими и мелкими почвенными животными. В течение первых 10 лет происходит не только заселение поверхности, но и развитие первичного сообщества. В течение второго этапа надземная продукция растений достигает зонального уровня, но зональный состав растительности не достигается. На третьем этапе формируется зональное сообщество. И только на четвёртом этапе масса корней растений достигает зонального уровня (Сукцессии ..., 1993).



ANP (above-ground net production) – надземная продукция фитоценоза.

Рисунок. Этапы развития первичной сукцессии.

Фитомасса постепенно отмирает и, начиная со второго года, формируется запас мортмассы. По мере увеличения количества мёртвой фитомассы возрастает минерализационная способность микроорганизмов, наступает равновесие между ростом растений, поступлением мёртвой фитомассы на и в почву, и её минерализация микроорганизмами до углекислого газа (CO₂).

Процесс образования гумуса в верхнем слое включается уже на третий год, а его минерализация на шестой год, что свидетельствует о быстром формировании подсистемы биотического круговорота «мортмасса → гумификация → гумус → минерализация гумуса → CO₂». Накопление гумуса длится, вероятно, 150–250 лет. По мере перехода свежеекспонированной породы в зрелую экосистему постепенно стабилизируются запасы всех компонентов и растёт доля гетеротрофного дыхания. Оно постепенно увеличивается от 4% в 1-й год переходного режима до 100% от NPP в стационарном состоянии.

Вторичная сукцессия идёт гораздо быстрее первичной, так как сохраняются некоторые компоненты предыдущего сообщества, прежде всего почва.

В Туве нами было изучено (Титлянова, Самбуу, 2016; Титлянова, Шибарева, 2022) пять видов антропогенных сукцессий:

(1) Первичная сукцессия при зарастании отвалов. Сукцессия в степи идёт медленно и на первом этапе по смешанному типу, который может включать даже заросли деревьев. С каждым годом степной облик экосистемы проявляется всё ярче.

(2) Сукцессия прибрежной растительности водохранилища. Заполнение водохранилища привело к катастрофической фазе сукцессии, когда из прибрежных фитоценозов выпало до 84% видов. Режим работы водохранилища менялся незакономерно и непредсказуемо. Прибрежные экосистемы то заливались водой на всё лето, то осушались. Сформировалось новое сообщество за счёт вернувшихся и внедрившихся новых видов. Из старых видов сохранилось пять – один сорный, два луговых в микропонижениях и два степных на микроповышениях. Наличие таких ценотически разнообразных видов позволяет сукцессии отклоняться то в луговую, то в степную сторону, в зависимости от внешних условий.

(3) Пастбищная сукцессия. При любой смене пастбищного режима (его силы и/или продолжительности) в течение нескольких лет направленно и предсказуемо изменяются все исследованные показатели. При постоянных условиях сохраняется видовой состав травостоя и набор доминантов. Сукцессия останавливается. Постоянная нагрузка определяет степень дигрессии пастбища, а смена нагрузки включает сукцессию.

(4) Пирогенная сукцессия зависит от частоты и силы огня. При сильном пожаре сжигается верхний слой почвы с населяющими её бактериями, грибами и частью корней растений. После огня на 6–7 год сукцессии восстанавливается исходный травяной покров. В подземной сфере быстро нарастают новые корни и корневища, их запас увеличивается, а минерализация подземной мортмассы замедляется. Главной чертой пирогенных сукцессий является обновление всех фракций фитомассы.

(5) Залежную сукцессию изучали в течение 17 лет после агроценозов в луговых, настоящих и сухих степях. Фитоценозы всех залежей одновременно проходили определённые стадии восстановления – в последний год наблюдений их видовой состав был очень близок к видовой структуре исходных степей. Залежная сукцессия внутренне самоорганизована и детерминирована.

Рассмотрев различные сукцессии в разных экосистемах, мы пришли к выводу, что набор сукцессий гораздо больше, чем определяется словами «первичная» и «вторичная». Первичной сукцессией является только самозарастание незаселённых мест. Вторичные сукцессии разнообразны: пирогенная (обновляющая сукцессия), пастбищная (непрерывная и обратимая), залежная и так далее.

Любая сукцессия зиждется не только на смене видов, но и на их самоподдержании, в ходе сукцессии происходит самоорганизация экосистемы. Не делая различия между «новыми» и «старыми» видами, сукцессия отбирает и оставляет виды, наиболее приспособленные к жёстким и колеблющимся условиям существования.

Смена парадигмы. Кольцевая модель круговорота с входом и выходом устарела. Ныне она относится лишь к первичным сукцессиям. Девяносто пять процентов вторичных сукцессий связаны с деятельностью человека. Связи между экосистемами удесятерились. Рассмотрим обычное сочетание «город – зерновое поле – лес». В город постоянно идёт поступление разнообразных веществ, и не только из леса и поля, но и из различных стран и континентов. Из города идут многообразные товары по всем направлениям, лес вырубается, древесина поступает в город, используется различным образом. Из поля в город поступают сельскохозяйственные продукты, в том числе зерно, которое может быть транспортировано в любые страны, вплоть до африканских, а из города в поле поступают удобрения и различные химикаты. Где кончается одна экосистема и начинается другая — неопределимо. По-видимому, связи между экосистемами по своей силе мощнее внутренних циклов. Поэтому предлагается другая модель круговорота – *сетевая*. Ячейка – это круговорот в определенной экосистеме, через границы идёт непрерывный обмен веществом и энергией с другими экосистемами. В каждой экосистеме работает не только круговорот, но и непрерывные мощные входящие и исходящие потоки веществ и энергии. Огромную объединяющую роль имеют дороги – морские, железнодорожные, шоссейные, грунтовые. В сети работает закон сохранения энергии и вещества, а также известный нам закон узкого места. Последнее может быть как веществом, так и скоростью процесса, и, вероятно, другие сетевые законы, нам пока не известные. Подчеркнём, что на сегодняшний день круговорот веществ выглядит не кругом с входом и выходом, а сетью многообразных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представление о схеме круговорота как круга с входом и выходом устарело. Закономерных закрытых циклов в природе не существует. Современные связи между отдельными экосистемами громадны, в связи с чем границы между экосистемами размыты. Где кончается одна экосистема, и начинается другая – сказать трудно. Связи между отдельными экосистемами мощнее внутренних циклов в экосистемах. Предлагается новая модель всепланетного круговорота – сетевая.

ЛИТЕРАТУРА

Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / Титлянова А.А., Базилевич Н.И. и др.; отв. ред. В.Б. Ильин. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 134 с.

Сукцессии и биологический круговорот / А.А. Титлянова, Н.А. Афанасьев и др.; отв. ред. В.М. Курачев. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1993. 157 с.

Титлянова А.А. Биологический круговорот углерода в травяных биогеоценозах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 220 с.

Титлянова А.А. Развитие теории биотического круговорота. Новосибирск: Издательский дом ООО «Окарина», 2023а. 76 с.

Титлянова А.А. Развитие теории биотического круговорота // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвящённой 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023б. С. 10–13. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Титлянова А.А., Вишнякова Е.К. Изменение продуктивности болотных и травяных экосистем по широтному градиенту // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 2. с176. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v5i2.176>.

Титлянова А.А., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П. Подземные органы растений в травяных экосистемах. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1996. 128 с.

Титлянова А.А., Самбуу А.Д. Сукцессии в травяных экосистемах. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2016. 191 с.

Титлянова А.А., Шибарева С.В. Изменение чистой первичной продукции и восстановление запасов углерода в почвах залежей // Почвоведение. 2022. № 4. С. 500–510. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X2204013X>.

Титлянова А.А., Шибарева С.В., Варакина З.В. Закономерности изменения величин чистой первичной продукции в евразийских степях // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 2. с210. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.210>.

Поступила в редакцию 07.12.2023

Принята 26.12.2023

Опубликована 30.12.2023

Сведения об авторе:

Титлянова Аргента Антониновна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); argenta@issa-siberia.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



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

DEVELOPING UNDERSTANDING OF BIOTIC TURNOVER

© 2023 A. A. Titlyanova 

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: argenta@issa-siberia.ru

Over the last 50 years A.A. Titlyanova with her colleagues from the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences has been actively studying biotic turnover components and processes: the flow of carbon and its stocks in various ecosystem blocks were estimated, and turnover regimes revealed. The performed field experiments showed that the nearer an ecosystem is to the stationary state, the more closed its biotic turnover becomes, and the lesser role is played by abiotic processes. The studies in diverse ecosystems confirmed that climatic and weather conditions, soil properties as well as ecosystem's relief position and exposition are the main factors driving the net primary production of grassland ecosystems. The article presents and discuss earlier results about phytomass dynamics and provides estimates of the net primary production, both above- and belowground. The belowground plant organs, i.e. roots and rhizomes, preserve life of a grassland ecosystem under any climatic conditions. Sustainability of grasslands in time depends on the changes in plant species composition, diverse survival strategies, high productivity of the dominant plant species, soil seed bank and their aeolian and water transportation from other ecosystems, rapid release of nutrients from residues by mineralization. Analysis of different successions in ecosystems allowed concluding that the number of succession types is higher than only two main types of primary and secondary succession. The primary succession refers only to those successions that occur by spontaneous revegetation at sites without any history of previous vegetation, whereas the secondary successions are more diverse and include pyrogenic (renovating succession), pasture (continuous and reversible), abandoned field successions and others. Not only the biotic turnover, but strong in- and outcoming flows of matter and energy operate in each and every ecosystem. Presently turnover can be better described as a network of diversified processes, rather than a circle per se.

Key words: net primary production; sustainability of grassland ecosystems; succession.

How to cite: Titlyanova A.A. Developing understanding of biotic turnover // *The Journal of Soils and Environment*. 2023. 6(4). e239. DOI: [10.31251/pos.v6i4.239](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.239). (in Russian with English abstract).

REFERENCES

- Biological productivity of grassland ecosystems. Geographical regularities and ecological features / A.A. Titlyanova, N.I. Bazilevich. et al.; V.B. Ilyin (ed.). Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1988. p. 134. (in Russian).
- Succession and biological cycle / A.A. Titlyanova, N.A. Afanasev. et al.; V.M. Kurachev (ed.). Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1993. 157 p. (in Russian).
- Titlyanova A.A. Biological carbon cycle in grass biogeocenoses. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1977. 220 p. (in Russian).
- Titlyanova A.A. Development of biotic turnover theory. Novosibirsk: Publ. House Ocarina, 2023a. 76 p. (in Russian).
- Titlyanova A.A. Development of biotic turnover theory. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, 2–6 October, 2023). Novosibirsk: ISSA SB RAS, 2023b. P. 10–13. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).
- Titlyanova A.A., Vishnyakova E.K. Productivity change of wetland and grassland ecosystem along a latitudinal gradient. *The Journal of Soils and Environment*. 2022. Vol. 5. No. 2. e176. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v5i2.176>. (in Russian).
- Titlyanova A.A., Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Romanova I.P. Below ground organs of plants in grassland ecosystems. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1996. 128 p. (in Russian).
- Titlyanova A.A., Sambuu A.D. Succession in grasslands. Novosibirsk: Publishing House SB RAS, 2016. 191 p. (in Russian).
- Titlyanova A.A., Shibareva S.V. Change in the net primary production and carbon stock recovery in fallow soils. *Eurasian Soil Science*. 2022. Vol. 55. No. 4. P. 501–510. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229322040135>.

Titlyanova, A.A., Shibareva S.V., Varakina Z.V. Patterns of net primary production changes in Eurasian steppes. The Journal of Soils and Environment. 2023. Vol. 6. No. 2. e210. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.210>. (in Russian).

Received 07 December 2023

Accepted 26 December 2023

Published 30 December 2023

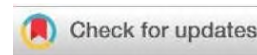
About the author:

Titlyanova Argenta Antoninovna – Doctor of Biological Sciences, Professor, Principal Researcher in the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); argenta@issa-siberia.ru

The author read and approved the final manuscript



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



ИТОГИ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА», ПОСВЯЩЁННОЙ 55-ЛЕТИЮ ИНСТИТУТА ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ СО РАН (НОВОСИБИРСК, 2–6 ОКТЯБРЯ 2023 ГОДА)

© 2023 г. В. А. Андроханов , Т. В. Нечаева , Н. В. Гопп 

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

Всероссийская научная конференция с международным участием «Почвы и окружающая среда» (далее – конференция), посвящённая 55-летию Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО РАН, состоялась в Новосибирске 2–6 октября 2023 года. На конференции присутствовало около 140 участников из 20 регионов России и Кыргызской Республики, заслушано более 100 докладов. В статье приведён краткий обзор докладов, сделанных по основным научным направлениям конференции: география, генезис и эволюция почв; плодородие почв и продуктивность агроценозов; почвенно-физические свойства и режимы; рекультивация и самовосстановление нарушенных земель; биогеохимические вопросы мониторинга, оценки и нормирования почв; почвы и почвенный покров в условиях изменения климата; биологическая продуктивность естественных и нарушенных экосистем; микробиоморфные комплексы в современных и древних почвах. Отдельно была представлена молодёжная секция «Почвы в биосфере: связь поколений», где выступили школьники и студенты из разных регионов России.

В ходе работы конференции проанализированы современные проблемы развития почвенных, агрохимических и экологических исследований; рассмотрены вопросы использования достижений науки для повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий; акцентировано внимание на необходимости качественной подготовки специалистов почвенно-агрохимического профиля. Подробное изложение представленных в обзоре материалов заинтересованный читатель найдёт в сборнике научных трудов конференции [«Почвы и окружающая среда» \(2023\)](#).

Помимо пленарного и секционных заседаний участники конференции смогли посетить Центральный Сибирский геологический музей, Почвенный музей и библиотеку ИПА СО РАН, а также принять участие в полевой почвенной экскурсии «Чернозёмы и их агрогенные аналоги». Проведение конференции позволило провести обмен мнениями специалистов различных тематических направлений; ознакомиться с научно обоснованными подходами и представлениями в почвоведении, агрохимии и экологии для решения проблем использования и сохранения почв и почвенных ресурсов.

Ключевые слова: география и генезис почв; плодородие; свойства и режимы почв; агроценоз; рекультивация; мониторинг; экология; экосистема; почвенный покров; моделирование; почвенный музей.

Цитирование: Андроханов В.А., Нечаева Т.В., Гопп Н.В. Итоги научной конференции «Почвы и окружающая среда», посвящённой 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 года) // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 4. e249. DOI: [10.31251/pos.v6i4.249](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.249).

Всероссийская научная конференция с международным участием «Почвы и окружающая среда» (далее – конференция), посвящённая 55-летию Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО РАН, состоялась в г. Новосибирске 2–6 октября 2023 года.

Цель конференции – обсуждение современных проблем почвоведения и агрохимии, методологии почвенных исследований, обобщение информации о роли почвы в биосфере.

На открытии конференции (рис. 1) ведущие российские учёные в области почвоведения и агрохимии, руководители организаций биологического и сельскохозяйственного профиля, представители администрации Советского района г. Новосибирск поздравили коллектив ИПА СО РАН с юбилеем, отметив большую роль Института в изучении путей эффективного использования земельных ресурсов Сибири, повышении плодородия почв и рекультивации нарушенных земель.



Рисунок 1. Открытие конференции «Почвы и окружающая среда» и пленарное заседание в актовом зале ИПА СО РАН.

На конференции присутствовало около 140 участников из 20 регионов России и Кыргызской Республики. Всего заслушано 108 докладов: 9 пленарных и 99 секционных. Самые многочисленные делегации прибыли на конференцию из следующих городов России:

✓ **Новосибирск и Новосибирская область** (Новосибирский государственный аграрный университет; Новосибирский государственный педагогический университет; Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН; Сибирский НИИ растениеводства и селекции – филиал ФИЦ Института цитологии и генетики СО РАН; Сибирский НИИ кормов СФНЦА РАН; Институт археологии и этнографии СО РАН);

✓ **Томск** (Национальный Исследовательский Томский государственный университет; Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН; Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал СФНЦА РАН; Станция агрохимической службы «Томская»);

✓ **Москва и Московская область** (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН; Институт географии РАН; Институт востоковедения РАН);

✓ **Санкт-Петербург** (Санкт-Петербургский государственный университет; Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена; Агрофизический научно-исследовательский институт; Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН);

✓ **Красноярск** (Красноярский государственный аграрный университет; Сибирский федеральный университет; Красноярский научный центр СО РАН; Институт леса имени В.Н. Сукачёва СО РАН).

Кроме того, присутствовали представители НИИ и ВУЗов из Барнаула, Владивостока, Екатеринбурга, Иркутска, Нижнего Тагила, Омска, Перми, Ростова-на-Дону, Тюмени, Улан-Удэ, Уфы, Якутска и других российских городов. В материалах конференции ([Почвы и окружающая среда, 2023](#)) также представлены работы научно-исследовательских организаций зарубежных стран: Азербайджанская Республика (Баку), Кыргызская Республика (Бишкек), Республика Беларусь (Минск), Республика Казахстан (Актобе), Республика Узбекистан (Ташкент).

Работа конференции началась 2 октября 2023 г. с заседания молодёжной секции «**Почвы в биосфере: связь поколений**» (рис. 2), где было заслушано 12 докладов школьников и студентов из разных регионов России (от Сочи и Донецка до Хабаровска) о результатах изучения свойств почв, оценки активности почвенных микроорганизмов и отзывчивости растений на различные внешние воздействия. От сотрудников ИПА СО РАН подготовлены доклады на следующие темы: канд. биол. наук **Смирнова Н.В.** рассказала про научное наставничество и сетевые проекты со школьниками в Институте; канд. биол. наук **Сапрыкин О.И.** – чем заинтересовать молодого исследователя в почвоведении.



Рисунок 2. Участники молодёжной секции «Почвы в биосфере: связь поколений».

Пленарное заседание конференции состоялось 3 октября 2023 г. и началось с приветственного слова д-ра биол. наук, директора ИПА СО РАН – **Андроханова В.А.** Часть докладов посвящена истории образования ИПА СО РАН, развитию его научных направлений и подразделений (Гамзиков, 2023; Соколов, Андроханов, 2023; Якименко, 2023). В выступлении д-ра биол. наук, профессора **Титляновой А.А.** речь шла о развитии теории биотического круговорота (Титлянова, 2023); д-р биол. наук, профессор **Дергачева М.И.** рассказала об актуальных проблемах гумусоведения и возможности их реализации; д-р биол. наук **Сысо А.И.** – о биогеохимических критериях и нормативах оценки качества почв (Сысо, 2023); канд. биол. наук **Смоленцев Б.А.** – о неоднородности почвенного покрова Западной Сибири. Не менее интересными для участников конференции были выступления гостей пленарного заседания: д-р геогр. наук **Лесовая С.Н.** посвятила доклад почвам на плотных силикатных породах холодного сектора Евразии (Лесовая, 2023); д-р биол. наук, профессор **Убугунов Л.Л.** – почвам и почвенному покрову внутренней Азии (Убугунов, 2023); член корр. РАН, д-р биол. наук, профессор **Будажапов Л.В.** – кинетике процессов внутрипочвенной трансформации азота криоаридных почв Азиатской России (Будажапов, 2023); д-р биол. наук, проф. **Пузанов А.В.** – биогеохимическим особенностям Алтае-Саянской горной страны. В заключении пленарного заседания д-р биол. наук, профессор **Кулижский С.П.** выступил с докладом о трансформации системы высшего образования на примере Национального исследовательского Томского государственного университета.

После пленарного заседания участники конференции посетили [Центральный Сибирский геологический музей](#) (рис. 3). Экспозиция музея насчитывает более 10 000 образцов полезных ископаемых из 153-х месторождений Сибири и Дальнего Востока; большой интерес представляют коллекции метеоритов, изделий из поделочного камня и синтетических кристаллов, а также уникальные образцы самородного железа, данбурита и других минералов.



Рисунок 3. Посещение Центрального Сибирского геологического музея участниками конференции.

Тематические направления научных секций были представлены следующими разделами:

1. География, генезис и эволюция почв. Проблемы классификации почв и почвенное картографирование.
2. Плодородие почв и продуктивность агроценозов: теоретические и прикладные аспекты.
3. Почвенно-физические свойства и режимы.
4. Рекультивация и самовосстановление нарушенных земель.
5. Биогеохимические вопросы мониторинга, оценки и нормирования почв.
6. Почвы и почвенный покров в условиях изменения климата.
7. Биологическая продуктивность естественных и нарушенных экосистем: пространственно-временные аспекты.
8. Микробиоморфные комплексы в современных и древних почвах: сохранность, информативность, специфика.

Ниже представлена краткая информация о докладах и итогах заседаний секций конференции.

Секция 1. ГЕОГРАФИЯ, ГЕНЕЗИС И ЭВОЛЮЦИЯ ПОЧВ. ПРОБЛЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ПОЧВ И ПОЧВЕННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

На секции заслушано 19 докладов из 24-х заявленных устных и 4-х стендовых (рис. 4). Объекты исследований имели широчайшую географию. В докладах представлено разнообразие почв горных районов Кыргызской Республики (Исмаилов, Жакеев, 2023), Среднего Урала (Самофалова, 2023) и Тувы (Гуркова, Контобойцева, 2023), криолитозоны Красноярского края (Лигаева, Пономарева, 2023), а также почв островных баров в Магаданской области (Соболев, Герасимова, 2023). Отмечена специфика свойств засоленных почв Нижнеоронгойской котловины в Бурятии (Аюшина и др., 2023), северной Кулунды (Попов, Елизаров, 2023), а также гипсоносных почв Южного Приангарья в Иркутской области (Киселева, 2023). Показано изменение свойств серогумусовых почв Кизеловского угольного бассейна в Кировской области (Митракова и др., 2023) и аллювиальных почв малых рек в Северном Прикамье (Пахоруков, Еремченко, 2023) под влиянием техногенного воздействия, а также свойств верхней части профиля текстурно-дифференцированных почв лесостепи Томской области при агрогенном воздействии (Сапрыкин, Соколова, 2023). Рассмотрено влияние древнего криогенеза на современное почвообразование в Южном Прибайкалье (Куклина и др., 2023). Выделены системно-информационные закономерности свойств компонентов почвенного покрова юга Западной Сибири (Михеева, 2023), а также неоднородность характеристик гумусовых профилей почв Приобского плато (Захарова, Каллас, 2023). Предложены методы определения экологических ниш особых почв криолитозоны Забайкалья (Бадмаев, Гынинова, 2023) и уровни экологического состояния агрогенных почв Алтайского края на основе региональных эталонов (Федченко, Пивоварова, 2023). Представлен обзор веб-сервисов, содержащих сведения о запасах органического углерода в почвах (Гопп, 2023а), а также показаны возможности использования методов машинного обучения в цифровом почвенном картографировании агроэкологического потенциала и плотности естественного сложения почв Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции (Гопп, 2023б, 2023в).



Рисунок 4. Участники секционного заседания № 1.

Участники секционного заседания № 1 отметили важность разработки новых подходов и методов исследований почв, почвенного покрова и предложили:

- 1) Внести некоторые корректировки в существующие классификации почв и ареалы распространения почвенных таксономических единиц.
- 2) Использовать предложенные методики определения экологических ниш почв и методы цифрового почвенного картографирования для уточнения имеющихся почвенных карт.
- 3) Учитывать изменения почвенных свойств, вызванные техногенными и агрогенными воздействиями, изменением климатических параметров при оценке экологического состояния, корректировке почвенных карт и составлении рекомендаций по использованию почв.

Секция 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОЦЕНОЗОВ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

Заслушано 11 докладов из 23-х заявленных устных и 2-х стендовых (рис. 5). Основное внимание, как в материалах конференции, так и в докладах на секционном заседании № 2 посвящено исследованию параметров плодородия почв, в том числе воспроизводству гумуса в сибирских чернозёмах при интенсификации технологии выращивания пшеницы (Шарков, 2023); распространению чернозёмов Сибири и методике оценки природно-ресурсного потенциала деградированных почв (Шпедт, Злотникова, 2023); влиянию посадок мискантуса на свойства серой лесной почвы (Капустянчик, 2023). Значительное место заняли доклады по оценке состояния и перспективам использования залежных земель (Аксенова, 2023; Нечаева, 2023; Сорокина, 2023). Рассмотрены и обсуждены результаты эффективности разных видов азотных удобрений на чернозёмах Новосибирского Приобья (Колбин и др., 2023); показана роль бактериальных препаратов в повышении плодородия почв и урожайности зерновых культур (Сидоренко, Клыков, 2023); дана оценка влияния биоугля на физико-химические свойства почвы и рост пшеницы (Некрасова и др., 2023); представлена трансформация почвенного зоо-микробного комплекса аласных почв Якутии (Якутин, Андриевский, 2023). Также интерес у слушателей вызвало выступление д-ра биол. наук Даниловой А.А. о применении метода мультисубстратного теста для биоиндикации нарушенных почв.



Рисунок 5. Участники секционного заседания № 2.

Участники секции № 2 обозначили следующие направления дальнейших исследований:

1) Изучение механизмов накопления гумуса в залежных и пахотных землях с целью выявления причин, препятствующих значительному повышению гумусированности почв при увеличении поступления растительных остатков вследствие интенсификации агротехнологий.

2) Совершенствование систем почвенной диагностики питания растений азотом и зольными элементами для агротехнологий повышенной интенсивности.

3) Продолжение исследований, направленных на предотвращение загрязнения продукции растениеводства и окружающей среды средствами химизации при освоении в сибирском регионе интенсивных технологий выращивания сельскохозяйственных культур.

Академик РАН, д-р биол. наук, профессор **Гамзиков Г.П.** предложил: «Считать приоритетным направлением работы научно-исследовательских организаций почвенно-агрохимического профиля сохранение существующих и организацию новых длительных полевых опытов по изучению проблем воспроизводства почвенного плодородия, повышения урожайности культур и поддержания чистоты окружающей среды».

Секция 3. ПОЧВЕННО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РЕЖИМЫ

Заслушано 11 докладов из 11-ти заявленных устных и 2-х стендовых (рис. 6). Участники секционного заседания № 3 обсудили общие аспекты физических свойств и режимов почв, влажности и климата, а также затронули вопросы моделирования почвенных процессов и деградации почв. По материалам, представленным в сборнике трудов конференции, были сделаны устные доклады по следующим темам: многолетняя динамика уровня грунтовых вод в почвах Ишимской степи (Кравцов, 2023); основные итоги фундаментальных и прикладных почвенно-физических исследований в Западной Сибири и юго-восточном Алтае (Кудряшова, Чумбаев, 2023); методические аспекты физического обеспечения математических моделей движения влаги в почве (Огородняя, 2023); исследование температурных полей орошаемых и посторошаемых почв Чуйской котловины Республики Алтай (Кудряшова и др., 2023); пространственная неоднородность влажности торфа осушенных и выгоревших верховых болот южной тайги Западной Сибири (Синюткина, Гашкова, 2023); деградация лесных почв Республики Башкортостан (Чурагулова, 2023). Интерес участников конференции был также проявлен к стендовому докладу Бардашова Д.Р. с соавторами, посвящённому исследованию многолетней динамики и индикаторов гидроморфизма полугидроморфных почв западных комплексов Тамбовской лесостепи (Бардашов и др., 2023).

Сотрудники лаборатории почвенно-физических процессов ИПА СО РАН подготовили выступления с докладами на следующие темы: канд. биол. наук Чичулин А.В. – закономерности системной организации почвенно-климатических ареалов; канд. биол. наук Миллер Г.Ф. – почвенно-экологическая оценка разновозрастных залежей лесостепи Западной Сибири; Филимонова Д.А. – изучение зависимости гранулометрического состава от физико-химических показателей почв различного генезиса; Прохорова Н.А. – эмиссия CO₂ из почв лесного и лугового биогеоценозов Новосибирской области в вегетационный период 2023 г.



Рисунок 6. Участники секционного заседания № 3.

Заслушав и обсудив доклады, участники секционного заседания № 3 решили:

- 1) Признать своевременным и актуальным преодоление территориальной и дисциплинарной разобщенности ученых, изучающих почвы.
- 2) Принять во внимание изменение тренда в исследовании почв с пространственного уровня на временной.
- 3) Отметить необходимость продолжения и расширения географии изучения физических свойств и режимов почв России.
- 4) Расширить работы по инвентаризации и реинвентаризации почвенных ресурсов Сибири, поскольку 2/3 почвенного покрова данного региона исследовано фрагментарно.

Секция 4. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И САМОВОССТАНОВЛЕНИЕ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Заслушано 16 докладов из 26-ти заявленных устных и 2-х стендовых (рис. 7). Тематика докладов секционного заседания № 4 охватила широкий круг вопросов рекультивации земель, нарушенных добывающими и другими промышленными предприятиями (Сутурин, 2023; Тюрюков, 2023; Хронюк, 2023; Щемелева и др., 2023), а также проблемы самовосстановления техногенных ландшафтов Европейской части России (Петрова и др., 2023), Западной и Восточной Сибири (Бакина и др., 2023; Беспалов, 2023; Пономарёва, Пономарёв, 2023; Скотарева, Соколов, 2023). Часть докладов посвящена исследованию загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами (Беланов, Степанова, 2023; Глянцева и др., 2023; Поляк, Бакина, 2023). Также были затронуты проблемы известкования кислых почв на территории Томской области (Сорокин, 2023) и представлен почвенно-экологический статус Заельцовского бора в г. Новосибирск (Алемасова и др., 2023). Рекультивация почв была рассмотрена с экологической точки зрения концепции устойчивого развития (Двуреченский, 2023). В докладе канд. биол. наук Кречетова П.П. показано, что рекультивация снижает вероятность поступления парниковых газов в атмосферу в результате самовозгорания или поверхностного окисления угольных частиц из-за изоляции материала отвала от доступа кислорода. Эффективность депонирования углерода на рекультивированных отвалах повышается при использовании для фитомелиорации древесные виды растений. Секвестрация углерода травянистым фитоценозом сопоставима со снижением углеродного следа естественными ненарушенными экосистемами. Таким образом, можно утверждать, что рекультивированные отвалы можно использовать в качестве карбоновых ферм (Кречетов и др., 2023).



Рисунок 7. Участники секционного заседания № 4.

Участники секционного заседания № 4 считают необходимым:

- 1) Сократить сроки внедрения научных и научно-практических разработок в области рекультивации в практику промышленных предприятий.
- 2) Усилить взаимодействие научных учреждений с образовательными организациями с целью подготовки специалистов по рекультивации для хозяйствующих субъектов.
- 3) Продолжить совершенствование российской системы нормирования объектов окружающей среды загрязняющими веществами, особенно органическими поллютантами, не только в природных экосистемах, но и в техногенных образованиях (отвалах, хвостохранилищах, снего- и золоотвалах и пр.).

Секция 5. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ МОНИТОРИНГА, ОЦЕНКИ И НОРМИРОВАНИЯ ПОЧВ

На секции заслушаны и обсуждены 12 устных докладов из 17-ти заявленных (рис. 8). Рассмотрены проблемы нормирования в России химических веществ в почвах (Капелькина, 2023; Сиромля, 2023). Представлены результаты изучения элементного химического состава разных компонентов биосферы, включая: подвижные формы меди и свинца в почвах лесопарка «Затюменский» г. Тюмень (Боев и др., 2023); содержание и профильное распределение кадмия в пойменных почвах лесостепной зоны Зауралья (Букин, 2023); тяжёлые металлы и литофильные элементы в железо-марганцевых ортштейнах почв юга Дальнего Востока (Тимофеева, 2023); токсичные элементы в поверхностной составляющей почв Южной Сибири (Ляпина, Перегудина, 2023); оценку устойчивости псаммозёмов природно-рекреационной зоны г. Пермь к загрязнению тяжёлыми металлами (Сайранова, Еремченко, 2023); распределение культивируемых аэробных Fe- и Mn-окисляющих бактерий в Fe-Mn ортштейнах, сформированных в зоне с минимальной техногенной нагрузкой (Сидоренко и др., 2023); радиометрическое картографирование почвенного покрова в условиях техногенного загрязнения (Собакин и др., 2023). Участники заседания также проявили большой интерес к докладам: об уникальной редкоземельной специфике системы «почва-растения-животные» на территории Приморского края (Барановская и др., 2023); разработке нанокompозита для ремедиации почв, загрязнённых медью (Бауэр и др., 2023); поступлению меди и никеля на поверхность почв Норильской долины на участке максимального пылеаэрозольного загрязнения выбросами металлургических заводов (Ермолов, 2023).



Рисунок 8. Участники секционного заседания № 5.

Обобщая современные проблемы биогеохимии и экологии почв участники секционного заседания № 5 предложили:

1) Разрабатывать на биогеохимической основе методы диагностики, количественные критерии и нормативы для агрохимической, биогеохимической и санитарной оценки содержания макро- и микроэлементов в почвах и растениях природных и антропогенных экосистем.

2) Совершенствовать и стандартизировать методики количественного определения содержания и форм соединений макро- и микроэлементов в почвах; конкретизировать термины и понятия, используемые в биогеохимии, экологии и нормативной практике.

3) Включать биогеохимические исследования в тематику государственных заданий научных исследований с целью развития российской системы экологического нормирования.

Секция 6. ПОЧВЫ И ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

На секции по проблеме поведения почв в меняющейся природной среде состоялось 7 устных докладов из 10-ти заявленных (рис. 9). В выступлениях рассмотрены темы, связанные с органическим веществом и гумусовой составляющей почв (Дергачева, 2023; Учасев и др., 2023); применением современных методических подходов к выявлению связей с изменяющимся климатом (Бажина, Дергачева, 2023; Поляков, Абакумов, 2023); изучением палеопочв севера Западной Сибири как информативной летописи природной среды (Шейнкман, Седов, 2023). Интерес слушателей также вызвали доклады, посвященные отражению климатических ритмов голоцена в почвах озёрных котловин степного биота Западной Сибири (Смоленцева, Сапрыкин, 2023) и исследованию свойств приозерных почв хлоридного засоления в аридные и гумидные климатические фазы (Жамбалова и др., 2023). Доклады и их обсуждение показали необходимость расширения и углубления исследований в области поведения почв в меняющейся климатической обстановке.



Рисунок 9. Участники секционного заседания № 6.

Участники секции № 6 предложили: в последующих конференциях включать в тематику докладов более широкий круг вопросов и рассматривать поведение почв и почвенного покрова не только в меняющемся климате, но и в изменяющейся разными путями природной среде.

Секция 7. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЕСТЕСТВЕННЫХ И НАРУШЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ: ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ

По данной проблематике было заслушано 13 докладов, включая 1 стендовый. Докладчиками рассмотрены: динамика продукционных процессов в ходе сукцессионных изменений (Никифоров и др., 2023), процессы деструкции (Никонова и др., 2023), влияние антропогенной нагрузки (Вишнякова и др., 2023; Жуйкова и др., 2023) и состояние различных сообществ на климаксовой стадии развития биогеоценозов (Коронатова, 2023; Косых и др., 2023). Выявлены взаимосвязи почвенных свойств и характеристик растительных сообществ (Дюкарев и др., 2023; Кудреватых и др., 2023; Мартынова, 2023; Припутина и др., 2023; Чепурнова, Кадулин, 2023). Одним из направлений секции было моделирование продуктивности и свойств почвенно-растительного покрова территорий с привлечением геоинформационных технологий (Копысов, Елисеев, 2023). Вниманию участникам также был представлен доклад канд. биол. наук Вишняковой Е.К. о запасах растительного вещества степных экосистем заказника Дургенский (Республика Тува).

Участниками секции обозначены следующие перспективные направления исследований:

- 1) Изучение продукционно-деструкционных процессов в болотных экосистемах в зависимости от климата и локальных условий местообитания.
- 2) Исследование биогеоценологических процессов на локальном уровне.
- 3) Моделирование продуктивности и изменения свойств почвенно-растительного покрова территорий с привлечением геоинформационных технологий.

Секция 8. МИКРОБИОМОРФНЫЕ КОМПЛЕКСЫ В СОВРЕМЕННЫХ И ДРЕВНИХ ПОЧВАХ: СОХРАННОСТЬ, ИНФОРМАТИВНОСТЬ, СПЕЦИФИКА

Заслушано 10 докладов, включая 1 стендовый (рис. 10). Заседание секции № 8 было посвящено памяти **Гаврилова Дениса Александровича** – канд. биол. наук, старшего научного сотрудника ИПА СО РАН и редактора журнала «Почвы и окружающая среда», скоропостижно скончавшегося 26 августа 2021 года (Нечаева и др., 2021). Гаврилов Д.А. также был организатором Российской ассоциации фитолитологов и первого совещания исследователей фитолитов в Новосибирске в 2016 году. Председатель секции, д-р геогр. наук **Гольева А.А.** выступила с докладом «Денис Александрович Гаврилов – археолог, почвовед, фитолитолог».

Вниманию участников секции были представлены доклады на весьма интересные темы, включая: возможности и ограничения определения древних агроценозов на основе фитолитного анализа (Гольева, 2023); особенности палинологического изучения пещерных археологических объектов (Алексейцева, 2023); фитолитные индикаторы древней антропогенной трансформации темноцветных тропических почв Мексики (Гольева и др., 2023); микробиоморфный анализ в изучении пионерных ландшафтов позднеледниковья юго-восточной Прибалтики (Дружинина, Гольева, 2023); криогенное преобразование биогенного кремнезёма в модельных экспериментах (Занина, 2023); изменчивость морфометрических характеристик фитолитов *Dactylis glomerata L.* в различных климатических условиях (Котов и др., 2023); индикаторные формы фитолитов злаков в почвах Кулунды (Лада, 2023); ценотическая специфичность морфотипа фитолитов *Crenate* в поверхностных почвах фитоценозов северного и западного Алтая (Соломонова и др., 2023).



Рисунок 10. Докладчики секционного заседания № 8.

На секции № 8 был организован круглый стол «Обсуждение текущих научных и технических вопросов дальнейшего развития исследований микробиоморфных комплексов в современных и древних почвах», где участники заседания рассмотрели вопросы функционирования сайта «фитолит.рф» («phytolith.ru») сообщества «Российской ассоциации фитолитологов»; заслушали доклад о прошедшей в сентябре 2023 г. в Израиле 13-ой Международной конференции по фитолитным исследованиям (XIII International Meeting for Phytolith Research); обсудили вопросы использования международной номенклатуры фитолитов и специфики её применения в России; определили наиболее перспективные направления развития микробиоморфного анализа в современных и древних почвах разного генезиса.

Участниками секции № 8 приняты решения о проведении один раз в два года научных встреч российского профессионального сообщества фитолитологов, переходе на международную номенклатуру с учётом российской специфики и разработке национальной номенклатуры как части международной.

Помимо пленарного и секционных заседаний участники конференции посетили **Почвенный музей ИПА СО РАН** (рис. 11), где **Соколова Н.А.** – научный сотрудник Института и ответственная за фонды музея, рассказала гостям о биогеографических особенностях распространения сибирских почв; представила уникальные почвенные монолиты, отобранные сотрудниками Института в различных биогеоценозах, коллекции почвенных новообразований, включений и другие экспонаты. Экскурсанты обсудили региональную и фаціальную специфику отдельных свойств почв сибирского региона (устойчивость органического вещества, буферность почв и др.), проблемы диагностики свойств и классификации почв. К началу проведения конференции были подготовлены и экспонированы: фотовыставка, отражающая повседневную жизнь научной молодежи Института; постеры о составе и научных направлениях исследований каждой лабораторий; фотографии профилей почв Сибири.



Рисунок 11. Почвенный музей ИПА СО РАН.

Следует добавить, что в 2021 году исполнилось 20 лет со дня основания Почвенного музея ИПА СО РАН. Образование и функционирование музея было продиктовано как количеством накопленных знаний о почвах Сибири, так и необходимостью широкого просвещения населения в связи с назревшими экологическими проблемами. Преимущества академического музея – серьезное научное сопровождение коллекций, возможность для посетителей погрузиться в исследовательскую среду, прикоснуться к науке «из первых рук». Почвенный музей ИПА СО РАН сегодня – это динамичная, развивающаяся структура, направленная на аккумуляцию и распространение знаний о почвах, закономерностях их развития и функционирования, формирование ответственного отношения к окружающей среде (Соколова, 2020).

Участники конференции также имели возможность посетить **библиотеку ИПА СО РАН** и познакомиться с выставкой книг, организованной к началу конференции **Павловой О.Н.** – заведующей библиотекой. В настоящее время книжный фонд библиотеки составляет свыше 60 000 печатных единиц, из них иностранных журналов и книг около 6000. Библиотека обслуживает не только сотрудников и аспирантов Института, но и сотрудников смежных и профильных учреждений, а также отдельных лиц, участвующих в совместных научных исследованиях, экспедициях, семинарах и конференциях.

Заключительным мероприятием конференции стала полевая почвенная экскурсия «Чернозёмы и их агрогенные аналоги» (6 октября 2023 г.), в которой приняли участие 29 гостей (рис. 12). В рамках экскурсии был организован выезд в Искитимский район Новосибирской области. Цель экскурсии – знакомство с чернозёмными почвами и их агрогенными аналогами, условиями почвообразования Присалаирской равнины лесостепной зоны Западной Сибири, а также с актуальными проблемами использования почв в системе земледелия.



Рисунок 12. Участники полевой почвенной экскурсии.

Научное сопровождение экскурсии обеспечили сотрудники ИПА СО РАН: заведующий лабораторией географии и генезиса почв, канд. биол. наук **Смоленцев Б.А.**, научные сотрудники этой же лаборатории – **Смоленцева Е.Н.** и канд. биол. наук **Сапрыкин О.И.** Классификационное положение почвенных разрезов было представлено в рамках двух отечественных классификационных систем: Классификация и диагностика почв СССР (1977) и России (2004), а также по международной почвенной классификации IUSS Working Group WRB (2022).

Таким образом, участники конференции обсудили новые идеи, методы и результаты фундаментальных, прикладных и поисковых исследований по почвоведению, агрохимии, биогеохимии и биогеоценологии. Были высказаны предложения по развитию различных направлений почвенно-агрохимической науки, а также использованию научных достижений в народном хозяйстве, охране природы и образовательном процессе.

Представленные в статье доклады и другие материалы опубликованы в виде сборника трудов Всероссийской научной конференции с международным участием «[Почвы и окружающая среда](#)» (2023) и доступны на сайте ИПА СО РАН, НЭБ eLIBRARY.RU

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение Всероссийской научной конференции с международным участием «Почвы и окружающая среда» вызвало большой интерес широкого круга специалистов в области почвоведения, агрохимии и экологии, включая научных работников, преподавателей, практиков, студентов и школьников. Организация подобных мероприятий содействует обмену опытом и

укреплению сотрудничества между исследователями ведущих профильных ВУЗов, НИИ и научных центров, эффективному освоению передовых научно-методических достижений и практик, обобщению информации о роли почвы в биосфере.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны председателям и секретарям секционных заседаний за помощь в сборе данных по докладчикам и предоставлении фотографий, а также членам редакции журнала «Почвы и окружающая среда» Якименко В.Н. и Наумовой Н.Б. за критические замечания, высказанные при подготовке статьи к печати и помощь в переводе.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Конференция организована и проведена Институтом почвоведения и агрохимии СО РАН при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Президиума Сибирского отделения РАН, Новосибирского отделения Общества почвоведов имени В.В. Докучаева.

ЛИТЕРАТУРА

Аксенова Ю.В. Состояние залежных земель и целесообразность их повторного введения в сельскохозяйственное производство // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 219–223. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Алексеяева В.В. Особенности палинологического изучения пещерных археологических объектов // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 806–809. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Алемасова В.А., Ахметова А.Д., Двуреченский Д.В. Почвенно-экологический статус Засльцовского бора в г. Новосибирск // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 494–496. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Аюшина Т.А., Убугунова В.И., Жамбалова А.Д. Засоленные почвы Нижнеоронгойской котловины: морфология, свойства, геохимические особенности // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 58–61. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Бадмаев Н.Б., Гынинова А.Б. Общие параметры экологических ниш «особых» почв на южной границе криолитозоны Забайкалья // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 62–65. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Бажина Н.Л., Дергачева М.И. Коррелятивные связи основных параметров флуоресценции гуминовых кислот тундровых почв Тувы с условиями климата // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 700–704. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Бакина Л.Г., Чугунова М.В., Герасимов А.О., Капелькина Л.П. Начальные процессы формирования почв в шламовых амбарах Западной Сибири // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 499–501. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Барановская Н.В., Паничев А.М., Средкин И.В., Соктоев Б.Р., Агеева Е.В., Жорняк Л.В., Макаревич Р.А. Об уникальной редкоземельной специфике системы «почва-растения-животные» на территории Приморского края // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 609–613. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Бардашов Д.Р., Смирнова М.А., Лозбенев Н.И., Филь П.П. Многолетняя динамика и индикаторы гидроморфизма полугидроморфных почв западных комплексов Тамбовской лесостепи // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 442–445. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Бауэр Т.В., Поляков В.А., Рудь П.А., Бутова В.В., Грицай М.А., Минкина Т.М. Разработка нанокompозита на основе биочара и MIL-100(Fe) для ремедиации почв, загрязненных медью // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 501–504. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Беланов И.П., Степанова М.В. Нефтепродукты в почвах мест длительного складирования снежных масс // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 505–508. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Беспалов А.Н. Особенности восстановления энтомоценозов (на примере жуков-жужелиц (*Coloeptera*, *Carabidae*)) на каменноугольных отвалах в лесостепной зоне Западной Сибири // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 509–511. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Боев В.А., Нагибин М.Е., Горских А.В. Подвижные формы меди и свинца в почвах лесопарка «Затюменский» города Тюмень // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 613–617. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Будажанов Л.В. Кинетика процессов внутрипочвенной трансформации азота криоаридных почв Азиатской России: масштаб проявлений, активность микробного пула и прогнозные сценарии // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 41–44. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Букин А.В. Содержание и профильное распределение кадмия в пойменных почвах лесостепной зоны Зауралья // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 618–622. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Вишнякова О.В., Убугунов В.Л., Лаврентьева И.Н., Болонева Л.Н., Убугунов Л.Л. Изменение продуктивности степных экосистем Западного Забайкалья при антропогенном воздействии // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 755–757. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Гамзиков Г.П. Фрагменты истории агрохимических исследований в ИПА СО РАН // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 36–41. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Глязнецова Ю.С., Зуева И.Н., Чалая О.Н., Лифшиц С.Х., Львова О.С. Самовосстановление мерзлотных почв, нарушенных в результате аварийного разлива нефти // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 515–519. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Гольева А.А. Возможности и ограничения определения древних агроценозов на основе фитолитного анализа // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО

РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 809–814. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Гольева А.А., Седов С.Н., Соллейро Э., Диас Х. Фитолитные индикаторы древней антропогенной трансформации темноцветных тропических почв Мексики // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 814–819. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Гопп Н.В. Запасы органического углерода в почвах: обзор веб-сервисов, базы данных, методы картографирования // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023а. С. 71–74. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Гопп Н.В. Цифровое картографирование агроэкологического потенциала западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023б. С. 66–70. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Гопп Н.В. Цифровое картографирование плотности сложения почв западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции с использованием педотрансферной функции // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023в. С. 74–79. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Гуркова Е.А., Контбойцева А.А. Подбуры Тувы: условия формирования, классификация и морфология // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 79–85. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Двуреченский В.Г. Рекультивация почв с экологической точки зрения концепции устойчивого развития // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 523–527. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Дергачева М.И. Гумусовая составляющая почв в меняющемся климате // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 705–706. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Дружинина О.А., Гольева А.А. Микробиоморфный анализ в изучении пионерных ландшафтов позднеледниковья юго-восточной Прибалтики // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 819–821. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Дюкарев А.Г., Климова Н.В., Копысов С.Г., Никифоров А.Н., Чернова Н.А. Сукцессионная динамика почв и напочвенного покрова в темнохвойных лесах на юге таёжной зоны Западной Сибири // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 757–761. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Ермолов Ю.В. Поступление меди и никеля на поверхность почв Норильской долины на участке максимального пылеаэрозольного загрязнения выбросами металлургических заводов // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 629–631. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Жамбалова А.Д., Убугунов Л.Л., Убугунова В.И., Аюшина Т.А., Ткачук Т.Е. Динамические и статические свойства приозерных почв хлоридного засоления в аридные и гумидные климатические фазы // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с

международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 707–711. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Жуйкова Т.В., Гордеева В.А., Мелинг Э.В., Безель В.С., Голоушкина Е.В. Изменение фитомассы травяных сообществ в ходе восстановительной сукцессии на агроземах и техноземах // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 762–766. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Занина О.Г. Криогенное преобразование биогенного кремнезёма в модельных экспериментах // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 821–825. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Захарова Е.Г., Каллас Е.В. Неоднородность характеристик гумусовых профилей почв на территории северо-восточной части Приобского плато // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 89–93. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Исмаилов Т.А., Жакеев Б.М. Почвы Жалал-Абадской области Кыргызской Республики // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 102–108. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Капелькина Л.П. Особенности нормирования загрязняющих веществ в почвах // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 632–635. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Капустянчик С.Ю. Влияние посадок мискантуса на свойства серой лесной супесчаной почвы // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 285–291. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Киселева Н.Д. Морфоаналитическая характеристика гипсоносных почв Южного Приангарья // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 108–112. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

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.

Классификация и диагностика почв СССР / Составители: В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розова, В.А. Носин, Т.А. Фриев. Москва: Колос, 1977. 224 с.

Колбин С.А., Ткаченко Г.И., Самохвалова Л.М. Эффективность разных видов азотных удобрений на чернозёмах Новосибирского Приобья // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 291–296. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Копысов С.Г., Елисеев А.О. Гидролого-климатически обусловленная продуктивность экосистем юго-востока Западной Сибири // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 767–769. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Коронатова Н.Г. Межгодовая вариабельность роста и продуктивности сфагновых мхов Бакчарского болота // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 469–771. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Вишнякова Е.К. Продукционно-деструкционные процессы в рямах юга Западной Сибири // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 771–774. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Котов С.Д., Соломонова М.Ю., Сперанская Н.Ю. Изменчивость морфометрических характеристик фитолитов *Dactylis glomerata* L. в различных климатических условиях // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 825–828. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Кравцов Ю.В. Многолетняя динамика уровня грунтовых вод в почвах Ишимской степи // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 454–458. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Кречетов П.П., Шарапова А.В., Касимова Д.А., Черницова О.В. Рекультивированные отвалы как депонирующая среда актуального и отложенного углеродного следа // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 543–548. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Кудреватых И.Ю., Калинин П.И., Алексеев А.О. Продуктивность и химический состав растений как фактор изменения геохимических свойств степных экосистем при аридизации // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 775–778. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Кудряшова С.Я., Чумбаев А.С. Основные итоги фундаментальных и прикладных почвенно-физических исследований Западной Сибири и юго-восточного Алтая // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 458–462. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Кудряшова С.Я., Чумбаев А.С., Соловьев С.В., Миллер Г.Ф., Безбородова А.Н., Мамаш Е.А., Пестунов И.А. Исследование температурных полей орошаемых и песторошаемых почв Чуйской котловины Республики Алтай на основе временных рядов наземного и спутникового температурного мониторинга // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 462–467. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Куклина С.Л., Воробьева Г.А., Кокорин Н.А. Следы криогенных процессов в почвах и отложениях ОАН «Стоянка «Мальта-Мост-3» (Южное Прибайкалье) // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 125–127. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Лада Н.Ю. Индикаторные формы фитолитов злаков в почвах Кулунды // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 828–831. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Лесовая С.Н. Почвы на плотных силикатных породах холодного сектора Евразии // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 49–51. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Лигаева Н.А., Пономарева Т.В. Почвенный покров криолитозоны Красноярского края: состояние и перспективы исследований // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 128–132. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Ляпина Е.Е., Перегудина Е.В. Токсичные элементы в поверхностной составляющей почв Южной Сибири // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 643–647. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Мартынова Н.А. Биоразнообразие и биологическая продуктивность почв естественных фосфоритоносных ландшафтов высотных поясов Прихубсугулья (Монголии) Байкальской рифтовой зоны и их эколого-функциональные особенности // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 779–783. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Митракова Н.В., Хайрулина Е.А., Перевощикова А.А. Свойства и классификация техногенных почв на территории Кизеловского угольного бассейна // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 147–150. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Михеева И.В. Системно-информационные закономерности основных компонентов почвенного покрова юга Западной Сибири // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 150–154. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Некрасова О.А., Бетехтина А.А., Малахеева А.В., Черепанов С.А., Валдайских В.В. Оценка влияния биоугля на физико-химические характеристики дерново-подзолистой почвы и рост пшеницы // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 328–332. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Нечаева Т.В. Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор) // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 2. e215. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>.

Нечаева Т.В., Наумова Н.Б., Соколов Д.А., Степанова В.А., Коронатова Н.Г., Лойко С.В., Якименко В.Н. Светлой памяти Дениса Александровича Гаврилова – коллеги и друга – посвящается // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 3. e158. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v4i3.158>.

Никифоров А.Н., Бисирова Э.М., Чернова Н.А. Динамичность почвообразования в пихтовых лесах Томской области с признаками биогенных сукцессий // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 784–787. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Никонова Л.Г., Калашникова Д.А., Головацкая Е.А., Симонова Г.В. Деструкция растений торфообразователей на начальных этапах разложения в условиях ненарушенных и постпирогенных торфяников Западной Сибири // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 790–794. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Огородняя С.А. Методические аспекты физического обеспечения математических моделей движения влаги в почве // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 476–480. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Пахоруков И.В., Еремченко О.З. Формирование солончаковых почв в долинах малых рек в условиях южной тайги // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 155–158. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Петрова Т.А., Некрасова О.А., Учаев А.П. Гумус молодых почв лесных сообществ золоотвалов Среднего Урала // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской

научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 558–561. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Поляк Ю.М., Бакина Л.Г. Оценка биоразнообразия микробсообществ нефтезагрязненных почв на разных этапах их восстановления // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 565–568. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Поляков В.И., Абакумов Е.В. Оценка стабилизации органического вещества криогенных почв дельты реки Лены с помощью ¹³C ЯМР спектроскопии // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 714–716. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Пономарёва Т.В., Пономарёв Е.И. Почвообразование на отвалах в районах карьерной добычи золота в среднетаежной зоне Красноярского края // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 568–570. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Попов В.В., Елизаров Н.В. Геохимические особенности засоления почв северной части Кулундинской равнины // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 158–161. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Припутина И.В., Фролов П.В., Шанин В.Н., Быховец С.С. Моделирование динамики и вариабельности распределения запасов углерода и азота в лесных почвах // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 795–798. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Сайранова П.Ш., Еремченко О.З. Оценка устойчивости псаммоземов природно-рекреационной зоны г. Перми к загрязнению тяжелыми металлами // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 653–656. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Самофалова И.А. Почвенное разнообразие тундровых и гольцовых ландшафтов на Среднем Урале // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 165–169. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Сапрыкин О.И., Соколова Н.А. Изменение свойств текстурно-дифференцированных почв в связи с вовлечением в пашню // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 170–175. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Сидоренко М.Л., Клыков А.Г. Роль бактериальных препаратов в повышении почвенного плодородия и урожайности зерновых культур // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 366–368. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Сидоренко М.Л., Тимофеева Я.О., Мартыненко Е.С. Распределение культивируемых аэробных Fe- и Mn-окисляющих бактерий в Fe-Mn ортштейнах сформированных в зоне с минимальной техногенной нагрузкой // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 660–662. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Синюткина А.А., Гашкова Л.П. Пространственная неоднородность влажности торфа осушенных и выгоревших верховых болот в пределах подзоны южной тайги Западной Сибири // Почвы и окружающая

среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 482–485. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Сиромля Т.И. К вопросу о биогеохимических коэффициентах // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 673–675. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Скотарева А.Е., Соколов Д.А. Специфика сукцессии фитоценозов на отвалах плотных осадочных пород (на примере Горловского антрацитового месторождения) // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 578–583. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Смоленцева Е.Н., Сапрыкин О.И. Отражение климатических ритмов голоцена в почвах озёрных котловин степного биомы Западной Сибири // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 721–725. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Собакин П.И., Чевычелов А.П., Горохов А.Н. Радиометрическое картирование почвенного покрова в условиях техногенного загрязнения // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 675–677. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Соболев Н.С., Герасимова М.И. Сухоторфяно-литозёмы островных баров Тауйской губы // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 180–183. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Соколов Д.А., Андроханов В.А. Эволюция представлений о почвах техногенных ландшафтов в работах сотрудников лаборатории рекультивации почв ИПА СО РАН // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Соколова Н.А. Почвенному музею ИПА СО РАН – 20 лет! // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 3. e123. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.123>.

Соломонова М.Ю., Сперанская Н.Ю., Силантьева М.М. Ценотическая специфичность морфотипа фитолитов Srenate в поверхностных почвах фитоценозов северного и западного Алтая // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 831–833. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Сорокин И.Б. Проблемы известкования кислых почв на территории Томской области // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 373–376. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Сорокина О.А. Трансформация плодородия постагрогенных почв залежей при различном использовании // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 377–381. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Сутурин А.Н. Создание комплементарных искусственных почво-грунтов для рекультивации антропогенно-нарушенных территорий // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 583–587. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Сысо А.И. Биогеохимические критерии и нормативы оценки качества почв // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 14–18. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Тимофеева Я.О. Тяжелые металлы и литофильные элементы в железо-марганцевых ортштейнах почв юга Дальнего Востока // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 682–687. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Титлянова А.А. Развитие теории биотического круговорота // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 10–13. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Тюрюков А.Г. Особенности проведения биологической рекультивации на севере Ямало-Ненецкого автономного округа // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 587–590. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Убугунов Л.Л. Почвы и почвенный покров внутренней Азии: анализ результатов и перспективы исследований // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 44–49. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Учаев А.П., Некрасова О.А., Дергачева М.И., Бажина Н.Л. Гумусовый профиль среднеплейстоценовых отложений на Южном Урале // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 732–735. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Федченко Л.А., Пивоварова Е.Г. Обоснование уровня экологического состояния агрогенных почв умеренно засушливой степи Алтайского края на основе региональных эталонов // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 202–206. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Хронюк О.Е., Бауэр Т.В., Минкина Т.М., Болдырева В.Э. Синергетический эффект совместного пиролиза осадков сточных вод и лигнинсодержащей биомассы на свойства биочара и его адсорбционная способность по отношению к тяжелым металлам // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 509–603. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Чепурнова М.А., Кадулин М.С. Влияние почвенных свойств на функциональное разнообразие растительных сообществ субальпийского пояса // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 802–805. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Чурагулова З.С. О деградации лесных почв Республики Башкортостан // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 489–493. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Шарков И.Н. Воспроизводство гумуса в сибирских черноземах при интенсификации технологии выращивания пшеницы // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 397–401. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Шейнкман В.С., Седов С.Н. Палеопочвы севера Западной Сибири как информативная летопись природной среды в квартере и компонент современности // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию

Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 746–751. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Шпедт А.А., Злотникова В.В. Методика оценки природно-ресурсного потенциала деградированных почв в условиях мезорельефа // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 409–413. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Щемелева Г.В., Соколов Д.А., Дьяконов Д.А. Оценка состояния систем органических веществ почв отвалов антрацитовых месторождений // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 604–608. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Якименко В.Н. История образования ИПА СО АН СССР (СО РАН) и развития агрохимических исследований в институте // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 27–36. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Якутин М.В., Андриевский В.С. Трансформация почвенного зоо-микробияльного комплекса в процессе эволюции аласных почв Центральной Якутии // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 427–431. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

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 No. 106. FAO, Rome, 2014, update 2015. 181 p.

Поступила в редакцию 15.11.2023

принята 28.12.2023

опубликована 30.12.2023

Сведения об авторах:

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

Гопп Наталья Владимировна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); gopp@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 AND ENVIRONMENT” DEDICATED TO
THE 55TH ANNIVERSARY OF THE INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND
AGROCHEMISTRY OF THE SIBERIAN BRANCH OF THE RUSSIAN ACADEMY OF
SCIENCES (NOVOSIBIRSK, 2–6 OCTOBER, 2023)**

© 2023 V. A. Androkhonov , T. V. Nechaeva , N. V. Gopp 

*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva 8/2,
Novosibirsk, 630099, Russia. E-mail: androhanov@issa-siberia.ru*

The Conference “Soils and Environment”, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry (ISSA) of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences took place in Novosibirsk on October 2-6, 2023. It was attended by nearly 140 participants from 20 region of Russia, as well as from Kyrgyz Republic. The article briefly describes the presentations, done according the main conference topics such as soil geography, genesis, evolution, classification and mapping; theoretical and applied aspects of soil fertility and productivity of agrocenoses; soil physical properties and regimes; reclamation and restoration of disturbed soils; biogeochemical aspects of soil monitoring and assessment; soils and soil cover under changing climate conditions; spatial and temporal aspects of biological productivity of natural and disturbed ecosystems; and microbiomorphic complexes in modern and paleo soils. School and institute students from various regions of the country also made their presentation during the meeting of a young scientists’ section “Soils in biosphere: connecting the generations”.

Many current problems of the development of soil, agrochemistry and ecology research were discussed during the conference. Much attention was devoted to the use of research results to increase the productivity of agricultural land. Special focus was made on the urgent need to improve education and training of the specialists in soil science and agrochemistry. The conference proceedings [“Soils and Environment” \(2023\)](#) are available for interested readers.

After Plenary and Section sessions the Conference participants attended the Central Siberian Geological Museum, Soil Museum and Library in ISSA. Many participants took part in the field soil excursion “Chernozems and their agrogenic analogues”. The Conference provided an excellent forum for specialists in different fields to exchange opinions and views, get acquainted with various research approaches in soil science, agrochemistry and ecology in order to apply those approaches to soil use and preservation of soil resources.

Key words: soil geography and genesis; soil fertility; soil properties and regimes; agrocenosis; reclamation; monitoring; ecology; ecosystem; soil cover; modeling; soil museum.

How to cite: Androkhonov V.A., Nechaeva T.V., Gopp N.V. Russian scientific conference “Soils and Environment” dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, 2–6 October, 2023) // *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 1(1). e.249 DOI: [10.31251/pos.v6i4.249](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.249). (in Russian with English abstract).

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are very thankful to the chairpersons and secretaries of the Conference sessions for their help in arranging the talks and discussions and collecting photographs. The authors also thank the editors of the journals “Soils and Environment” Dr. Yakimenko V.N. and Naumova N.B. for their helpful comments during preparation of the manuscript for publication and translation into English.

FUNDING

The Conference was organized by the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences with financial support from the Ministry of Soil Science and Higher Education of the Russian Federation, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences and the Novosibirsk Branch of V.V. Dokuchaev Soil Science Society.

REFERENCES

Aksenova Yu.V. State of fallow lands and feasibility of their reintroduction into agricultural production. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 219–223. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Alekseitseva V.V. Specificity of palynological studies of cave archaeological sites. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 806–809. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Alemasova V.A., Akhmetova A.D., Dvurechensky V.G. Soil-ecological status of the Zaeltsovsky forest in the city of Novosibirsk. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 494–496. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Ayushina T.A., Ubugunova V.I., Zhambalova A.D. Salted soils of the Lower Orongoi down: morphology, properties, geochemical features. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 58–61. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Badmaev N.B., Gyninova A.B. General parameters of ecological niches of "special" soils on the southern border of the permafrost zone of Transbaikalye. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 62–65. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Bazhina N.L., Dergacheva M.I. Correlative relationships of the main parameters of the fluorescent properties of humic acids tundra soils of Tuva with climatic conditions. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 700–704. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Bakina L.G., Chugunova M.V., Gerasimov A.O., Kapelkina L.P. Initial processes of soil formation in sludge pits of Western Siberia. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 499–501. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Baranovskaya N.V., Panichev A.M., Seryodkin I.V., Ageeva E.V., Makarevich R.A., Zhorniyak L.V., Strepetov D.A. The unique rare-earth specificity of the «soil-plant-animal» system on the territory of Primorsky krai. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 609–613. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Bardashov D.R., Smirnova M.A., Lozbenev N.I., Fil P.P. Hydromorphic indicators for semi-hydromorphic soils in the western complexes of Tambov forest-steppe. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 442–445. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Bauer T.V., Polyakov V.A., Rud P.A., Butova V.V., Gritsai M.A., Minkina T.M. Development of a nanocomposite based on biochar and MIL-100(Fe) for remediation of soils polluted with copper. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 501–504. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Belanov I.P., Stepanova M.V. Petroleum products in soils of long-term storage of snow masses. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 505–508. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Bespalov A.N. Features of restoration of entomocenoses (on the example of ground beetles (Coleoptera, Carabidae)) on coal dumps in the foreststeppe zone OF Western Siberia. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 509–511. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Boev V.A., Nagibin M.E., Gorskikh A.V. Mobile forms of copper and cadmium in the soils of the ecopark "Zatyumensky" of the city. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 613–617. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Budazhapov L.V. Kinetics of in soil nitrogen transformation processes in cryoarid soils of Asian Russia: scale of occurrence, microbial pool activity and forecast scenarios. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 41–44. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Bukin A.V. Content and profile distribution of cadmium in floodplain soils of the forest-steppe zone of the Trans-Urals. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 618–622. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Vishnyakova O.V., Ubugunov V.L., Lavrentieva I.N., Boloneva L.N., Ubugunov L.L. Changes in productivity of steppe ecosystems in Western Transbaikal region under anthropogenic impact. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 755–757. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Gamzikov G.P. Fragments of the history of agrochemicals research at the ISSA SB RAS. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 36–41. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Glyaznetsova Yu.S., Zueva I.N., Chalaya O.N., Lifshits S.Kh., Lvova O.S. Self-healing of permafrost soils disturbed as a result of an accidental oil spill. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 515–519. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Golyeva A.A. Possibilities and limitations of identifying ancient agrocoenosis on the basis of phytolith analysis. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 809–814. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Golyeva A.A., Sedov S.N., Solleiro E., Díaz J. Phytolith indicators for the ancient anthropogenic transformation of the dark tropical soils in Mexico. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 814–819. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Gopp N.V. Soil organic carbon stocks: overview of web services, databases, mapping methods. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023a. P. 71–74. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Gopp N.V. Digital mapping of the agroecological potential of the western part Kuznetsk-Salair geomorphological province. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023b. P. 66–70. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Gopp N.V. Digital mapping of bulk density of soils of the western part Kuznetsk-Salair geomorphological province using pedotransfer function. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023b. P. 74–79. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Gurkova E.A., Kontoboytseva A.A. Podburs of Tuva: forming conditions, classification and morphology. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 79–85. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Dvurechenskiy V.G. Soil recultivation from the ecological point of view of the concept of sustainable development. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 523–527. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Dergacheva M.I. Humus components of soils in a changing climate. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 705–706. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Druzhinina O.A., Golyeva A.A. Microbiomorph analysis in studying pioneer landscapes of the late glacial of the south-eastern Baltics. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 819–821. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Dyukarev A.G., Klimova N.V., Kopysov S.G., Nikiforov A.N., Chernova N.A. Successional dynamics of soils and ground cover in dark coniferous forests in the south of the taiga zone of Western Siberia. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 757–761. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Ermolov Yu.V. The intake of copper and nickel to the soil surface of the Norilsk valley in the epicenter of aerosol pollution by metallurgical emissions. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 629–631. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Zhambalova A.D., Ubugunov L.L., Ubugunova V.I., Ayushina T.A., Tkachuk T.E. Dynamic and stable parameters of lacustrine soils of chloride salinity in arid and humid climatic phases. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 707–711. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Zhuikova T.V., Gordeeva V.A., Meling E.V., Bezel V.S., Goloushkina E.V. Changes in the phytomass of herbal communities during restoration succession on agrosoms and technosoms. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 762–766. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Zanina O.G. Cryogenic transformation of biogenic silica in the model experiments. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 821–825. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Zakharova E.G., Kallas E.V. Heterogeneity of characteristics of soil humus profiles in the northeastern part of the Priobskoye plateau. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 89–93. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Ismailov T.A., Zhakeev B.M. Soils of Jalalabad province of the Kyrgyz Republic. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 102–108. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Kapelkina L.P. Features of the regulation of pollutants in soils. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 632–635. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Kapustyanichik S.Yu. Influence of miscanthus plantings on the properties of gray forest sandy soil. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 285–291. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Kiseleva N.D. Morphogenetic characteristics of gypsum-bearing soils of the Southern Angara region. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 108–112. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Classification and diagnostics of soils of Russian / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian).

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 Publ., 1977. 224 p. (in Russian).

Kolbin S.A., Tkachenko G.I., Samokhvalova L.M. Efficiency of different types of nitrogen fertilizers on the chernozems of the Novosibirsk Priobi. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 291–296. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Kopysov S.G., Eliseev A.O. Hydrologically and climatically determined productivity of ecosystems in the south-east of Western Siberia. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 767–769. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Koronatova N.G. Inter-annual variability of sphagnum growth and production in the Bakchar mire. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 469–771. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Kosykh N.P., Mironysheva-Tokareva N.P., Vishnyakova E.K. Production and destruction processes in the ryams of the south OF Western Siberia. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 771–774. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Kotov S.D., Solomonova M.Yu., Speranskaya N.Yu. Variability of morphometric characteristics of *Dactylis glomerata* L. phytolites under different climatic conditions. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 825–828. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Kravtsov Yu.V. Long-term dynamics of the groundwater level in the soils of the Ishim steppe. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 454–458. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Krechetov P.P., Sharapova A.V., Kasimova D.A., Chernitsova O.V. Recultivated dumps as the depositing medium of the actual and deposited carbon footprint. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 543–548. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Kudrevatykh I.Y., Kalinin P.I., Alekseev A.O. Productivity and chemical composition of plants as a factor of changes in the geochemical properties of steppe ecosystems during aridization. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 775–778. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Kudryashva S.Ya., Chumbaev A.S. Main results of fundamental and applied soil-physical studies IN Western Siberia and south-eastern Altai. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 458–462. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Kudryashva S.Ya., Chumbaev A.S., Solovyov S.V., Miller G.F., Bezborodova A.N., Mamash E.A., Pestunov I.A. Study of the temperature fields of irrigated and irrigated soils in the Chui bellin of the republic of Altai on the basis of the time series of ground and satellite monitoring. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 462–467. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Kuklina S.L., Vorobieva G.A., Kokorin N.A. Vestiges of cryogenic processes in soils and sediments object of archaeological heritage «Stoyanka «MALTA-MOST-3» (Southern Baikalie). In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 125–127. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Lada N.Y. Indicator forms of phytoliths cereals of Kulunda. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 828–831. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Lessovaia S.N. Soils on the hard silicate rocks in the cold regions of Eurasia. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 49–51. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Ligaeva N.F., Ponomareva T.V. Soil cover of the cryolithozone of the Krasnoyarsk region: status and prospects of research. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 128–132. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Lyapina E.E., Peregudina E.V. Toxic elements in the surface component of the soils of Southern Siberia. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 643–647. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Martynova N.A. Biodiversity and biological productivity of soils of natural phosphorites' landscapes of high-altitude zones of lake Khovsgol' depression (Mongolia) of the Baikal rift zone and their ecological and functional features. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 779–783. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Mitrakova N.V., Khayrulina E.A., Perevoshchikova A.A. Properties and classification of technogenic soils in the territory of the Kizel coal basin. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 147–150. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Mikheeva I.V. System and information patterns of the main components of the soil cover of the south of Western Siberia. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 150–154. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Nekrasova O.A., Betekhtin A.A., Malaheeva A.V., Cherepanov S.A., Valdaiskikh V.V. Evaluation of the biocha influence of physico-chemical characteristics of sod-podzolic soil and wheat growth. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 328–332. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Nechaeva T.V. Abandoned lands in Russia: distribution, agroecological status and perspective use (a review). The Journal of Soils and Environment. 2023. Vol. 6. No. 2. e215. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>. (in Russian).

Nechaeva T.V., Naumova N.B., Sokolov D.A., Stepanova V.A., Koronatova N.G., Loiko S.V., Yakimenko V.N. In memoriam of Denis Alexandrovich Gavrilov, a friend and a colleague. The Journal of Soils and Environment. 2021. Vol. 4. No. 3. e158. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v4i3.158>. (in Russian).

Nikiforov A.N., Bisirova E.M., Chernova N.A. Soil formation dynamics in fir forests of the Tomsk region with signs of biogenic successions. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 784–787. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Nikonova L.G., Kalashnikova D.A., Golovatskaya E.A., Simonova G.V. Degradation of peat-forming plants at the first stages of decomposition in natural and post-pyrogenic peatlands of Western Siberia. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 790–794. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Ogorodnyaya S.A. Methodological aspects of physical support of mathematical models of soil moisture movement. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 476–480. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Pakhorukov I.V., Eremchenko O.Z. Formation of saline soils in the valleys of small rivers in the conditions of the southern taiga. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 155–158. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Petrova T.A., Nekrasova O.A., Uchaev A.P. Humus of forest community young soils of the Middle Ural ash dumps. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 558–561. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Polyak Yu.M., Bakina L.G. Assessment of biodiversity of microbocenoses of oil-contaminated soils at different stages of their restoration. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 565–568. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Polyakov V.I., Abakumov E.V. Assessment of organic matter stabilization in cryogenic soils of the Lena river delta using ¹³C NMR-spectroscopy. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 714–716. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Ponomareva T.V., Ponomarev E.I. Soil formation on dumps in areas of quarry gold mining in the middle taiga zone of the Krasnoyarsk region. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 568–570. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Popov V.V., Elizarov N.V. Geochemical features of soil salination in the northern part of the Kulunda plain. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 158–161. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Priputina I.V., Shanin V.N., Frolov P.V., Bykhovets S.S. Modeling the dynamics and variability of the carbon and nitrogen pools distribution in forest soils. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 795–798. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Sairanova P.Sh., Eremchenko O.Z. Assessment of the sustainability of psammozems in the natural and recreational zone to pollution by heavy metals in Perm. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of

scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 653–656. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Samofalova I.A. Soil diversity of tundra and goltz landscape in the Middle Urals. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 165–169. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Saprykin O.I., Sokolova N.A. Changes in the properties of texturally differentiated soils due to involvement in arable land. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 170–175. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Sidorenko M.L., Klykov A.G. The role of bacterial preparations in increasing soil fertility and yield of grain crops. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 366–368. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Sidorenko M.L., Timofeeva Ya.O., Martynenko E.S. Distribution of cultivated aerobic Fe- and Mn-oxidizing bacteria in Fe-Mn nodules formed in a zone with minimum technogenic impact. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 660–662. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Sinyutkina A.A., Gashkova L.P. Microhabitats differentiation of peat water content of drained and burned out raised bogs within southern taiga of Western Siberia. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 482–485. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Siromlya T.I. On the question of biogeochemical coefficients. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 673–675. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Skotareva A.E., Sokolov D.A. The specificity of succession of phytocenoses on deposit of dense sedimentary rocks (on the example of the Gorlovsky anthracite deposit). In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 578–583. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Smolentseva E.N., Saprikin O.I. Reflection of holocene climatic rhythms in the soils of lake basins in the steppe biome of Western Siberia. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 721–725. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Sobakin P.I., Chevychelov A.P., Gorokhov A.N. Radiometric mapping of soil cover in conditions of technogenic pollution. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 675–677. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Sobolev N.S., Gerasimova M.I. Dry-peat lithozems of island bars in the Tauy bay. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 180–183. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Sokolov D.A., Androkhonov V.A. Evolution of ideas about the soils of technogenic landscapes in the works of employees of the laboratory of soil reclamation ISSA SB RAS. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation,

dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Sokolova N.A. The Soil Museum of the ISSA SB RAS is 20 years old! The Journal of Soils and Environment. 2020. 3(3). e123. DOI: <https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.123>. (in Russian).

Solomonova M.Yu., Speranskaya N.Yu., Silantieva M.M. Cenotic specificity of the *Crenate* phytolite morphotype in surface soils of phytocenoses in northern and western Altai. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 831–833. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Sorokin I.B. Problems of liming acidic soils in the Tomsk region. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 373–376. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Sorokina O.A. Transformation of the fertility of postagrogenic soils in fallowers under different use. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 377–381. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Suturin A.N. Creation of complementary artificial soils for recultivation of anthropogenically disturbed territories. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 583–587. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Syso A.I. Biogeochemical criteria and norms to assess soil quality In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 14–18. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Timofeeva Ya.O. Trace elements and lithophile elements in iron-manganese nodules of soil from Russian Far East South. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 682–687. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Titlyanova A.A. Development of biotic turnover theory. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 10–13. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Tjurjukov A.G. Features of biological recultivation in the north of the Yamalonenets autonomous okrug. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 587–590. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Ubugunov L.L. Soils and soil cover in inter asia: analysis of the results and research prospects. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 44–49. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Uchaev A.P., Nekrasova O.A., Dergacheva M.I., Bazhina N.L. Humus profile of middle pleistocene sediments in THE Southern Urals. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 732–735. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Fedchenko L.A., Pivovarova E.G. Substantiation of the ecological condition level of agrogenic soils of the moderately arid steppe of the Altai kray on the basis of regional etalons. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 202–206. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Khronyuk O.E., Bauer T.V., Minkina T.M., Boldyreva V.E. Synergetic effect of joint pyrolysis of sewage sludge and lignincontaining biomass on the properties of biochar and its adsorption capacity with respect to heavy metals. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 509–603. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Chepurnova M.A., Kadulin M.S. Influence of soil properties on the functional diversity of plant communities in the subalpine belt. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 802–805. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Churagulova Z.S. About soil degradation of forest cenosis in the republic of Bashkortostan. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 489–493. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Sharkov I.N. Humus reproduction in siberian chernozems at intensification of wheat growing technology. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 397–401. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Sheinkman V.S., Sedov S.N. Paleosols in the north of west siberia as a informative record of the natural environment and component of the present. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 746–751. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Shpedt A.A., Zlotnikova V.V. Methodology for assessing the natural resource potential of degraded soils under mesorelief conditions. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 409–413. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Shchemeleva G.V., Sokolov D.A., Diakonov D.A. Specificity of organic matter systems of soils of anthracite deposits dumps. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 604–608. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Yakimenko V.N. The history of formation of the ISSA SB AN USSR (SB RAS) and the development of agrochemical research at the institute. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 27–36. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

Yakutin M.V., Andrievskii V.S. Transformation of the soil zoo-microbial complex in the process of evolution of the alas soils of Central Yakutia. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 427–431. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).

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 No. 106. FAO, Rome, 2014, update 2015. 181 p.

*Received 15 November 2023
Accepted 28 December 2023
Published 30 December 2023*

About the authors:

Androkhanov Vladimir Alekseevich – Doctor of Biological Sciences, Director of the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); androkhanov@issa-siberia.ru

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

Gopp Natalya Vladimirovna – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Geography and Soil Genesis in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); gopp@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/)