



Почвы и окружающая среда

Научный журнал

Том 8. Выпуск 2

2025

<https://soils-journal.ru>

The Journal of Soils and Environment

Scientific Journal

Volume 8. Issue 2

2025



Научный журнал «Почвы и окружающая среда» создан с целью распространения знаний о взаимоотношении почв и их окружения во всех проявлениях – от биотического до социокультурного и производственно-экономического. В задачи журнала входит обсуждение актуальных проблем почвоведения, агрохимии и экологии почв, их концептуальных прорывов и прикладных разработок, которые могут быть использованы для охраны окружающей среды, сельскохозяйственного производства и в других отраслях экономики.

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, заведующий 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 биолого-почвенного факультета 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, главный научный сотрудник отдела новых технологий и алгоритмов развития Арктики ГБУ Академия наук Республики Саха (Якутия, Россия).

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

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

Кулижский Сергей Павлинович – доктор биологических наук, профессор, проректор по социальным вопросам, заведующий кафедрой почвоведения и экологии почв Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства 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)

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, ведущий научный сотрудник лаборатории биогеохимии почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

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

Сысо Александр Иванович – доктор биологических наук, заведующий лабораторией биогеохимии почв 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, главный научный сотрудник отдела почвенных исследований Института биологических проблем криолитозоны – обособленного подразделения ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН» (Якутск, Россия)

Шарков Иван Николаевич – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Шпедт Александр Артурович – доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, директор ФГБНУ ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН» (Красноярск, Россия)

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

Заведующая редакцией:

Наумова Наталья Борисовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Ответственный секретарь:

Нечаева Таисия Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Научный редактор:

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

Выпускающий редактор:

Гопп Наталья Владимировна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Журнал основан	в 2018 году
Варианты названия	Почвы и окружающая среда (Počvy i okružaušaa sreda) / The Journal of Soils and Environment
Периодичность выпуска	4 номера в год
Вид и версия издания	Журнал, электронное сетевое
Сайт	https://www.soils-journal.ru
E-mail	redactor@soils-journal.ru
Регистрационный номер в Роскомнадзоре	ЭЛ № ФС 77-72325 – сетевое издание (Свидетельство от 14 февраля 2018 г.)
Номер ISSN	2618-6802 (online) (Свидетельство от 02 марта 2018 г.)
DOI-prefix	10.31251
Учредитель и издатель	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИПА СО РАН)
Адрес учредителя и издателя	630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 8/2, тел.: +7(383) 363-90-35

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и в Перечень изданий ВАК (с 15.06.2023 г.) по двум научным специальностям: 1.5.15. Экология (биологические науки), 1.5.19. Почвоведение (биологические науки).

© 2025 ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Scientific journal “**The Journal of Soils and Environment**” is devoted to distributing knowledge about the multifaceted relationships between soils and their environment, covering diverse aspects ranging from biotic to socio-cultural and economic ones. The journal invites to discuss urgent issues of soil science, agricultural chemistry and soil ecology, their conceptual breakthroughs and applied developments which can be used for environmental protection, agricultural production and in other sectors of economy.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief:

Vladimir A. Androkhonov – Doctor of Biological Sciences, Director, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISSA SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation)

Editors:

Maria I. Dergacheva – Doctor of Biological Sciences, Professor, Principal Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISSA SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation)

Vladimir N. Yakimenko – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISSA SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation)

Members of the Editorial Board:

Evgeny V. Abakumov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Saint Petersburg State University (SPbU, Saint Petersburg, Russian Federation)

Vasily S. Boyko – Doctor of Agricultural Sciences, Assistant Professor, Deputy Director for Research, Head Researcher, Omsk Agrarian Scientific Center (Omsk ASC, Omsk, Russian Federation)

Lubsan-Zondy V. Budazhapov – Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Leading Researcher of the Department of New Technologies and Algorithms for the Development of the Arctic, Academy of Sciences Republic of Sakha (Yakutia, Russian Federation)

Gennady P. Gamzikov – Doctor of Biological Sciences, member of the Russian Academy of Sciences, Professor of Agrochemistry, Novosibirsk State Agrarian University (NSAU, Novosibirsk, Russian Federation)

Alexandra A. Golyeva – Doctor of Geographical Sciences, Head Researcher, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (IG RAS, Moscow, Russian Federation)

Sergey P. Kulizhsky – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Soil Science and Soil Ecology of the National Research Tomsk State University, Vice-Rector for Social Affairs, (TSU, Tomsk, Russian Federation)

Sergey I. Kolesnikov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology and Nature Management, Southern Federal University (SFU, Rostov-on-Don, Russian Federation)

Alexander V. Puzanov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Director, Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IWEPS SB RAS, Barnaul, Russian Federation)

Sergey N. Sedov – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, National Autonomous University of Mexico Institute of Geology (UNAM, Mexico), Leading Researcher of the Federal Research Center "Tyumen Scientific Center of SB RAS" (Tyumen, Russian Federation)

Tatiana I. Siromlya – Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISSA SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation)

Denis A. Sokolov – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISSA SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation)

Alexander I. Syso – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISSA SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation)

Leonid L. Ubugunov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Director, Institute of General and Experimental Biology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IGEB SB RAS, Ulan-Ude, Russian Federation)

Alexander P. Chevychelov – Doctor of Biological Sciences, Head Researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IBPC SB RAS, Yakutsk, Russian Federation)

Ivan N. Sharkov – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISSA SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation)

Alexander A. Shpedt – Doctor of Agricultural Sciences, Assistant Professor, Director, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences» (Krasnoyarsk SC SB RAS, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Mikhail V. Yakutin – Doctor of Biological Sciences, Assistant Professor, Leading Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISSA SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation)

Head of the Editorial Board:

Natalia B. Naumova – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISSA SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation)

Executive Secretary:

Taisia V. Nechaeva – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISSA SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation)

Scientific Editor:

Vladimir N. Yakimenko – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISSA SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation)

Commissioning Editor:

Natalya V. Gopp – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISSA SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation)

The journal was launched	in 2018
Variants of the name	Почвы и окружающая среда (Počvy i okružâûšââ sreda) / The Journal of Soils and Environment
Publication frequency	Four issues per year
Website	https://www.soils-journal.ru
E-mail	redactor@soils-journal.ru
ISSN	2618-6802 (online)
DOI-prefix	10.31251
Founder and Publisher	Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Science (ISSA SB RAS)
Postal address	8/2 Akademik Lavrentiev avenue, Novosibirsk 630090, Russian Federation. Phon.: +7(383) 363-90-35

© 2025 Institute of Soil Science and Agrochemistry of SB RAS

Содержание

Генезис, экология и география почв

- Самофалова И.А.** Распространение альфегумусовых почв в пределах водораздельного пространства низких гор на Среднем Урале (на примере хребта Басеги) e294

Плодородие почв и минеральное питание растений

- Самохвалова О.С.** Изменение урожайности и химического состава люцерны посевной под воздействием удобрений e269
- Колбин С.А., Ткаченко Г.И., Самохвалова Л. М.** Эффективность разных форм азотных удобрений на черноземе обыкновенном в южной лесостепи Барабы e303

Почвенно-физические процессы, свойства и режимы

- Кравцов Ю.В., Рыжих А.П.** Экспериментальное изучение термоградиентной миграции влаги в грунте с использованием химического маркера e315

Поведение почв и экосистем в пространстве и во времени

- Приходько В.Е., Савельев Н.С., Котов В.Г.** Почвенно-геохимическое изучение черноземов и культурных слоев (возрастом от палеолита до средневековья) поселений горнорудного Урала e290

Обзоры, дискуссии, памятные даты

- Якименко В.Н., Нечаева Т.В.** Развитие и результаты агрохимических исследований в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН e295

Contents

Soil Genesis, Ecology and Geography

- Samofalova I.A.** Distribution of Al-Fe-humus soils within the low mountains watershed area in the Middle Urals (using the Basegi ridge as an example) e294

Soil Fertility and Mineral Nutrition of Plants

- Samokhvalova O.S.** Aalfalfa yield and chemical composition under different fertilization e269
- Kolbin S.A., Tkachenko G.I., Samokhvalova L.M.** Efficiency of nitrogen fertilizer forms on the ordinary chernozem in the southern forest-steppe of Baraba e303

Soil Physical Processes, Properties and Regimes

- Kravtsov Y.V., Ryzhikh A.P.** Experimental study of thermogradient moisture migration in soil using a chemical marker e315

Soil and Ecosystem Behaviour in Time and Space

- Prihodko V.E., Savelev N.S., Kotov V.G.** Soil and geochemical study of chernozems and settlement cultural layers (dated from Paleolithic to Medieval ages) in the mining Urals region e290

Reviews, Discussions and Memoria

- Yakimenko V.N., Nechaeva T.V.** Advancement and results of agrochemical research in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences e295



Распространение альфегумусовых почв в пределах водораздельного пространства низких гор на Среднем Урале (на примере хребта Басеги)

© 2025 И. А. Самофалова 

ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова», ул. Петропавловская, 23, г. Пермь, 614990, Россия. E-mail: samofalovairaida@mail.ru

Цель исследования. Изучить закономерности распространения альфегумусовых почв водораздельного пространства низких гор (горной тундры и гольцовых ландшафтов, криволесья) на Среднем Урале (в пределах Пермского края).

Место и время проведения. Исследования проводили в пределах ненарушенной части Среднего Урала – хребта Басеги, который включён в состав «Государственного заповедника «Басеги» и расположен в восточной части Пермского края, на западном склоне Уральской горной страны (координаты: 58°45'–59°00' с.ш., 58°15'–58°38' в.д.) в междуречье рек Усьвы и Вильвы. Территория удалена от промышленных центров. Для характеристики почв использованы данные автора за 2009–2020 гг.

Методы. Объект исследования – альфегумусовые почвы. Использованы сравнительно-географический, профильный, макроморфологический методы исследования и информационно-логический анализ. Диагностику почв проводили по наличию соответствующего диагностического горизонта согласно классификации почв России. Морфологическое описание почв проведено в поле, с корректировкой в камеральных условиях. Почвенные образцы отобраны по генетическим горизонтам, окраску которых определяли по стандартной цветовой шкале. Информационно-логический анализ выполнен в программе ALI, разработанной в Алтайском ГАУ.

Основные результаты. Профили альфегумусовых почв состоят из отчетливо выраженных и хорошо различимых органогенных и минеральных горизонтов. Органогенные горизонты различной мощности (от 3 до 15 см) присутствуют практически во всех типах почв. Определена теснота связи между природой горизонтов (органогенные, минеральные) и их цветом. Визуально отчетливо выделяются диагностические горизонты почв отдела альфегумусовые – ВНН (подбуры) и Е (подзолы), указывающие на основные процессы почвообразования – альфегумусовый и подзолистый. Определены региональные морфолого-генетические особенности почв и закономерности формирования диагностических горизонтов в пространстве: развитие альфегумусового горизонта является специфичным для суровых условий тундры при выположенном рельефе, а в криволесье наиболее благоприятные условия для формирования подзолистого горизонта. Простые профили (моногогенетические) развиваются в характерных высотных ландшафтах – горной тундре и криволесье. Полигенез почв встречается в переходных экотонах тундра-криволесье (еловое мелколесье). Диагностировано семь типов и шесть подтипов почв отдела альфегумусовые.

Заключение. Закономерности распространения альфегумусовых почв в ландшафтах водораздельной части хребта определяются пространственной вариабельностью поверхностных седиментов, рельефом и растительностью. Высота распространения ландшафтов различается на склонах разных экспозиций. Соответственно, изменение состава почвенного покрова водораздельной части низких гор происходит в зависимости и от экспозиции склонов. Установлена тенденция развития подтипов альфегумусовых почв: в более влажных условиях под мощным органогенным напочвенным покровом формируются подтипы иллювиально-гумусовые, а в менее увлажненных условиях – подтипы иллювиально-железистые. Почвенный покров в пределах водораздельного пространства низких гор представлен разными типами почв отдела альфегумусовые, которые рекомендуем отнести к зональным почвам: в горной тундре – подбуры, криволесье – подзолы, переходной зоне тундра-криволесье – дерново-подбуры, дерново-подзолы.

Ключевые слова: альфегумусовые почвы; диагностические горизонты; классификация почв; тундра; криволесье; переходные экотоны; ландшафты; информационно-логический анализ.

Цитирование: Самофалова И.А. Распространение альфегумусовых почв в пределах водораздельного пространства низких гор на Среднем Урале (на примере хребта Басеги) // Почвы и окружающая среда. 2025. Том 8. № 2. e294. DOI: [10.31251/pos.v8i2.294](https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.294)

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях в мировом почвоведении наблюдается интерес к географии, генезису и классификации почв, в связи с новыми международными проектами Глобальной почвенной карты (GlobalSoilmap.net) и Всеобщей классификации почв (Universal soil classification) (Старцев и др., 2017;

Broll, Keplin, 2005; Sanchez et al., 2009). Это требует обновления знаний о почвах и почвенном покрове многих регионов, в том числе малоизученных в почвенном отношении.

Почвенный покров гор достаточно неоднороден, условия почвообразования отличаются большим разнообразием в пределах небольшой территории, в сравнении с равнинными (Владыченский, 1998; Бадмаев и др., 2011; Карпачевский, 2012; Ковалева, 2012; Самофалова, 2017, 2018, 2020а; Старцев и др., 2017; Самофалова и др., 2020). Исследования почвенного покрова горных территорий носят локальный характер, в связи с их труднодоступностью, и нацелены на выявление индивидуальных особенностей почв высотных ландшафтов. Работ, посвященных географическому, генетическому и экологическому обобщению специфики почвообразования в различных условиях гумидных и субгумидных гор (ледниково-перигляциальный сектор мегаструктуры педосферы) (Соколов, 1993) очень мало.

В этой связи, почвы, формирующиеся в условиях тундровой зоны и криволесья, представляют интерес с точки зрения их уникальности, а также почвообразования, которое осложняется пестротой пород, постоянным проявлением и смыва, и накопления мелкозема, обломочного материала, а также вовлечением свежих не выветрелых горных пород в почвообразование, интенсивным проявлением латерального и внутрисочвенного стока (Владыченский, 1998; Карпачевский, 2012; Ковалева, 2012; Самофалова, 2017; Старцев и др., 2017; Самофалова, 2018, 2020а, 2020б, 2021; Samofalova, 2021). Почвы находятся в стадии не только формирования (первичное почвообразование), но и в стадии разрушения (постоянного «омолаживания»).

В тундровой и таёжной зонах, наиболее распространены альфегумусовые почвы (Таргульян, 1971; Воробьева, 2010), представленные разными типами подзолов и подбуров (Полевой определитель..., 2008; Воробьева, 2010). Термин «альфегумусовая» почва введен для почв, входящих в генерацию кислых гумусовых почв и характеризующихся профилем с гумусово-иллювиальным железисто-алюминиевым срединным горизонтом, верхним органомным или гумусово-аккумулятивным горизонтом с гуматно-фульватным типом гумуса и бескарбонатной сиааллитной почвообразующей породой (Глазовская, 1972). Почвы отдела *альфегумусовые* формируются на щебнистых продуктах выветривания метаморфических или магматических пород, которые обеспечивают свободный внутрисочвенный дренаж. Характер мерзлоты влияет на развитие процессов в почвах. «Сухая» мерзлота не содержит льда (или почти не содержит) и характерна для щебнистых грунтов и скелетных почв, в которых содержания скелета (> 1 мм) очень высокое, а содержание мелкозёма (<1 мм) низкое. После заморозания воды значительная часть пор занята воздухом. Почвы при этом хорошо аэрируются и в них не развиваются процессы оглеения и криотурбации. «Сухая» мерзлота влияет на развитие почв отдела *альфегумусовые*.

Для низких гор Среднего Урала альфегумусовые почвы ранее не выделяли.

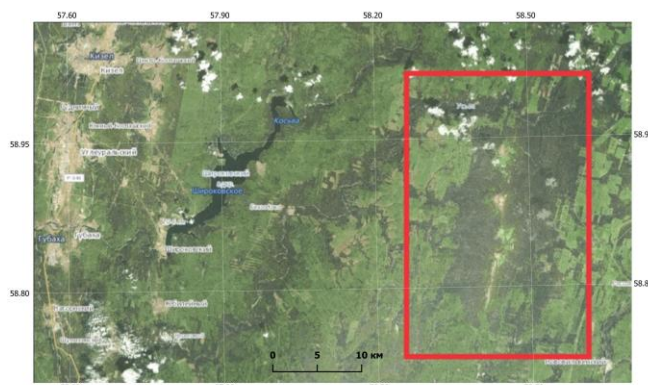
Цель исследования – изучить закономерности распространения альфегумусовых почв водораздельного пространства низких гор (горной тундры и гольцовых ландшафтов, криволесья) на Среднем Урале (в пределах Пермского края).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

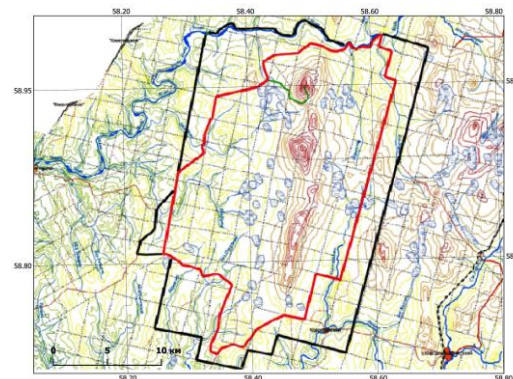
Горные почвы занимают около 12 % площади Пермского края. Средний Урал расположен к югу от 58° с.ш. до 55,5° с.ш. и представляет собой наиболее выровненную часть Уральских гор. Исследования почв проводили в пределах ненарушенной части Среднего Урала – хребта Басеги, который включён в состав «Государственного заповедника «Басеги» и расположен в восточной части Пермского края, на западном склоне Уральской горной страны (рис. 1). Координаты: 58°45'-59°00' с.ш., 58°15'-58°38' в.д. Общая площадь заповедной территории составляет 37957 га, в т.ч. охранный зона – 21345 га, лесная – 36 тыс. га, нелесная (луга, горные тундры и пр.) – около 2 тыс. га. Хребет находится в междуречье рек Усьвы и Вильвы (Климат и гидрология..., 2016). Территория удалена от промышленных центров на 60-80 км.

Для выделения водораздельного пространства определена бассейновая территориальная структура элементов литоводосборных бассейнов (ЛВБ) по методике Т.А. Трифионовой (Трифенова, 1999; 2005). Выделены элементы структуры бассейнов: речные русла, внутренняя долина, склоновые поверхности водосбора, водосборные воронки, водораздельная часть, представленная фандами (нижняя часть водораздела) и соединяющими их дугами (верхняя часть водораздела) с соответствующим им почвенным покровом (Самофалова, 2020а, 2020б, 2023). Исследованиями автора ранее установлено, что местоположение субальпийского пояса соответствует элементу ЛВБ – фандам; местоположение горно-тундрового пояса соответствуют элементу ЛВБ – дуга водораздела

(Самофалова, 2017, 2019, 2020б, 2023; Самофалова и др., 2020). Таким образом, высотные ландшафты горной тундры, криволесья и переходные экотоны между ними (на высоте более 700 м н.у.м.) соотносятся с водораздельным пространством хребта Басеги.



А) космоснимок территории исследования
(<https://mt1.google.com/vt/lyrs=y&x={x}&y={y}&z={z}>)



Б) топооснова и границы заповедника
(www.openstreetmap.org)
полученные при помощи модуля osminfo QGIS)

Рисунок 1. Местоположение хребта Басеги.

Для региона характерен типичный континентальный бореальный климат с резкими колебаниями температур (Климат и гидрография..., 2016). Среднегодовая температура составляет $-1,0^{\circ}$ – $1,4^{\circ}$, средняя температура июля $+13,3^{\circ}$, средняя температура января $-17,9^{\circ}$. Среднегодовое количество осадков составляет около 800 мм, из них примерно 60% приходится на теплый период года. На западных склонах осадков выпадает на 25–130 мм больше, чем на восточных склонах. Снежный покров держится около 180 дней, его средняя глубина на западных склонах составляет 115–120 см и на 30 см меньше на восточных; на вершинах гор – до 50–70 см. Безморозный период длится в среднем 70–80 дней.

Поверхностные отложения хребта Басеги представлены метаморфическими породами: хлоритовыми, хлорито-серицитами и слюдистыми сланцами, кварцитами.

Хребет входит в зону редко-островного, островного и массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород со средними годовыми температурами от $+3$ до -1°C и мощностью мерзлой толщи от 0 до 100 м. Для Среднего Урала характерно прерывистое промерзание до 3–5 м. Криогенные склоновые процессы протекают в деятельном слое за счёт его периодического протаивания и промерзания. При промерзании дисперсных пород на склонах развиваются процессы пучения и вымораживания каменных включений.

В условиях сурового климата основными рельефообразующими факторами являются процессы морозного выветривания и солифлюкции, которые формируют своеобразный «гольцовый» рельеф. На плоских вершинах гольцов и на гольцовых террасах развиты различные формы микрорельефа (курумы – каменные моря или реки с участками мелкозема на склонах различной крутизны, пятнистые и бугристые тундры). Их образование связывает комплекс различных процессов: физическое выветривание коренных пород, выпучивание камней, криогенная дисерпция, подповерхностный смыв, соскальзывание и сползание. В зоне островной мерзлоты массивы современных мерзлых пород (сезонно-мерзлые, кратковременно мерзлые) сохраняются в льдистых торфяных и суглинистых породах, лесных массивах с большим эффектом затенения, на склонах северных и восточных экспозиций.

Гольцовый рельеф является зональным для горных хребтов с суровым континентальным климатом. Отчетливо выражена асимметрия хребта: западный склон более крутой, чем восточный (Горчаковский, 1975). Пространственно-временное проявление эрозионно-аккумулятивных процессов, условия формирования жидкого и твердого стоков в бассейнах рек, дренирующих хребет Басеги, существенно отличаются для склонов разной экспозиции (Самофалова, 2020б, 2023; Самофалова и др., 2020). Ландшафтный рисунок и морфометрические характеристики бассейнов рек указывают на различную интенсивность процессов разрушения горного массива в западной и восточной частях хребта, что напрямую зависит от гидротермических условий склонов.

Горно-тундровый (гольцовый) пояс занимает небольшие территории, находящиеся в безлесных пространствах, и представляет собой узкую полосу, проходящую по высоким отметкам хребта, нагорным террасам верхних уступов. Физико-географические и климатические условия на высоте более 800 м над уровнем моря обуславливают формирование тундровой растительности и холодных гольцовых ландшафтов (Самофалова, 2017, 2018, 2020б). На Басегах встречаются каменистые, кустарничковые, лишайниковые, травяно-моховые, травянисто-кустарничковые тундры (Баландин, Ладыгин, 2002). Характерными особенностями тундровой растительности является преобладание многолетних цветковых растений, мхов, лишайников, микроярусность, комплексность и мозаичность в ее распределении. Почвообразование в горной тундре происходит в условиях сурового климата, наличия сильных ветров, отсутствия снежного покрова и резких колебаний температур.

Ниже гольцов и горной тундры расположен субальпийский (подгольцовый) пояс, состоящий из подпооясов: криволесье (елово-березовое с различным наземным покровом), луговые поляны (высокотравные), парковое редколесье (елово-пихтовые леса с примесью рябины сибирской, березы пушистой) (Горчаковский, 1975). В нижней части субальпийского пояса парковые леса (высота деревьев 8–10 м) с высотой постепенно переходят в криволесье, где стволы искривлены от основания до вершины, высота деревьев 4–8 м. На верхней границе криволесья деревья представлены карликовыми (берёза извилистая, ель сибирская, пихта сибирская, единично встречается кедр) и стланиковыми (ель, пихта, можжевельник) формами, высотой не более 1 метра. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют кустарнички – черника, лерхенфельдия извилистая, голубика и водяника. Выше роль трав усиливается, луговые поляны расширяются, а у верхней границы леса появляется подпояс субальпийских лугов. Горные луга расположены на тех же высотах, что и криволесье, часто перемежаясь с ним, образуя мозаику. Основные площади лугов сосредоточены на восточных склонах и в межгорных седловинах, обычно небольшими массивами. Луговые сообщества поднимаются вверх почти до каменистых россыпей. На западном склоне небольшие пятна лугов вкраплены в редколесья и криволесья. Обязательное условие появления лугов – наличие пологих, значительной протяженности склонов, покрытых мелкоземом, приуроченных к высоте верхней части криволесья или к верхней границе тундры. Луговая полоса по склонам с чисто субальпийскими лугами очень мала – от нескольких десятков до 100–200 м (Овеснов, 1952; Горчаковский, 1975; Баландин, Ладыгин, 2002). Высотные ландшафты не имеют резко выраженных границ и взаимно проникают друг в друга, причем на склонах разных экспозиций высота проникновения различается.

Верхняя граница древесной растительности, считающейся важнейшим ботанико-географическим и индикаторным рубежом в горах, на склонах хребта Басеги проходит на разной высоте в зависимости от экспозиции склонов (Овеснов, 1952; Горчаковский, 1975). В связи с этим, комплекс локальных экологических условий на склонах разных экспозиций будет различаться. Леса произрастают только до определённой высоты и широты, что оказывает влияние и на почвенный покров (Горчаковский, 1975). Сложный переход между различными классами экосистем – лесным и безлесным – создает особое усложнение природы вследствие проникновения сюда фрагментов лесных и безлесных пространств. В силу промежуточного положения предтундровые и субальпийские леса (криволесье) и редколесья отличаются повышенным разнообразием жизни и, как следствие, пестротой почвенного покрова.

В пределах водораздельного пространства в горно-тундровом (гольцовом) и субальпийском (подгольцовом) поясе почвенные разрезы заложены на склонах (740–840 м) различных экспозиций и на выровненных платообразных участках (нагорные террасы или поверхности выравнивания 820–940 м н.у.м.). Схема заложения почвенных разрезов представлена в таблице 1.

Использовали сравнительно-географический, профильный, морфологический методы исследования. Определение почв осуществляли по общепринятым в почвоведении методам макроморфологического описания. Диагностику почв проводили по наличию соответствующего диагностического горизонта согласно классификации почв России (Полевой определитель..., 2008). Морфологическое описание почв проведено в поле, с корректировкой в камеральных условиях. Окраску горизонтов почв определяли по стандартной цветовой шкале (Андропова, 1992).

Показатели высотной организации почв рассчитаны по методике В.С. Крыщенко (Крыщенко, Самохин, 2008), на основе которой абсолютные несравнимые характеристики почвенно-топографических рядов дополнены относительными сравнимыми показателями: Δh – амплитуда распространения почв по высоте ($\Delta h = h_v - h_n$ где h_v – верхний уровень залегания почв, h_n – нижний уровень залегания почв), м; KB – коэффициент высотной организации почв ($KB = h_v / h_n$), м; ah – плотность заполнения типом почв единицы высоты ($ah = KB * 1000 / \Delta h$).

Таблица 1

Схема заложения почвенных разрезов на водораздельном пространстве хребта Басеги

Структурные элементы водораздельной части литоводосборных бассейнов	Высотный ландшафт	Западная экспозиция		Восточная экспозиция	
		высота, м н.у.м.	номер разреза, (м н.у.м.)	высота, м н.у.м.	номер разреза, (м н.у.м.)
Дуги	Гольцы	> 820	18, (930), 102 (836)	> 920	117 (932), 116 (931), 136 (927), 135 (925)
	Тундра		101 (826)		
Фанды	Переходная зона тундра-криволесье	820–761	134 (811), 7-20 (804), 4-20 (790)	920–840	143 (913), 142 (905), 138 (871), 137 (875), 103 (854), 140 (841)
	Криволесье	760–740	6-20 (760), 31 (755), 118 (751), 120 (745), 56 (743)	840–820	106 (835), 105 (826), 139 (823)

Использован информационно-логический анализ (ИЛА). Первая попытка применения ИЛА к выявлению связей структуры почвенного покрова с главнейшими типами растительности лесостепи была сделана В.М. Фридландом и Е.К. Дайнеко (1969). Применение информационно-логического анализа наиболее перспективно для многофакторных явлений (Пузаченко и др., 1970; Дайнеко, Нешатаев, 1973; Сорочкин, 1977; Пивоварова, 2006; Самофалова, 2017; Ещенко и др., 2018; Пивоварова и др., 2018, 2025; Самофалова, 2020а, 2020б, 2023).

В основу метода ИЛА положены представление об измеряемости информации, которая передается изучаемому явлению от факторов, и оценка силы связи между признаками путем сравнения априорной вероятности (всей выборки) с условными вероятностями (каждого из факторов). С помощью информационно-логического анализа определяется степень связи между явлением и фактором следующими показателями: общая информативность T (бит) и коэффициент эффективности передачи информации от фактора к явлению K (при $K > 0,13$ связь является достоверной). При анализе связей с помощью информационных показателей учитывали следующие характеристики: высотные ландшафты (горная тундра, криволесье, переходная зона тундра-криволесье), типы альфегумусовых почв (дифференциация почвенного покрова на уровне типа проведена по классификации почв России), диагностические горизонты, окраска горизонтов. Для определения степени зависимости проведено ранжирование характеристик и составлены таблицы абсолютной встречаемости сочетаний, а затем рассчитана матрица оценок вероятности сочетаний разных состояний по отношению условной вероятности для каждого ранга явления по каждому рангу фактора. Для каждого центрального образа (таксона) рассчитаны специфичные (наиболее вероятные) состояния признаков (генетически обусловленных свойств почв). Также по величине коэффициента определён таксономический вес диагностических горизонтов альфегумусовых почв для высотных ландшафтов водораздельного пространства.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Профили альфегумусовых почв состоят из отчетливо выраженных и хорошо различимых органогенных и минеральных горизонтов различной мощности (рис. 2). Для почв водораздельного пространства (дуги, фанды) характерно накопление мертвых корней и, соответственно, грубого гумуса, что обусловлено низкими темпами разложения органического материала. Основная часть корневой массы растений сосредоточена в поверхностном рыхлом слое. Мощные торфяные горизонты здесь не образуются. В связи с этим, выделяются различные поверхностные органогенные горизонты: подстильно-торфяной, перегнойно-торфяной, перегнойный, грубогумусированный. Органогенные горизонты различной мощности (от 3 до 15 см) присутствуют практически во всех почвах. Часто в профилях под поверхностным органогенным горизонтом залегает еще один органогенный горизонт, отличающийся степенью разложения и мощностью в более узком диапазоне (2–7 см).

Минеральные горизонты представлены альфегумусовым, подзолистым и гумусовым. Альфегумусовый горизонт в подбурх мощностью от 17 до 30 см, составляя в среднем 24 см. В исследуемых подзолах мощности диагностических горизонтов (E , BHF) меньше, примерно 8–9 см. Гумусовый горизонт в суровых условиях горной тундры и криволесья формируется не всегда, обычно небольшой мощности (в среднем около 13 см) и является диагностическим для выделения дерново-подбуров и дерново-подзолов.



Дерново-подбур иллювиально-железистый, 930 м (р. 18)



Торфяно-подбур глеевый иллювиально-железистый, 913 м (р. 143)



Дерново-подбур иллювиально-гумусово-железистый, 905 м (р. 142)



Подбур иллювиально-железистый оподзоленный, 875 м (р. 137)



Дерново-подбур иллювиально-железистый, 841 м (р. 140)



Дерново-подзол иллювиально-железистый, 836 м (р. 102)



Подзол иллювиально-железистый, 755 м (р. 31)



Подзол грубогумусированный, 751 м (р. 118)



Сухоторфяно-подзол, 745 м (р. 120)

Рисунок 2. Профили почв отдела альфегумусовые. Фото И.А. Самофаловой.

Определена теснота связи между природой горизонтов (органогенные, минеральные) и их окраской. Цветовая характеристика горизонтов разделена на группы: бурые, охристо-бурые, бурые с сероватым оттенком, бурые с темно-черными и бурые с красноватыми оттенками (в некоторых горизонтах присутствуют красноватые оттенки, которые связывают с промерзанием профиля).

В органогенных горизонтах преобладают темно-серые, буровато-черные, черные, черно-серые, темно-бурые цвета (табл. 2). Информационно-логический анализ показал, что для органогенных горизонтов наиболее вероятным является наличие буровато-черных оттенков, характерных для торфообразования, гумусообразования, разложения растительных остатков. Очень темно-красновато-серые, красновато-бурые, красновато-серые цвета преобладают большей частью в гумусовых и иллювиально-гумусово-железистых горизонтах. Красноватый оттенок в горных почвах связан с промерзанием профиля.

Таблица 2

Информационная связь между диагностическими горизонтами типов почв и их окраской
(κ – отношение условной вероятности для каждого ранга явления к каждому рангу фактора)

Горизонты	Окраска горизонтов					
	Бурый	Буровато-серый, светло-бурый	Темно серый, буровато-черный, черный, черно-серый, темно-бурый	Охристо-бурый, темно-охристо-бурый	Очень темно красновато-серый, красновато-бурый, красновато-серый	Светло-серый
Органогенные, органоминеральные (О, АО)	0	0	2,864*	0	0	0
Гумусовые (АУ)	0	1,235	1,349	0,336	1,851	0
Подзолистые (Е)	1,314	0	0,358	0	0	7,886
Иллювиально-гумусовые (ВН)	1,726	1,726	1,432	0	0,875	0
Иллювиально-железистые (BF)	0	0,955	0,521	4,168	0	0
Альфегумусовые (ВНF)	3,003	1,503	0,204	0,818	1,875	0

$T=0,979$; $K=0,395$.

Примечание.

* – достоверная информационная связь между окраской и диагностическим горизонтом; T – количество информации, поступающей от фактора к явлению, бит; K – коэффициент эффективности передачи информации от фактора b к явлению a .

В горизонте *Е* наиболее вероятна окраска светло-серого цвета. Альфегумусовые горизонты различаются по преобладающей наиболее вероятной окраске. Так, в иллювиально-гумусовом *ВН* преобладает буровато-серый, светло-бурый, а также бурый цвет; а в иллювиально-железистом *BF* – выражена окраска охристо-бурых, темно-охристо-бурых цветов. Альфегумусовый горизонт (*ВНF*) без разделения на подгоризонты отличается преобладанием бурой окраски. Итак, для минеральных горизонтов почв наиболее характерно преобладание охристо-бурой окраски, что указывает на преобладающее развитие альфегумусового процесса. Наиболее информативными по окраске являются подзолистый и иллювиально-железистый горизонты. В большей степени варьирует окраска гумусовых и альфегумусовых горизонтов. Связь между диагностическими горизонтами и их окраской характеризуется высокой общей информативностью ($T=0,979$ бит) и имеет высокий коэффициент ($K=0,395$) эффективности передачи информации.

Определен таксономический вес диагностических горизонтов альфегумусовых почв для высотных ландшафтов водораздельного пространства и выявлены закономерности формирования диагностических горизонтов альфегумусовых почв в пространстве (табл. 3).

Общая информативность выявленной связи высокая (0,916 бит). Результаты информационно-логического анализа доказывают, что развитие альфегумусового горизонта является специфичным для суровых условий тундры (водораздельное пространство дуги) при выположенном рельефе и меньшем количестве осадков. В криволинейном на крутых склонах (водораздельное пространство фанды) при промывном водном режиме и активном боковом внутрпочвенном стоке создаются наиболее благоприятные условия для формирования, в первую очередь, подзолистого горизонта, а затем – различных органогенных и органо-минеральных горизонтов с некоторой оторфованностью.

Таблица 3

Таксономический вес диагностических горизонтов альфегумусовых почв
для высотных ландшафтов водораздельного пространства (n=61)

Высотный ландшафт	Горизонты	P(a _j)	H (a/b)	J(a/b)	T=0,916 K=0,421
Тундра	BHF>H>E>AY>AO,T>G	0,197	2,625	0,126	
Криволесье	E>H>AO>AY	0,098	1,928	0,832	

Примечание.

P(a_j) – условная вероятность явления; H (a/b) – неопределенность явления *a* для каждого состояния *b*; J(a/b) – информация об явлении *a*, содержащаяся в рангах фактора *b*; T – количество информации, поступающей от фактора к явлению, бит; K – коэффициент эффективности передачи информации от фактора *b* к явлению *a*.

Образование почв в пределах водораздельного пространства происходит при обильном промывании профиля осадками до плотной породы, что приводит к значительному выносу оснований. Каждый горизонт в альфегумусовых почвах является геохимическим барьером (сорбционным, физико-химическим, биологическим и др.), выполняющим определенные функции в формировании и развитии профиля; при этом они генетически связаны между собой. Основными элементарными процессами почвообразования являются: аккумуляция и разложение растительных остатков, торфообразование, гумусообразование, кислотный гидролиз минеральных компонентов, выщелачивание, элювирование. Эти процессы выделяются на уровне генетических переходных признаков: *ao*, *h*, *f*, *ap*, *g*, которые указывают на налагающиеся горизонтообразующие процессы: образование грубого гумуса, перегнойности, ожелезнения, глееватости в микропонижениях.

Итак, в почвах отдела *альфегумусовые* визуально отчетливо выделяются диагностические горизонты *BHF* (*подбуры*) и *E* (*подзолы*), являющиеся результатом основных процессов почвообразования – альфегумусового и подзолистого; наличие горизонта *AY* диагностирует дерновый процесс. В тундре на водораздельной части хребта (выположенные участки и древние поверхности выравнивания) под мохово-кустарничковой растительностью развит альфегумусовый процесс; соответственно, в почвенном покрове преобладают *подбуры*. Изменение в составе тундровой растительности (появление мелколиственных пород в сочетании с развитием травяно-кустарничкового яруса) приводит к замене свойственного *подбурам* органогенного горизонта с заторможенными процессами гумификации серогумусовым (дерновым) горизонтом и, соответственно, формированию *дерново-подбура*. Окраска минеральных горизонтов имеет красноватые оттенки согласно цветовой шкале, что указывает на наличие мерзлоты в профиле почв. В березово-еловом криволесье на крутых склонах при явно промывном водном режиме с хорошо развитым боковым внутрипочвенным стоком проявляются подзолистый и альфегумусовый процессы. Здесь почвенный покров представлен *подзолами*. В переходных экотонах альфегумусовый и подзолистый процессы сочетаются с дерновым, создавая условия для развития *дерново-подзолов*. Таким образом, альфегумусовые почвы можно отнести к зональным почвам водораздельного пространства низких гор: в горной тундре специфичным является формирование подбуров, а в криволесье – подзолов.

Полученные данные подтверждают мнение о том, что зональность альфегумусовых почв определяется климатогенным фактором: почвы типичны для гумидного климата бореальной таежной зоны и больших высот со значительным количеством выпадающих осадков (Алябина, Неданчук, 2014; Sanborn et al., 2011; Kabala et al., 2012; Freyeroва, Sefrna, 2014).

Определены региональные морфолого-генетические особенности почв отдела альфегумусовые: темная окраска горизонтов, много грубых растительных остатков; наличие органогенных горизонтов; мощности органогенных горизонтов больше, чем минеральных гумусовых; органогенный поверхностный горизонт состоит как минимум из 2 слоев, различающихся разной степенью разложениости; наличие в окраске горизонтов красноватого оттенка, что диагностирует промерзание и наличие мерзлоты при отсутствии морфологических признаков оглеения, то есть глубину промерзания профиля; профиль рыхлый, мягкий, слаборазвитый (30–50 см). Информационно-логический анализ зависимости между мощностью профиля и типом почв показал тесную связь с высокой общей информативностью (T=1,26 бит) и высоким коэффициентом передачи каналов связи (K=0,63). Подбуры формируют профиль в основном мощностью 35–42 см, а для подзолов, формирующихся на крутых склонах, мощность профиля чаще всего составляет около 27–30 см.

Различное сочетание и степень проявления горизонтообразующих и элементарных почвенных процессов на склонах западной и восточной экспозиций с учетом высоты местности и мезо-, микрорельефа обуславливает разнообразие типов и подтипов альфегумусовых почв (табл. 4). Почвенный покров достаточно пестрый для таких небольших ареалов тундр и криволесья среди каменистых россыпей и останцев. По классификации почв России (Полевой определитель..., 2008) исследуемые почвы относятся к постлитогенному почвообразованию. Диагностировано 7 типов почв отдела альфегумусовые и 6 подтипов.

Таблица 4

Систематика почв отдела альфегумусовые на водораздельном пространстве хребта Басеги

Тип	Подтипы (только в типах почв отдела альфегумусовые)	Подтипы
Подзолы, Подбуры, Дерново-подзолы, Сухоторфяно-подзолы, Дерново-подбуры, Торфяно-подбуры глеевые, Сухоторфяно-подбуры	Иллювиально-гумусовый Иллювиально-железистый Иллювиально-гумусово-железистый	Грубогумусированный Перегойный Оподзоленный

Установлена тенденция развития подтипов альфегумусовых почв: в более влажных условиях под мощным органометным напочвенным покровом формируется подтип иллювиально-гумусовые; в менее увлажненных условиях – подтип иллювиально-железистые. Полученные данные подтверждают существующее мнение, что формирование подтипа альфегумусовых почв зависит от степени увлажненности территории (Караваева и др., 1992; Алябина, Неданчук, 2014).

Разнообразие почв с учетом экспозиции склонов и их классификационное положение представлено в таблице 5. Для склона западной экспозиции характерно большее разнообразие альфегумусовых почв, в криволесье развиваются подзолы. Выше в переходной зоне и в горной тундре почвенный покров большей частью представлен подбурами и дерново-подбурами. Топографический ряд почв представлен типами (сверху вниз): дерново-подбур, дерново-подзол → подбур, дерново-подбур → подзол, сухоторфяно-подзол.

Таблица 5

Классификационное положение и распространение почв в пределах водораздельного пространства

Высотный ландшафт	Западная экспозиция			Восточная экспозиция		
	Разрез, (н.у.м., м)	Формула профиля	Название	Разрез, (н.у.м., м)	Формула профиля	Название
Гольцы Тундра	18, (930), 102 (836), 101 (826)	O-AYao-BF-R ao-AY-E-BF-R O-ao-E-BHF-R	ДПБ ДПЗ ПЗ	117 (932),	O-BHe-BHF-BF-CR	ПБ
				116 (931),	O-BF- R	ПБ
				136 (927),	O-BHe-BHF-BF-CR	ПБ
				135 (925)	O-ao-BF-R	ПБ
Переходная зона тундра- криволесье	134 (811), 7-20 (804), 4-20 (790)	O-Oao-BHF-R O-BH-BHF-C O-AY-BHF-BF-C	ПБ ПБ ДПБ	143 (913),	O-T-BHe-BHg-G-R	ТПБгл
				142 (905),	O-AY-BH-BHF-R	ДПБ
				137 (875),	O-BFe-BFh-R	ПБ
				138 (871),	O- h-BH-[BHF]'-[BF]'-[BF]"- [BFh]"	ПБ
Криволесье	6-20 (760), 31 (755), 118 (751), 120 (745), 56 (743)	O-E-BH-C O-ao-E-BF-R Oao-E-BH-BF O-TJ-E1-E2-BF-R O-ao-E-BF-R	ПЗ ПЗ ПЗ СТПЗ ПЗ	103 (854),	O-ao-E-BHF-R	ПЗ
				140 (841)	O-ay-Bh-BF-BFC-R	ДПБ
				106 (835),	O-BF- R	ПБ
				105 (826),	O-TJ -BH-BF-C	СТПБ
				139 (823)	O-T-BHF-BHG-G-R	ТПБгл

Примечание.

ПЗ – подзол; ПБ – подбур; ДПЗ – дерново-подзол; ДПБ – дерново-подбур; СТПЗ – сухоторфяно-подзол; СТПБ – сухоторфяно-подбур; ТПБгл – торфяно-подбур глеевый; н.у.м. – высота над уровнем моря, м.

На склоне восточной экспозиции хребта альфегумусовые почвы представлены в основном подбурами, дерново-подбурами, торфяно-подбурами глеевыми. Таким образом, топографический ряд почв следующий: подбур → дерново-подбур, подбур оподзоленный, подзол → подбур, торфяно-подбур глеевый. Кроме того, на водораздельном пространстве диагностирован сложный профиль почвы (р. 138). Таким образом, в пределах исследуемых биоценозов водораздельного пространства

встречаются простые и сложные профили альфегумусовых почв. Простые профили (моногогенетические) развиваются в характерных высотных ландшафтах – в горной тундре и криволесье. Полигенез почв, вероятно, встречается в переходных экотонах тундра-криволесье (еловое мелколесье).

Определены показатели высотной организации преобладающих типов почв отдела альфегумусовые (табл. 6). Условия формирования типов почв различны в зависимости от экспозиции склонов, что отражает амплитуда распространения почв по высоте (Δh). Подзолы и подбуры на склоне западной экспозиции характеризуются наименьшей амплитудой распространения в пространстве по высоте (17 и 20 м, соответственно), а дерново-подбуры – наибольшей (140 м). На склоне восточной экспозиции большая амплитуда распространения, наоборот, отмечается для подбуров и торфяно-подбуров (90 и более м). Подзолы здесь характеризуются, так же как и на западном склоне, наименьшей амплитудой распространения и, возможно, носят локально-точечный характер.

Таблица 6

Показатели высотной организации почв отдела альфегумусовые

Тип почв	Западная экспозиция					Восточная экспозиция				
	высота н.у.м.,м	ландшафт	Δh	KB	ah	высота н.у.м.,м	ландшафт	Δh	KB	ah
Подзолы	743–760	КР	17	1,02	60,00	826–875	КР–Т	49	1,06	21,63
Подбуры	804–824	Т	20	1,02	51,00	826–932	КР, КР–Т, Т	106	1,13	10,66
Дерново-подбуры	790–930	КР–Т, Т	140	1,18	8,43	841–905	КР–Т	64	1,08	16,88
Торфяно-подбуры глеевые	–	–	–	–	–	823–913	КР, КР–Т	90	1,11	12,33

Примечания.

КР – криволесье; Т – тундра; КР–Т – переходный экотон криволесье-тундра; Δh – амплитуда распространения почв по высоте, м; KB – коэффициент высотной организации почв; ah – плотность заполнения типом почв единицы высоты.

Коэффициент высотной организации на склоне восточной экспозиции выше для подбуров и торфяно-подбуров, а на склоне западной экспозиции – для дерново-подбуров. Большое значение показателя ah указывает на более плотное заполнение типом почвы единицы высоты. Плотность заполнения типом почв единицы высоты максимальна у подзолов и подбуров на склоне западной экспозиции. Более «растянуты» на склоне по плотности заполнения единицы высоты – дерново-подбуры. Следовательно, на склоне западной экспозиции можно отметить более строгую приуроченность типов альфегумусовых почв к высотным ландшафтам на определенной высоте.

На склоне восточной экспозиции отмечается иная тенденция распространения почв. Во всех высотных ландшафтах диагностированы подбуры, которые все же в большей степени приурочены к гольцовым ландшафтам в горной тундре. Плотность заполнения типом единицы высоты здесь минимальная (10,66). В переходной зоне криволесье-тундра встречаются все выделенные типы почв, которые здесь перемешаны, мозаично проникая в ареалы друг друга. Только подзолы в переходном экотоне приурочены к определенной высоте, что демонстрирует показатель плотности заполнения типом почвы единицы высоты, наибольший для почв восточного склона. В криволесье под еловым мелколесьем с мохово-лишайниковым напочвенным покровом в микропонижениях, на плоских или вогнутых поверхностях с близким залеганием мерзлоты в профилях почв проявляются признаки слабой глееватости: сизоватая окраска, потечности гумуса, железистая цементация. Почвенный покров здесь представлен торфяно-подбурами глеевыми и подбурами. Плотность заполнения единицы высоты типом почв у торфяно-подбуров глеевых и дерново-подбуров несколько выше, чем у подбуров. Это указывает на некоторую приуроченность данных типов альфегумусовых почв к высотным условиям ниже границы горной тундры.

Таким образом, показатели высотной организации почв подтверждают предположение о том, что альфегумусовые почвы могут быть зональными для водораздельной части хребта, незатронутого процессами бассейнообразования.

Проведен информационно-логический анализ распространения альфегумусовых почв в пределах водораздельного пространства с учетом высотных ландшафтов (табл. 7). Результаты расчетов позволяют выделить наиболее вероятное (приоритетное) формирование почв в конкретных высотных ландшафтах. Так, в горной тундре наиболее вероятно образование подбуров.

Выстраивается ряд почв по максимальной вероятности (от большей к меньшей): подбуры > дерново-подбуры, дерново-подзолы >> подзолы. В переходной зоне тундра-криволесье наиболее вероятно развитие: дерново-подбуров, дерново-подзолов >> подбуров > торфяно-подбуров, торфяно-подзолов >> подзолов. В криволесье в большей степени создаются условия для наиболее вероятного формирования: подзолов > сухоторфяно-подзолов, торфяно-подбуров >> подбуров.

Таблица 7

Распространение альфегумусовых почв в водораздельном пространстве низких гор
(κ – отношение условной вероятности для каждого ранга явления к каждому рангу фактора)

Высотный ландшафт водораздельной части литоводосборных бассейнов	Типы почв			
	Подзолы	Подбуры	Дерново-подбуры, дерново-подзолы	Торфяно-подбуры, торфяно-подзолы
Тундра	0,521	1,667	1,042	–
Переходная зона (тундра-криволесье)	0,347	1,111	2,083	0,925
Криволесье	1,875*	0,500	–	1,667

T = 0,3647; K = 0,2348.

Примечание.

* – достоверная информационная связь; T – количество информации, поступающей от фактора к явлению, бит; K – коэффициент эффективности передачи информации от фактора *b* к явлению *a*.

Итак, оценка высотной организации почвенно-топографических рядов водораздельного пространства в условиях низких гор показала, что типы зональных почв отдела *альфегумусовые* имеют определенную связь с абсолютной высотой местности и приуроченность к определенным высотным ландшафтам. Меньшую протяженность по высоте занимают почвы в криволесье, развивающиеся в ограниченных геоморфологических и климатических условиях.

Почвы в пределах водораздельного пространства низких гор можно считать уникальными объектами, формирующимися в специфических экологических условиях, которые хранят в своих свойствах различную информацию и находятся одновременно и в стадии первичного почвообразования, и в стадии разрушения (постоянного «омолаживания»).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Закономерности распространения альфегумусовых почв в ландшафтах водораздельной части хребта определяются пространственной вариабельностью поверхностных седиментов, рельефом и растительностью. Высота распространения ландшафтов различается на склонах разных экспозиций. Соответственно, изменение состава почвенного покрова водораздельной части низких гор происходит в зависимости и от экспозиции склонов. Установлена тенденция развития подтипов альфегумусовых почв: в более влажных условиях под мощным органогенным напочвенным покровом формируются подтипы иллювиально-гумусовые, в менее увлажненных условиях – подтипы иллювиально-железистые. Почвенный покров в пределах водораздельного пространства низких гор представлен разными типами почв отдела альфегумусовые, которые рекомендуем отнести к зональным почвам: в горной тундре – подбуры, криволесье – подзолы, переходной зоне тундра-криволесье – дерново-подбуры, дерново-подзолы.

ЛИТЕРАТУРА

- Алябина И.О., Неданчук И.М. Оценка связи распространения почвенных горизонтов с климатическими параметрами // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1165–1176. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14080012>
- Андропова М.И. Стандартная цветовая шкала для полевого определения и кодирования окраски почв. Москва: РосНИИземпроект, 1992.
- Бадмаев Н.Б., Нимаева О.Д., Нанзатов Т.З., Шахматов М.Ю. О пространственной организации почвенного покрова мерзлотной лесостепи Забайкалья // Вестник Бурятского государственного университета. Биология. География. 2011. № 4. С. 197–200.
- Баландин С.В., Ладыгин И.В. Флора и растительность хребта Басеги: (Средний Урал). Пермь: Издательство Инта экологии растений и животных УрО РАН, 2002. 190 с.
- Владыченский А.С. Особенности горного почвообразования. Москва: Наука, 1998. 190 с.
- Воробьева Г.А. Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. Иркутск: Издательство ИГУ, 2010. 205 с.

- Глазовская М.А. Почвы мира: основные семейства и типы почв. Москва: Издательство МГУ, 1972. Т. 1. 234 с.
- Горчаковский П.Л. Растительный мир высокогорного Урала. Москва: Наука, 1975. С. 13–67.
- Дайнеко Е.К., Нешатаев Ю.Н. Анализ структуры почвенного и растительного покровов Казацкой степи Центрально-черноземного заповедника им. В.В. Алехина // Структура почвенного покрова и методы ее изучения. Москва: Издательство Почвенного института им. В.В. Докучаева, 1973. С. 170–188.
- Дайнеко Е.К., Фридланд В.М. Опыт применения информационно-логического анализа для выяснения взаимосвязей между факторами почвообразования и некоторыми морфологическими свойствами почв // Структура почвенного покрова, почвенные комбинации, их классификация и методы изучения. Москва: Наука, 1969. С. 56–57.
- Ещенко С.И., Мягкий П.А., Татаринцев В.Л., Татаринцев Л.М. Моделирование мелиоративного состояния пахотных земель по данным гранулометрического состава // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 8. С. 59–64.
- Караваева Н.А., Таргульян В.О., Черкинский А.Е., Целищева Л.К., Грачева Р.Г., Марголина Н.Я., Ильичев Б.А., Горячкин С.В., Александровский А.Л., Хитров Н.Б., Замотаев И.В., Панкова Е.И., Айдаров И.П., Ромашкевич А.И., Черняховский А.Г., Бирин А.Г., Гоголев А.И., Розанов А.Б. Элементарные почвообразовательные процессы: опыт концептуального анализа, характеристика, систематика. Москва: Наука, 1992. 186 с.
- Карпачевский Л.О. Почвообразование в горах Сихотэ-Алиня. Москва: ГЕОС, 2012. 138 с.
- Климат и гидрография заповедника «Басеги». [Электронный ресурс]: официальный сайт заповедника «Басеги». URL: <http://www.basegi.ru/o-zapovednike/prirodnye-isloviya/klimati-gidrografiya> (дата обращения 06.02.2016).
- Ковалева Н.О. Горные почвы как архив палеоэкологической информации // Почвы в биосфере и жизни человека. Москва: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. С. 135–182.
- Крыщенко В.С., Самохин А.П. Матричная закономерность в топографии почв. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2008. 320 с.
- Овеснов А.М. Горные луга западного Урала. Пермь: Молотовгиз, 1952. 130 с.
- Пивоварова Е.Г. Решение вопросов пространственной и временной вариации агрохимических свойств почв с помощью информационно-логического анализа // Агрохимия. 2006. № 8. С. 77–84.
- Пивоварова Е.Г., Кононцева Е.В., Хлуденцов Ж.Г., Попова Е.С. Система агрохимических показателей в региональной классификации почв Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 8. С. 40–47.
- Пивоварова Е.Г., Макарычев С.В., Гейке И.В. Математические модели эталонов почв борных ложбин древнего стока Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2025. № 2 (244). С. 22–28. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2025-244-2-22-28>
- Полевой определитель почв России. Москва: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Пузаченко Ю.Т., Карпачевский Л.О., Взнуздаев Н.А. Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы на примере ее влажности // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. Москва: Наука, 1970. С. 121–130.
- Самофалова И.А. Информационно-логический анализ дифференциации почвенного покрова высотных геосистем на Среднем Урале // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 11 (157). С. 105–114.
- Самофалова И.А. Почвенное разнообразие тундровых и гольцовых ландшафтов в заповеднике «Басеги» // Географический вестник. 2018. № 1. С. 16–28. <https://press.psu.ru/index.php/geogr/article/view/1329>
- Самофалова И.А. Индикационная связь между генетическими признаками почв и высотными ландшафтами на Среднем Урале (хребет Басеги) // Российский журнал прикладной экологии. 2019. № 2 (18). С. 42–48. <https://rjae.ru/index.php/rjae/article/view/82>
- Самофалова И.А. Геомоделирование почвенного покрова на основе обобщенного пространственного анализа территории заповедника "Басеги" (Средний Урал) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2020а. Том 26. № 4. С. 131–146. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-4-26-131-146>
- Самофалова И.А. Использование бассейнового подхода для изучения дифференциации растительного и почвенного покровов (хребет Басеги, Средний Урал) // География и природные ресурсы. 2020б. № 1. С. 175–184. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-1\(175-184\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-1(175-184))

Самофалова И.А. Почва как компонент охраняемых ландшафтов в системе ООПТ (на примере ФГБУ "Государственный заповедник "Басеги") // Агрохимический вестник. 2021. № 1. С. 19–27. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-1-004>

Самофалова И.А. Пространственно-структурная организация почвенного покрова западного макросклона Среднего Урала. Автореферат диссертации ... д-р биол. наук. Пермь, 2023. 34 с.

Самофалова И.А., Трифонова Т.А., Шутов П.С. Почвенно-ландшафтное районирование территории заповедника «Басеги» на основе данных дистанционного зондирования земли // Цифровая география: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Пермь, 16–18 сентября 2020 г.) / С.В. Пьянков (отв. ред.), С.А. Бузмаков, Н.А. Калинин, Н.Н. Назаров, С.В. Копытов. Пермь: Пермский государственный научно-исследовательский университет, 2020. Том 1. С. 158–162.

Соколов И.А. Пространственно-временная организация педосферы и ее эволюционно-экологическая обусловленность // Почвоведение. 1993. № 7. С. 12–22.

Сорочкин В.М. О применении информационно-логического метода в почвенных исследованиях // Почвоведение. 1977. № 9. С. 131–139.

Старцев В.В., Жангуров Е.В., Дымов А.А. Характеристика почв высотных поясов хребта Яптыкнырд (Приполярный Урал) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2017. № 38. С. 6–27. <https://doi.org/10.17223/19988591/38/1>

Таргульян В.О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. Москва: Наука, 1971. 268 с.

Трифорова Т.А. Формирование почвенного покрова гор: геосистемный аспект // Почвоведение. 1999. № 2. С. 174–181.

Трифорова Т.А. Развитие бассейнового подхода в почвенных и экологических исследованиях // Почвоведение. № 9. 2005. С. 1054–1061.

Broll G., Keplin B. Mountain ecosystems: studies in treeline ecology. Berlin; Heidelberg: Springer, 2005. 354 p.

Freyerova K., Sefrna L. Soil organic carbon density and storage in podzols – a case study from Ralsko region (Czech Republic) // AUC Geographica. 2014. Vol. 49. No. 2. P. 65–72. <http://dx.doi.org/10.14712/23361980.2014.16>

Kabala C., Waroszewski J., Bogacz A., Labaz B. O specifice bielie gorskich on the specifics of podzols in mountain areas // Roczniki Gleboznawcze. Soil Science Annual. 2012. Vol. 63. No. 2. P. 55–64. (in Poland). <https://doi.org/10.2478/v10239-012-0018-z>

Samofalova I.A. Typical features of short-profile soils in the Middle Urals // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society. IOP Publishing, 2021. Vol. 862. No. 1. P. 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/862/1/012009>

Sanborn P., Lamontagne L., Hendershot W. Podzolic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification // Canadian Journal of Soil Science. 2011. Vol. 91 (5). P. 843–880. <https://doi.org/10.4141/cjss10024>

Sanchez P.A., Ahamed S., Carré F., Hartemink A.E., Hempel J., Huising J., Lagacherie P., McBratney A.B., McKenzie N.J., de Mendonca-Santos M., Minasny B., Montanarella L., Okoth P., Palm C.A., Sachs J.D., Shepherd K.D., Vågen N-G., Vanlauwe B., Walsh V.G., Winowiecki L.A., Zhang G-L. Digital soil map of the World // Science. 2009. Vol 325. № 5941. P. 680–681. <https://doi.org/10.1126/science.117508>

Поступила в редакцию 17.01.2025

Принята 06.03.2025

Опубликована 25.05.2025

Сведения об авторе:

Самофалова Ираида Алексеевна – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (г. Пермь, Россия); samofalovairaida@mail.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



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

Distribution of Al-Fe-humus soils within the low mountains watershed area in the Middle Urals (using the Basegi ridge as an example)

© 2025 I. A. Samofalova 

Perm State Agro-Technological University named after academician D.N. Prianishnikov, Petropavlovskaya 23, Perm, Russia. E-mail: samofalovairaida@mail.ru

The aim of the study. To study the distribution patterns of Al-Fe-humus soils in the watershed area of the low mountains (mountain tundra and goltsy landscapes, crooked forests) in the Middle Urals (within the Perm region).

Location and time of the study. The research was conducted within the undisturbed part of the Middle Ural, i.e. the Basegi Ridge, which is included in the Basegi State Nature Reserve and is located in the eastern part of the Perm Territory, on the western slope of the Ural Mountains (58°45'-59°00' N, 58°15'-58°38' E) in the interfluvium of the Usva and Vilva Rivers. The territory is remote from industrial centers. The data obtained in 2009–2020 were used to characterize the soils.

Methods. Al-Fe-humus soils were the object of the study. Comparative-geographical, profile, macromorphological research methods, as well as information-logical analysis were used. Soil diagnostics was based on the presence of the corresponding diagnostic horizon according to the soil classification of Russia. Morphological description of soils was carried out in the field, with some adjustments in the office. Soil samples were selected based on genetic horizons, the color of which was determined using a standard color scale. Information-logical analysis was performed in the ALI program developed in the Altai State Agrarian University, Russia.

Results. The alphehumus soils profiles consisted of clearly expressed and well-distinguished organogenic and mineral horizons. Organogenic horizons of varying thickness (from 3 to 15 cm) were present in almost all types of soils. The strength of the relationship between the nature of the horizons (organogenic, mineral) and their color was determined. Diagnostic horizons of soils of the Al-Fe-humus section were visually clearly distinguished: BHF (Podburs), E (Podzols), indicating the main processes of soil formation: Al-Fe-humus, podzolic. Regional morphological and genetic features of soils and diagnostic horizons patterns formation in space were determined: development of the Al-Fe-humus horizon was specific to the harsh conditions of the flattened relief tundra; crooked forests had the most favorable conditions for the formation of the podzolic horizon. Simple profiles (monogenetic) develop in the typical high-altitude landscapes, i.e. in the mountain tundra and crooked forest. Soil polygenesis occurs in transitional ecotones of the tundra-crooked forest (e.g. spruce small forest). Seven types and sxi subtypes of soils of the Al-Fe-humus section were diagnosed.

Conclusions. The distribution patterns of Al-Fe-humus soils in the landscapes of the Basegi ridge watershed are determined by the spatial variability of surface sediments, relief, and vegetation. The altitude of the landscape distribution varied on differently exposed slopes. Accordingly, the change in the soil cover composition of the low mountains watershed occurs depending on the slope exposure. A tendency for the development of Al-Fe-humus soil subtypes was revealed: under the more humid conditions, illuvial-humus subtypes are formed under a thick organogenic ground cover, whereas under the less humid conditions, illuvial-ferruginous subtypes develop. The watershed soil cover in the low mountains is represented by different types of the Al-Fe-humus soils, which we recommend classifying as zonal soils, i.e. as Podburs in the mountain tundra, as Podzols in the crooked forests, and as Sod-Podburs and Sod-Podzols in the transition zone from the tundra to the crooked forest.

Keywords: Al-Fe-humus soils; diagnostic horizons; soil classification; tundra; crooked forest; transitional ecotones; landscapes; information-logical analysis.

How to cite: Samofalova I.A. Distribution of Al-Fe-humus soils within the watershed area of low mountains in the Middle Urals (using the Basegi ridge as an example). *The Journal of Soils and Environment*. 2025. 8(2). e294. DOI: [10.31251/pos.v8i2.294](https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.294) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

- Alyabina I.O., Nedanchuk I.M. Assessment of the relationships between the distribution of soil horizons and the climatic parameters. *Eurasian Soil Science*. 2014. Vol. 47. No. 10. P. 968–979. <https://doi.org/10.1134/S1064229314080018>
- Andronova M.I. Standard color scale for field determination and coding of soil color. Moscow: RosNIIZemproekt, 1992. (in Russian).
- Badmaev N.B., Nimaeva O.D., Nanzatov T.Z., Shakhmatov M.Yu. On spatial organization of soil cover of permafrost forest-steppe in Zabaikalye. *Bulletin of the Buryat State University. Biology. Geography*. 2011. No. 4. P. 197–200. (in Russian).

- Balandin S.V., Ladygin I.V. Flora and vegetation of the Basegi ridge: (Middle Urals). Perm: Publishing house of the Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002. 190 p. (in Russian).
- Vladychensky A.S. Features of mountain soil formation. Moscow: Nauka Publ., 1998. 190 p. (in Russian).
- Vorobyova G.A. Soil as a chronicle of natural events in the Baikal region: problems of soil evolution and classification. Irkutsk: Irkutsk State University Publishing House, 2010. 205 p. (in Russian).
- Glazovskaya M.A. Soils of the world: main families and types of soils. Moscow: Moscow State University Press, 1972. Vol. 1. 234 p. (in Russian).
- Gorchakovskiy P.L. Plant community of the highland Urals. Moscow: Nauka Publ., 1975. P. 13–67. (in Russian).
- Daineko E.K., Neshataev Yu.N. Analysis of the structure of the soil and vegetation covers of the Kazatskaya steppe of the Central Black Earth Reserve named after V.V. Alekhine. In book: The structure of the soil cover and methods of its study. Moscow: Publishing house of the Soil Institute named after V.V. Dokuchaev, 1973. P. 170–188. (in Russian).
- Daineko E.K., Fridland V.M. Experience of using information-logical analysis to clarify the relationships between soil formation factors and some morphological properties of soils. In book: Structure of soil cover, soil combinations, their classification and methods of study. Moscow: Nauka Publ., 1969. P. 56–57. (in Russian).
- Yeshchenko S.I., Myagkiy P.A., Tatarintsev V.L., Tatarintsev L.M. Simulation of meliorative condition of arable lands according to particle-size composition data. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2018. No. 8. P. 59–64. (in Russian).
- Karavaeva N.A., Targulyan V.O., Cherkinskiy A.E., Tselischeva L.K., Gracheva R.G., Margolina N.Ya., Iljchev B.A., Goryachkin S.V., Aleksandrovskiy A.L., Khitrov N.B., Zamotaev I.V., Pankova E.I., Aidarov I.P., Romashkevich A.I., Chernyakhovskiy A.G., Birina A.G., Gogolev A.I., Rozanov A.B. Elementary soil-forming processes: approach to conceptual analysis, characteristics, systematics. Moscow: Nauka Publ., 1992. 186 p. (in Russian).
- Karpachevskiy L.O. Soil formation in the Sikhote-Alin Mountains. Moscow: GEOS, 2012. 138 p. (in Russian).
- Climate and hydrography of the Basegi reserve. [Electronic resource]: official website of the Basegi Nature Reserve. URL: <http://www.basegi.ru/o-zapovednike/prirodnye-isloviya/klimati-gidrografiya> (accessed on 06.02.2016). (in Russian).
- Kovaleva N.O. Mountain soils as an archive of paleoecological information. In book: Soils in the biosphere and human life. Moscow: FGBOU VPO MSU, 2012. P. 135–182. (in Russian).
- Kryshchenko V.S., Samokhin A.P. Matrix regularity in soil topography. Rostov-on-Don: Publishing house of Southern Federal University, 2008. 320 p. (in Russian).
- Ovesnov A.M. Mountain meadows of the Western Urals. Perm: Molotovgiz, 1952. 130 p. (in Russian).
- Pivovarov E.G. Studying the spatial and temporal variation of agrochemical soil properties using information-logical analysis. Agrokhimiya. 2006. No. 8. P. 77–84. (in Russian).
- Pivovarov Ye.G., Konontseva Ye.V., Khludentsov J.G., Popova Ye.S. The system of agrochemical indices in the regional soil classification of the Altai region. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2018. No. 8. P. 40–47. (in Russian).
- Pivovarov E.G., Makarychev S.V., Gefke I.V. Mathematical models of soil reference standards of pine-forest hollows of ancient streamflows in the Altai region. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2025. No. 2 (244). P. 22–28. (in Russian). <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2025-244-2-22-28>
- Field guide to soils of Russia. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2008. 182 p. (in Russian).
- Puzachenko Yu.T., Karpachevskiy L.O., Vznuzdayev N.A. Possibilities of using information-logical analysis in studying soil using its moisture content as an example. In book: Patterns of spatial variation of soil properties and information-statistical methods for studying them. Moscow: Nauka Publ., 1970. P. 121–130. (in Russian).
- Samofalova I.A. Information-logical analysis of soil cover differentiation of the altitude geosystems in the Middle Urals. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017. No. 11 (157). P. 105–114. (in Russian).
- Samofalova I.A. Soil diversity of tundra and goletz landscapes in the Basegi Reserve. Geographical Bulletin. 2018. Vol. 1. P. 16–28. (in Russian). <https://press.psu.ru/index.php/geogr/article/view/1329>
- Samofalova I.A. Indicative link between genetic signs of soil and high-altitude landscapes in the Middle Ural (Ridge Basegi). Russian Journal of Applied Ecology. 2019. No. 2 (18). P. 42–48. (in Russian). <https://rjae.ru/index.php/rjae/article/view/82>

- Samofalova I.A. Geomodeling of soil cover on the basis of generalized spatial analysis territories of the "Basegi" Reserve (Middle Ural). InterCarto. InterGIS. 2020a. Vol. 26. No. 4. P. 131–146. (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-4-26-131-146>
- Samofalova I.A. Using the basin approach to study the differentiation of vegetation and soil cover (Basegi ridge, Middle Urals). Geografia i prirodnye resursy. 2020b. No. 1. P. 175–184. (in Russian). [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-1\(175-184\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-1(175-184))
- Samofalova I.A. Soil as a component of protected landscapes in the system of specially protected natural territories (on the example "Basegi" state reserve). Agrochemical Herald. 2021. No. 1. P. 19–27. (in Russian). <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-1-004>
- Samofalova I.A. Spatial-structural organization of the soil cover of the western macroslope of the Middle Urals. Abstract of Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Perm, 2023. 34 p. (in Russian).
- Samofalova I., Trifonova T., Shutov P. Soil-landscape zoning territories of the Basegi reserve based on the earth remote sensing data. In book: Digital Geography: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation (Perm, 16–18 September, 2020) / S.V. Pyankov (editor), S.A. Buzmakov, N.A. Kalinin, N.N. Nazarov, S.V. Kopytov. Perm: Perm State Research University, 2020. Vol. 1. P. 158–162. (in Russian).
- Sokolov I.A. Spatio-temporal organization of the pedosphere and its evolutionary-ecological determinacy. Pochvovedenie. 1993. No. 7. P. 12–22. (in Russian).
- Sorochkin V.M. On the use of the information-logical method in soil studies. Pochvovedenie. 1977. No. 9. P. 131–139. (in Russian).
- Startsev V.V., Zhangurov E.V., Dymov A.A. Characteristics of soils in altitudinal belts of the Yaptiknyrd ridge (Subpolar Urals). Tomsk State University Journal of Biology. 2017. No. 38. P. 6–27. (in Russian). <https://doi.org/10.17223/19988591/38/1>
- Targulyan V.O. Soil formation and weathering in cold humid regions. Moscow: Nauka Publ., 1971. 268 p. (in Russian).
- Trifonova T.A. Formation of the soil mantle in mountains: the geosystem aspect. Pochvovedenie. 1999. No. 2. P. 174–181. (in Russian).
- Trifonova T.A. Development of a basin approach in pedological and ecological studies. Eurasian Soil Science. 2005. Vol. 38. No. 9. P. 931–937.
- Broll G., Keplin B. Mountain ecosystems: studies in treeline ecology. Berlin; Heidelberg: Springer, 2005. 354 p.
- Freyerova K., Sefrna L. Soil organic carbon density and storage in podzols – a case study from Ralsko region (Czech Republic). AUC Geographica. 2014. Vol. 49. No. 2. P. 65–72. <http://dx.doi.org/10.14712/23361980.2014.16>
- Kabala C., Waroszewski J., Bogacz A., Labaz B. O specifice bielie gorskich on the specifics of podzols in mountain areas. Roczniki Gleboznawcze. Soil Science Annual. 2012. Vol. 63. No. 2. P. 55–64. (in Poland). <https://doi.org/10.2478/v10239-012-0018-z>
- Samofalova I.A. Typical features of short-profile soils in the Middle Urals. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society. IOP Publishing, 2021. Vol. 862. No. 1. P. 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/862/1/012009>
- Sanborn P., Lamontagne L., Hendershot W. Podzolic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification. Canadian Journal of Soil Science. 2011. Vol. 91 (5). P. 843–880. <https://doi.org/10.4141/cjss10024>
- Sanchez P.A., Ahamed S., Carré F., Hartemink A.E., Hempel J., Huising J., Lagacherie P., McBratney A.B., McKenzie N.J., de Mendonca-Santos M., Minasny B., Montanarella L., Okoth P., Palm C.A., Sachs J.D., Shepherd K.D., Vågen N.-G., Vanlauwe B., Walsh V.G., Winowiecki L.A., Zhang G.-L. Digital soil map of the World. Science. 2009. Vol 325. № 5941. P. 680–681. <https://doi.org/10.1126/science.117508>

Received 17 January 2025

Accepted 06 March 2025

Published 25 May 2025

About the author:

Iraida A. Samofalova – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Agrochemistry and Soil Science in the Perm State Agro-Technological University named after academician D.N. Prianishnikov (Perm, Russia); samofalovairaida@mail.ru

The author read and approved the final manuscript



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

УДК 631.4

<https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.269>

Изменение урожайности и химического состава люцерны посевной под воздействием удобрений

© 2025 О. С. Самохвалова 

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», ул. Кирова, 42, г. Новокузнецк, 654007, Россия. E-mail: samohvalova_os@sibsiu.ru

Цель исследования. Оценить изменение урожайности люцерны посевной и содержания в ней биофильных и токсичных элементов под воздействием различных удобрений в условиях южной зоны Амурской области.

Место и время проведения. Экспериментальную часть исследования провели в 2005–2006 гг. на территории учебно-опытного хозяйства Дальневосточного государственного аграрного университета (с. Грибское, Амурская область).

Методы. Микрополевые опыты проведены в трех повторностях. Физико-химические свойства почв определяли по общепринятым методикам, элементный химический состав почвенных и растительных образцов исследовали атомно-абсорбционным методом, для обработки полученных данных использовали методы вариационной статистики.

Основные результаты. Урожайность люцерны посевной в вариантах опыта возрастала в ряду: контроль < минеральные удобрения < торфогуминовые удобрения, оставаясь на примерно одинаковом уровне в течение эксперимента. Из изучаемых элементов больше всего люцерна накапливала цинк и бор, причем более активно при внесении торфогуминовых удобрений. Содержание цинка в люцерне посевной во всех случаях превышало нормируемые значения. Внесение минеральных удобрений увеличило содержание молибдена в растениях до значений выше допустимого уровня. Концентрация кадмия и селена в растениях была минимальна, и между вариантами опыта статистически значимые отличия не выявлены, а максимально допустимый уровень кадмия не превышен.

Заключение. Установлено, что торфогуминовые удобрения способствуют большему увеличению зеленой массы люцерны по сравнению с минеральными. Люцерна посевная активно накапливает цинк и бор, содержание потенциально токсичных элементов – кадмия и свинца – не превышает максимально допустимых величин. Выявление продукционных особенностей и химического состава люцерны посевной, особенно в плане содержания в ней биофильных и токсичных элементов под воздействием различных удобрений, в условиях Амурской области имеет важное значение для разработки технологий, направленных на повышение количества и улучшения качества продукции кормопроизводства.

Ключевые слова: люцерна посевная; урожай; удобрения; микроэлементы; Амурская область.

Цитирование: Самохвалова О.С. Изменение урожайности и химического состава люцерны посевной под воздействием удобрений // Почвы и окружающая среда. 2025. Том 8. № 2. e269. DOI: [10.31251/pos.v8i2.269](https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.269)

ВВЕДЕНИЕ

Почвы Амурской области относятся к числу наиболее плодородных и благоприятных для ведения земледелия в Дальневосточном федеральном округе (Голов и др., 2020). Однако здесь, как и во многих других регионах, выращивание сельскохозяйственных культур, сопровождающееся многолетним отчуждением товарной продукции и интенсификацией обработки почвы, приводит к ее деградации и потере плодородия (Голов и др., 2020; Бурдуковский и др., 2022). За последние десятилетия в хозяйствах Дальнего Востока продолжается снижение посевных площадей под многолетними культурами, что приводит к нарушению научно обоснованной системы земледелия, так как на первом месте по почвозащитной роли стоят многолетние травы, составляющие основу кормопроизводства во всех сельскохозяйственных предприятиях области и имеющие большое экологическое значение (Беркаль, 2015). Для решения данной проблемы рекомендуется снизить долю сои в структуре посевных площадей Амурской области до 40%, увеличив при этом количество посевов многолетних бобовых и злаковых трав, а также их травосмесей до научно обоснованного уровня 25–30% (Новоселов и др., 2010; Иванова и др., 2023). С учетом биологизации дальневосточного земледелия, преимущество должны иметь наиболее приспособленные к сложным почвенно-климатическим условиям зоны виды трав, такие как люцерна посевная (*Medicago sativa* L.), кострец безостый (*Brōmus inērmis* Leyss.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), козлятник восточный (*Galega orientalis* Lam.) и др., обеспечивающие высокую

урожайность и качество корма при одновременном энерго- и ресурсосбережении (Иванова и др., 2023).

Одной из наиболее значимых многолетних кормовых культур в Амурской области является люцерна посевная (Шмелева, 2022). Это ценное растение семейства бобовых выращивают для различных целей: на корм сельскохозяйственным животным, в качестве сидерата и фитомелиоранта, для лечебно-оздоровительных мероприятий и ландшафтного дизайна, а также является хорошим медоносом. В кормопроизводстве люцерна ценится за высокое содержание белков, ее используют для приготовления различных видов кормов (зеленой массы, сена, сенажа, силоса). Люцерна, посевы которой формируют 3–4 укоса за сезон, обладает высокой способностью к фиксации атмосферного азота – в надземной массе накапливается до 200 кг/га азота ежегодно, а в почве за 3 года выращивания – 45–200 кг. Хорошо развитая корневая система люцерны на 2–3-м году составляет от 8 до 12 т/га корневой массы в пахотном слое почвы, что эквивалентно внесению 40–60 т навоза (Лазарев, 2015).

Удобрения увеличивают урожайность люцерны. Установлено, что при внесении минеральных удобрений пополняется почвенное содержание подвижных форм элементов питания и создаются благоприятные условия для формирования высокого урожая вегетативной массы люцерны (Дроздова и др., 2013; Казарина, Марунова, 2017). Однако важное значение имеет не только количество получаемой продукции, но и ее минеральная полноценность, которая значительно снизилась в последние годы (Сысо, 2016; Сысо и др., 2017).

Химические элементы поступают в растения, главным образом, из почвы. Обеспеченность почв микроэлементами обусловлена основными факторами почвообразования, физико-химическими свойствами почв, элементным химическим составом почвообразующих пород и т.п., а в промышленных регионах – техногенным воздействием. В почвы сельскохозяйственных угодий химические элементы дополнительно поступают с удобрениями и мелиорантами (Костиков, 1971; Кондратова, Прокопчук, 2018).

Учитывая вышеизложенное, цель работы – изучить изменение урожайности люцерны посевной и содержания в ней биофильных и токсичных элементов под воздействием различных удобрений в условиях южной зоны Амурской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены на лугово-черноземовидной почве учебно-опытного хозяйства Дальневосточного государственного аграрного университета (с. Грибское, Амурская область) в течение 2005–2006 гг. Лугово-черноземовидные почвы характеризуются высоким содержанием гумуса и его гуматным составом. Этим почвам свойственны слабокислая и нейтральная реакция среды, высокая емкость поглощения во всех горизонтах профиля, почти полная насыщенность поглощающего комплекса основаниями. Почвы отличаются хорошей, но непрочной структурой и низкой водопроницаемостью, широко используются в сельском хозяйстве и активно отзываются на внесение удобрений. Однако за последние десятилетия отмечено, что вследствие антропогенной и техногенной нагрузки на лугово-черноземовидные почвы в Приамурье наблюдается их дегумификация, в некоторых районах экологическая ситуация близка к критической по всем показателям – потере гумуса, почвенной эрозии, загрязнению остаточными количествами пестицидов (Голов и др., 2020).

Использованная в опытах луговая черноземовидная почва имеет следующие показатели: содержание гумуса (метод Тюринга в модификации ЦИНАО) – 5,9%, pH_{KCL} (потенциометрический метод) – 5,8, содержание подвижного фосфора (метод Кирсанова) – 35,5 мг/кг, обменного калия (метод Кирсанова) – 320 мг/кг, подвижных (ацетатно-аммонийный буфер с pH 4,8) форм соединений (мг/кг) бора – 0,74, цинка – 28, молибдена – 0,25, селена – 0,04, свинца – 0,72, кадмия – 0,11.

При закладке опытов использовали методики В.А. Доспехова (1985), З.И. Журбицкого (1968), В.Г. Иглюикова (1971).

Микрополевые опыты закладывали в 3-кратной повторности, в пластмассовых сосудах без дна емкостью 10 кг и диаметром 18 см, которые наполняли почвой наполовину во избежание вымывания, так как в весенне-летний период на территории Амурской области характерны ливневые дожди. Схема опыта включала в себя следующие варианты:

- Контроль – без внесения удобрений;

- ТГУ – торфогуминовые удобрения «Деметра», содержащие по 6% азота, фосфора и калия. Доза внесения ТГУ составила 5 г на сосуд, т.е. 1 г/кг почвы. В 2007 году применяемое ТГУ было запатентовано (№ 346 917 С2);

- РК+Мо – минеральные удобрения: простой суперфосфат (19% P_2O_5) – 0,9 г на сосуд (34 мг д.в. на 1 кг почвы), калий хлористый (61% K_2O) – 0,5 г на сосуд (61 мг д.в. на кг почвы), молибден вносили в виде $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \times 4H_2O$ – 1 мг на сосуд (0,1 мг Мо на кг почвы).

Для проведения опыта выкопали две параллельно идущие траншеи на глубину пахотного слоя (обычно 15–25 см). Расстояние между траншеями 70 см. Такое расстояние позволяет выращивать любую культуру рассредоточено, когда растения не затеняют друг друга. Пахотный слой из траншеи выбирали полностью до подпахотного горизонта, набивали сосуды почвой, вносили удобрения. Высевали сорт люцерны посевной Марусинская 425, норма высева семян составила 40 шт. на сосуд, глубина заделки – 3 см. Внутри повторности сосуды закапывали рядом, а в конце ряда в крайних сосудах выращивали растения для подавления «краевого» эффекта. Укос растений проводили в фазу бутонизации.

Содержание химических элементов в почвах и растениях определили атомно-абсорбционным методом с использованием спектрофотометров «Квант» и «Hitachi». Статистическую обработку данных провели в программе Exsel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При внесении под люцерну минеральных и торфогуминовых удобрений на лугово-черноземовидных почвах создаются благоприятные условия для формирования более высокого урожая зеленой массы люцерны (рис 1).

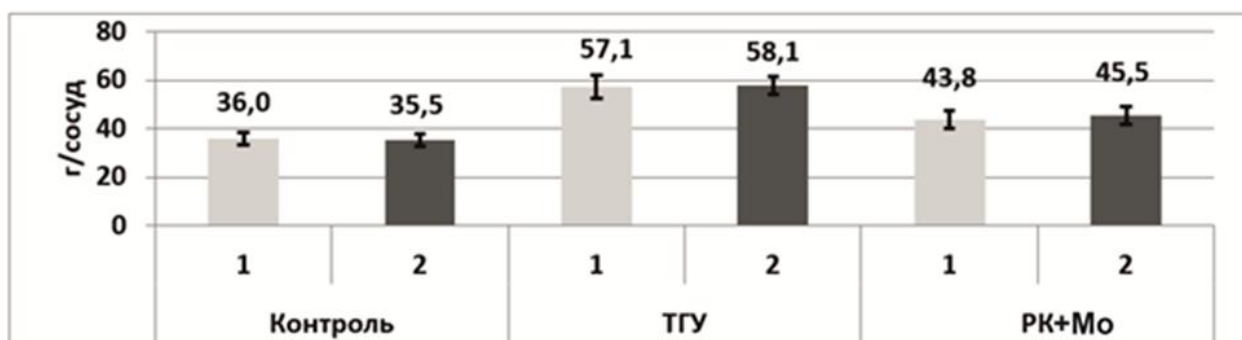


Рисунок 1. Средняя урожайность люцерны посевной, г/сосуд.

Обозначения: годы исследования (здесь и далее на рис. 2): 1 – 2005, 2 – 2006; варианты опыта: Контроль – без внесения удобрений, ТГУ – торфогуминовые удобрения, РК+Мо – минеральные удобрения. Вертикальные планки представляют собой ошибку среднего арифметического.

Урожайность люцерны во всех вариантах опыта отличалась статистически значимо (HCp_{05} – 7,4 в 1 год, 7,5 во 2 год), максимальную эффективность показали торфогуминовые удобрения. Вероятно, такое действие может быть связана не только с количественными, но и с качественными отличиями применяемых удобрений. Одной из причин этого стал тот факт, что, в отличие от минеральных удобрений, элементы питания в составе ТГУ находились в адсорбированном состоянии, т.к. предварительно торф, из которого затем готовили ТГУ, был активирован специальным щелочным составом, позволяющим увеличить его адсорбционную способность в несколько раз. В литературе также отмечают (Голов и др., 2007), что эффективность ТГУ в полевых опытах бывает намного выше, чем минеральных удобрений, за счет пролонгированного действия элементов минерального питания.

Полученная в опыте урожайность люцерны посевной в первый и во второй годы практически совпадает (см. рис. 1). Метеорологические условия в годы проведения исследований были характерными для климата Амурской области, в течение вегетационного периода преобладало неравномерное распределение осадков и температуры – в мае исследуемых периодов отмечалась сухость почвы, в летние месяцы частичное переувлажнение. На отрастание люцерны второго года отразилась холодная малоснежная зима, которая привела к вымерзанию растений, а также засушливая весна и август (осадков выпало 26% от нормы), что затрудняло рост и развитие растений.

Наибольшая урожайность зеленой массы люцерны получена в варианте с ТГУ во втором году. Средняя урожайность люцерны выше на 64% в опыте с ТГУ по сравнению с контролем второго года, наименьший показатель в сравнении с контролем (22%) – у РК в первом году (рис. 2).

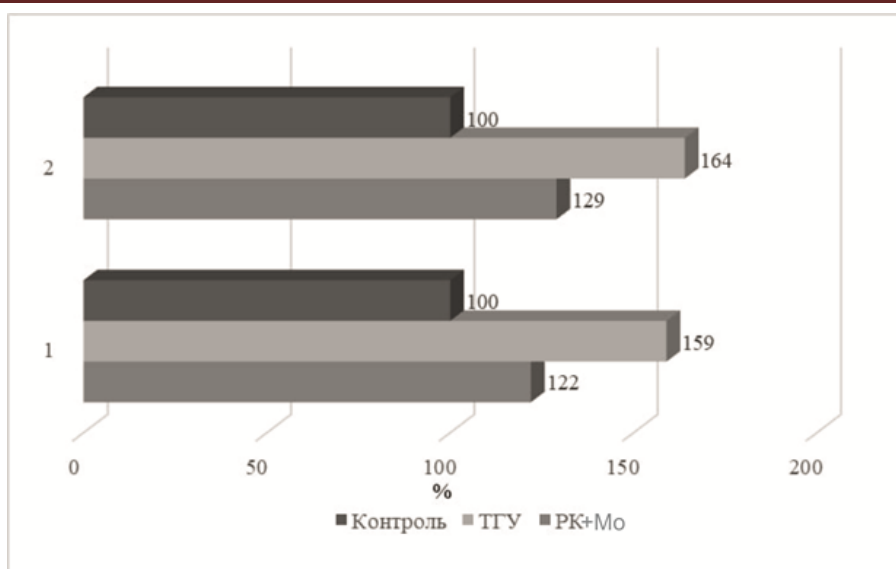


Рисунок 2. Относительная урожайность люцерны посевной, %.

Помимо урожайности растений, большое значение имеет содержание в них определенных химических элементов. Масштаб поглощения элементов определяется их ролью в жизни растений. Цинк, молибден и бор относят к «элементам жизни», поскольку участвуют в ключевых метаболических процессах: дыхании, фотосинтезе, углеводном и белковом обмене и т.п. Люцерна особенно сильно реагирует на нехватку молибдена, который является значимой составной частью фермента нитратредуктазы, без него невозможен синтез белковых веществ (Волошин, Аветисян, 2017). Также молибден влияет на обмен веществ, в частности, метаболизм аминокислот и нуклеиновых кислот, участвует в обмене серы в организме (Kabata-Pendias, 2010). Важными функциями бора являются участие в образовании сахаров, накоплении меристемы, плодообразование. Цинк необходим для синтеза белков, липидов и нуклеиновых кислот, а также метаболизма углеводов (Иванищев, 2022). В жизни растений также важен селен, он оказывает влияние на ростовые процессы, фотосинтетическую деятельность, зимостойкость, засухоустойчивость и продуктивность сельскохозяйственных культур (Побилат, Волошин, 2020). Что касается свинца и кадмия, то установлено, что при увеличении их содержания в листьях люцерны фотосинтетическая активность мезофильных клеток подавляется на 10–30%, что вызывает снижение продуктивности растений (Желтухина и др., 2021).

В таблице приведены обобщенные данные по содержанию вышеперечисленных элементов в люцерне посевной за 2005–2006 гг.

Таблица

Накопление химических элементов люцерной посевной, мг/кг

Вариант	B	Mo	Zn	Se	Pb	Cd
Контроль	9,5 ± 0,4	1,8 ± 0,1	92 ± 11	0,08 ± 0,02	0,64 ± 0,11	0,17 ± 0,02
ТГУ	24,1 ± 1,5	2,1 ± 0,1	127 ± 11	0,13 ± 0,03	0,89 ± 0,11	0,19 ± 0,02
PK+Mo	12,7 ± 0,4	4,9 ± 0,1	90 ± 8	0,09 ± 0,03	1,40 ± 0,14	0,21 ± 0,02
НСР ₀₅	3,2*	0,3*	16*	0,04	0,15*	0,03
Норма	1–30	2–3	30–60	–	–	–
МДУ	–	3,0	50	–	5,0	0,3

Примечание.

Приведены среднеарифметическое значение и его ошибка ($M \pm m$); * – выявлены статистически значимые различия. Варианты опыта: Контроль – без внесения удобрений, ТГУ – торфогуминовые удобрения, PK+Mo – минеральные удобрения. Норма – биогеохимическая норма содержания элементов в кормах (Биогеохимические основы ..., 1993); МДУ – максимально допустимый уровень концентрации элементов в грубых кормах (Ермаков, Тютиков, 2008).

Больше всего люцерна накапливает цинк и бор, причем более активно при внесении торфогуминовых удобрений (см. табл.). Повышенное накопление бора объясняется тем, что при изготовлении ТГУ используют борогипс, содержащий до 1% бора и 15% серы, который вносят в состав удобрений из расчета 60 кг/т или 6 г/кг торфа для покрытия дефицита приведенных элементов в почвах Дальневосточной провинции.

Содержание цинка в люцерне посевной довольно высокое; во всех вариантах оно превышает максимально допустимый уровень (МДУ) концентрации элементов в грубых кормах – 50 мг/кг (Ермаков, Тютиков, 2008), однако довольно близко к допустимому уровню кормовой пригодности трав (Kabata-Pendias, 2010). Вероятно, это вызвано высоким содержанием в исследуемой почве подвижного цинка – 28 мг/кг при предельно допустимой концентрации 23 мг/кг. В урбанизированных почвах Амурской области содержание подвижного цинка в целом сильно варьирует и может достигать 390 мг/кг (Радомская, Бородина, 2019). В растениях Дальнего Востока также зачастую наблюдается повышенная концентрация цинка, что связывают с комплексным воздействием загрязнения воздуха и почвы, антропогенным давлением, частыми природными и техногенными пожарами, трансграничным переносом загрязняющих веществ (Кондратьев, 2008). Избыток цинка может нарушать метаболические процессы, снижать содержание хлорофилла, подавлять фотосинтез и вызывать хлороз (Ospina-Alvarez et al., 2014), однако на растениях в опыте не обнаружено визуальных признаков нарушения микроэлементного питания. Это позволяет предположить, что выявленное повышенное содержание цинка не вызывало нарушений жизнедеятельности растений.

Содержание молибдена в растениях сильнее возрастает в варианте с использованием минеральных удобрений за счет его дополнительного внесения. Возможно и влияние его повышенного содержания в фосфорных удобрениях (Кондратова, Прокопчук, 2018). Ранее проведенные исследования показали, что содержание Мо в почвах региона находится на нижнем пределе нормы или немного ниже неё (Голов, 2004), что и послужило причиной дополнительного внесения Мо в почву как микроэлемента. Бобовые, в целом, содержат больше молибдена по сравнению со злаковыми и разнотравьем – 1–3,1 мг/кг в разных биогеохимических зонах (Ковальский и др., 1971); высокая потребность в нем бобовых культур определяется, главным образом, тем, что этот элемент необходим для фиксации молекулярного азота, в то время как для обмена веществ требуются значительно меньшие количества Мо (Голов, 2012). Концентрация кадмия и селена в растениях минимальна, между вариантами опыта статистически значимые отличия не выявлены, МДУ кадмия не превышено.

Полученные результаты согласуются с ранее проведенными исследованиями по изучению содержания химических элементов в бобовых растениях в Барабинской низменности, где среднее содержание химических элементов в бобовых многолетних травах составляет (мг/кг): бора – 18–26, молибдена – 1,2–2,0, кадмия – 0,1–0,2, свинца – 0,7–1,5 (Сысо, 2016). Это указывает на близкое содержание в растениях регионов элементов-биофилов В и Мо и отсутствие загрязнения растений токсикантами Cd и Pb. Селен в растениях до сих пор изучен весьма фрагментарно, что затрудняет сопоставление полученных результатов.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что внесение удобрений приводит к статистически значимому увеличению урожайности люцерны посевной – на 22–29% при внесении минеральных и на 59–64% при внесении торфогуминовых. Урожайность первого и второго года опытов практически не отличается между собой, влияния климатических условий выявлено не было. Наибольшая прибавка зеленой массы получена на втором году опытов при внесении торфогуминового удобрения.

Концентрация исследованных химических элементов в люцерне посевной снижается в ряду $Zn > B > Mo > Pb > Cd > Se$. Максимально допустимый уровень концентрации токсичных элементов свинца и кадмия в растениях не превышен, однако содержание цинка примерно в 2 раза выше нормируемых значений – вероятно, из-за его высокого содержания в исследуемой почве.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют, что выявление изменения урожайности люцерны посевной, содержание в ней биофильных и токсичных элементов под воздействием различных удобрений в условиях Амурской области имеет важное значение для разработки технологий, направленных на увеличение количественных и качественных показателей продукции кормопроизводства.

ЛИТЕРАТУРА

Беркаль И.В. Сеяные многолетние травы в южной зоне Амурской области // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 11(110) С. 177–182.

Биогеохимические основы экологического нормирования / В.Н. Башкин, Е.В. Евстафьева, В.В. Снакин и др. Москва: Федеральное государственное унитарное предприятие «Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука"», 1993. 304 с.

Бурдуковский М.Л., Тимофеева Я.О., Голов В.И., Киселева И.В., Тимошинов Р.В. Динамика реакции почвенной среды, структурно-агрегатного состояния и запасов углерода агрономическим подбелом в ходе постагрогенного развития // Почвоведение. 2022. № 12. С. 1505–1513. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600664>

Волошин Е.И., Аветисян А.Т. Руководство по удобрению многолетних бобовых трав (люцерна, клевер, донник, эспарцет): методические рекомендации. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2017. 31 с.

Голов В.И. Антагонизм серы и молибдена в растениях сои и возможности их совместного применения в качестве удобрений // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2012. № 2(151–152). С. 132–137.

Голов В.И. Круговорот серы и микроэлементов в основных агроэкосистемах Дальнего Востока. Рос. акад. наук, Дальневост. отд-ние, Биол.-почв. ин-т. Владивосток: Дальнаука, 2004. 315 с.

Голов В.И., Бурдуковский М.Л., Иваненко Н.В., Попова Ю.А. Экологическое состояние пахотных почв Дальнего Востока и ближайшие перспективы их использования // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2020. № 1(209). С. 66–74. <https://doi.org/10.25808/08697698.2020.209.1.007>

Голов В.И., Самохвалова О.С., Ананьева Э.В., Тимофеев А.Н. Условия накопления микроэлементов и тяжелых металлов основными кормовыми культурами на почвах Амурской области // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2007. № 2. С. 59–62.

Дроздова В.В., Шеуджен А.Х., Нецадим Н.Н., Лиманский А.Н. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зеленой массы люцерны // Плодородие. 2013. № 6(75). С. 15–18.

Ермаков В.В., Тютиков С.Ф. Геохимическая экология животных. Москва: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2008. 315 с.

Желтухина В.И., Морозова Т.С., Панин С.И., Мелентьев А.А., Куликова М.А. Поведение тяжелых металлов в почвенно-биотическом комплексе агроценозов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 4(32). С. 136–140.

Иванищев В.В. Цинк в природе и его значение для растений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 2. С. 35–49. <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2022-2-1-35-49>

Иванова Е.П., Чувилина Е.П., Хасбиуллина О.И., Беркаль И.В. Роль многолетних бобовых трав в биологизации земледелия и развитии кормопроизводства Дальнего Востока // Достижения науки и техники АПК. 2023. Том 37. № 10. С. 41–46. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_10_41

Казарина А.В., Марунова Л.К. Влияние режима питания на продуктивность люцерны в условиях самарского Заволжья // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2017. № 12. С. 101–105.

Ковальский В.В., Раецкая Ю.И., Грачева Т.И. Микроэлементы в растениях и кормах. Москва: Колос, 1971. 235 с.

Кондратова А.В., Прокопчук В.Ф. Содержание микроэлементов в чернозёмовидных почвах Зейско-Буреинской равнины // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2018. Том 23. С. 68–77. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.23.68>

Кондратьев И.И. Атмосферный трансграничный перенос загрязняющих веществ из центров эмиссии восточной Азии на юг Дальневосточного региона России // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2008. № 1(137). С. 107–112.

Костиков Д.Н. Микроэлементы в почвах Зейско-Буреинской равнины // Труды Благовещенского сельскохозяйственного института. 1971. Том 6. С. 106–109.

Лазарев Н.Н. Долголетие люцерны изменчивой в одновидовых посевах и травосмесях // Доклады ТСХА (г. Москва, 02–04 декабря 2014 г.). Том 1. Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. С. 100–103.

Новоселов Ю.К., Шпаков А.С., Новоселов М.Ю., Рудоман В.В. Роль бобовых культур в совершенствовании полевого травосеяния // Кормопроизводство. 2010. № 7. С. 19–22. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-11-98-105>

Побилат А.Е., Волошин Е.И. Особенности содержания селена в системе почва-растение // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2020. № 11. С 95–102. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-11-98-105>

Радомская В.И., Бородина Н.А. Оценка антропогенного загрязнения почвы урбанизированной территории на примере города Благовещенска // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2019. № 6. С. 79–93. <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019679-93>

Сысо А.И. Актуальные вопросы гигиенической и биогеохимической оценки качества почв и растительной продукции // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах: материалы II Международной школы (Тюмень, 16–20 мая 2016 г.) / под ред. В.А. Боева, А.И. Сысо, В.Ю. Хорошавина. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2016. С. 132–142.

Сысо А.И., Лебедева М.А., Худяев С.А., Черевко А.С., Шишин А.И., Себежко О.И., Коновалова Т.В., Короткевич О.С., Петухов В.Л., Камалдинов Е.В., Слобожанин Д.М. Макро- и микроэлементы в почвах и кормовых травах прифермерских полей Барнаульского Приобья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2017. № 3(44). С. 54–61.

Шмелева Н.В. Многолетние травы – важный фактор воспроизводства и регулирования плодородия почв Верхневолжья // Владимирский земледелец. 2022. № 2(100). С. 35–39. <https://doi.org/10.24412/2225-2584-2022-2-35-39>

Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 p.

Ospina-Alvarez N., Głaz N., Dmowski K., Krasnodębska-Ostrega B. Mobility of toxic elements in carbonate sediments from a mining area in Poland. Environmental Chemistry Letters. 2014. Vol. 12(3). P. 435–441. <https://doi.org/10.1007/s10311-014-0468-0>

Поступила в редакцию 23.07.2024

Принята 16.04.2025

Опубликована 25.05.2025

Сведения об авторе:

Самохвалова Ольга Сергеевна – главный специалист по управлению проектами ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк, Россия), samohvalova_os@sibsiu.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/)

Aalfalfa yield and chemical composition under different fertilization

© 2025 O. S. Samokhvalova

Siberian State Industrial University, st. Kirova, 42, Novokuznetsk, Russia. E-mail: samohvalova_os@sibsiu.ru

The aim of the study was to examine changes in alfalfa yield and content of biophilic and toxic elements under the influence of various fertilizers in the southern zone of the Amur region.

Location and time of the study. The experimental part of the study was carried out in the Educational and Experimental Farm of the Far Eastern State Agrarian University (Gribskoye village), Amur Region, in 2005–2006.

Methods. Microplot field experiments were carried out, plant and soil samples collected and soil physicochemical properties determined using universally accepted methods, the elemental chemical composition of soil and plant samples was determined by atomic adsorption. Variation statistics was used to process the data obtained.

Results. The yield of alfalfa in different treatments increased control < mineral fertilizers < peat-humic fertilizers, and was about the same in the first and second years of the experiment. Alfalfa was found to most actively accumulate zinc and boron, and the more so under peat-humic fertilizers. The zinc content in alfalfa in all cases exceeded the regulated reference values. Mineral fertilization resulted in the increase in molybdenum content to the values exceeding the permissible level. The cadmium and selenium concentration in plants was minimal, with no statistically significant differences between the treatments; the maximal permissible level for cadmium was not exceeded.

Conclusions. Peat-humic fertilizers led to a greater increase in green phytomass as compared with mineral fertilizers. Alfalfa actively accumulated zinc and boron, and the content of potentially toxic elements (cadmium and lead) did not exceed the maximum permissible values. Revealing production peculiarities and chemical

composition of alfalfa, and specifically biophilic and toxic chemical elements under fertilization, is very important for the development of technologies to improve the quantity and quality of the fodder production in the Amur region.

Keywords: alfalfa; perennial grasses; fertilizers; trace elements; Amur region.

How to cite: Samokhvalova O.S. Alfalfa yield and chemical composition under different fertilization. *The Journal of Soils and Environment*. 2025. 8(2). e269. DOI: [10.31251/pos.v8i2.269](https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.269) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

- Berkal I.V. The sowed long-term grasses in a southern zone of the Amur region. *Bulletin of Krasnoyarsk Agrarian University*. 2015. No. 11(110). P. 177–182. (in Russian).
- Biogeochemical foundations of environmental regulation / V.N. Bashkin, E.V. Evstafieva, V.V. Snakin et al. Moscow: Academic scientific publishing, production, printing and book distribution center "Nauka", 1993. 304 p. (in Russian).
- Burdukovskii M.L., Timofeeva Ya.O., Golov V.I., Kiseleva I.V., Timoshinov R.V. Dynamics of Soil Acidity, Structural–Aggregate State, and Carbon Stocks in Agro-Dark-Humus Podbels in the Postagrogenic Development. *Eurasian Soil Science*. 2022. Vol. 55. No. 12. P. 1733–1740. <https://doi.org/10.1134/S1064229322700028>
- Voloshin E.I., Avetisyan A.T. Guide to fertilizing perennial legumes (alfalfa, clover, sweet clover, sainfoin): methodological recommendations. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2017. 31 p. (in Russian).
- Golov V.I. Sulphur and molybdenum antagonism in soybean plants and possibility of their joint application as fertilizers. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of All-Russian Research Institute of Oil Crops*. 2012. No. 2(151–152). P. 132–137. (in Russian).
- Golov V.I. The cycle of sulfur and microelements in the main agroecosystems of the Far East. Vladivostok: Dalnauka Publ., 2004. 315 p. (in Russian).
- Golov V.I., Burdukovsky M.L., Ivanenko N.V., Popova Yu.A. The ecological state of the arable soil of the far east and the immediate prospects for their use. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2020. No. 1(209). P. 66–74. (in Russian). <https://doi.org/10.25808/08697698.2020.209.1.007>
- Golov V.I., Samokhvalova O.S., Ananyeva E.V., Timofeev A.N. Conditions for the accumulation of microelements and heavy metals by the main forage crops on the soils of the Amur region. *Bulletin of Krasnoyarsk Agrarian University*. 2007. No. 2. P. 59–62. (in Russian).
- Drozdova V.V., Sheudzhen A.Kh., Neshchadim N.N., Limansky A.N. Effect of mineral fertilizers on the yield and quality of alfalfa green mass. *Plodorodie*. 2013. No. 6(75). P. 15–18. (in Russian).
- Ermakov V.V., Tyutikov S.F. *Geochemical ecology of animals*. Moscow: MAIK "Nauka/Interperiodika", 2008. 315 p. (in Russian).
- Zheltukhina V.I., Morozova T.S., Panin S.I. and others. Behavior of heavy metals in the soil-biotic complex of agroecosystems. *Innovations in the agroindustrial complex: problems and prospects*. 2021. No. 4(32). P. 136–140. (in Russian).
- Ivanishchev V.V. Zinc in nature and its significance for plants. *Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*. 2022. No. 2. P. 35–49. (in Russian). <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2022-2-1-35-49>
- Ivanova E.P., Chuvilina E.P., Khasbiullina O.I., Berkal I.V. The role of perennial legumes in the biologization of agriculture and the development of feed production in the Far East. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2023. Vol. 37. No. 10. P. 41–46. (in Russian). https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_10_41
- Kazarina A.V., Marunova L.K. The effect of diet on productivity of alfalfa in the conditions of samara Trans-Volga region. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2017. No. 12. P. 101–105. (in Russian).
- Koval'skiy V.V., Raetskaya Yu.I., Gracheva T.I. *Microelements in plants and feeds*. Moscow: Kolos Publ., 1971. 235 p. (in Russian).
- Kondratova A.V. Trace elements composition of chernozem-like soils on Zeya-Byreya plain. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Biology. Ecology*. 2018. Vol. 23. P. 68–77. (in Russian). <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.23.68>
- Kondratyev I.I. Atmospheric transboundary transport of pollutants from the emission centers of East Asia to the south of the Far Eastern region of Russia. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2008. No. 1(137). P. 107–112. (in Russian).
- Kostikov D.N. *Microelements in soils of the Zeya-Bureya Plain*. Proceedings of the Blagoveshchensk Agricultural Institute. 1971. Vol. 6. P. 106–109. (in Russian).

Lazarev N.N. Longevity of variable alfalfa in single-species crops and grass mixtures. Reports of the TSHA (Moscow, 02–04 December, 2014). Vol. 1. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazeva, 2015. P. 100–103. (in Russian).

Novoselov Yu.K., Shpakov A.S., Novoselov M.Yu., Rudoman V.V. Role of legumes in perfection of field grass cultivation in Russia. Fodder Production. 2010. No. 7. P. 19–22. (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-11-98-105>

Pobilat A.E., Voloshin E.I. The features of selenium content in the soil - plant system (review). Bulletin of Krasnoyarsk Agrarian University. 2020. No. 11. P. 95–102. (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-11-98-105>

Radomskaya V.I., Borodina N.A. Assessment of anthropogenic contamination in an urban territory by the example of Blagoveshchensk city. Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya. 2019. No. 6. P. 79–93. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019679-93>

Syso A.I. Current issues of hygienic and biogeochemical assessment of the quality of soils and plant products / A.I. Syso. In book: Biogeochemistry of chemical elements and compounds in natural environments. Materials of the II International school-seminar for young researchers, dedicated to the memory of Professor V.B. Ilyina (Tyumen, 16–20 May, 2016). Tyumen: Tyumen State University, 2016. P. 132–142. (in Russian).

Syso A.I., Lebedeva M.A., Khudyaev S.A., Cherevko A.S., Shishin A.I., Sebezhko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Kamaldinov E.V., Slobozhanin D.M. Macro- and microelements in soils and forage grasses of farm fields of the Barnaul Ob region. Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2017. No. 3(44). P. 54–61. (in Russian).

Shmeleva N.V. Permanent grasses are an important factor in fertility recovery and fertility control of soil of Upper Volga. Vladimir Farmer. 2022. No. 2(100). P. 35–39. (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2225-2584-2022-2-35-39>

Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 p.

Ospina-Alvarez N., Głaz N., Dmowski K., Krasnodębska-Ostęga B. Mobility of toxic elements in carbonate sediments from a mining area in Poland. Environmental Chemistry Letters. 2014. Vol. 12(3). P. 435–441. <https://doi.org/10.1007/s10311-014-0468-0>

Received 27 July 2024

Accepted 16 April 2025

Published 25 May 2025

About the author:

Olga S. Samokhvalova – Chief Specialist in Project Management of Siberian State Industrial University (Novokuznetsk, Russia), samokhvalova_os@sibsiu.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/)

УДК 631.84 :631.8.022.3: 631.816.31: 631.816.353
<https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.303>



Эффективность разных форм азотных удобрений на черноземе обыкновенном в южной лесостепи Барабы

© 2025 С. А. Колбин , Г. И. Ткаченко , Л. М. Самохвалова

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, ул. Центральная, 26, Новосибирская область
 р.п. Краснообск, 630501, Россия. E-mail: KolbinSA@sfsca.ru

Цель исследования. Сравнительная оценка эффективности внесения твердых и жидких минеральных азотных удобрений посевным комплексом Bourgault 3330 в условиях южной лесостепи Барабы на черноземе обыкновенном в посевах яровой пшеницы.

Место и время проведения. Экспериментальная часть исследований была проведена в 2021 г. в южно-лесостепном Барабинском агроландшафтном районе Новосибирской области.

Методы. Исследования проводили методом полевого опыта; агрохимический анализ почвы и растительных образцов осуществляли по общепринятым методикам. Для внесения удобрений и посева яровой пшеницы сорта Тобольская использовали посевной комплекс Bourgault 3330; в технологии возделывания пшеницы применяли комплекс средств интенсификации: гербициды, фунгициды, инсектициды и регуляторы роста растений. Учет фактической урожайности пшеницы проводили комбайном JohnDeere 9570 STS с автоматической цифровой системой взвешивания (ActiveYield); одновременно определялась биологическая урожайность сноповым методом. Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа.

Основные результаты. Сравнили эффективность локального внесения двух форм азотного удобрения: твердого – гранулированная аммонийная (аммиачная) селитра и жидкого – карбамидо-аммиачная смесь (КАС-32). В контрольном варианте (без внесения удобрений) урожайность пшеницы составляла 2,79 т/га, на фоне с внесением диаммофоски в рядок с семенами она увеличивалась на 8%, а в вариантах с совместным применением диаммофоски и аммонийной селитры или КАС-32 между рядами семян пшеницы она повышалась на 16%. В вариантах с внесением жидких и твердых азотных удобрений имелись различия в формировании продуктивности растений: при внесении аммонийной селитры урожайность повышалась за счет большего количества продуктивных стеблей, а в варианте с КАС-32 увеличивалось количество зерен в колосе и масса 1000 зерен. Вынос азота растениями пшеницы и коэффициент использования азота удобрений (36%) были более высокими при внесении аммонийной селитры.

Заключение. В полевом опыте на черноземе обыкновенном в южной лесостепи Новосибирской области агрономическая эффективность твердого и жидкого азотного удобрения была одинаковой. При внесении аммонийной селитры вынос азота растениями и коэффициент использования азота удобрений были максимальными, что было связано с более высоким выносом азота соломой в сравнении с вариантом КАС-32. Однако физиологическая эффективность – прибавка зерна за счет дополнительного выноса 1 кг азота удобрения – при внесении аммонийной селитры была в 1,3 раза ниже, чем в варианте КАС-32. Эффективность использования азота удобрения и почвы урожаем зерна пшеницы, при внесении КАС-32 и аммонийной селитры составляла 54%. Внесение твердых и жидких азотных удобрений способствовало улучшению качества зерна яровой пшеницы, особенно в варианте с применением КАС-32, где содержание клейковины повышалось до 30%.

Ключевые слова: чернозем обыкновенный; яровая пшеница; твердые удобрения (аммонийная селитра); жидкие удобрения (КАС-32); эффективность; качество зерна.

Цитирование: Колбин С.А., Ткаченко Г.И., Самохвалова Л.М. Эффективность разных форм азотных удобрений на черноземе обыкновенном в южной лесостепи Барабы // Почвы и окружающая среда. 2025. Том 8. № 2. е303. DOI: [10.31251/pos.v8i2.303](https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.303)

ВВЕДЕНИЕ

Первостепенное значение в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур принадлежит минеральным удобрениям. Интенсификация технологии возделывания зерновых культур предполагает дальнейший рост объемов их применения. В Новосибирской области в период с 2016 по 2020 гг. приобретение минеральных удобрений повысилось с 12,5 до 41,6 тыс. т. По информации Министерства сельского хозяйства региона, планируемый объем применения удобрений в 2025 г. должен составить 61,7 тыс. т д.в. (О ходе приобретения ..., 2020). На черноземных почвах Сибирского региона в первом минимуме для растений среди макроэлементов находится азот (Гамзиков, 2013), а наиболее востребованным твердым минеральным азотным удобрением в земледелии России является

аммиачная селитра, которая содержит азот в аммонийной и нитратной формах. В последние годы существенно увеличился объем применения жидких форм азотных удобрений. Известно, что они широко применяются более чем в 70 странах мира (Маткаш, Абрамов, 2023; Current world ..., 2011). Обусловлено это тем, что жидкие удобрения обладают целым рядом свойств, обеспечивающих преимущество при производстве, хранении и внесении в почву по сравнению с твердыми удобрениями. Наибольшее распространение в практике земледелия получила карбамидо-аммиачная смесь (КАС), где содержание азота, в зависимости от марки, варьирует от 28 до 32%. Водный раствор КАС является смесью мочевины – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и аммонийной селитры – NH_4NO_3 . Аммонийная, нитратная и амидная формы азота содержатся примерно в равных пропорциях. Наличие таких форм азота в удобрении обеспечивает их пролонгированное действие. Помимо этого, снижаются газообразные потери продуктов денитрификации и внутрипочвенная миграция легкоподвижных форм азота. Еще одно преимущество жидких азотных удобрений обусловлено меньшей стоимостью в сравнении с их твердыми аналогами. За счет механизации процессов погрузки и внесения жидких удобрений трудозатраты снижаются примерно в 2–3 раза, по сравнению с внесением твердых удобрений (Ягодин и др., 2002).

Многочисленными опытами в разных почвенно-климатических зонах России установлено, что эффективность внесения в почву эквивалентного количества жидких азотных удобрений равна, а в отдельных случаях – выше, чем твердых (Завалин и др., 2014; Есаулко и др., 2020; Блинова, Милюткин, 2020; Латарцев, Антонова, 2020). Результаты исследований по данному вопросу в Сибирском регионе противоречивы. Так, в полевых опытах на черноземе выщелоченном в Новосибирской области КАС-32 и аммиачная селитра оказали одинаковое действие на урожайность и качество зерна яровой пшеницы (Петров и др., 2017; 2019). В то же время, исследования, проведенные в этих же условиях, показали, что поверхностное внесение под предпосевную культивацию аммиачной селитры в дозе N30 обладало большей эффективностью, чем внесение эквивалентной дозы КАС-32 с помощью опрыскивателя; при увеличении дозы твердых или жидких удобрений до N60 урожайность пшеницы снижалась, а эффективность внесения различных видов удобрений была примерно одинаковой (Галеева, 2019). Другие исследователи отмечают, что в условиях Алтайского Приобья внесение КАС-32 в междурядье растений в эквивалентной дозе с твердым удобрением в рядок с семенами обеспечивало получение более высокого сбора семян льна масличного (Антонова, Латарцев, 2018).

Можно констатировать, что обзор литературных данных не позволяет сделать однозначный вывод о более высокой эффективности жидких форм азотных удобрений по сравнению с твердыми гранулированными. Так же необходимо отметить, что исследования по данной тематике, в основном, проведены в «модельных» опытах, где жидкие удобрения вносили опрыскивателями (в том числе и ранцевыми), а твердые формы удобрений разбрасывали вручную по поверхности почвы, либо их внесение производили техникой, переоборудованной кустарными методами. Вследствие этого такие исследования имеют большое теоретическое значение, но, по нашему мнению, не позволяют оценить многие аспекты эффективности внесения различных форм минеральных удобрений в условиях их практического применения в интенсивных технологиях с использованием высокопроизводительной техники. В РФ исследования по сравнению эффективности внесения данных форм удобрений специализированной техникой, в основном зарубежного производства, крайне малочисленны. При этом повышение объемов применения жидких удобрений обуславливает актуальность изучения агрономической эффективности внесения в почву твердых и жидких минеральных удобрений с использованием новых промышленных образцов техники в различных почвенно-климатических условиях Западной Сибири.

Цель исследования – сравнительная оценка эффективности внесения твердых и жидких форм азотных минеральных удобрений посевным комплексом Bourgault 3330 в условиях южной лесостепи Барабы на черноземе обыкновенном в посевах яровой пшеницы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевой опыт проведен в 2021 г. в ООО «Рубин» Краснозерского района Новосибирской области в производственных условиях, с использованием общепринятой в хозяйстве технологии прямого посева. Хозяйство расположено в южно-лесостепном Барабинском агроландшафтном регионе. Почва опытного поля – чернозем обыкновенный малогумусный супесчаный имеет следующие агрохимические показатели: содержание гумуса – 3,3%, общего азота – 0,16%, подвижного фосфора (по Чирикову) – 111 мг/кг (среднее), реакция почвенного раствора близка к нейтральной (рН – 6,5). Стартовые запасы нитратного азота в 0–40 см слое почвы были очень низкими – 12 кг/га, в 0–100 см

слое – 28 кг/га. Стартовые запасы продуктивной влаги в 0–100 см слое почвы были удовлетворительные – 103 мм. В 2021 г. сумма осадков за май–август составила 147 мм (80% от среднемноголетней нормы), ГТК Селянинова за этот период – 0,67 (в мае – 0,13; в июне–июле – 0,97; в августе – 0,63); в целом условия увлажнения вегетационного периода пшеницы были засушливыми.

В опыте применялись имеющиеся в хозяйстве минеральные удобрения в дозах, рассчитанных на планируемую урожайность пшеницы (3 т/га). На основании результатов агрохимического анализа почвы необходимо было внести 60 кг N и 23 кг P₂O₅ на 1 га. Использовали следующие удобрения: азотные – аммиачная селитра (N34,4) и КАС-32 (N32), фосфорные – диаммофоска (N12P23K23). Варианты опыта: 1 – контроль (без удобрений); 2 – диаммофоска 90 кг ф.м./га в рядок с семенами; 3 – диаммофоска 90 кг ф.м./га с семенами + аммиачная селитра в междурядье 150 кг ф.м./га; 4 – диаммофоска 90 кг ф.м./га с семенами + КАС-32 в междурядье 150 л ф.м./га. Размер опытной делянки – 100 × 13 м (0,13 га), учетная площадь – 4,6 × 54 м (0,025 га), расположение делянок систематическое, повторность опыта трехкратная. Яровую пшеницу сорта Тобольская с нормой высева 4 млн/га всхожих семян возделывали по интенсивной технологии по зерновому предшественнику (пшенице). Для посева и внесения удобрений по технологии прямого посева (без механической обработки почвы) использовали посевной агрегат Bourgault 3330 с трактором John Deere 9430. Посевной комплекс оборудован установкой для раздельного внутрипочвенного внесения двух форм (твердых или жидких) минеральных удобрений; для дозирования удобрений использовали спутниковую навигационную систему. В течение вегетации во всех вариантах опыта применяли следующие средства интенсификации (используемые в технологии возделывания пшеницы в ООО «Рубин»): гербициды – Камаро, СЭ (0,6 л/га) + Тризлак, ВДГ (0,02 кг/га) + Фокстрот Экстра, КЭ (0,5 л/га); инсектициды – Контадор, ВРК (0,1 л/га) + Альфаплан, КС (0,1 л/га); фунгицид Тилт, КЭ (0,5 л/га); внекорневая подкормка удобрениями – карбамид 10 кг/га + монокальцийфосфат 2,5 кг/га + цинк 0,15 кг/га (в хелатной форме) + нитрат магния 3 кг/га; регуляторы роста – гумат калия-натрия 0,5 л/га + ЦеЦеЦе 750, ВК 0,8 л/га (Колбин и др., 2023).

Учет урожайности в опыте осуществляли комбайном John Deere 9570 STS с системой взвешивания (Active Yield с датчиками влажности и определения урожайности зерна). Одновременно на каждой делянке вариантов опыта были отобраны снопы (по 10 повторений площадью 0,25 м²) для определения биологической урожайности пшеницы и содержания N и P₂O₅ в зерне и соломе растений (Методические указания ..., 1980). Показатели биологической урожайности пшеницы и выноса макроэлементов были условно пересчитаны на 1 га посевной площади. Стартовые запасы продуктивной влаги определяли термостатно-весовым методом, содержание N-NO₃ – усовершенствованным дисульфифеноловым методом (Иодко, Шарков 1994). Содержание клейковины в зерне определяли согласно ГОСТ Р 54478-2011. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность яровой пшеницы в контрольном варианте составила 2,79 т/га (табл. 1). Такая продуктивность обусловлена высоким эффективным плодородием почвы в результате систематического применения в предшествующие годы минеральных удобрений в ООО «Рубин». В варианте с внесением диаммофоски (ДАФК) урожайность увеличивалась примерно на 8% по сравнению с контролем. При улучшении азотного питания в варианте с внесением 50 кг N/га аммиачной селитры прибавка урожайности зерна пшеницы к фону (ДАФК) составила 0,24 т/га. Аналогичное положительное действие оказывало и жидкое удобрение КАС-32 в дозе 50 кг N/га.

Полученные результаты опыта подтверждают данные ранее проведенных исследований о том, что внесение различных форм азота в одинаковых дозах не приводит к существенному изменению урожайности зерновых культур. Так как азот удобрений (представленный аммонийной, нитратной или амидной формами), попадая в почву, претерпевает ряд превращений: амидная форма в течение нескольких дней превращается уробактериями в аммонийную форму, а в последующем с помощью нитрифицирующих микроорганизмов – в нитратную (Гамзиков, 2013). Причем эти процессы одинаково протекают как с жидкими, так и твердыми удобрениями. В результате этого при внесении разных форм азотных удобрений растения потребляют азот, в основном, в виде нитратов. Данную закономерность подтверждают результаты исследований по сравнению действия жидкого азотного удобрения (КАС) и гранулированных азотных удобрений (мочевины и аммиачной селитры), которые показали, что между этими формами удобрений отсутствовали различия в урожайности и в содержании белка (Петров и др., 2019; UAN – a better way ..., 2004).

Таблица 1

Урожайность яровой пшеницы сорта Тобольская и агрономическая эффективность минеральных удобрений

Вариант и доза NPK	Урожайность, т/га	Прибавка зерна, т/га		*Агрономическая эффективность удобрений, кг зерна/1 кг д.в.	
		к контролю	от азотных удобрений	N	NPK
Контроль	2,79	-	-	-	-
Диаммофоска (ДАФК) N12P23K23	3,00	0,21	-	-	3,6
ДАФК + NH ₄ NO ₃ N62P23K23	3,24	0,45	0,24	4,8	4,2
ДАФК + KAC32 N62P23K23	3,22	0,43	0,22	4,4	4,0
НСР ₀₅	0,06	0,06	0,07	-	-

Примечание.

*Агрономическая эффективность удобрений – это оплата единицы удобрений (кг д.в.), полученной прибавкой товарной продукции (хозяйственной урожайностью) культуры.

Анализ агрономической эффективности минеральных удобрений показал, что в варианте с внесением диаммофоски окупаемость 1 кг д.в. (NPK) прибавкой зерна составила 3,6 кг, а при внесении дополнительной дозы азотного удобрения она возрастала на 11-14%. Относительно низкая агрономическая эффективность применяемых в ООО «Рубин» минеральных удобрений обусловлена засушливыми условиями вегетации в 2021 г. Необходимо отметить, что по данным многолетних метеорологических наблюдений в южной лесостепной зоне Новосибирской области встречаемость засушливых лет составляет примерно 60%. В наших исследованиях окупаемость 1 кг д.в. удобрений прибавкой зерна была на уровне средних значений для РФ (5 кг зерна) или примерно в 2 раза ниже среднемировых (Кирюшин, 2016).

Сноповой анализ биологической урожайности пшеницы позволил выявить влияние удобрений на элементы продуктивности растений (табл. 2 и 3). Необходимо отметить, что уровень биологической урожайности пшеницы был в среднем на 24% выше, чем при учете урожая зерна комбайном (см. табл. 1), но ошибка определения урожайности увеличивалась примерно в 3 раза – с 0,06 до 0,16 т/га. Это связано с более точным учетом урожайности комбайном JohnDeere 9570 STS с автоматическими цифровыми системами взвешивания (ActiveYield) и автоматической оценкой качества чистого зерна и недомолота (Combine Advisor). При этом не было отмечено принципиальных изменений в закономерностях, полученных в опыте разными методами учета урожайности.

Таблица 2

Элементы продуктивности яровой пшеницы в зависимости от форм применяемых азотных удобрений

Вариант	Количество растений, млн/га	Количество продуктивных стеблей, млн/га	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г
Контроль	4,2	4,2	20,9	35,7
Диаммофоска (ДАФК) N12P23K23	4,2	4,7	20,7	38,3
ДАФК + NH ₄ NO ₃ N62P23K23	4,5	5,2	23,2	35,4
ДАФК + KAC32 N62P23K23	4,2	4,9	23,1	37,8
НСР ₀₅	0,4	0,3	1,2	1,6

Таблица 3

Влияние различных форм азотных удобрений на продуктивность, валовой сбор белка и качество зерна яровой пшеницы

Вариант опыта	Биомасса соломы, т/га	Биологический урожай зерна, т/га	Валовой сбор белка с урожаем зерна, кг/га	Клейковина, %	Класс зерна
Контроль	4,71	3,12	364	21	4
Диаммофоска (ДАФК) N12P23K23	6,15	3,70	432	19	4
ДАФК + NH ₄ NO ₃ N62P23K23	6,90	4,25	497	26	3
ДАФК + KAC32 N62P23K23	5,95	4,24	495	30	2
НСР ₀₅	0,24	0,16	19		

Установлено, что внесение минеральных удобрений не влияло существенно на всхожесть и сохранность посевов пшеницы (количество растений варьировало от 4,2 до 4,5 млн/га). В варианте с внесением диаммофоски урожайность повышалась за счет увеличения количества продуктивных стеблей (на 12%) и массы 1000 зерен (на 8%). При дополнительном внесении жидких и твердых азотных удобрений в дозах N50 урожайность зерна пшеницы была на 15% выше, чем в варианте с внесением ДАФК. Формирование продуктивности растений в вариантах опыта с жидкими и твердыми азотными удобрениями имело существенные различия. Так, в варианте с внесением аммиачной селитры урожайность повышалась в основном за счет увеличения количества продуктивных стеблей растений (до 5,2 млн/га). В данном варианте опыта наблюдалось увеличение биомассы соломы, в том числе и за счет увеличения на 8 см высоты растений, по сравнению с вариантами ДАФК и ДАФК + KAC-32. В варианте с внесением KAC-32 урожайность возрастала за счет увеличения количества зерен в колосе и массы 1000 зерен; в тоже время не наблюдалось существенного изменения биомассы соломы, по сравнению с внесением ДАФК.

Валовой сбор белка с урожаем зерна в вариантах с внесением как твердых, так и жидких азотных удобрений увеличивался на 15%, по сравнению с вариантом ДАФК. В этих вариантах также повышалось качество зерна яровой пшеницы – при внесении аммиачной селитры содержание сырой клейковины было, соответственно, на 5 и 7 абс. % выше, чем в контрольном варианте и ДАФК. При внесении жидкого удобрения KAC-32 содержание клейковины повышалось на 9 и 11%; в этом варианте было получено зерно самого высокого 2 класса качества (см. табл. 3).

Закономерности изменения выноса элементов питания растениями из почвы и удобрений находились в соответствии с урожайностью пшеницы. Так, вынос фосфора надземной биомассой пшеницы при внесении ДАФК увеличивался в 1,25 раза по сравнению с контролем (21,2 кг P₂O₅/га). Коэффициент использования фосфора удобрения (ДАФК) составлял 24%. Дополнительное внесение твердых и жидких азотных удобрений не увеличивало вынос фосфора растениями (табл. 4).

Таблица 4

Влияние различных видов азотсодержащих удобрений на вынос азота и фосфора растениями яровой пшеницы

Вариант опыта	Вынос P ₂ O ₅ , кг/га			Вынос N, кг/га		
	соломой	зерном	надземной биомассой	соломой	зерном	надземной биомассой
Контроль	2,1	19,1	21,2	21,2	63,9	85,1
Диаммофоска (ДАФК) N12P23K23	4,1	22,6	26,7	24,6	75,8	100,4
ДАФК + NH ₄ NO ₃ N62P23K23	4,6	23,2	27,8	31,0	87,2	118,2
ДАФК + KAC32 N62P23K23	3,9	23,1	27,0	26,8	86,8	113,6
НСР ₀₅	0,2	1,0	1,1	1,5	3,3	4,4

Вынос азота надземной биомассой пшеницы в варианте ДАФК + NH_4NO_3 был выше, чем в вариантах ДАФК и ДАФК + КАС-32 на 17 и 5%, соответственно. Увеличение выноса азота надземной биомассой растений при внесении аммиачной селитры происходило за счет его большего выноса соломой.

Рассчитанный разностным методом коэффициент использования азота удобрений при внесении диаммофоски составлял 131%. Высокое значение данного показателя обусловлено проявлением, так называемого феномена «взаимодействие внесенного азота», когда внесение удобрений способствует охвату корневой системой растений большего объема почвы, что приводит к увеличению потребления азота почвы (Jenkinson et al., 1985). В наших исследованиях при внесении комплексного удобрения (ДАФК) происходило увеличение надземной массы пшеницы, повышалась ее урожайность и наблюдалось более высокое потребление азота почвы, чем на контроле. В варианте с внесением аммиачной селитры коэффициент использования азота удобрения составил 36%, при внесении КАС-32 он снижался до 26% (табл. 5).

Таблица 5

Влияние различных видов азотсодержащих удобрений на эффективность использования азота почвы и удобрений

Вариант	Коэффициент использования азота удобрений, %	*Физиологическая эффективность удобрений (РЕ), кг зерна /кг выноса N	**Эффективность использования азота урожаем зерна ($\text{NUE}_{\text{yield}}$), %
Диаммофоска (ДАФК) N12P23K23	131	39	131
ДАФК + NH_4NO_3 N62P23K23	36	31	54
ДАФК + КАС32 N62P23K23	26	41	54

Примечание.

*Физиологическая эффективность удобрений (РЕ) – это способность растения преобразовывать дополнительный вынос азота удобрений в прибавку урожайности зерна (в кг прибавки урожая зерна/кг выноса азота удобрений надземной биомассой). **Эффективность использования азота урожаем зерна ($\text{NUE}_{\text{yield}}$) – это доля азота, поступающего из почвы, используемая для создания товарной продукции (зерна), выраженная в % ($\text{кг выноса N урожаем зерна} \times 100 / (\text{запас N в почве} + \text{N удобрений в кг/га})$) (Колбин и др., 2024).

Физиологическая эффективность удобрений, то есть способность растения преобразовать вынос азота в прибавку урожайности зерна, в варианте ДАФК + КАС-32 была выше, чем при внесении ДАФК + NH_4NO_3 . При внесении жидкого азотного удобрения растения пшеницы более эффективно использовали ресурсы N, то есть каждый дополнительно усвоенный 1 кг азота удобрений обеспечивал получение 41 кг прибавки зерна. В варианте с применением аммиачной селитры данный показатель был в 1,3 раза ниже, вследствие существенного увеличения выноса азота непродуктивной частью урожая (соломой).

Эффективность использования азота удобрений и почвы урожаем зерна ($\text{NUE}_{\text{yield}}$) была максимальной в варианте с внесением диаммофоски, но ее величина (131%) значительно выше оптимальных значений (50–90%), что указывает на существенный риск истощения запасов азота почвы. В вариантах с внесением жидких (ДАФК + КАС-32) и твердых азотных удобрений (ДАФК + аммиачная селитра) данный показатель находился в его оптимальных пределах (54%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования, проведенные в полевом опыте на черноземе обыкновенном малогумусном супесчаном южной лесостепи Новосибирской области, показали, что агрономическая эффективность твердого и жидкого азотного удобрения одинакова. Наиболее высокий общий вынос азота биомассой пшеницы отмечен в варианте с внесением аммонийной селитры, что обусловлено большим выносом азота соломой в сравнении с вариантом КАС-32.

Коэффициент использования азота удобрений в варианте с аммонийной селитрой составлял 36%, что на 10% выше, чем при внесении жидкого удобрения. Однако физиологическая эффективность – прибавка зерна за счет дополнительного выноса 1 кг азота удобрения – при внесении селитры была в 1,3 раза ниже, чем в варианте КАС-32. Эффективность использования азота удобрений и почвы урожаем зерна ($\text{NUE}_{\text{yield}}$) при внесении жидких (КАС-32) и твердых (аммонийная селитра) азотных удобрений на фоне ДАФК составляла 54%.

При внесении как жидких, так и твердых азотных удобрений в эквивалентных дозах валовой сбор белка с 1 га посевной площади повышался на 15% по сравнению вариантом ДАФК. Качество зерна пшеницы в варианте с внесением диаммофоски соответствовало 4 классу, при содержании сырой клейковины 19%; при внесении аммиачной селитры содержание клейковины повышалось до 26% (3 класс), а при внесении жидкого азотного удобрения КАС-32 – до 30%, что соответствует 2 классу качества.

Таким образом, несмотря на одинаковую урожайность в вариантах опыта, применение КАС-32 имело преимущество перед твердыми удобрениями за счет более рационального потребления пшеницей ресурсов азота, способствующему дополнительному повышению качества зерна.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по государственному заданию Сибирского научно-исследовательского института земледелия и химизации сельского хозяйства СФНЦА РАН (проект № 0533-2021-0005)

ЛИТЕРАТУРА

Антонова О.И., Латарцев П.Ю. Изменение продуктивности льна масличного под влиянием жидких азотных удобрений // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции (Барнаул, 15–16 февраля 2018 г.). Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2018. Книга 1. С. 219–222.

Блинова Ю.А., Милюткин В.А. Сравнительная эффективность жидких минеральных удобрений на базе КАС-32 с твердыми – аммиачная селитра при возделывании подсолнечника // Современные проблемы агропромышленного комплекса: сборник научных трудов 73-й Международной научно-практической конференции (Кинель, 17 июня 2020 г.). Кинель: РИО Самарского ГАУ, 2020. С. 8–10.

Галеева Л.П. Эффективность разных форм азотного удобрения при выращивании яровой пшеницы в условиях Новосибирского Приобья // Актуальные проблемы агропромышленного комплекса: сборник трудов научно-практической конференции преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов Новосибирского ГАУ (г. Новосибирск, 21–23 октября 2019 г.). Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2019. Выпуск 4. С. 50–52.

Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Российская академия сельскохозяйственных наук, Сибирское отделение, Новосибирский государственный аграрный университет. Новосибирск, 2013. 789 с.

Есаулко А.Н., Гарибджанян Г.А., Голосной Е.В., Громова Н.В. Эффективность применения жидких и твердых азотных минеральных удобрений в ранневесеннюю подкормку посевов озимой пшеницы // Земледелие. 2020. № 3. С. 38–40. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10310>

Завалин А.А., Ефремов Е.Н., Алферов А.А., Самойлов Л.Н., Чернова Л.С., Благовещенская Г.Г. Преимущества и проблемы применения жидких азотных удобрений в земледелии // Агрохимия. 2014. № 5. С. 20–26.

Иодко С.Л., Шарков И.Н. Новая модификация дисульфифенолового метода определения нитратов в почве // Агрохимия. 1994. № 4. С. 95–97.

Кирюшин В.И. Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования // Достижения науки и техники АПК. 2016. Том 30. № 3. С. 19–25.

Колбин С.А., Ткаченко Г.И., Самохвалова Л.М. Эффективность разных видов азотных удобрений на черноземах 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 (г. Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. 291–296 с. DOI: 10.31251/conf1-2023

Колбин С.А., Гарафутдинова Л.В., Каличкин В.К. Эффективность использования азота удобрений яровой пшеницей на черноземе выщелоченном в лесостепи Новосибирского Приобья // Современное состояние и стратегия развития Географической сети опытов с удобрениями: Материалы Международной научной конференции (г. Москва, 27–28 ноября 2024 г.) / Под редакцией С.И. Шкуркина. Москва: ВНИИА, 2024. 132–296 с.

Латарцев П.Ю., Антонова О.И. Эффективность разных видов азотных удобрений под лен масличный в условиях колючей степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 10(192). С. 13–19.

Маткаш А.А., Абрамов Н.В. Роль жидких удобрений в оптимизации минерального питания агроценозов // Мир инноваций. 2023. № 4(27). С. 20–23.

- Методические указания по отбору проб, определение в них азота, фосфора и калия. Москва: ЦИНАО, 1980. 55 с.
- О ходе приобретения минеральных удобрений в 2020 году и планы по приобретению до 2025 г. Министерство сельского хозяйства РФ. Москва, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/4a5/4a5e8900ca37701862e106b46d2f0abe.pdf> (дата обращения 10.07.2023).
- Петров А.Ф., Мармулев А.Н., Митракова А.Г., Галузий Н.В. Влияние азотных удобрений на урожай и качество зерна яровой пшеницы // Инновации и продовольственная безопасность. 2017. № 4(18). С. 14–19.
- Петров А.Ф., Мармулев А.Н., Митракова А.Г., Коробова Л.Н. Эффективность применения жидких азотных удобрений на посевах яровой пшеницы. Инновации и продовольственная безопасность. 2019. № 2(24). Р. 119–124. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2019-24-2-119-124>
- Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия / Под ред. Б.А. Ягодина. Москва: Колос, 2002. 584 с.
- Current world fertilizer trend and outlook to 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2011 P. 41. [Electronic resource]. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ea0fceb5d-582e-4bd0-b176-8e083d658b87/content> (дата обращения 23.03.2025).
- Jenkinson D.S., Fox R.H., Rayner J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen the so-called «priming» effect // Journal of soil Science. 1985. Vol. 36. No. 3. P. 425–444. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1985.tb00348.x>
- UAN – a better way to apply N to crops? // Grains Research and Development Corporation (GRDC), Online Farm Trials (OFT), Birchip, 2004. P. 144–148 [Electronic resource]. URL: <https://www.farmtrials.com.au/trial/13802> Trial last modified: 05-12-2019 11:34am AEST. (дата обращения 23.03.2025).

Поступила в редакцию 13.03.2025

Принята 25.06.2025

Опубликована 30.06.2025

Сведения об авторах:

Колбин Сергей Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории плодородия почв Сибирского научно-исследовательского института кормов СФНЦА РАН (Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, Россия); KolbinSA@sfsca.ru; kolbin66@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0009-3744-6907>

Ткаченко Галина Ивановна – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории плодородия почв Сибирского научно-исследовательского института кормов СФНЦА РАН (Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, Россия); TkachenkoGI@sfsca.ru; <https://orcid.org/0009-0002-9894-3973>

Самохвалова Людмила Михайловна – старший научный сотрудник лаборатории плодородия почв Сибирского научно-исследовательского института кормов СФНЦА РАН (Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, Россия); SamohvalovaLM@sfsca.ru; <https://orcid.org/0009-0003-3336-1048>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



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

Efficiency of nitrogen fertilizer forms on the ordinary chernozem in the southern forest-steppe of Baraba

© 2025 S. A. Kolbin , G. I. Tkachenko , L. M. Samokhvalova

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Tsentralnaya St., 2b, 630501, Russia. E-mail: KolbinSA@sfsca.ru

The aim of the study. Comparative assessment of the efficiency of solid and liquid mineral fertilizers applied by the Bourgault 3330 seeding complex for the spring wheat on the ordinary chernozem in the southern forest-steppe of Baraba.

Location and time of the study. The experimental part of the research was carried out in 2021 in the southern forest-steppe Baraba (Novosibirsk region, Russia).

Methods. The agrochemical analyses of soil and plant samples were carried out according to common classical methods. For application of fertilizers and sowing of spring wheat of the Tobolskaya cultivar, the Bourgault 3330 seeding complex was used. For wheat cultivation a set of intensification agents was used: herbicides, fungicides,

insecticides and plant growth regulators. The actual wheat yield was recorded using a JohnDeere 9570 STS combine with an automatic digital weighing system (ActiveYield); at the same time the biological production was determined by the sheaf method. Statistical data processing was carried out using the analysis of variance method.

Results. *The efficiency of local application of two types of nitrogen fertilizer was compared: solid - granulated ammonium nitrate and liquid - UAN-32. In the control treatment (without application of fertilizers), the wheat yield was 2.79 t/ha: as compared with the diammophoska treatment, it increased by 8%, and in the treatments with combined use of diammophoska and ammonium nitrate or UAN-32 between the rows of wheat seeds during sowing, it increased by 16%. In the treatments with the liquid and solid nitrogen fertilizers, there were differences in plant productivity: when ammonium nitrate was applied, the yield increased due to a larger number of productive stems, and in the UAN-32 treatment, the number of grains in the ear and the mass of 1000 grains increased. The uptake of nitrogen by wheat plants and the coefficient of nitrogen use of fertilizers (36%) were higher when ammonium nitrate was applied.*

Conclusions. *In the field experiment on ordinary chernozem in the southern forest-steppe of the Novosibirsk region, the agronomic efficiency of solid and liquid nitrogen fertilizers was the same. When ammonium nitrate was applied, plant nitrogen uptake and the fertilizer nitrogen use coefficient were maximal, most likely due to a higher nitrogen uptake by straw, as compared with the UAN-32 treatment. However, the physiological efficiency, i.e. the increase in grain due to the additional uptake of 1 kg of fertilizer nitrogen when applying ammonium nitrate was 1.3 times lower than in the UAN-32 treatment. The efficiency of fertilizer and soil nitrogen use by the wheat grain yield, when UAN-32 and ammonium nitrate were applied, was 54%. The application of solid and liquid nitrogen fertilizers contributed to the improvement of the grain quality of spring wheat, especially in the UAN-32 treatment, where the gluten content increased by 30%.*

Keywords: *ordinary chernozem; spring wheat; solid fertilizers (ammonium nitrate); liquid fertilizers (KAS-32); fertilizer efficiency; grain quality.*

How to cite: Kolbin S.A., Tkachenko G.I., Samokhvalova L.M. Efficiency of nitrogen fertilizer forms on ordinary chernozem of the southern forest-steppe of Baraba. *The Journal of Soils and Environment*. 2025. Vol. 8. No. 2. e303. DOI: [10.31251/pos.v8i2.303](https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.303) (in Russian with English abstract).

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the state assignment of the Siberian Research Institute of Agriculture and Chemicalization of Agriculture of the Siberian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (project No. 0533-2021-0005).

REFERENCES

- Antonova O.I., Latarev P.Yu. Changes in the productivity of oil flax under the influence of liquid nitrogen fertilizers. In book: *Agrarian science – to agriculture. Collection of materials of the XIII International scientific and practical conference* (Barnaul, February 15–16, 2018). Barnaul: RIO Altai State Agrarian University, 2018. Book 1. P. 219–222. (in Russian).
- Blinova Yu.A., Milyutkin V.A. Comparative efficiency of liquid mineral fertilizers based on KAS-32 with solid ones - ammonium nitrate in sunflower cultivation. In book: *Modern problems of the agro-industrial complex. Collection of scientific papers of the 73rd International scientific and practical conference* (Kinel, June 17, 2020). Kinel: RIO: Samara State Agrarian University, 2020. P. 8–10. (in Russian).
- Galeeva L.P. Efficiency of different forms of nitrogen fertilizer in growing spring wheat in the conditions of the Novosibirsk Ob region. In book: *Actual problems of the agro-industrial complex. Collection of works of the scientific and practical conference of teachers, graduate students, undergraduates and students of the Novosibirsk State Agrarian University* (Novosibirsk, October 21–23, 2019). Novosibirsk: IC NSAU «Zolotoy kolos», 2019. Issue 4. P. 50–52. (in Russian).
- Gamzikov G. P. Agrochemistry of nitrogen in agrocenoses. Russian Academy of Agricultural Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk State Agrarian University. Novosibirsk, 2013. 789 p. (in Russian).
- Esaulko A.N., Garibdzhanian G.A., Golosnoi E.V., Gromova E.V. Efficiency of liquid and solid nitrogen mineral fertilizers under early spring top dressing of winter wheat. *Zemledelie*. 2020. No. 3. P. 38–40. (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10310>
- Zavalin A.A., Efremov E.N., Alferov A.A., Samoilov L.N., Chernova L.S., Blagoveshchenskaya G.G. Advances and Problems on Application of Liquid Nitrogen Fertilizers in the Agriculture. *Agrokhimia*. 2014. No. 5. P. 20–26. (in Russian).
- Iodko S.L., Sharkov I.N. New modification of the disulfophenol method for determining nitrates in soil. *Agrokhimia*. 1994. No. 4. P. 95–97. (in Russian).

- Kiryushin V.I. Mineral fertilizers as the key factor of agriculture development and optimization of nature management. Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2016. Vol. 30. No. 3. P. 19–25. (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, 2–6 October, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 291–296. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>
- Kolbin S.A., Garafutdinova L.V., Kalichkin V.K. Efficiency of use of nitrogen fertilizers by spring wheat on leached chernozem in the forest-steppe of the Novosibirsk Ob region. In book: Current Status and Development Strategy of the Geographic Network of Fertilizer Experiments. Proceedings of the International Scientific Conference (Moscow, November 27–28, 2024). Edited by S.I. Shkurkin. Moscow: VNIIA, 2024. 132–296 p. (in Russian).
- Latartsev P.Yu., Antonova O.I. The effectiveness of different types of nitrogen fertilizers for linseed flax under the conditions of forest-outlier steppe of the Altai region. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2020. No. 10(192). P. 13–19. (in Russian).
- Matkash A.A., Abramov N.V. The role of liquid fertilizers in optimizing the mineral nutrition of agrocenoses. World of innovation. 2023. No. 4(27). P. 20–23. (in Russian).
- Methodical guidelines for sampling, determination of nitrogen, phosphorus and potassium in them. Moscow: TSINAO, 1980. 55 p. (in Russian).
- On the progress of the acquisition of mineral fertilizers in 2020 and plans for acquisition until 2025. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Moscow, 2020. [Electronic resource]. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/4a5/4a5e8900ca37701862e106b46d2f0abe.pdf> (accessed on 10.07.2023). (in Russian).
- Petrov A.F., Murmulev A.N., Mitrakova A.G., Galusian N.V. Effect of nitrogen fertilizer on yield and quality of grain of spring wheat. Innovations and Food Safety. 2017. No. 4(18). P. 14–19. (in Russian).
- Petrov A.F., Murmulev A.N., Mitrakova A.G., Korobova L.N. The efficacy of liquid nitrogen fertilizers in spring wheat. Innovations and Food Safety. 2019. No. 2(24). P. 119–124. (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2019-24-2-119-124>
- Yagodin B.A., Zhukov Yu.P., Kobzarenko V.I. Agrochemistry / B.A. Yagodina (ed.). Moscow: Kolos Publ., 2002. 584 p. (in Russian).
- Current world fertilizer trend and outlook to 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2011. P. 41. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ea0fceb5d-582e-4bd0-b176-8e083d658b87/content> (accessed on 23.03.2025).
- Jenkinson D.S., Fox R.H., Rayner J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen the so-called «priming» effect. Journal of Soil Science. 1985. Vol. 36. No. 3. P. 425–444. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1985.tb00348.x>
- UAN – a better way to apply N to crops? Grains Research and Development Corporation (GRDC), Online Farm Trials (OFT), Birchip, 2004. P. 144–148 [Electronic resource]. URL: <https://www.farmtrials.com.au/trial/13802> Trial last modified: 05-12-2019 11:34am AEST. (accessed on 23.03.2025).

Received 13 March 2025

Accepted 25 June 2025

Published 30 June 2025

About the authors:

Sergey A. Kolbin – Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Soil Fertility Laboratory, Siberian Forage Research Institute, SFNCA RAS (Novosibirsk Region, Novosibirsk District, Krasnoobsk, Russia); KolbinSA@sfsca.ru; kolbin66@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0009-3744-6907>

Galina I. Tkachenko – Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Soil Fertility Laboratory, Siberian Forage Research Institute, SFNCA RAS (Novosibirsk Region, Novosibirsk District, Krasnoobsk, Russia); TkachenkoGI@sfsca.ru; <https://orcid.org/0009-0002-9894-3973>

Lyudmila M. Samokhvalova – Senior Researcher, Soil Fertility Laboratory, Siberian Research Institute of Forage, SFSC RAS (Novosibirsk Region, Novosibirsk District, Krasnoobsk, Russia); SamokhvalovaLM@sfsca.ru; <https://orcid.org/0009-0003-3336-1048>



Экспериментальное изучение термоградиентной миграции влаги в грунте с использованием химического маркера

© 2025 Ю. В. Кравцов , А. П. Рыжих 

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет», ул. Вилуйская, 28,
г. Новосибирск, 630126, Россия. E-mail: kravtsov60@mail.ru, redryzhikh@ya.ru

Цель исследования. Экспериментальное изучение термоградиентной миграции влаги в грунте с использованием химического маркера.

Место и время проведения. Исследование проводили в лабораторных условиях в течение февраля – мая 2025 г.

Методы. Изучение перераспределения влаги под влиянием температурного градиента осуществляли в колонках насыпного грунта разного гранулометрического состава. Для выявления преобладающей формы мигрирующей влаги использовали метод химического маркирования. В качестве маркера применяли хлорид-ион. Для формирования в модельных грунтах профиля влажности, аналогичного распределению воды в высоко увлажненных естественных грунтах, пары колонок с заранее заданным содержанием влаги (9,6–19,8% массы) выдерживали в течение 14 суток при температуре +25°C. Затем в одной из колонок каждой пары определяли профильное распределение влаги. Вторую колонку, увлажненную водным раствором хлорид-иона, помещали в холодильную установку и подвергали охлаждению сверху до отрицательных температур. В нижних частях экспериментальных колонок сохранялась положительная температура. Спустя 14 суток во вторых колонках определяли вертикальное распределение влаги термостатно-весовым методом и хлорид-иона методом Мора. Образцы отбирали в каждом 2-см слое в двукратной повторности. Заключение о формах передвижения влаги под влиянием температурного градиента делали на основании послойного распределения хлорид-иона.

Основные результаты. Установлены профили влажности высоко увлажненных грунтов при температуре +25°C, сходные с вертикальным распределением влаги в грунтах юга Сибири в летний сезон. В суглинистых и супесчаных вариантах на глубинах 4–12 см отмечено снижение влажности на 1% массы и ее повышение на 1–2% в слое 0–4 см. Это связано с внутригрунтовым испарением влаги и с ее аккумуляцией перед изолирующей пленкой на поверхности колонок. Вертикальное распределение влагосодержания сходно с профилем увлажненных степных суглинистых грунтов на паровых участках при положении грунтовых вод ниже критической глубины. В песчаных вариантах установлено снижение содержания влаги в слое 0–10 см на 1,0–2,5% массы и соответствующее увеличение влажности в нижней части колонок вследствие перемещения части влаги под влиянием силы тяжести. В песчаных колонках появились черты сходства их профиля влажности с аналогичными профилями естественных грунтов с близко расположенными грунтовыми водами.

В результате охлаждения сверху в колонках установлено передвижение влаги в промерзший слой из нижней части. Наибольший объем миграции отмечен в песчаном грунте: влагосодержание в промерзшей части возросло на 5–10% массы. С утяжелением гранулометрического состава грунтов объем перераспределенной влаги снижается. Полученные профили влажности аналогичны отрезку профиля влажности естественных грунтов в нижней части зоны намерзания влаги и верхней части зоны подмерзлотного иссушения при залегании грунтовых вод ниже критической глубины.

Установлена однотипность вертикального распределения хлорид-иона в экспериментальных колонках после их охлаждения. Особенности профильного распределения хлорида явились резкое увеличение его содержания в промерзшем фрагменте и относительно равномерное распределение по талой части профиля. На этом основании полагаем, что в криогенной миграции в высоко увлажненных грунтах (в песчаном с влажностью 9,6 и 13,9%; в супесчаном с влажностью 15,4% и в тяжелосуглинистом с влажностью 19,8%) доминировала жидкая влага. Установление послойного соответствия содержания влаги и хлорид-иона показало, что наибольшая роль жидкой воды в криогенном перераспределении влаги характерна для тяжелосуглинистого грунта.

Заключение. В результате проведенной работы уточнены параметры влажности экспериментальных грунтов, при которых криогенная миграция влаги осуществляется преимущественно в жидком состоянии. В дальнейшем предполагается последовательно снижать исходную влажность грунтов для установления условий, при которых происходит смена преобладающего потока влаги.

Ключевые слова: колонки насыпного грунта; профиль влажности; термоградиентное передвижение; хлорид-ион; криогенная аккумуляция.

Цитирование: Кравцов Ю.В., Рыжих А.П. Экспериментальное изучение термоградиентной миграции влаги в грунте с использованием химического маркера // Почвы и окружающая среда. 2025. Том 8. № 2. e315. DOI: [10.31251/pos.v8i2.315](https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.315)

ВВЕДЕНИЕ

Передвижение влаги в глубоко и длительно промерзающих почвенно-грунтовых толщах степи и лесостепи Западной Сибири под влиянием температурного градиента является важным элементом их водного режима. Миграция и последующая аккумуляция почвенно-грунтовой воды в сезонно-промерзающем слое отражается на запасах доступной растениям влаги в предстоящий сезон вегетации, на скорости прогревания глубоких горизонтов почв и их пористости аэрации. Криогенному передвижению и накоплению влаги отводится определенная роль в формировании генетических особенностей почв Сибири. Переувлажнение материнских пород, обусловленное криогенной аккумуляцией почвенно-грунтовой влаги, рассматривается как одна из причин формирования современного подпочвенного гидроморфизма в пределах степных плакорных участков, выполненных тяжелыми по гранулометрическому составу отложениями (Панфилов и др., 1988).

Однако, несмотря на очевидную практическую и теоретическую значимость вопроса, результаты изучения передвижения влаги в почвах и грунтах южной части Сибири под влиянием температурного градиента трудно назвать исчерпывающими. В течение второй половины XX столетия зимняя миграция почвенной и грунтовой влаги изучалась в разных районах Сибири (Сребрянская, 1954; Орловский, 1955; Мосиенко, 1957; Киссис, 1969; Невечеря, 1970; Панфилов, 1973; Сеньков, 1978; Гиличинский, 1986; Куликов и др., 1986; Кравцов, 1992; и др.). Исследователями установлены количественные данные по термоградиентному перераспределению влаги; показана качественная зависимость параметров ее аккумуляции от осенней влажности почв, глубины проникновения в них отрицательных температур, гранулометрического состава почв и пород; выявлено значение зимнего перераспределения влаги в формировании почвенных водных ресурсов на предстоящий сезон вегетации. На основании анализа этих материалов составлено представление о географии зимней миграции влаги в почвах и грунтах южных районов Сибири, параметрах и основных факторах криогенной аккумуляции влаги (Кравцов, 2024а).

Вместе с тем, имеющиеся данные в настоящее время характеризуются преимущественно исторической ценностью. В течение последних десятилетий наблюдается выраженная многолетняя динамика показателей степного и лесостепного климата (Литвинова, 2020), а также антропогенные изменения сибирских степных почв (Кравцов, Смоленцева, 2022), в том числе, их гидрологического состояния. Как отражаются эти изменения на зимнем передвижении почвенно-грунтовой влаги в южных районах Сибири – отчетливого понимания пока нет. В печати отсутствуют результаты современных режимных наблюдений за миграцией почвенной влаги в степной и лесостепной зонах Сибири в течение холодного сезона года. Известны лишь работы, в которых зимнее перераспределение влаги рассматривается как условие формирования льдистого экрана в почвах (Танасиенко, Чумбаев, 2010). В литературе отсутствуют новые сведения о результатах экспериментального изучения передвижения влаги в почвенных монолитах, насыпных колонках грунта и искусственных пористых средах, полученных методом 3D-печати. Между тем, эти материалы были бы полезны для составления прогноза параметров зимнего передвижения влаги в почвах южных районов Сибири.

Для предсказания величин термоградиентной миграции влаги в почвах и грунтах важно иметь представление о механизмах ее передвижения. В течение последней четверти прошлого столетия опубликованы обобщающие сводки по вероятным механизмам передвижения влаги в промерзающих грунтах, основанным на результатах многочисленных лабораторных экспериментов и математическом аппарате, описывающем этот процесс (Глобус, 1983; Фельдман, 1988). Установлено три составных части в потоке почвенной влаги к фронту промерзания: 1) пародиффузионный поток; 2) термокапиллярный поток и 3) поток, обусловленный резким уменьшением потенциала влаги при замерзании. Первый поток доминирует при низкой влажности промерзающей почвы, второй и третий – при высокой.

Вместе с тем, граничные параметры среды, при которых поток преимущественно жидкой влаги сменяется движением влаги в парообразном состоянии, до сих пор остаются не раскрытыми. Установление таких условий возможно при экспериментальных работах. В начале важно получить подтверждение доминирования передвижения влаги в жидком виде при повышенной влажности

почвы или грунта. В дальнейшем достаточно пошагово изменять внешние параметры среды для установления граничных условий, при которых происходит смена преобладающего потока влаги.

Нужно также отметить, что в новом тысячелетии необходимость прогноза параметров термоградиентного передвижения влаги в сезонно-промерзающих почвенно-грунтовых толщах разных регионов планеты заставила исследователей сосредоточить усилия на создании математических моделей этого процесса. К настоящему времени известно значительное количество таких моделей (Лазарев, Шешенин, 2015; Gelfan, 2007; Zhu et al., 2007; Xu, Spitler, 2014; Chalhoub et al., 2017; Xe et al., 2018; Deng et al., 2021; Dopfer et al., 2022; и др.). Однако все они базируются на разных показателях, поэтому оказываются применимыми только в отдельных регионах Земли или для решения узких задач.

Представленный краткий обзор позволяет заключить следующее.

Сведения о масштабных полевых режимных наблюдениях за процессами зимнего перераспределения почвенно-грунтовой влаги в южных районах Сибири в течение нового тысячелетия не известны. Следовательно, не изучается влияние климатических колебаний последних десятилетий и разнообразных антропогенных изменений почв на параметры термоградиентной миграции почвенно-грунтовой влаги.

В свободном доступе отсутствуют работы отечественных исследователей последних десятилетий по лабораторному изучению изменений профиля влажности промерзающих почв и грунтов. Очевидно, что не накапливаются данные, на основании которых возможно создание математических моделей зимнего термоградиентного передвижения влаги в почвах, применимых к условиям Сибирского региона.

Создаваемые в последние годы модели перераспределения влаги в почвах и в грунтах в течение холодного сезона года характеризуются преимущественно региональным значением.

Из представленного обзора следует перечень возможных задач по изучению термоградиентного перераспределения влаги в почвенно-грунтовых толщах южной части Сибири, включающий и изучение передвижения влаги в промерзающих грунтах в лабораторных условиях (Кравцов, 2024б). В результате такой работы необходимо: 1) накопить массив данных для построения числовых моделей передвижения влаги в сезонно-промерзающих почвах именно южных районов Сибири; 2) установить количественные пропорции между параметрами перемещения влаги и внешними условиями (влажностью почв и грунтов, их гранулометрическим составом, температурным градиентом и пр.); 3) уточнить параметры среды, при которых миграция влаги осуществляется преимущественно в жидком или парообразном состоянии. Для решения последней задачи используются химические маркеры.

Настоящая работа посвящена уточнению параметров среды, при которых миграция влаги в грунтах осуществляется преимущественно в жидком виде.

Цель работы – экспериментальное изучение термоградиентной миграции влаги в грунте с использованием химического маркера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальное исследование передвижения влаги под влиянием температурного градиента осуществляли в насыпных колонках грунта различного гранулометрического состава, отобранного в южных районах Западной Сибири. Выбор районов и глубинных отметок отбора грунтов обусловлен следующими обстоятельствами. Термоградиентная миграция и криогенная аккумуляция влаги в почвенно-грунтовых толщах юга Сибири используемыми методами исследования выявляется только в исходно высоко увлажненных горизонтах (порядка уровня наименьшей влагоемкости). Так, согласно материалам многолетних режимных глубокопрофильных гидрологических наблюдений, почвы Ишимской степи при выращивании типичных для них яровых зерновых культур «уходят» в зиму со слоем эваподесуктивного иссушения мощностью 0,8–1,0 м. Влажность в этом слое может понижаться к осени до уровня влажности завядания и ниже. Поэтому термоградиентная миграция влаги в слое летнего иссушения не проявляется; она выражена только в нижних почвенных горизонтах (в основном, в горизонте С) и в подпочвенных породах (на глубинах от 0,8 до 1,7 м). В связи с этим, в Ишимской степи образцы для экспериментальных работ отбирались из горизонта С черноземов южных – с глубины 0,9–1,3 м. Гранулометрический состав образцов – тяжелосуглинистый высоко илистый (табл.). Содержание пылеватых фракций в большинстве случаев не достигает 30%, поэтому почвообразующую породу характеризуют как лессовидную. Почвообразующими породами в Ишимской степи являются субэзральные верхнечетвертичные

отложения лессовидного облика, перекрывающие практически повсеместно все более ранние отложения на Ишим-Иртышском степном междуречье. Повышенное содержание ила обусловлено переиванием и переотложением озерных осадков преимущественно среднеплейстоцевого возраста.

Таблица

Гранулометрический состав грунтов

Глубина, м	Потери от обработки HCl, %	Количество частиц, %, размер, мм						
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01
Ишимская степь. Тяжелый суглинок								
0,9–1,3	10,8	0,0	10,8	18,4	12,2	12,9	34,9	60,0
Новосибирское Приобье. Супесь								
1,4–1,5	0,0	0,3	22,3	61,3	8,4	5,1	2,6	16,1
Новосибирское Приобье. Песок								
0.1–0.4	0.0	37.6	43.6	8.9	1.7	3.4	4.8	9.9

Для установления специфики процессов термоградиентного передвижения влаги в тяжелосуглинистом грунте аналогичные образцы отбирались в других районах южной окраины Сибири. Супесь отобрана на водораздельном пространстве Новосибирского Приобья из горизонта С типичных для этой местности черноземов выщелоченных. Отбор произведен с глубин 1,4–1,5 м в связи с большей вертикальной мощностью профиля чернозема выщелоченного по сравнению с ишимскими черноземами южными. Почвообразующей породой в Новосибирском Приобье считаются субэдральные верхнечетвертичные отложения. В отличие от Ишимской степи, в них понижено содержание илстой фракции.

Кроме того, в экспериментальную работу включены и песчаные отложения, которые отобраны из современных аллювиальных осадков в пойме Оби.

Гранулометрический состав грунтов определен по Н.А. Качинскому (Шейн и др., 2016).

Изучение миграции влаги проводили в колонках равномерно перемешанного грунта, предварительно обезвоженного при температуре 105°C в течение 24 часов. Насыпные колонки имели размеры 7 × 7 × 20 см. Грунт в них со всех сторон защищен от потерь влаги на испарение. В связи с поставленной задачей выявить граничное влагосодержание, при котором в грунтах разного гранулометрического состава отмечается переход от термоградиентного передвижения влаги преимущественно в жидком состоянии к миграции влаги преимущественно в парообразном состоянии, намечено постепенное плановое снижение исходного влагосодержания в изучаемых грунтах. В качестве начальной избрана влажность сверх уровня наименьшей влагоемкости, при которой криогенная миграция влаги гарантированно будет осуществляться преимущественно в жидком виде. Величины наименьшей влагоемкости заимствованы из опубликованных работ (Агрофизическая ..., 1976; Слесарев, Кудряшова, 1988). В песчаном грунте влажность задавали в диапазоне 9,6–13,9% массы; в супеси – 15,4% массы; в тяжелом суглинке – 19,8% массы. В представляемой серии опытов насыпные грунты лишены пленочно-капиллярной подпитки влагой.

Для определения миграции влаги в жидком состоянии использовался химический маркер – хлорид-ион (хлорид), который перераспределяется в пространстве только при движении жидкого носителя и не изменяет своего положения при перемещении парообразного. В экспериментальных работах использовали 5% водный раствор хлорида натрия.

Для установления участия жидкой воды в миграции влаги при промерзании грунтов эксперимент выстроен в два этапа. На начальном этапе задача состояла в установлении профиля влажности в насыпных колонках, аналогичного вертикальному распределению влаги в высокоувлажненных естественных грунтах. На второй этап выявляли роль миграции влаги в жидком состоянии в экспериментальных колонках с установившимся профилем влажности при их промерзании.

Для выполнения поставленных задач готовили пары идентичных колонок с одним вариантом грунта и его одинаковой влажностью. Первые колонки увлажняли незасоленной водой, вторые – водным раствором хлорид-иона. Для установления профиля влажности в высокоувлажненных грунтах пары экспериментальных колонок выдерживали в течение 14 суток при температуре +25°C. Затем в первых колонках определяли вертикальное распределение влаги. Вторые колонки далее подвергались воздействию отрицательных температур в верхней их части еще в течение 14 суток.

Для этого их помещали в холодильную камеру. У поверхности колонок поддерживали постоянную температуру -3°C , у основания колонок температура была $+6^{\circ}\text{C}$. По истечению двух недель во вторых колонках определяли вертикальное распределение влаги и хлорид-иона.

Влажность грунта определяли термостатно-весовым методом (Шеин и др., 2016); содержание хлорид-иона – методом Мора (Кристиан, 2009). Отбор образцов из колонок осуществляли из каждого 2-см слоя в двукратной повторности. Для определения абсолютных величин намерзания влаги использовали перевод влагосодержания в проценты объема грунтов. Объемная масса абсолютно сухих вариантов насыпных грунтов составила $1,68 \text{ г/см}^3$.

Заключение о передвижении жидкой или парообразной влаги в профиле насыпных колонок грунта делали на основании совместного анализа перераспределения содержания хлорид-иона и влажности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основной результат первого этапа эксперимента представлен на рисунке 1.

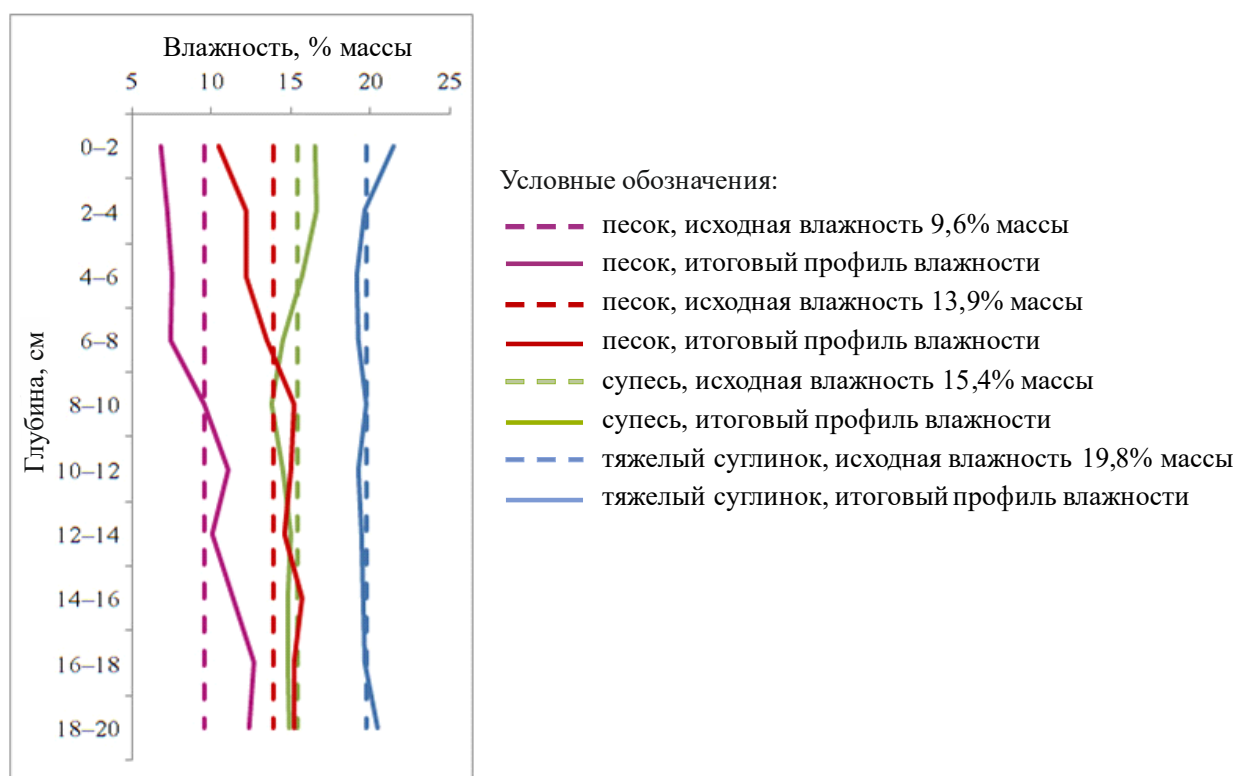


Рисунок 1. Профили влажности насыпных колонок грунта спустя 14 суток выдерживания при комнатной температуре.

За две недели профили влажности наиболее заметно изменились в колонках с песчаным грунтом (см. рис. 1). В приповерхностных слоях (на глубине 0–8 см) содержание влаги в них снизилось на 1–2,5% массы. На отметках глубин 10–20 см влагосодержание возросло на 0,5–2,5% массы, а в песчаной колонке с исходной влажностью 9,6% массы на глубинах 16–20 см отмечено наибольшее возрастание влагосодержания – на 3%. Такое перераспределение влаги в высокоувлажненном грунте связано с миграцией части воды под воздействием гравитации. Наименьшая влагоемкость в горизонте С песчаных и супесчаных почв ненарушенного сложения составляет 7–10% массы, поэтому в экспериментальных колонках при заданных значениях влажности присутствует влага сверх уровня наименьшей влагоемкости. Выявленное перераспределение влаги в песчаном грунте дает основание полагать, что в песчаных колонках с влажностью более 9% массы термоградиентное перераспределение влаги в промерзающий слой будет выраженным.

В колонках с тяжелосуглинистым и супесчаным грунтом профиль влажности за две недели изменился слабее, чем в емкостях с песком. Заданные параметры влажности в суглинистом и супесчаном вариантах не слишком отклоняются от уровня наименьшей влагоемкости, которые

колеблются от 15 до 24% массы. В колонках с суглинистым и супесчаным грунтом отмечается небольшое (порядка 1% массы и менее) послойное изменение влагосодержания в верхней части профиля – на отметках 0–12 см. В тяжелом суглинке на глубинах 2–10 см, а в супеси – на отметках 4–12 см влажность понизилась, а в приповерхностном слое в обоих вариантах повысилась. Такое изменение обусловлено расходом влаги на испарение. Поскольку поверхность колонок изолирована водонепроницаемой пленкой, поднимающаяся влага перераспределяется в приповерхностном слое колонок. На основании обзора динамики профиля влажности суглинистых и супесчаных грунтов полагаем, что при заданных условиях величины криогенной аккумуляции влаги в них будут более низкими, чем в вариантах с песчаным грунтом.

На рисунке 2 показано изменение профиля влажности экспериментальных колонок в результате двухнедельного их замораживания сверху.

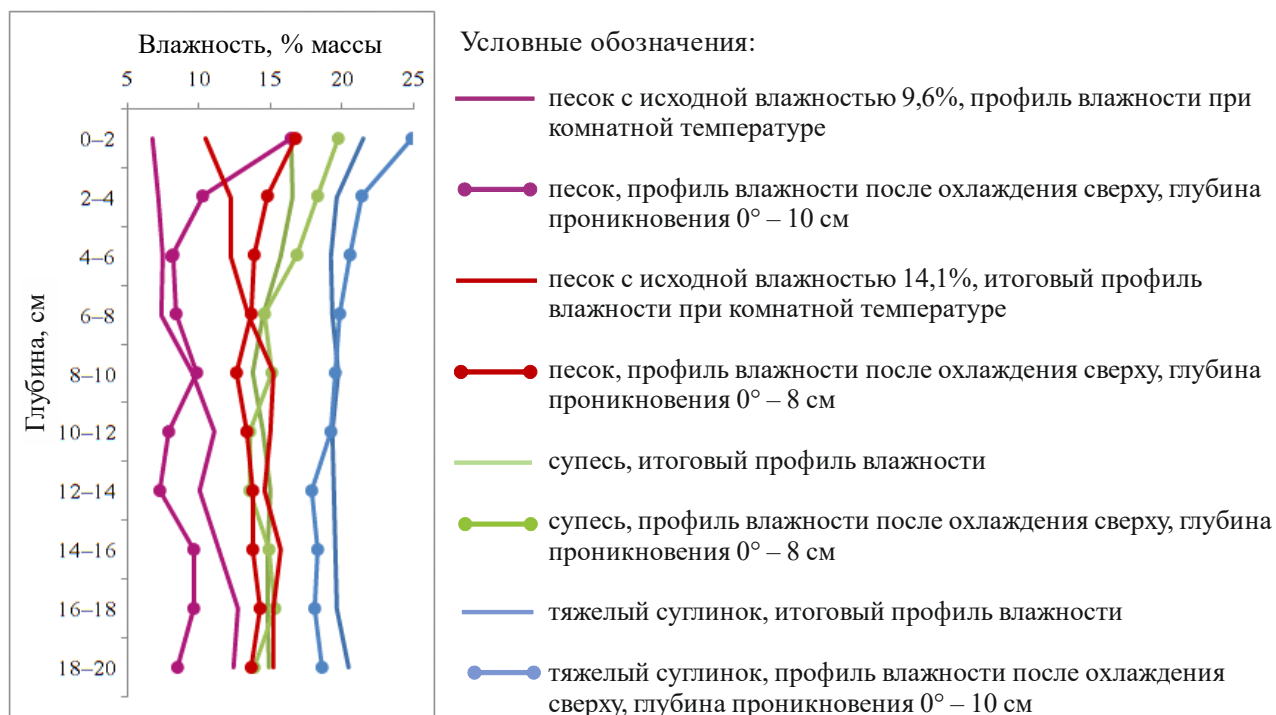


Рисунок 2. Профили влажности насыпных колонок грунта спустя 14 суток охлаждения сверху до отрицательных температур верхней части профиля.

Термоградиентное перераспределение влаги проявилось во всех грунтах сходным образом. В верхней части колонок сформировалась зона ее криогенной аккумуляции, в нижней – зона подмерзлотного иссушения. Объем намерзшей влаги закономерно возрастает к верхней поверхности всех колонок, со стороны которой грунты подвергались охлаждению до отрицательных температур. Поскольку концентрация соли в водном растворе задана на низком уровне (5 г/л), между границей проникновения отрицательных температур в грунт и нижней границей слоя «намерзания» влаги отчетливого различия используемыми методами не установлено. Глубина проникновения отрицательных температур в экспериментальные колонки оказалась сходной – 8–10 см.

Различия выявлены в величинах миграции влаги. Наибольший размах ее передвижения установлен в колонках песчаного грунта. Так, в варианте с исходной влажностью 9,6% массы в слое 0–2 см содержание влаги возросло от исходных 6,8% до 16,5%. Общее намерзание влаги в слое 0–10 см в песчаном грунте с исходной влажностью 9,6% массы составило 4,8 мм или 14,8% объема воды в колонке. В песчаной колонке с исходной влажностью 13,9% объем намерзания влаги в слое 0–8 см достиг 3,6 мм (7,8% количества воды в колонке). В суглинистых и супесчаных разностях увеличение влажности оказалось меньшим и составило менее 3,5% массы. Объем намерзания влаги также оказался более низким: в супеси – 2,5 мм в слое 0–10 см (5% общего содержания влаги), тяжелосуглинистой разности – 2,5 мм в слое 0–8 см (3,8% количества влаги). Соответственно и объем подмерзлотного иссушения более выражен в песчаных разностях – до 4% массы на глубине 18–20 см

в варианте с исходной влажностью 9,6%. В суглинке и супеси снижение влажности в зоне подмерзлотного иссушения не достигало 1,5% массы.

Полученные экспериментальные данные по термоградиентному передвижению влаги в колонках насыпного грунта соответствуют установленным ранее закономерностям криогенной миграции почвенной влаги в южной части Сибири. Определено, что при высокой (выше уровня наименьшей влагоемкости) исходной влажности объем миграции и последующей криогенной аккумуляции влаги возрастает по мере облегчения гранулометрического состава почвенно-грунтовой толщи (Кравцов, 2024а). При глубоком залегании грунтовых вод влага в слой сезонного промерзания перераспределяется из влажной непромерзающей толщи; содержание влаги в этой толще в итоге снижается и возникает зона подмерзлотного иссушения (Сеньков, 1978).

Следующим шагом в экспериментальной работе явилось установление участия жидкой влаги в ее миграции в промерзающий слой грунтов. Это участие определялось по перераспределению хлорид-иона. Для промерзающих сверху грунтов с повышенной влажностью получено его однотипное вертикальное распределение (рис. 3). Во всех профилях наблюдается возрастание содержания хлорида в верхней, промерзшей части грунта. Причем, по мере приближения к верхней поверхности колонок концентрация хлорида увеличивается.

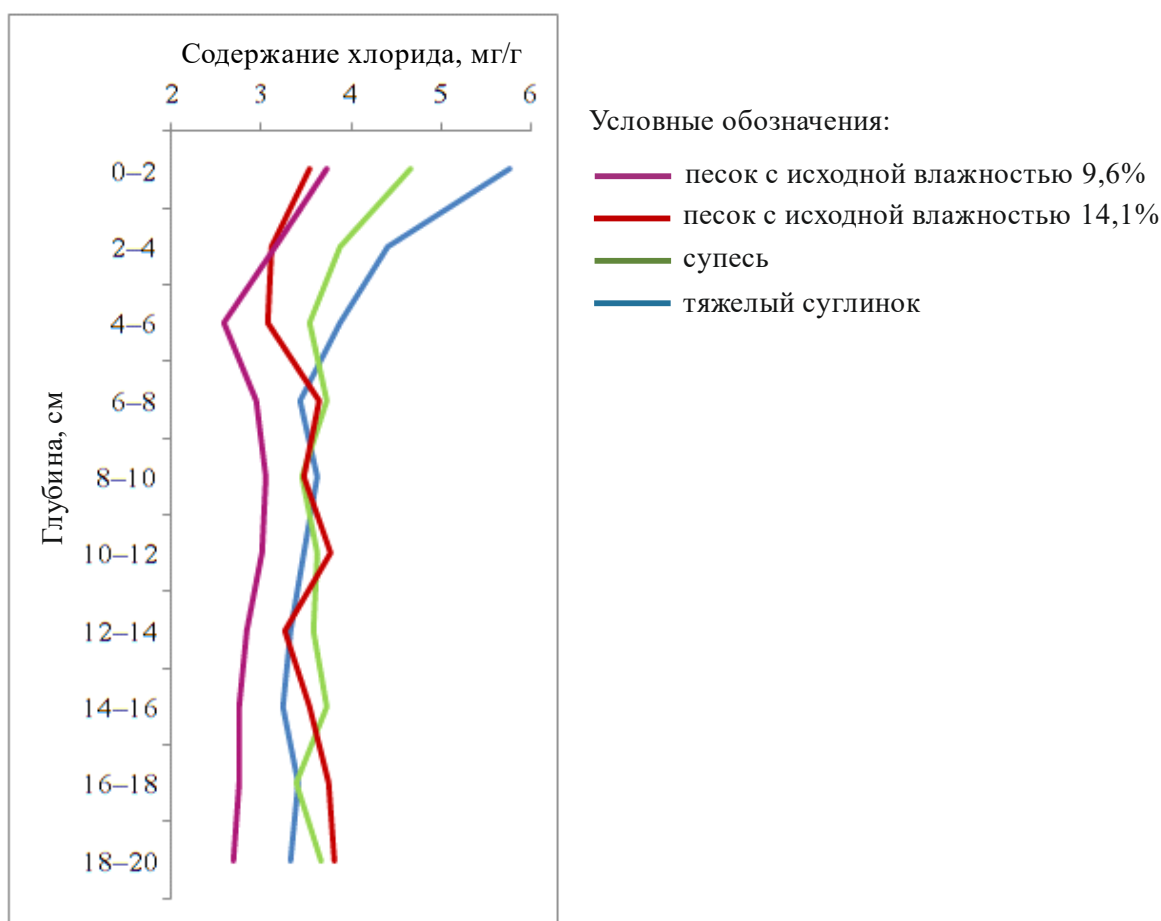


Рисунок 3. Распределение хлорид-иона по профилю насыпных колонок грунта после их замораживания сверху.

Наиболее выраженным возрастанием концентрации хлорид-иона в промерзшей части профиля оказалось в тяжелосуглинистом грунте, в котором выявлено наименьшее изменение профиля влажности при промерзании. В этой колонке от нижней границы слоя промерзания до верхней поверхности содержание хлорид-иона увеличивалось от 3,6 до 5,8 мг/г. В нижней части колонки среднее содержание хлорида составило 3,4 мг/г. В варианте с тяжелосуглинистым грунтом отмечено наиболее выраженное послойное распределение влажности и хлорид-иона в профиле после замораживания верхней части (рис. 4 а); как результат – очень высокая пропорциональность между влажностью грунта и содержанием в нем хлорид-иона (коэффициент аппроксимации составил

0,94 (рис. 5 а)). Это означает, что в данном случае практически все передвижение воды происходило в жидком виде, что обусловлено особенностями физических свойств изучаемого грунта. Ишимские тяжелосуглинистые материнские породы отличаются повышенным содержанием илистой фракции (до 45%), чем предопределены пониженные значения в них общей пористости (45–52% объема) и господствующее положение микропор в ее структуре (60–70% порового пространства или 28–38% объема почвы); на макропоры приходится 2–9% порового пространства (1–4% объема грунта). В результате перемешивания грунта значения пористости оказались еще более сниженными. При высокой исходной влажности, составляющей 116% уровня наименьшей влагоемкости, пористость аэрации в таких грунтах не может быть удовлетворительной; передвижение парообразной влаги в таких условиях маловероятно.

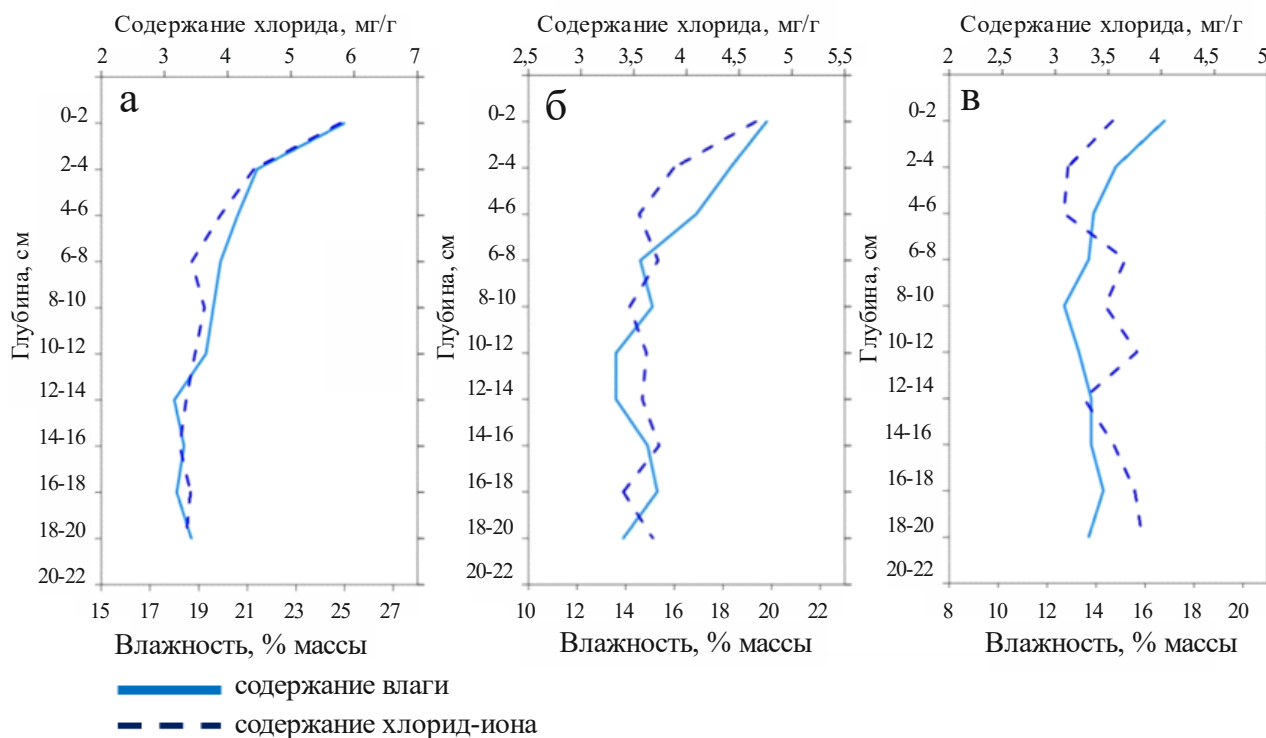


Рисунок 4. Соответствие профиля влажности: а – тяжелосуглинистого; б – супесчаного; в – песчаного (исходная влажность 14,1%) грунта после охлаждения до отрицательных температур и вертикального распределения в нем хлорид-иона.

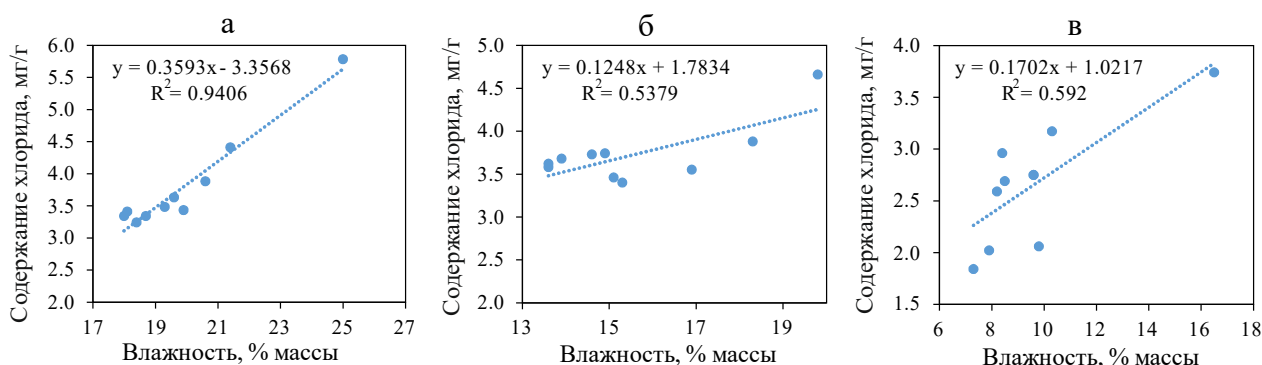


Рисунок 5. Пропорциональность между влажностью грунта и содержанием в нем хлорид-иона после замораживания верхней части профиля: а – колонка тяжелого суглинка; б – колонка супеси; в – колонка песчаного грунта с исходной влажностью 9,6%

По мере облегчения гранулометрического состава грунта возрастание концентрации хлорид-иона в промерзшей части профиля снижается, уменьшаются и абсолютные величины перераспределения хлорида в промерзший слой. Так, в супеси концентрация хлорида в промерзшем слое увеличилась снизу вверх с 3,7 мг/г до 4,7 мг/г; объем мигрировавшего с жидкой водой хлорид-

иона составил 1,3 мг или 3,5% общей массы хлорида в колонке. В супеси установлено значительно меньшее соответствие послойного распределения влажности и хлорид-иона (рис. 4 б) и более низкая пропорциональность между содержанием влаги и концентрацией хлорид-иона (рис. 5 б).

В песчаных вариантах соответствие послойного распределения влажности и хлорида оказалось еще менее выраженным, несмотря на наибольший размах криогенной миграции влаги в насыпных колонках именно песчаного грунта (рис. 4 в и 5 в).

Таким образом, в грунтах супесчаного и песчаного состава не обнаружено столь высокого соответствия между изменениями профиля влажности при промерзании грунта и перераспределением хлорид-иона, как в тяжелосуглинистом грунте. Это дает основание полагать, что криогенная миграция влаги в высокоувлажненном супесчаном и песчаном грунте осуществляется не только в жидком виде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены итоги одного из первых шагов в экспериментальном изучении криогенной миграции влаги в грунте. Полученные результаты в целом соответствуют известным материалам полевых почвенно-гидрологических наблюдений в южных районах Сибири.

На предварительном этапе эксперимента установлен профиль влажности изначально высоко и равномерно увлажненных грунтов при комнатной температуре, который можно считать аналогом вертикального распределения влаги в почвенно-грунтовых толщах южных районов Сибири в теплый сезон года. В суглинистом и супесчаном вариантах отмечены незначительные изменения профиля влажности в верхней половине колонок: на глубинах 4–12 см влажность снизилась приблизительно на 1%, в слое 0–4 см – повысилась на 1–2%. Полагаем, что такое изменение связано с внутригрунтовым испарением влаги при высоких температурах среды и ее аккумуляцией под изолирующей пленкой на поверхности колонок. В итоге в колонках суглинистого и супесчаного грунта в средней их части наметилась зона с пониженным влагосодержанием, профиль влажности приобрел черты сходства с аналогичным профилем высоко увлажненных степных грунтов тяжелосуглинистого высоко илистого гранулометрического состава. Такое вертикальное распределение влаги характерно для плакорных участков Ишимской степи на поле чистого пара при положении грунтовых вод ниже критической глубины.

В песчаных вариантах наиболее заметно проявилось передвижение части влаги в нижнюю часть профиля. В песчаных колонках установлено снижение содержания влаги в слое 0–10 см на 1,0–2,5% и соответствующее увеличение влажности в нижней части колонок. Полагаем, что в нижнюю часть профиля высоко увлажненного (сверх уровня наименьшей влагоемкости) песчаного грунта переместилась часть влаги под влиянием силы тяжести. В итоге в колонках песчаного грунта появились черты сходства их профиля влажности с аналогичными профилями естественных грунтов с близко расположенными грунтовыми водами. Влажность грунтов в обоих случаях закономерно возрастает сверху вниз.

В результате последующего охлаждения сверху во всех профилях проявилось передвижение влаги в промерзающий слой из нижней, не промерзшей части, в которой образовалась зона подмерзлотного иссушения. Наибольший объем передвижения влаги отмечен в вариантах песчаного грунта. В них выявлено возрастание влагосодержания в промерзшей части профиля на 5–10% и снижение влажности в талой части колонок на 2–4%. Таким образом, профили влажности высоко увлажненного песчаного грунта оказались подвержены наибольшим изменениям как в результате его пребывания при комнатной температуре, так и вследствие замораживания верхней части песчаных колонок. С утяжелением гранулометрического состава грунтов объем мигрировавшей в них влаги снижается. По внешним особенностям полученные в результате охлаждения профили влажности экспериментальных колонок аналогичны отрезку профиля влажности естественных грунтов в нижней части зоны намерзания влаги и в верхней части зоны подмерзлотного иссушения при залегании грунтовых вод ниже критической глубины.

Вертикальное распределение хлорид-иона во всех экспериментальных колонках после замораживания их верхней части оказалось однотипным. Характерными особенностями профильного распределения хлорида явились: резкое увеличение его содержания в промерзшей части, все более возрастающее к поверхности колонок; относительно равномерное его распределение в талой части профиля. На основании однотипного распределения содержания хлорид-иона в промерзшей части всех экспериментальных колонок полагаем, что в криогенной миграции во всех предварительно высоко увлажненных грунтах песчаного, супесчаного и суглинистого состава принимала участие

жидкая влага. Установление послойного соответствия содержания влаги и хлорид-иона показало, что наибольшая роль в морозном перераспределении влаги принадлежит жидкой воде в тяжелосуглинистом высоко увлажненном грунте. С облегчением гранулометрического состава соответствие послойного распределения влаги и хлорид-иона оказалось не столь высоким. На этом основании предполагаем, что криогенная миграция влаги в высокоувлажненных грунтах супесчаного и песчаного-состава осуществляется не только в жидком виде.

В результате проведенной работы уточнены параметры влажности экспериментальных грунтов, при которых криогенная миграция влаги осуществляется преимущественно в жидком состоянии. В дальнейшем предполагается последовательно снижать исходную влажность грунтов для установления граничных условий, при которых происходит смена преобладающего потока жидкой влаги на движение влаги в парообразном состоянии. Еще одним важным направлением исследований представляется изучение термоградиентной миграции влаги в почвенных и почвенно-грунтовых монолитах, в том числе, в монолитах, неоднородных по гранулометрическому составу и сложению.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00104 (<https://rscf.ru/project/24-26-00104/>).

ЛИТЕРАТУРА

- Агрофизическая характеристика почв Западной Сибири. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1976. 450 с.
- Гиличинский Д.А. Сезонная криолитозона Западной Сибири. Москва: Наука, 1986. 144 с.
- Глобус А.М. Физика неизотермического внутрипочвенного влагообмена. Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. 279 с.
- Киссис Т.Я. Водный режим пахотных мерзлотных лесостепных почв. Москва: Наука, 1969. 134 с.
- Кравцов Ю.В. Миграция влаги и изменение профиля влажности почвогрунтов Ишимской степи в зимний период // Сибирский биологический журнал. 1992. № 6. С. 22–26.
- Кравцов Ю.В. Факторы зимнего передвижения влаги в пахотных почвах Ишимской степи // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024а. Том 54. № 8. С. 113–121. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-8-12>
- Кравцов Ю.В. Термоградиентное передвижение влаги в пахотных почвах юга Сибири // Степи Северной Евразии: материалы X международного симпозиума / под научной редакцией академика РАН А.А. Чибилёва. Оренбург: ИС УрО РАН, 2024б. С. 591–598. <https://doi.org/10.24412/cl-37200-2024-591-598>.
- Кравцов Ю.В., Смоленцева Е.Н. Особенности современного генезиса плакорных почв Ишимской степи // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2022. № 111. С. 116–156. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-111-116-156>
- Кристиан Г. Аналитическая химия / пер. с англ. А.В. Гармаша. Москва: Бином. Лаб. Знаний, 2009. 623 с.
- Куликов А.И., Панфилов В.П., Дугаров В.И. Физические свойства и режимы лугово-черноземных мерзлотных почв Бурятии. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 136 с.
- Лазарев Б.П., Шешенин С.В. Численное моделирование промерзания грунта с учетом переноса влаги // Наука и техника в дорожной отрасли. 2015. № 3(73). С. 27–30.
- Литвинова О.С. Влияние макроциркуляционных условий на атмосферное увлажнение юга и юго-востока Западной Сибири. Географический вестник. 2020. № 2(53). С. 100–110. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-2-100-110>
- Мосиенко В.С. Промерзание и оттаивание почвы в условиях Кулундинской степи // Почвоведение. 1957. № 1. С. 45–51.
- Невечера В.Л. Сезонное промерзание почв и проблема мелиорации Барабы // Вопросы мелиорации Барабинской низменности. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1970. С. 89–93.
- Орловский Н.В. Исследование по генезису, солевому режиму и мелиорации солонцов и других засоленных почв Барабинской низменности // Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. 1955. Том 47. С. 226–409.
- Панфилов В.П. Физические свойства и водный режим почв Кулундинской степи. Новосибирск: Наука, 1973. 258 с.

- Панфилов В.П., Слесарев И.В., Кудряшова С.Я., Сеньков А.А. Современное гидрологическое состояние почв и подстилающих пород // Черноземы: свойства и особенности орошения. Новосибирск: Наука, 1988. С. 47–57.
- Сеньков А.А. Водный режим гидроморфных и полугидроморфных почв Кулунды при промерзании // О почвах Сибири / к XI Межд. конгрессу почвоведов. Новосибирск: Наука, 1978. С. 187–191.
- Слесарев И.В., Кудряшова С.Я. Гранулометрический состав и водно-физические свойства почв и подстилающих пород // Черноземы: свойства и особенности орошения. Новосибирск: Наука, 1988. С. 39–47.
- Сребрянская Г.А. Явления сезонного промерзания и оттаивания почв Центральной Барабы // Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. 1954. Том 42. Часть 2. С. 172–232.
- Танасиенко А.А., Чумбаев А.С. Условия формирования льдистого экрана в эродированных черноземах Западной Сибири // Почвоведение. 2010. № 4. С. 450–460.
- Фельдман Г.М. Перемещение влаги в талых и промерзающих грунтах. Новосибирск: Наука, 1988. 258 с.
- Шейн Е.В., Мазиров М.А., Зинченко С.И., Гончаров В.М., Корчагин А.А., Умарова А.Б., Милановский Е.Ю. Агрофизика. Владимир: Изд-во ВНИИСХ, 2016. 124 с.
- Deng M., Meng X., Lu Z., Zhao L., Hu Z., Chen H., Shang L., Wang Sh., Li Q. Impact and Sensitivity Analysis of Soil Water and Heat Transfer Parameterizations in Community Land Surface on the Tibetan Plateau // Journal of Advances in Modeling Earth Systems. 2021. Vol 13. Iss. 9. e2021MS002670. <https://doi.org/10.1029/2021MS002670>
- Dopper V., Rocha A.D., Berger K., Granzig T., Verrelst J., Kleinschmit B., Forster M. Estimating soil moisture content under grassland with hyperspectral data using radiative transfer modelling and machine learning // International Journal of Applied Observation and Geoinformation. 2022. Vol. 110. P. 102817. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102817>
- Gelfan A. Physically-based model of heat and water transfer in frozen soil and its parameterization by basic soil data // Predictions in Ungauged Basins: Promise and Progress (Proceedings of symposium S7 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005). IAHS Publ. 2006. 303. P. 293–304.
- Chalhoub M., Bernier M., Coquet Y., Philippe M. A simple heat and moisture transfer model to predict ground temperature for shallow ground heat exchangers // Renewable Energy. 2017. Vol. 103. P. 295–307. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.027>
- He M., Feng X., Li N. Modeling of Coupled Heat-Moisture Transfer and Deformational Behavior of Frozen Soil // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2018. Vol. 55. P. 153–161. <https://doi.org/10.1007/s11204-018-9519-z>
- Xu H., Spitler J.D. The relative importance of moisture transfer, soil freezing and snow cover on ground temperature predictions // Renewable Energy. 2014. Vol. 72. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.044>
- Zhu W., Zhang C.L., Chiu A.C.F. Chiu Soil-Water Transfer Mechanism for Solidified Dredged Materials // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2007. Vol. 133. Iss. 5. P. 588–598. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2007\)133:5\(588\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2007)133:5(588))

Поступила в редакцию 19.05.2025

Принята 23.06.2025

Опубликована 27.06.2025

Сведения об авторах:

Юрий Васильевич Кравцов – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры географии, регионоведения и туризма ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет» (г. Новосибирск, Россия); kravtsov60@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0462-9194>

Александр Петрович Рыжих – кандидат химических наук, доцент кафедры химии ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет» (г. Новосибирск, Россия); redryzhikh@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5326-2571>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



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

Experimental study of thermogradient moisture migration in soil using a chemical marker

© 2025 Y. V. Kravtsov , A. P. Ryzhikh Novosibirsk State Pedagogical University, 28 Vilyuyskaya St., Novosibirsk, Russia. E-mail: kravtsov60@mail.ru, redryzhikh@ya.ru

The aim of the study was to examine experimentally the thermogradient migration of moisture in soil using a chemical marker.

Location and time of the study. The study was conducted in the laboratory during February-May 2025.

Methods. The study of the redistribution of moisture under the influence of a temperature gradient was carried out in columns of bulk soil of different granulometric composition. The method of chemical labeling was used to identify the predominant form of migrating moisture. The chloride ion was used as a marker. To form a moisture profile in the model soils, similar to the distribution of water in highly moistened natural soils, the pairs of columns with a preset moisture content were kept for 14 days at room temperature. Then, the profile moisture distribution was determined in one of the columns of each pair. The second column, moistened with an aqueous chloride ion solution, was placed in a refrigeration unit and cooled from above to subzero temperatures. At the same time, a positive temperature was maintained in the lower parts of the experimental columns. After 14 days, the vertical distribution of moisture in the second columns was determined by the thermostatic-weighing method and the chloride-ion-Mohr method. Samples were taken at 2 cm increments in two replicates. Conclusions about the forms of moisture movement under the influence of a temperature gradient were made based on the layered distribution of chloride ion.

Results. The moisture profile of previously highly moistened soils at room temperature was established: it can be considered an analogue of the vertical distribution of moisture in the soil and soil strata of the southern regions of Siberia during the warm season. In loamy and sandy loamy variants at depths of 4-12 cm, a decrease in humidity by 1% and its increase in the 0-4 cm layer by 1-2% was noted. This change was probably due to the intra-soil evaporation of moisture and its accumulation at the front of the insulating film on the column surfaces. The moisture profile acquired similarities with the profile of highly moistened steppe soils of heavy loamy, highly silty granulometric composition in steam-bearing areas with groundwater below the critical depth. In the sand variants, a decrease in the moisture content in the 0-10 cm layer by 1.0–2.5% and a corresponding increase in humidity in the lower part of the columns were found. It was likely that some of the moisture moved to the lower part of the profile under the influence of gravity. As a result, the columns of the sandy soil showed similarities in their moisture profile with the profiles of natural soils with closely located groundwater.

As a result of cooling from above, moisture moved to the frozen layer from the lower part in all profiles. The greatest extent of moisture movement was noted in the sandy soil: it revealed an increase in moisture content in the frozen part by 5-10% and a decrease in humidity in the thawed part by 2-4%. As the granulometric composition of soils becomes heavier, the volume of moisture that migrated into them decreased. In terms of external features, the moisture profiles obtained were similar to the segment of the moisture profile of natural soils in the lower part of the freezing zone and the upper part of the permafrost-drying zone when groundwater is below the critical depth.

The uniformity of the vertical distribution of chloride ion in all experimental columns after their cooling was revealed. The profile distribution of chloride was characterized by a sharp increase in its content in the frozen part and a relatively uniform distribution in the thawed part of the profile. On this basis, we believe that liquid water participated in cryogenic migration in all previously highly moistened soils. The establishment of a layer-by-layer correlation between the moisture content and the chloride ion showed that liquid water plays the greatest role in the frosty redistribution of moisture in heavy loamy, highly moistened soil. At the same time, cryogenic migration of moisture in medium loamy and sandy soils is carried out not only in liquid form.

Conclusions. As a result of the work carried out, the humidity parameters, at which cryogenic migration of moisture is carried out mainly in a liquid state, were elucidated in the studied soils.

Keywords: bulk soil columns; humidity profile; thermogradient movement; chloride ion; cryogenic accumulation.

How to cite: Kravtsov Yu.V., Ryzhikh A.P. Experimental study of thermogradient moisture migration in soil using a chemical marker. *The Journal of Soils and Environment*. 2025. 8(2). e315. DOI: [10.31251/pos.v8i2.315](https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.315) (in Russian with English abstract).

FUNDING

The research was financially supported by the Russian Science Foundation (Project No. 24-26-00104, <https://rscf.ru/project/24-26-00104/>).

REFERENCES

Agrophysical characteristics of soils in Western Siberia. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1976. 450 p. (in Russian).

- Gilichinsky D.A. Seasonal cryolithozone of Western Siberia. Moscow: Nauka Publ., 1986. 144 p. (in Russian).
- Globus A.M. Physics of non-isothermal intra-soil moisture exchange. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983. 279 p. (in Russian).
- Kissis T.Ya. The water regime of arable permafrost forest-steppe soils. Moscow: Nauka Publ., 1969. 134 p. (in Russian).
- Kravtsov Yu.V. Moisture migration and changes in the moisture profile of soils of the Ishim steppe in winter. Siberian Biological Journal. 1992. No. 6. P. 22–26. (in Russian).
- Kravtsov Yu.V. Factors of winter moisture movement in arable soils of the Ishim steppe. Siberian Herald of Agricultural Science. 2024a. Vol. 54. No. 8. P. 113–121. (in Russian). <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-8-12>
- Kravtsov Yu.V. Thermogradient movement of moisture in arable soils of southern Siberia. In book: Steppes of Northern Eurasia: proceedings of the Tenth International Symposium / scientific editing by A.A. Chibilyov, academician of RAS. Orenburg: IS UB RAS, 2024b. P. 591–598. (in Russian). <https://doi.org/10.24412/cl-37200-2024-591-598>.
- Kravtsov Yu.V., Smolentseva E.N. Features of modern genesis of the Ishim steppe watershed plain soils. Dokuchaev Soil Bulletin. 2022. No. 111. P. 116–156. (in Russian). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-111-116-156>
- Christian G. Analytical Chemistry / translated from English by A.V. Garmash. Moscow: Binom. Lab. Znanie, 2009. 623 p. (in Russian).
- Kulikov A.I., Panfilov V.P., Dugarov V.I. Physical properties and regimes of meadow-chernozem permafrost soils of Buryatia. Novosibirsk: Nauka Publ. Siberian Branch, 1986. 136 p. (in Russian).
- Lazarev B.P., Sheshenin S.V. Numerical simulation of the freezing process with regard for the water flow. Advanced Science and Technology for Highways. 2015. No. 3(73). P. 27–30. (in Russian).
- Litvinova O.S. The influence of macrocirculatory conditions on atmospheric humidification in the south and southeast of Western Siberia. Geographical bulletin. 2020. No. 2(53). P. 100–110. (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-2-100-110>
- Mosienko V.S. Freezing and thawing of the soil in the conditions of the Kulunda steppe. Pochvovedenie. 1957. No. 1. P. 45–51. (in Russian).
- Nevecherya V.L. Seasonal soil freezing and the problem of Baraba land reclamation. In book: Issues of land reclamation of the Baraba lowland. Novosibirsk: Nauka Publ. Siberian Branch, 1970. P. 89–93. (in Russian).
- Orlovsky N.V. Research on the genesis, salt regime and land reclamation of salt flats and other saline soils of the Baraba lowland. Proceedings of the V.V. Dokuchaev Soil Institute. 1955. Vol. 47. P. 226–409. (in Russian).
- Panfilov V.P. Physical properties and water regime of soils of the Kulunda steppe. Novosibirsk: Nauka Publ., 1973. 258 p. (in Russian).
- Panfilov V.P., Slesarev I.V., Kudryashova S.Ya., Senkov A.A. Modern hydrological state of soils and underlying rocks. In book: Chernozems: properties and features of irrigation. Novosibirsk: Nauka Publ., 1988. P. 47–57. (in Russian).
- Senkov A.A. Water regime of hydromorphic and semi-hydromorphic soils of Kulunda during freezing. In book: On the soils of Siberia. To the XI International Congress soil scientists. Novosibirsk: Nauka Publ., 1978. P. 187–191. (in Russian).
- Slesarev I.V., Kudryashova S.Ya. Granulometric composition and water-physical properties of soils and underlying rocks. In book: Chernozems: properties and features of irrigation. Novosibirsk: Nauka Publ., 1988. P. 39–47. (in Russian).
- Srebryanskaya G.A. Phenomena of seasonal freezing and thawing of soils in Central Baraba. Proceedings of the V.V. Dokuchaev Soil Institute. 1954. Vol. 42. Part 2. P. 172–232. (in Russian).
- Tanasienko A.A., Chumbaev A.S. Conditions of the formation of ice barriers in eroded chernozems of Western Siberia. Eurasian Soil Science. 2010. Vol. 43. No. 4. P. 417–426. <https://doi.org/10.1134/S1064229310040071>
- Feldman G.M. Movement of moisture in thawed and freezing soils. Novosibirsk: Nauka Publ., 1988. 258 p. (in Russian).
- Shein E.V., Mazirov M.A., Zinchenko S.I., Goncharov V.M., Korchagin A.A., Umarova A.B., Milanovsky E.Yu. Agrophysics. Vladimir: VNIISKH Publishing House, 2016. 124 p. (in Russian).
- Deng M., Meng X., Lu Z., Zhao L., Hu Z., Chen H., Shang L., Wang Sh., Li Q. Impact and Sensitivity Analysis of Soil Water and Heat Transfer Parameterizations in Community Land Surface on the Tibetan Plateau. Journal of Advances in Modeling Earth Systems. 2021. Vol 13. Iss. 9. e2021MS002670. <https://doi.org/10.1029/2021MS002670>

Dopper V., Rocha A.D., Berger K., Granzig T., Verrelst J., Kleinschmit B., Forster M. Estimating soil moisture content under grassland with hyperspectral data using radiative transfer modelling and machine learning. *International Journal of Applied Observation and Geoinformation*. 2022. Vol. 110. P. 102817. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102817>

Gelfan A. Physically-based model of heat and water transfer in frozen soil and its parameterization by basic soil data. *Predictions in Ungauged Basins: Promise and Progress* (Proceedings of symposium S7 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005). IAHS Publ. 2006. 303. P. 293–304.

Chalhoub M., Bernier M., Coquet Y., Philippe M. A simple heat and moisture transfer model to predict ground temperature for shallow ground heat exchangers. *Renewable Energy*. 2017. Vol. 103. P. 295–307. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.027>

He M., Feng X., Li N. Modeling of Coupled Heat-Moisture Transfer and Deformational Behavior of Frozen Soil. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2018. Vol. 55. P. 153–161. <https://doi.org/10.1007/s11204-018-9519-z>

Xu H., Spitler J.D. The relative importance of moisture transfer, soil freezing and snow cover on ground temperature predictions. *Renewable Energy*. 2014. Vol. 72. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.044>

Zhu W., Zhang C.L., Chiu A.C.F. Chiu Soil-Water Transfer Mechanism for Solidified Dredged Materials. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2007. Vol. 133. Iss. 5. P. 588–598. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2007\)133:5\(588\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2007)133:5(588))

Received 19 May 2025

Accepted 23 June 2025

Published 27 June 2025

About the authors:

Yuri V. Kravtsov – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Geography, Regional Studies and Tourism, Novosibirsk State Pedagogical University (Novosibirsk, Russia); kravtsov60@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0462-9194>

Alexander P. Ryzhikh – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry, Novosibirsk State Pedagogical University (Novosibirsk, Russia); redryzhikh@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5326-2571>

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/)

УДК 631.483: 502.31

<https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.290>

Почвенно-геохимическое изучение черноземов и культурных слоев (возрастом от палеолита до средневековья) поселений горнорудного Урала

© 2025 В. Е. Приходько ¹, Н. С. Савельев ², В. Г. Котов ²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – обособленное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», ул. Институтская, д. 2, корпус 2, г. Пушкино, Московская обл., 142290, Россия. E-mail: valprikhodko@rambler.ru

²ФГБУН Отдел археологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Октябрьский проспект, 71, г. Уфа, Республика Башкортостан, 450054, Россия. E-mail: sns_1971@mail.ru, kslav1@yandex.ru

Цель исследования. Дать характеристику почвенно-геохимических свойств черноземов и культурных слоев (КС) восьми поселений возрастом от палеолита до средневековья, расположенных на территории горнорудного Южного Урала; расширить информацию о содержании тяжелых металлов в почвах региональной геохимической аномалии на основе детального их определения в профиле в каждом последующем слое 5 см до материнской породы.

Методология. Совместно с археологами изучены почвы и КС восьми разновозрастных поселений (136–2,5 тыс. лет), расположенных вдоль склона гор Южного Урала. Объекты находятся на террасах малых рек бассейна р. Урал, используются как умеренно выпадаемые пастбища, а участок Теляшево-4 (3,9–3,45 тысяч лет назад) (тыс. л. н.) – как пашня. Пробой почв и КС объектов отобраны последовательно из каждого 5-см слоя до почвообразующей породы; в слое 0–30 см образцы взяты в 3-кратной повторности. Характеристики почв и КС получены общепринятыми методами. Микробная биомасса определена методом субстрат-индуцированного дыхания с добавлением глюкозы. Микробное дыхание почв измерено на газовом хроматографе после инкубации влажных почв в течение 7 суток. Общее содержание макро- и микроэлементов определено методом рентген-флуоресцентного анализа на аппарате «Спектроскан Макс-GV».

Основные результаты. Охарактеризованы педологические, геохимические и микробиологические свойства восьми почв и КС разновозрастных поселений. Большинство КС развито на черноземах и находится в слое от 3–25 см до 40–60 см. В слое 0–10 см КС содержится 6–13,7% органического вещества ($C_{орг}$) в результате развития современных процессов (накопления растительных остатков и их гумификации); в КС Ишкульово (14 в.), находящемся ниже 80 см, $C_{орг}$ снижается до 1,3% из-за отсутствия поступления свежего органического материала. КС и почвы характеризуются хорошей структурой, отсутствием засоленности, обогащенностью тонкими гранулометрическими фракциями, антропогенным фосфором (0,2–0,4%) и обменным кальцием, близкой к нейтральной величиной pH (в КС Таштуй-1 (19 в.) – pH щелочной из-за наличия карбонатов). Близость объектов к горам Урала, содержащих месторождения меди, цинка, хрома и марганца, создает природные аномалии накопления этих элементов в почвах региона, отмеченные ранее. В КС могли дополнительно концентрироваться микроэлементы при разрушении бронзовых и железных изделий, фрагментов керамики и сырья для их изготовления, обнаруженных археологами. Близость КС (18–60 км) к Магнитогорскому металлургическому комбинату способствует накоплению в слое 0–10 см серы (коэффициент техногенности – КТ 30–87%), реже цинка, хрома, марганца, свинца, стронция (КТ 30–40%). Все эти причины обуславливают концентрирование ряда загрязнителей 1-го (мышьяка, свинца, цинка, хрома) и 2-го (кобальта, меди, никеля) классов опасности в КС, часто в несколько раз выше кларка (среднего содержания в литосфере) и реже – больше гигиенических нормативов, что могло влиять на здоровье и поведенческие функции населения. Черноземы КС обладают высокой буферной способностью и прочной связью с тяжелыми металлами. Это не препятствует развитию микроорганизмов и обуславливает высокое содержание микробной биомассы – 520–680 мкг С/г почвы в слое 0–10 см, скорость дыхания микробов 0,2–1,0 С–CO₂ мкг/г почвы в час.

Заключение. В черноземах и культурных слоях разновозрастных древних поселений Южного Урала установлено накопление загрязнителей 1-го (мышьяк, свинец, цинк, хром) и 2-го (кобальт, медь, никель) классов опасности в несколько раз выше величины кларка литосферы и реже – больше гигиенических нормативов, допустимых для людей. Это, преимущественно, обусловлено природной аномалией гор Урала и, в меньшей степени, близостью (18–60 км) к металлургическому комбинату г. Магнитогорска. Благоприятные свойства почв и КС – высокое содержание $C_{орг}$, тонких фракций и обменного кальция, отсутствие засоленности, pH близкий к нейтральному – обуславливают прочную адсорбцию тяжелых металлов с органоминеральным комплексом. Поэтому не отмечено угнетения микробов, что подтверждается высоким накоплением микробной биомассы и ее активным базальным дыханием.

Детальные данные о количестве 15 химических элементов в профиле почв и культурных слоях дополнили информацию об их накоплении в геохимической аномалии Южного Урала и соответствующем банке данных, что важно для экологического мониторинга этих элементов.

Ключевые слова: *поллютанты; органическое вещество почв; природное и техногенное накопление элементов; педологические; микробиологические и геохимические свойства; химические элементы; археологические находки.*

Цитирование: *Приходько В.Е., Савельев Н.С., Котов В.Г. Почвенно-геохимическое изучение черноземов и культурных слоев (возрастом от палеолита до средневековья) поселений горнорудного Урала // Почвы и окружающая среда. 2025. Том 8. № 2. e290. DOI: [10.31251/pos.v8i2.290](https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.290)*

ВВЕДЕНИЕ

Совместно с археологами проведены почвенно-геохимические исследования почв и культурных слоев (КС) восьми разновозрастных поселений Абзелиловского района Республики Башкортостан вдоль восточного склона гор Южного Урала. В регионе находятся всемирно известные археологические памятники: Филипповка 1 – некрополь середины I тыс. до н.э., где найдены прекрасные произведения искусства знати кочевников из драгоценных металлов и предметы быта (всего 3000 единиц) (Яблонский, 2013; Савельев, 2021), пещера Шульганташ (Капова) с палеолитической живописью и стоянкой древних людей (Котов, Румянцев, 2018), крупные медные рудники – Каргалы и Бакр-Узяк, разрабатываемые в эпоху бронзы (Chernikh, 2017), городище Уфа II с культурным слоем мощностью 4 м, функционировавшее с первых веков новой эры (Гарустович и др., 2018).

Археологами изучены несколько сотен памятников региона (Чаплыгин, 2013). Однако они недостаточно исследованы методами естественных наук (Каздым, 2006; Махонина, Валдайских, 2006; Приходько и др., 2014, 2016; Некрасова, Учаев, 2015; Плеханова, 2017; Сулейманов и др., 2020; Приходько, Азаренко, 2021; Lapteva, Korona, 2013; Danukalova et al., 2014; Stobbe et al., 2016; Thiemeyer, Peters, 2016; Golyeva et al., 2018; Suleymanov et al., 2021).

Геохимической особенностью региона вблизи гор Южного Урала служит накопление во всем профиле почв многих элементов, в несколько раз выше кларков (среднего содержания элементов в литосфере), нередко с наибольшим их содержанием в материнских породах. Это свидетельствует, что основное их концентрирование обусловлено нативными запасами, связанными с геологической историей гор Урала (Хабилов и др., 2007; Асылбаев, Хабилов, 2015; Серегина и др., 2013). Также отмечена техногенная аккумуляция тяжелых металлов в пределах 5–10 км от многочисленных промышленных предприятий региона, охватывающая поверхностные слои почв (Хабилов и др., 2007; Водяницкий и др., 2010; Еремченко, Чудинова, 2012; Дубинина и др., 2013; Хасанова и др., 2017; Сомов и др., 2023; Orekunova et al., 2020).

Культурный слой поселений включает две составляющие – антропогенную и нативную, в нем накапливаются артефакты в результате жизнедеятельности населения, которые преобразуют почвенный материал (Сычева и др., 2008; Nowaczinski et al., 2013).

Цель исследования – дать комплексную характеристику свойств черноземов и культурных слоев восьми поселений возрастом от палеолита до средневековья, расположенных на территории Южного Урала; расширить информацию о содержании тяжелых металлов в почвах региональной геохимической аномалии на основе их определения в профиле в каждом последующем слое 5 см до материнской породы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведены почвенно-археологические исследования восьми разновозрастных поселений Абзелиловского района Республики Башкортостан вдоль восточного края гор Южного Урала (рис. 1). Их возраст от палеолита до позднего средневековья и нового времени. Объекты располагаются в основном на террасах малых рек бассейна р. Урал, используются как пастбища с умеренным выпасом, объект Таштуй-1 – как пашня. Высота над уровнем моря 400–600 м. Регион находится в горно-степной, горно-лесостепной и степной зонах Южного Зауралья. Распространены породы девона, поверх них местами лежат четвертичные аллювиальные отложения. В предгорной части представлены вулканогенные породы, в частности в объекте Елимбетово-7 – диабазы. Леса занимают половину площади региона. Распространены сосновые и берёзово-лиственничные леса и целинные злаково-разнотравные ассоциации, большей частью распаханые. Среднегодовая температура воздуха в регионе составляет 1,4°C, средняя температура: июля +17,6°C, января -15,5°C. Равнинные территории получают 350–400 мм осадков в год, горные – 550 мм (Хазиев и др., 1995; Архив..., 2023).

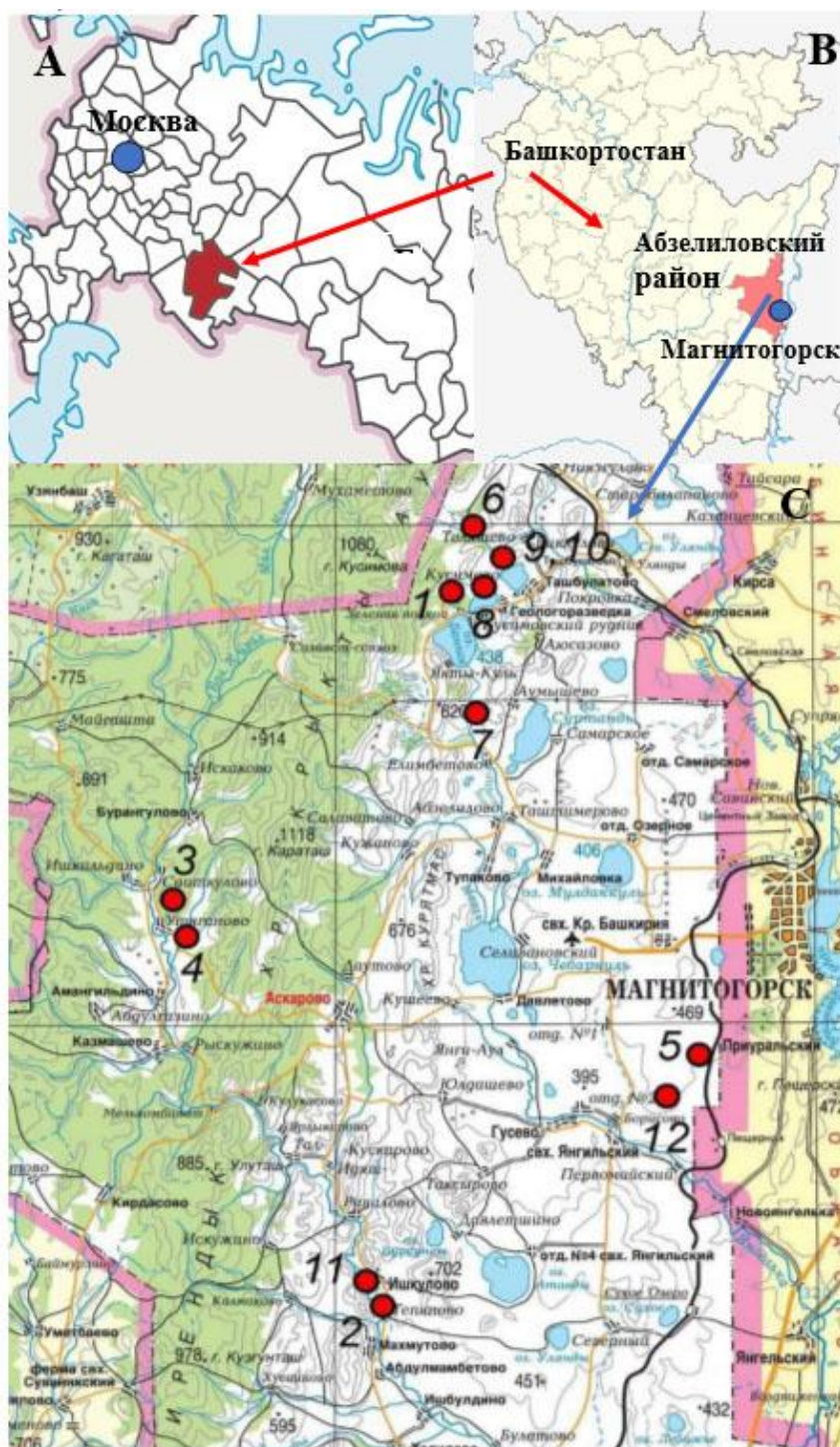


Рисунок 1. Расположение объектов: А – Республика Башкортостан в РФ, В – Абзелиловский район в Башкортостане, С – объекты в этом районе около г. Магнитогорск: 1 – Кусимово-8, 2 – Ишкулово, 3 – Сейткулово, 4 – Амангильдино, 5 – Таштуй-1, 6 – Теляшево-4, 7 – Елимбетово, 8 – Сабакты-1а; <https://opentopomap.org/#map=12/53.6136/58.677>

В регионе сосредоточено много крупных металлургических и обогащательных предприятий; ближайшее из них находится в г. Магнитогорск, на расстоянии 18–60 км от объектов исследования. КС содержат материал разновозрастных археологических культур, залегают на разных глубинах и имеют разную мощность. КС развивались в основном на черноземах выщелоченных, селище Таштуй-1 – на черноземе обыкновенном, Елимбетово-7 – на горно-черноземной почве на диабазе, Ишкуловское селище – на аллювиальной почве (Классификация..., 1977). Краткая характеристика объектов дана в таблице 1. Во всех КС обнаружены, в основном, фрагментов керамики и кости животных, в объектах

Сабакты-1а, Кусимово-8, Елимбетово-7 – много каменных орудий (Котов, Савельев, 2007; Котов, 2009; Савельев, 2018).

Таблица 1

Характеристика объектов исследования

Поселение создано носителями археологической культуры, лет назад	Координаты	Террасы бассейна реки Урал	Слой находок КС, см; их количество, шт.	Легкорастворимые соли, %; слой 90–100 см
Амангильдино алакульская, 3 900–3 450	N 53°23'07,0" E 58°20'02,4"	р. Большая Наязда	3–46; 25	0,04
Елимбетово-7 гамаюнская 2 900–2 400	N 53°31'30,6" E 58°38'20,0"	р. Янгелька 620 м	11–38; 35	нет
Ишкулово, кочевники 800–600	N 53°14'04,7" E 58°55'50,2"	р. Большой Кизил	Ниже 80; 19**	0,004
Кусимово-8* карышкинская, 136 000	N 53°37'08,0" E 58°37'17,0"	озеро Сабакты	25–63; 15	0,08
Сабакты-1а 6 300–5 000 суртандинская	N 53°37'13,4" E 58°38'43,2"	озеро Сабакты	18–140; 32	0,05
Сейткулово, эпохи: мезолит, бронза, средние века	N 53°25'32,7" E 58°18'33,0"	р. Большой Кизил	3–13; 5	0,06***
Таштуй-1*, 200–100	N 53°19'03,6" E 58°52'51,1"	Сухое озеро на сырте	КС1 3–19; 30 КС2 53; 1	0,13
Теляшево-4 алакульская, 3 900–3 450	N 53°39'43,6" E 58°38'42,0"	р. Аналык	11–46; 14	0,10

Примечание.

* – стоянка, ** – кости животных, в других КС артефакты в основном представлены фрагментами керамики и каменными орудиями; *** – слой 40–50 см.

Амангильдино – долговременное поселение создано носителями алакульской культуры 3,9–3,45 тыс. лет назад; датирование дано по суммированию 52 радиоуглеродных дат (Молодин и др., 2014). Расположено между склоном горы и заболоченной заросшей лесом долиной в 65 м от р. Большая Наязда; используется как сенокос, ранее – как пашня. Подъемные сборы представлены 6 фрагментами сосудов и 5 костями животных, на глубине 3–46 см обнаружены 24 фрагмента керамики и отщеп из кремня, их максимум – 3–36 см.

Памятники алакульской культуры локализуются в Южном Зауралье и Северном Казахстане, поселения обнаружены вдоль рек, часть – на водоразделах. В хозяйственном отношении население практиковало придомное скотоводство, вспомогательную роль имело мотыжное земледелие, охота, рыболовство, собирательство (Ткачев, 2018). Морфологическая характеристика почв и КС объектов исследования приведена в таблице 2.

Елимбетовское-7 поселение находится в 190 м от р. Янгелька, все находки принадлежат гамаюнской культуре, существовавшей 2,9–2,4 тыс. лет назад. Найдено 16 керамических фрагментов и 15 каменных орудий на глубине 11–38 см. КС отличается укороченным профилем – 40 см, т. к. глубже залегает слой больших кусков диабаз (рис. 2). Ареал данной культуры охватывал подтаежные районы Западной Сибири, Среднее Зауралье и северную часть Южного Зауралья. В поселениях строились полуземлянки и большие бревенчатые дома, окружённые оборонительными стенами и рвом; жители занимались, в основном охотой, отчасти рыболовством и скотоводством (разводили крупный и мелкий рогатый скот, лошадей), выплавленная медь использовалась для создания украшений (Борзунов, 2019; Савельев, 2018).

Ишкуловское селище кочевников создано 0,8–0,6 тыс. л. н.; изучено в разрезе обнажения берега р. Большой Кизил в широкой пойме высотой 3–3,5 м от уреза воды в реке. На глубине около 80 см прослежена узкая черная полоса прокала с угольками, маркирующая начало КС (рис. 2); обнаружено 13 фрагментов костей животных.

Таблица 2

Морфологическая характеристика объектов

Горизонт, (глубина, см)	Цвет	Цвет по Манселу	Структура	Гранулометрия	Плот- ность
Амангильдино, 3 900–3 450 лет назад					
КC (A1 0–25) КC (AB 25–46) AB 46–60 C 60–70	темно-серый темно-серый и темно- коричневый светло-коричневый	10YR 4/1 10YR 4/1 10YR 3/3 10YR 6/3	комковато-зернистый комковатый комковатый комковатый	Среднесуглинистый (все горизонты)	рыхлый плотный очень плотный (AB и C)
Елимбетово-7, 2 900–2 400 лет назад					
КC (A1 0–40) C 40-50	черный серый	10YR 2/1 10YR 6/1	комковато- зернистый мелко-комковатый	глинистый с диабазом 5–20 см, 50% куски диабаз	рыхлый очень плотный
Ишкулово, 800-600 лет назад					
A1 0–30 A1' 30–50 AB 50–80 80–82 КC 82–120 Cg 120–140	серый серый серо-коричневый черный серо-коричневый и сизо-голубоватый коричневый и сизо- голубоватый	10YR 5/1 10YR 5/2 10YR 2/1 10YR 5/2 5GYR 6/4 10YR 5/3 5GYR 6/4	мелкокомковатый комковатый комковатый бесструктурный бесструктурный	суглинистый глинистый глинистый угольки глинистый глинистый	рыхлый плотный плотный рыхлый очень плотный очень плотный
Кусимово-8, 136 000 лет назад					
A1 0–30 КC (AB 30–70) КC (Cg 70–180)	темно-серый светло-коричневый коричневый с сизыми языками	10YR 4/1 10YR 6/2 10YR 5/3 5GYR 6/4	комковато-зернистый мелкокомковатый комковатый бесструктурный	супесь гравий 5–15см, 50% суглинистый гравий 1–2 см, 20%	рыхлый очень плотный
Сабакты-1а, 6 300–5 000 лет назад					
КC (A1 0–50) КC (A1' 50–100) КC (B 100–125) [A1] 125–133 D 135–180	черный темно-серый серый темно-серый коричневый	10YR 2/1 10YR 4/1 10YR 6/1 10YR 4/1	мелко-комковатый комковатый бесструктурный	супесь суглинистый суглинистый, гравий 2–5 см, 20%	рыхлый плотный очень плотный
Сейткулово. Находки эпох мезолита, бронзы и средневековья					
КC 3–13, A1 13–30 BC 35–50	темно-серый желтовато- коричневый	10YR 4/1 10YR 6/4	мелкокомковатый комковатый	супесь суглинистый, гравий 5 см, 20%	рыхлый плотный
Таштуй-1, 200-100 лет назад					
КC 3-19, A1 19–27 AB 27–70 BC 70–135 C 105–135	темно-серый серый коричневый светло- коричневый	10YR 4/1 10YR 5/1 10YR 4/3 10YR 6/3	мелкокомковатый комковатый	суглинистый глинистый гравий 1–2 см, 10	рыхлый плотный очень плотный
Теляшево-4, 3 900–3 450 лет назад					
КC 11–46, (A1 0–27) КC (AB 27–47) BC 47–65	темно-серый серый светло- коричневый	10YR 3/1 10YR 5/1 10YR 6/3	мелкокомковатый комковатый крупнокомковатый	суглинистый, гравий 1–2 см, 10% глинистый, гравий 2–5 см, 20%	рыхлый плотный очень плотный



Рисунок 2. Почвы и культурные слои объектов: А – Кусимово-8, Б – Ишкулово, В – Елимбетово-7, Г – Сабакты-1а. Фото В.Е. Приходько

Стоянка-мастерская Кусимово-8 расположена в 20 м от ручья Карамалай и 1,6 км от оз. Сабакты; до 2005 г. пашня, сейчас – слабо используемое пастбище с разнообразным разнотравьем (рис. 3).

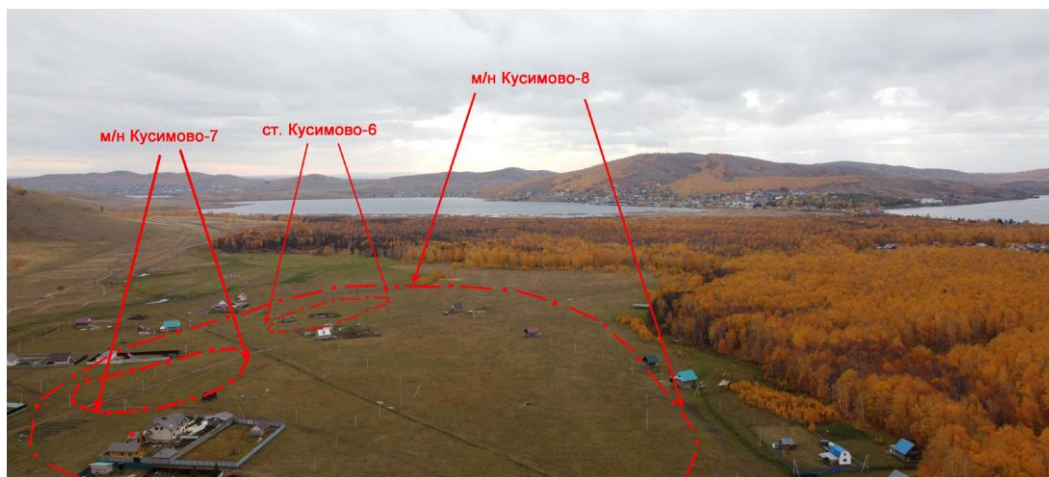


Рисунок 3. Расположение стоянок Кусимово-6, 7, 8. Вид с квадрокоптера. Фото А. Хурмаева.

Стоянка Кусимово-8 функционировала в нижнем палеолите; маркерами служат разные рубящие каменные орудия. Во время изучения объекта осмотрено 4 разреза, найдено 121 каменное изделие. Два культурных слоя обнаружены на глубине 0,4–0,8 м и 0,8–2 м. Для отложений объекта получены датировки методом оптически стимулированной люминесценции: образец с глубины 1,8 м дал возраст 136 ± 9 тыс. лет (RGI-1104, ВСЕГЕИ), образец с глубины 1,0 м – возраст 258 ± 13 тыс. лет (RGI-1103, ВСЕГЕИ); очевидно, что последняя дата завышена. Об этом свидетельствуют формы рубящих орудий, которые являются маркерами эпохи нижнего палеолита (125–200 тыс. л. н.) Южного

Зауралья, обнаруженные в стоянках Мысовая, Карышкино-11 и др. (Котов, 2009; Котов, Румянцев, 2018).

Стоянка **Сабакты-1а** находится вблизи одноименного озера в ложбине, ограниченной каменистыми склонами и береговым валом, используется как пастбище. В разрезе длиной 6 м обнаружено 32 каменных орудия в слое 18–162 см с максимумами в слое 39–45 см – 5 шт. и 94–128 см – 10 шт. Объект относится к суртандинской культуре, развивавшейся в энеолите. На основании анализа 40 радиоуглеродных дат археологических объектов энеолита Зауралья показано, что они укладываются в период 6 300–5 000 или 6 500–4 200 лет назад; калиброванные даты с точностью 1σ (68,2%) и 2σ (95,4%), соответственно (Епимахов, Мосин, 2015).

Неукрепленные поселения этой культуры локализовались вблизи рек и озер. Люди жили в полуземлянках и землянках с очагами, стены укреплялись каменными плитами. Характерно обилие каменного инвентаря, орнаментированной посуды, единичные изделия из самородной меди. Занимались охотой, рыболовством и скотоводством (Матюшин, 1982). Возможно, что находки в шурфе частично перемещены с более высоких местоположений, относящихся к стоянкам Сабакты-1 и Сабакты-8 (Котов, Савельев, 2007).

Сейткуловское поселение располагается на террасе р. Большой Кизил, используется как сенокос. Характер 10 подъемных изделий с поверхности и 5 находок из слоя 3–13 см свидетельствует, что площадка памятника осваивалась трижды в эпохи мезолита, бронзы и позднего средневековья. Также обнаружены кости животных: 8 подъемных с поверхности и 5 из слоя 3–13 см.

Селище Таштуй-1 локализуется на пологой вершине большого степного сырта вблизи пересохшего озера, используется как пашня. Обнаружено по 25 находок с поверхности и в слое 3–20 см. Выделено две части КС; верхняя – 3–20 см – отмечена, как достаточно долговременное поселение 2-й половины XIX–начала XX вв., а нижняя часть – кратковременная стоянка кочевников позднесарматского времени (1,7–1,8 тыс. л. н.). Она выделена на основании одной находки керамики на глубине 53 см. Разрез заложен на не распаханном ареале.

Теляшево-4 долговременное поселение алакульской культуры (3,9–3,45 тыс. л. н.), располагается на бывшей пашне низкой террасы р. Аналык. В его культурном слое на глубине 11–46 см выявлено 14 находок (максимум – 22–38 см).

Методы исследований. В каждом памятнике заложен разрез до материнской породы, взяты пробы на общие почвенные анализы, выкопаны две прикопки до глубины 30 см на микробиологические, $S_{орг}$ и геохимические анализы; проведено морфологическое описание разрезов. Отобраны пробы КС и почв объектов Сабакты-1а, Кусимово-8 и Ишкулово из последовательных слоев мощностью 0–10 см до материнской породы, в остальных участках – каждые 5 см. Выполнены физико-химические, геохимические и микробиологические анализы почв.

Методы определения свойств почв следующие: общий углерод ($C_{общ}$) и общий азот ($N_{общ}$) на автоматическом элементном CHNS-O анализаторе; pH водный – потенциометрическим методом (почва:вода = 1:2,5); обменные Ca^{2+} и Mg^{2+} – по Шолленбергу в водной вытяжке (почва:вода = 1:5); гранулометрический состав – методом пипетки с обработкой пиррофосфатом натрия (Воробьева, 1998). Анализы почв выполнены в ЦКП ИФХиБПП РАН, г. Пущино.

Содержание $C_{общ}$ равно содержанию органического углерода ($C_{орг}$) во всех объектах кроме Тайтуй-1, в котором имеются карбонаты, поэтому для получения $C_{орг}$ из $C_{общ}$ вычли содержание углерода карбонатов. Среди общего фосфора в культурных слоях преимущественно преобладает антропогенный, его содержание значительно больше, чем в почвообразующей породе; биогенный фосфор может составлять до 20% от общего (Водяницкий и др., 2010).

Для микробиологических анализов почву с полевой влажностью просеивали через сито 2 мм и удаляли корни. Навеску 10 г в трехкратной повторности увлажняли до 70–75% ППВ, инкубировали 7 суток при 22°C во флаконах 100 мл. Затем их закрывали, помещали в термостат при 22°C, через 2 суток определяли базальное дыхание (БД) почв на газовом хроматографе и повторно – через 2 суток, затем в этих пробах находили микробную биомассу ($C_{мик}$) методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД) с добавлением глюкозы 1 мг на 1 г почвы. Скорость БД выражали в $C-CO_2$ мкг/г почвы в час. Использовали формулу: $C_{мик} = 40,04 \times V_{СИД} + 0,37$, мкг С/г почвы, где $V_{СИД}$ – скорость СИД (Курганова и др., 2012; Anderson, Domsch, 1978).

Общее содержание макро- и микроэлементов (рассчитано на элемент) определили методом рентген-флуоресцентного анализа на аппарате «Спектроскан Макс-GV» в Белгородском госуниверситете (инженер М.К. Буйа). Количество элементов сопоставили с кларком литосферы, средним содержанием в почвах региона (Асылбаев, Хабиров, 2015). Использовали величины кларков,

рекомендованные в обобщающей статье (Касимов, Власов, 2015), там же даны ссылки на авторов, определивших кларки.

Для КС стоянки Кусимово-8 методом оптически стимулированной люминесценции получено датирование двух проб во ВСЕГЕИ. Данные обработаны с помощью программы Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Физико-химические свойства. Культурные слои большинства объектов имеют средне- и тяжелосуглинистый гранулометрический состав с содержанием фракций диаметром <0,01 мм 38–56% и песчаных фракций 1–0,25 мм – меньше 20% (табл. 3).

Таблица 3

Гранулометрический состав почв и культурных слоев

Глубина, см	Размер фракций в мм и содержание фракций, %						
	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01
Амангильдино поселение алакульской культуры, 3,9–3,45 тыс. л. н.							
0–10	17	20	25	8	12	19	38
10–20	23	14	28	4	14	19	36
45–50	20	11	20	9	12	28	49
55–65	19	14	20	7	12	28	47
Елимбетово–5 гамаюнской культуры, 2,9–2,4 тысяч лет назад							
5–10	15	1	19	12	13	39	65
25–35	26	17	27	2	11	17	30
Ишкуловское поселение кочевников, 0,8–0,6 тысяч лет назад							
0–10	11	37	27	3	9	13	25
30–50	2	1	41	12	16	28	56
80–90	1	7	39	10	18	26	54
80–82*	19	17	39	1	9	15	25
Сейткулово поселение эпох: мезолит, бронза, средние века							
2–5	39	5	32	6	3	15	24
10–15	30	15	33	5	0	16	22
40–50	26	11	21	6	9	27	42
Кусимово–8 стоянка, средний Палеолит 136 тысяч лет назад							
0–10	46	13	10	7	12	11	31
10–20	30	23	28	3	7	9	19
55–60	65	10	10	2	8	5	15
100–105	76	3	8	4	4	6	14
130–135	29	8	24	5	18	15	39
140–145	15	27	25	9	9	14	32
160–165	20	21	23	9	14	13	36
Стоянка Сабакты 1а, энеолит 5–6,3 тысяч лет назад							
0–10	46	13	21	4	3	12	20
10–20	42	14	29	3	1	11	15
40–50	28	10	28	11	9	15	34
70–80	23	7	26	10	15	20	45
90–100	35	2	19	8	15	21	45
Таштуй–1 поселение 19 века и кочевническая стоянка первых веков н.э.							
25–30	13	16	31	3	10	26	39
45–50	14	7	23	10	13	33	56
70–75	7	11	24	6	15	36	57
95–100	15	1	25	7	18	33	59
115–125	9	2	23	8	22	37	67
125–135	6	3	20	8	20	43	72
Теляшево поселение алакульской культуры, 3,9–3,45 тысяч лет назад							
5–10	27	13	18	9	15	19	42
10–20	38	13	25	2	11	11	24
45–50	25	7	26	7	12	23	42
55–65	14	4	23	9	15	35	59

Примечание: * – узкая полоска с обилием угольков.

В разрезах Кусимово-8, Сабакты-1а и Сейткулово грансостав верхней части профиля супесчаный, с содержанием фракций <0,01 мм 14–20%, нижней части – среднесуглинистый, 32–45%. По профилю КС выявлен в основном близкий к нейтральному рН, в поселении Таштуй-1 – щелочная реакция среды ниже 30 см (рис. 4).

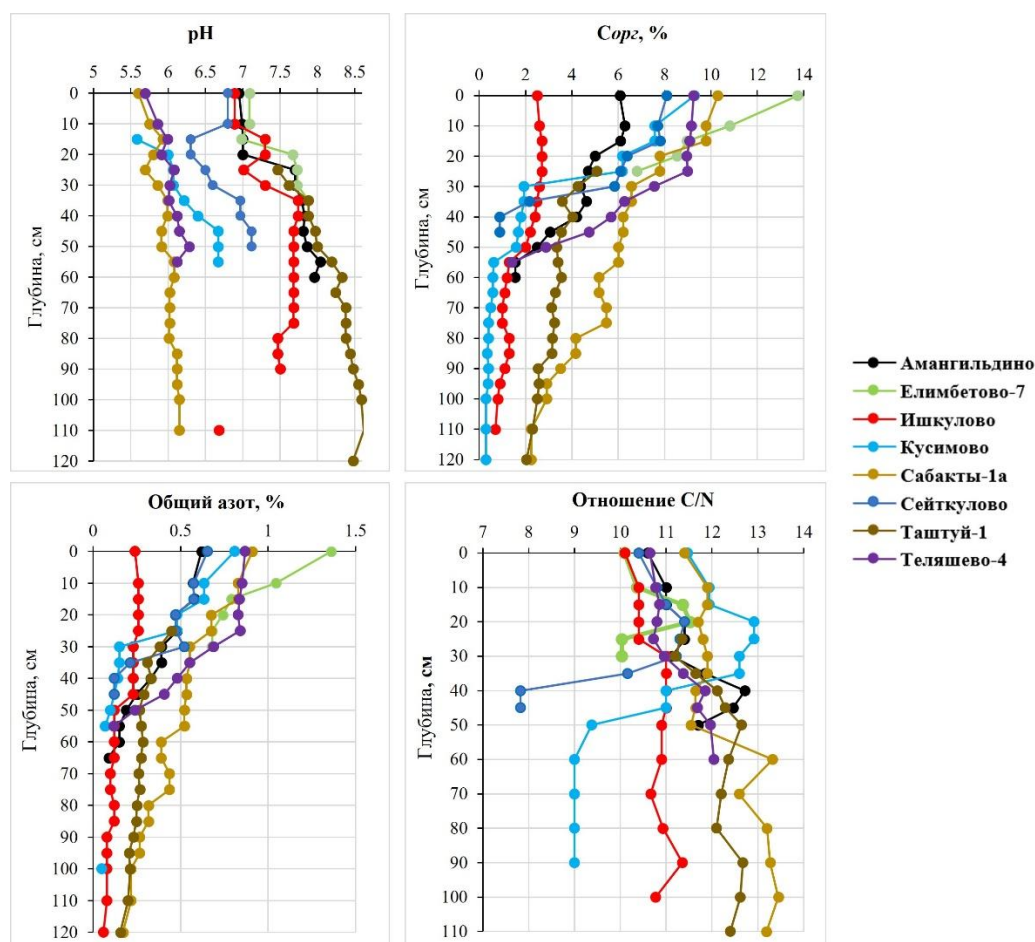


Рисунок 4. Химические свойства почв и культурных слоев.

Почвы и КС по профилю незасоленные, количество легкорастворимых солей составляет менее 0,1%. Обменный комплекс насыщен кальцием до 74–96% от общего количества поглощенных катионов, отмечается хорошая оструктуренность.

Содержание органического вещества ($C_{орг}$) слоя 0–20 см, в котором начинается большинство КС, составляет 6,1–13,7%, кроме КС объекта Ишкулово в обрыве р. Кизил – 1,3%, т. к. КС находится ниже 80 см. Содержание $C_{орг}$ на глубине 40–50 см – 0,9–3,8%; 90–100 см – 0,4–3,6%. Максимальное накопление $C_{орг}$ отмечено в профиле объекта Сабакты-1а в результате миграции органического вещества по склону, т. к. стоянка располагается в ложбине. В слое 0–10 см содержание общего азота варьирует 0,45–1,1%, отношение C/N – 10,3–11,5, в объекте Ишкулово N – 0,12%, C/N – 10,9.

Величина микробной биомассы ($C_{мик}$) слоя 0–10 см КС высокая (520–680 мкг С/г почвы), микробы обуславливают эмиссию 0,2–1 С-СО₂ мкг/г почвы в час, в объекте Ишкулово – $C_{мик}$ – 110 мкг С/г почвы (рис. 5).

Диапазон изменчивости величин $C_{орг}$, $C_{мик}$ и БД максимальный в слое 0–10 см, вниз по профилю он уменьшается. Коэффициенты вариации разных показателей в слое 0–10 см составляли: для $C_{орг}$ 5–12%, БД – 8–19%, $C_{мик}$ – 12–22%; вниз по профилю почв они немного возрастали (табл. 4). Это объясняется большей неоднородностью распределения гумусированных участков слоя 10–50 см, в том числе из-за деятельности животных-землероев. Существенные корреляционные связи выявлены между биологическими показателями; коэффициенты корреляции составляют: БД и $C_{мик}$ – 0,73, $C_{орг}$ и $C_{мик}$ – 0,81, $C_{орг}$ и БД – 0,89.

Отношение $C_{мик} : C_{орг}$ изменяется от 0,4 до 1,6 в слое 0–10 см изученных КС. В Ишкулово КС начинается глубже 80 см и на глубине 80–90 см отношение $C_{мик} : C_{орг}$ составляет 0,9. В объекте

Ишкульово в слое 0–10 см органическое вещество в наибольшей степени обогащено углеродом микробного происхождения.

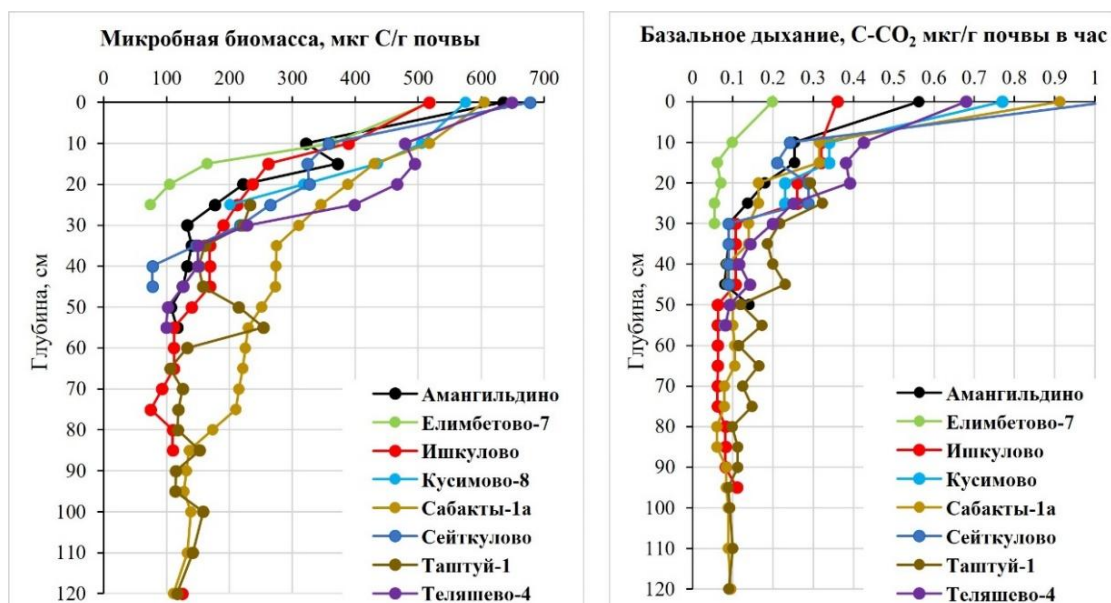


Рисунок 5. Микробиологические свойства почв и культурных слоев.

Таблица 4

Содержание органического вещества и биологические свойства почв и культурных слоев

Поселение	Среднее	Стандартное отклонение	Кв*	Среднее	Стандартное отклонение	Кв	Среднее	Стандартное отклонение	Кв
	0–10 см			10–20 см			20–30 см		
Органическое вещество (C _{орг}), %									
Амангильдино	6,6	0,5	8	6	0,4	6	5,3	0,4	8
Елимбетово-7	13,7	1,2	9	7,7	0,8	10	6,0	0,6	10
Ишкулово	2,7	0,1	5	2,5	0,3	8	2,3	0,2	8
Кусимово	9,3	0,8	9	7,6	0,6	8	6,2	0,6	10
Сабакты-1а	10,3	1,2	12	9,8	0,9	9	7,5	0,8	11
Сейткулово	9,6	1,1	12	8,4	0,5	6	7,2	0,7	10
Таштуй-1	–	–	–	–	–	–	6,9	0,8	11
Теляшево-4	9,3	0,7	8	9,1	0,8	10	9,1	0,9	13
Микробная биомасса, мкг С/г почвы									
Амангильдино	635	108	17	321	58	18	222	44	20
Елимбетово-7	520	62	12	265	61	23	89	19	21
Ишкулово	404	89	22	262	66	25	212	51	24
Кусимово	575	86	15	435	61	14	201	58	29
Сабакты-1а	605	121	20	460	83	18	346	104	30
Сейткулово	678	142	21	341	99	29	327	72	22
Таштуй-1	–	–	–	–	–	–	233	54	23
Теляшево-4	650	124	19	487	47	10	432	86	20
Базальное дыхание, С-СО ₂ мкг/г в час									
Амангильдино	0,56	0,04	8	0,25	0,05	19	0,16	0,02	12
Елимбетово-7	0,20	0,04	19	0,08	0,01	10	0,06	0,02	29
Ишкулово	0,36	0,14	39	0,32	0,06	18	0,26	0,07	25
Кусимово	0,77	0,15	19	0,34	0,10	29	0,23	0,07	29
Сабакты-1а	0,91	0,11	12	0,32	0,08	24	0,16	0,06	40
Сейткулово	1,04	0,16	15	0,23	0,04	16	0,29	0,03	9
Таштуй-1	–	–	–	–	–	–	0,31	0,05	16
Теляшево-4	0,68	0,11	16	0,40	0,08	20	0,32	0,07	21

Примечание.

* – Кв – коэффициент вариации; прочерк – нет данных.

2. Геохимические свойства.

Амангильдино – долговременное поселение эпохи поздней бронзы (алакульской 3,9–3,45 тыс. л. н. культуры), глубина залегания КС 3–46 см. Небольшое концентрирование серы выше кларка и больше, чем в почвообразующей породе, наблюдается в слое 0–10 см этого КС (рис. 6). Отмечается накопление антропогенного фосфора (до 0,2–0,32%) на глубине 30–45 см по сравнению с материнской породой. Он определен по разности между общим Р и биогенным Р, составляющим 20% от общего, и Р почвообразующей породы – 0,07%.

В этом же слое установлена аккумуляция цинка в 1,2–2 раза больше кларка и выше, чем в материнской породе (рис. 7). Мышьяк в количествах выше кларка и выше, чем в почвообразующей породе, отмечен в слоях 10–20, 20–30 и 45–50 см (рис. 8). Во всем профиле величина повышения концентраций марганца, меди, никеля и хрома составила 2–3 кларка.

Елимбетово-7 – стоянка гамаюнской культуры 2,6–2,5 тыс. л. н. В КС выявлена максимальная насыщенность среди всех изученных объектов антропогенным фосфором (0,24–0,36%) на глубине 10–35 см. Здесь же накапливается цинк – в 1,7–2,1 раза больше кларка, а также локально сера на глубине 10–15 см в 2,1 раза выше кларка. Установлено значительное концентрирование в слое 5–10 см меди, кобальта, никеля, хрома, ванадия, превышающее кларковые значения в 1,4–2,3 раза (рис. 7, 8, табл. 7).

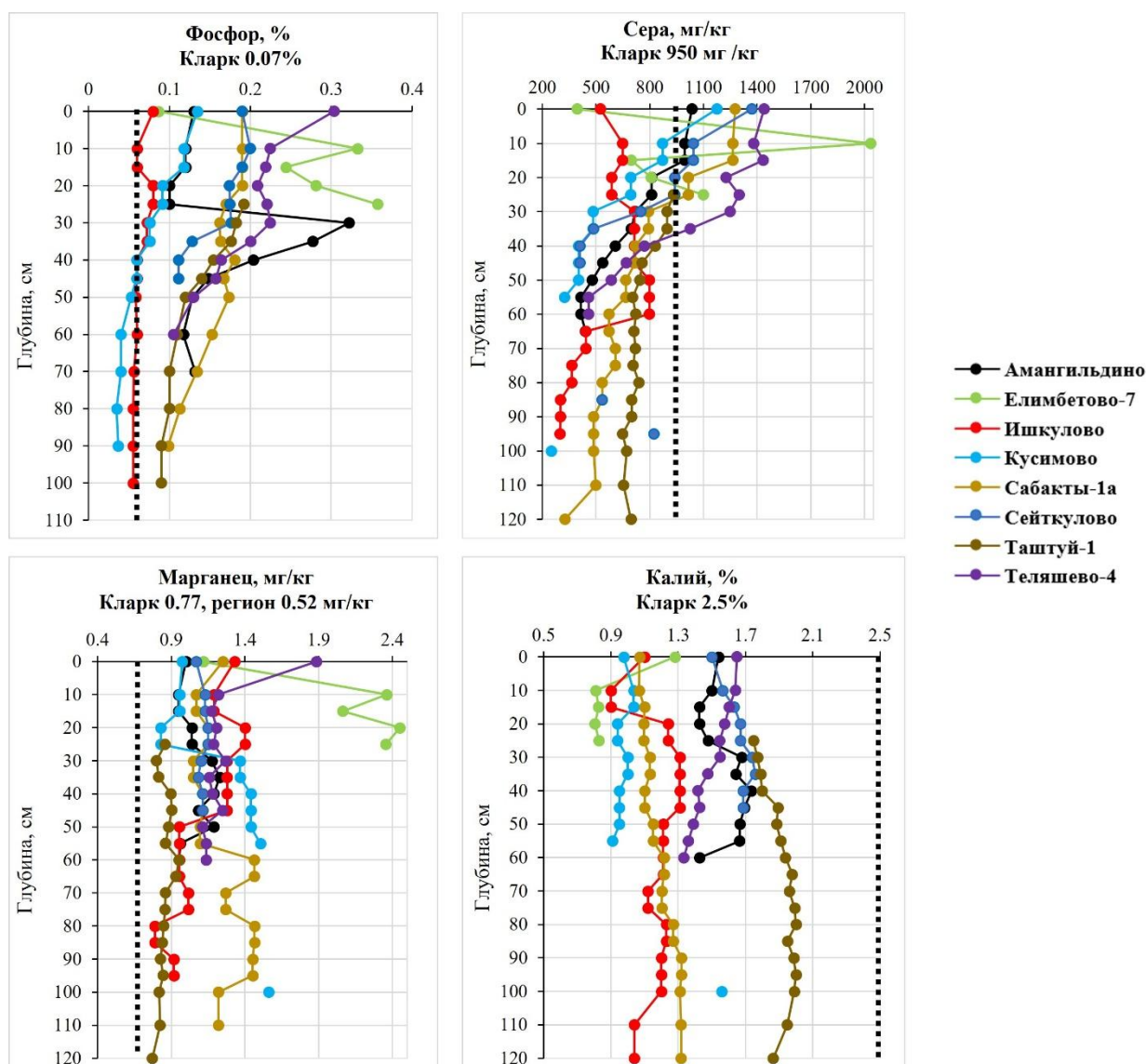


Рисунок 6. Общее содержание элементов в почвах и культурных слоях. Здесь и далее на рис. 7–8 пунктирной линией обозначена величина кларка; региональное содержание элементов приведено по: (Асылбаев, Хабилов, 2015).

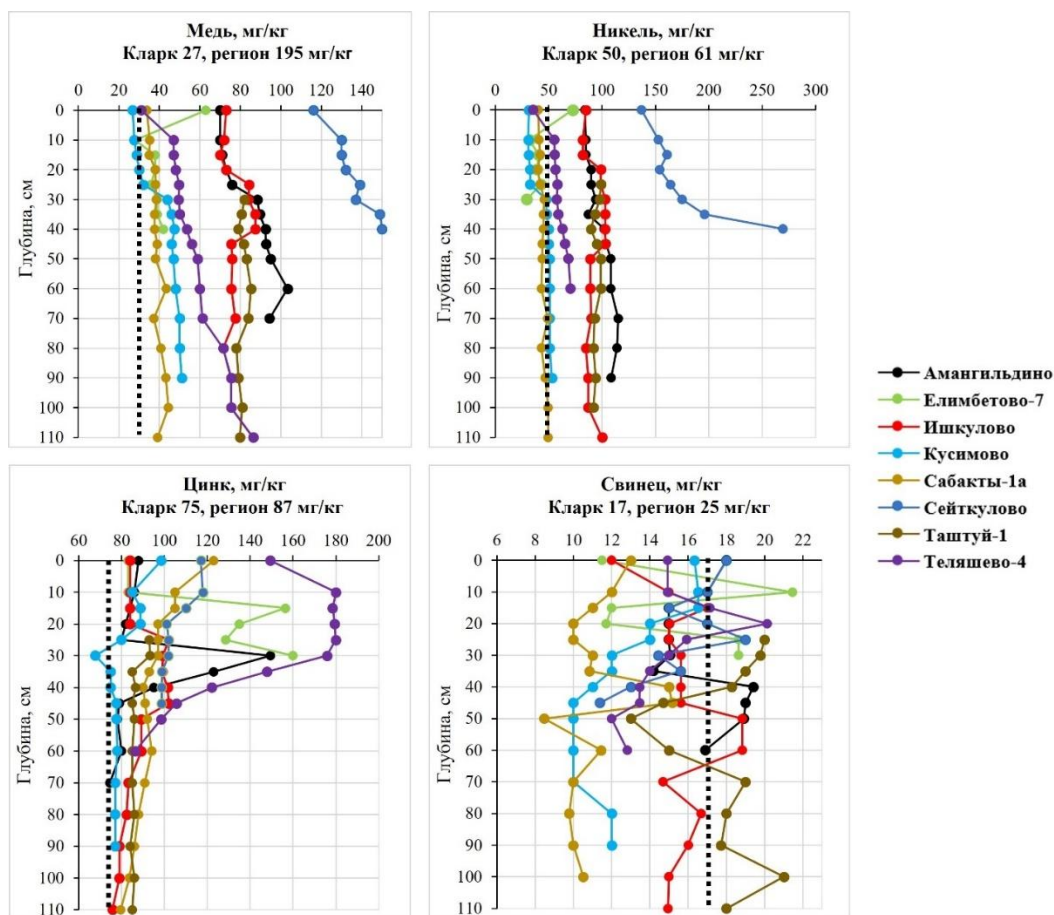


Рисунок 7. Общее содержание элементов в почвах и культурных слоях.

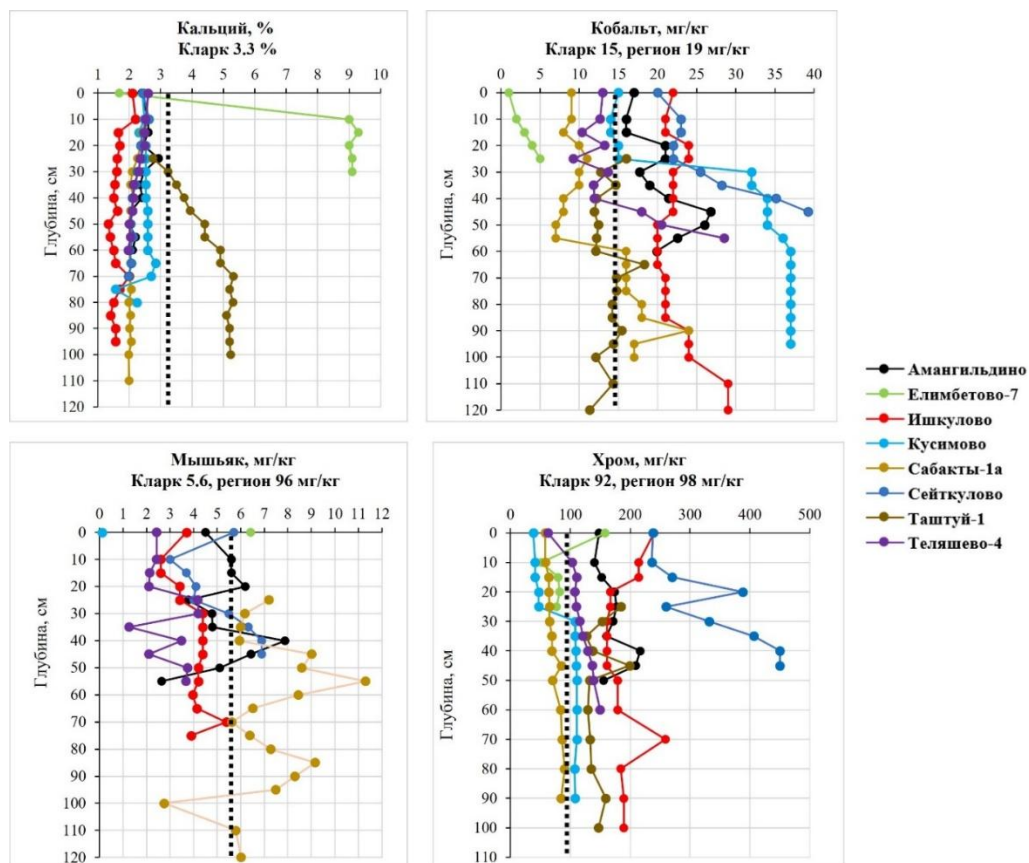


Рисунок 8. Общее содержание элементов в почвах и культурных слоях.

В Ишкуловском селище, созданном 0,5–0,7 тыс. л. н., КС находится ниже 80 см. В КС и во всем профиле почв над КС нет антропогенного накопления фосфора. Во всем профиле современной почвы и КС отмечается повышенное количество (в 2–3 раза больше кларка) меди, никеля и хрома. В почве поверх КС отмечается концентрирование серы по сравнению с более глубокими слоями, не превышающее кларк. Зафиксировано депонирование на глубине 0–50 см марганца – в 1,4–1,8 раза больше кларка литосферы и материнской породы.

Кусимово-8 нижнепалеолитическая стоянка-мастерская. Небольшая антропогенная аккумуляция фосфора выявлена на глубине 0–20 см в количестве 0,13%. Небольшое накопление цинка и серы (в 1,2 раза больше кларка) отмечено в слое 0–20 см. Зафиксировано депонирование кобальта, марганца, меди и хрома на глубине 30–105 см (в 1,4–2,3 раза больше кларка). Найдено увеличение содержания никеля и стронция на этой глубине по сравнению с другими слоями, их количество не превышает кларк.

Стоянка Сабакты-1а суртандинской культуры, возраст 6 300–5 000 лет. КС располагается на глубине 18–162 см. Распределение фосфора равномерное, содержание составляет около 0,2% в слое 0–80 см, ниже – 0,1%. Сера концентрируется в слое 0–30 см, ее содержание превышает кларк в 1,2–1,4 раза. Зафиксирована аккумуляция цинка – элемента 1-го класса токсичности – в слое 0–70 см КС, его содержание в 1,3–1,9 раза больше кларка и материнской породы. Отмечается повышенное количество меди и марганца (в 1,3–1,5 раз больше кларка) по всему профилю, а в слое 60–100 см элемента больше в 1,5 раза, чем в материнской породе.

В Сейткуловском поселении КС охватывает 0–13 см. Распределение фосфора до 35 см равномерное, содержится около 0,20%. Концентрирование серы происходит в слое 0–20 см по сравнению с более глубокими слоями и превышает кларк в 1,2–1,7 раз. Марганец элемент 3-го класса токсичности равномерно распределен по профилю, его в 1,4–1,6 раза больше, чем в материнской породе и чем величина кларка. Меди, хрома в 3–5 раз больше кларка во всем профиле, их содержание увеличивается вниз по профилю.

Селище Таштуй-1, XIX–начало XX вв., КС находится на глубине 3–19 см. Пробы из пахотного слоя не брали. Отмечается небольшое антропогенное накопление фосфора в количестве около 0,2% на глубине 25–55 см, там же депонируется сера в 1,3–1,6 раза выше, чем в почвообразующей породе, но не превышает кларка. Выявлено концентрирование мышьяка – элемента 1-го класса токсичности – в слое 25–65 см (выше кларка в 1,3–2 раза). Отмечено обогащение хромом, медью и никелем всего профиля почвы (в 1,5–2 раза больше кларка).

Теляшево-4 долговременное поселение алакульской культуры (3,9–3,45 тыс. л. н.), КС – 11–46 см. В этом КС отмечается накопление антропогенного фосфора в количестве 0,2–0,3% на глубине 5–40 см. Концентрирование серы выявлено там же, в 1,3–1,5 раз превышающее кларк литосферы и 1,4 раза больше, чем в материнской породе. Распределение марганца по профилю равномерное, в слое 5–10 см выше, чем в породе в 1,6 раз; по всему профилю и в породе содержание Мп выше кларка в 1,5–2,4 раза. Концентрирование свинца обнаружено в большей степени в поверхностных слоях, где оно в 1,3–1,5 раза выше, чем в материнской породе. Накопление меди, цинка и хрома выше кларка в 1,2–2,2 раза отмечается во всем профиле и близко к содержанию в породе. Содержание железа по профилям КС и почв приблизительно равно его кларку (5,1%). В Зауральском регионе концентрирование железа в почвах достигает 8,4%, что объясняется наличием железных руд (Асылбаев, Хабиров, 2015).

Нами был рассчитан **коэффициент техногенной концентрации (КТ)** каждого элемента в слое 0–10 см относительно почвообразующей породы по уравнениям (Водяницкий и др., 2010):

$$K_{ci} = K_i / K_{ip},$$

где K_i – содержание элемента в слое 0–10 см, K_{ip} – в почвообразующей породе.

$$КТ = 100 * (K_{ci} - 1) / K_{ci}$$

Коэффициент техногенной концентрации считается значимым, если его величина больше 20% (Водяницкий и др., 2010). Коэффициенты техногенной аккумуляции серы в слое 0–10 см всех КС составляют 30–87% (табл. 5). Меньшие величины коэффициентов техногенной аккумуляции 30–40% отмечены для Cr, Mn, Zn, Sr и Pb на участках Ишкулово, Кусимово-8, Сейткулово и Теляшево-4.

Значимые коэффициенты корреляции между расстоянием от Магнитогорского металлургического комбината до объектов и содержанием элементов в слое 0–10 см КС выявлены для марганца и цинка (табл. 6).

Таблица 5

Коэффициенты техногенной аккумуляции (КТ) элементов в слое 0–10 см КС и почв, %

Объект	Км*	S	Mn	Cr	Zn	Sr	Pb
Амангильдино	60	35					
Елимбетово-7	24	46					
Ишкулово	39	42	31	54			
Кусимово-8	33	87	31				
Сабакты-1а	32	56			32		
Сейткулово	44	75			27		27
Таштуй-1	18	36		22		37	
Теляшева-4	36	29	39		21		

Примечание.

* – Расстояние от Магнитогорского металлургического комбината до объектов, км; пустая клетка обозначает, что Кт меньше 20%.

Таблица 6

Коэффициент корреляции (R) между содержанием элементов в слое 0–10 см КС и расстоянием до г. Магнитогорска

Элемент	Mn	Zn	Cr	Ni	Sr	Cu	S	Pb
R	-0,7	-0,6	0,32	0,47	0,6	0,4	-0,3	-0,1

ОБСУЖДЕНИЕ

1. Общие свойства почв и КС. Проведено междисциплинарное изучение культурных слоев и почв восьми поселений возрастом от палеолита (136 тысяч лет назад) до эпохи бронзы (около 4 тыс. л. н.), средневековья и нового времени Южного Зауралья. Изученные КС маркируются по находкам костей животных, каменных и металлических инструментов, фрагментов керамики и др. Верхняя граница КС залегает на глубине от 3 до 25 см, ниже он продолжается до 40–50 см, в стоянке энеолита Сабакты-1а – до 162 см, объекта Ишкулово – глубже 80 см.

КС локализовались на черноземах и аллювиальной почве (Ишкулово), содержание $S_{орг}$ слоя 0–10 см достигает 7,7–13,7%, вниз по профилю уменьшается постепенно. Это характерно для черноземов (Хазиев и др., 1995; Lisetskii et al., 2023). Большое количество $S_{орг}$ в почвах региона отмечено ранее (Савельев и др., 2023). В слое 0–20 см современной почвы объекта Ишкулово содержится минимальное количество (2,5%) $S_{орг}$, что обусловлено сильной дигрессией растительности, вызванной интенсивной пастбищной нагрузкой. В КС Ишкулово $S_{орг}$ снижается до 1,3%, т. к. поверх КС находится 80 см современной почвы, т.е. отсутствует поступление свежего органического материала и происходит минерализация имеющегося.

Такая высокая насыщенность черноземов $S_{орг}$ редка в других регионах, это объясняется тем, что изученные почвы используются в основном под пастбища, а не пашню. Плотность населения района в 4 раза меньше, чем в Центрально-Черноземном регионе, где черноземы, в основном, распашаны, а удобрений вносится недостаточно. Также для КС характерно высокое содержание общего азота, обменного кальция, близкий к нейтральному pH, хорошая оструктуренность.

Большинство культурных слоев имеет средне- и тяжелосуглинистый гранулометрический состав с содержанием фракции <0,01 мм 38–56% и количеством песчаных фракций 1–0,25 мм – около 20%. В объектах Кусимово-8, Сабакты-1а, Сейткулово грансостав верхней части профиля супесчаный, с содержанием фракций <0,01 мм 14–20%, а нижней части – среднесуглинистый (32–45%). Это указывает на литологическую неоднородность слоев и возможный застой влаги в верхней части профиля. Почвы и КС не засолены, содержание легкорастворимых солей составляет менее 0,1%.

2. Геохимические особенности почв и культурных слоев. Коэффициенты вариации в слое 0–10 см разных объектов для различных элементов составляли 2–10%, вниз по профилю почв они немного возрастали (табл. 7). В большей степени варьировало содержание мышьяка, коэффициенты вариации достигали 8–26%. Близкие статистические параметры содержания элементов в почвах горнорудного регион Республики Башкортостан установлены ранее (Асылбаев, Хабилов, 2015).

Таблица 7

Общее содержание химических элементов в почвах и культурных слоях

Поселение	Среднее	Стандартное отклонение	Кв*	Среднее	Стандартное отклонение	Кв	Среднее	Стандартное отклонение	Кв
	0–10 см			10–20 см			20–30 см		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сера, мг/кг									
Амангильдино	1408	37	3	985	64	7	812	62	8
Ишкулово	524	109	21	531	42	8	652	89	14
Сабакты-1а	1334	59	4	1225	49	4	818	34	4
Сейткулово	1429	298	21	1059	43	4	878	119	14
Теляшево-4	1410	40	3	1348	108	8	1259	37	3
Фосфор, %									
Амангильдино	0,13	0,005	4	0,12	0,01	5	0,10	0,01	9
Ишкулово	0,08	0,01	9	0,06	0,01	12	0,07	0,003	4
Сабакты-1а	0,19	0,03	14	0,19	0,01	4	0,17	0,01	8
Сейткулово	0,20	0,03	14	0,20	0,03	14	0,17	0,02	12
Теляшево-4	0,22	0,004	2	0,22	0,01	4	0,22	0,01	4
Калий, %									
Амангильдино	1,5	0,1	4	1	0,03	2	1,4	0,02	1
Ишкулово	1,1	0,1	9	1,0	0,2	21	1,3	0,05	4
Сабакты-1а	1,1	0,1	6	1,1	0,05	4	1,2	0,08	7
Сейткулово	1,5	0,1	5	1,6	0,1	5	1,6	0,10	6
Теляшево-4	1,6	0,02	1	1,6	0,01	1	1,6	0,03	2
Кальций, %									
Амангильдино	2,4	0,1	5	2,6	0,2	8	2,9	0,2	7
Ишкулово	2,3	0,3	15	2,1	0,3	17	1,8	0,2	13
Сабакты-1а	2,2	0,3	10	2,5	0,2	6	2,5	0,2	7
Сейткулово	2,2	0,1	3	2,1	0,1	3	2,0	0,2	10
Теляшево-4	2,5	0,0	0	2,5	0,0	0	2,5	0,0	1
Марганец, %									
Амангильдино	1,0	0,0	2	1,0	0,02	2	1,0	0,1	6
Ишкулово	1,3	0,1	4	1,2	0,1	10	1,3	0,1	6
Сабакты-1а	1,2	0,2	19	1,1	0,1	12	1,1	0,1	11
Сейткулово	1,1	0	7	1,1	0,1	8	1,1	0,1	10
Теляшево-4	1,2	0,03	3	1,2	0,02	2	1,2	0,04	3
Стронций, мг/кг									
Амангильдино	161	2	1	167	10	6	175	10	6
Ишкулово	266	36	14	275	92	34	176	11	6
Сабакты-1а	260	13	5	273	11	4	272	12	4
Сейткулово	127	2	2	137	13	10	124	1	1
Теляшево-4	180	0,2	0	182	3	2	183	3	1
Мышьяк, мг/кг									
Амангильдино	4,1	1,1	26	5,4	0,9	16	5,4	1,2	22
Ишкулово	3,4	0,4	13	3,0	0,5	17,9	3,9	0,7	18
Сабакты-1а	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
Сейткулово	3,5	2,4	70	3,7	1,6	43	4,1	1,7	41
Теляшево-4	2,3	0,2	9	2,3	0,2	9	2,5	0,4	16
Цинк, мг/кг									
Амангильдино	88	4	4	85	1	2	80	2	3
Ишкулово	84	9	11	84	21	25	102	0	0
Сабакты-1а	123	20	16	105	12	12	95	8	8
Сейткулово	123	18	15	116	14	12	101	5	5
Теляшево-4	181	22	12	182	3	2	180	3	1

Свинец, мг/кг									
Амангильдино	18	4	21	15	3	22	15	2	13
Ишкулово	12	3	28	17	1	7	14	2	11
Сабакты-1а	13	4	34	12	1	7	9	2	19
Сейткулово	17	6	35	15	3	21	14	4	32
Теляшево-4	19	2	11	18	2	10	18	2	12
Кобальт, мг/кг									
Амангильдино	17	1	3	16	0	3	21	2	8
Ишкулово	23	2	7	21	0	2	23	1	6
Сабакты-1а	9	0,3	3	7	2	28	10	0,4	4
Сейткулово	18	3	16	21	4	18	21	3	15
Теляшево-4	12	2	14	12	2	12	11	2	18
Хром, мг/кг									
Амангильдино	148	8	6	144	8	6	152	12	8
Ишкулово	260	37	14	282	96	34	164	4	2
Сабакты-1а	60	5	8	58	1	2	64	2	3
Сейткулово	261	34	14	244	29	12	250	18	7
Теляшево-4	107	5	5	107	4	3	111	4	4
Медь, мг/кг									
Амангильдино	70	3	4	71	1	2	80	8	10
Ишкулово	73	2	2	71	11	16	86	2	2
Сабакты-1а	34	0,1	0,3	35	1	2	38	2	5
Сейткулово	121	11	9	130	6	5	131	10	7
Теляшево-4	47	2	4	47	1	1	49	1	2
Никель, мг/кг									
Амангильдино	84	3	3	85	2	2	90	5	6
Ишкулово	85	3	3	82	15	18	101	2	2
Сабакты-1а	41	0	1	41	2	4	44	2	4
Сейткулово	143	13	9	154	7	4	155	11	7
Теляшево-4	56	0	1	56	1	1	57	1	2
Барий, мг/кг									
Амангильдино	375	2	1	376	0	0	378	1	0
Ишкулово	305	21	7	315	51	16	362	5	1
Сабакты-1а	361	18	5	357	17	5	348	17	5
Сейткулово	439	2	0,4	431	24	5	428	25	6
Теляшево-4	359	10	3	358	7	2	373	14	4
Ванадий, мг/кг									
Амангильдино	116	3	2	119	2	2	121	3	3
Ишкулово	128	17	13	131	14	11	122	5	4
Сабакты-1а	91	13	15	100	4	4	100	2	2
Сейткулово	105	3	3	109	3	2	114	2	2
Теляшево-4	103	2	2	105	3	3	105	5	5

Примечание.

*Кв – коэффициент вариации

Количество антропогенного фосфора в изученных КС достигает 0,20–0,40% (кроме Ишкулово), в материнской породе он содержится в количестве 0,04–0,10%, кларк литосферы – 0,07%. Показано, что фосфор, марганец, сера могут накапливаться в почве за счет биогенной аккумуляции (до 20% от общего их содержания) (Водяницкий и др., 2010). Фосфор и сера – элементы интенсивного биологического накопления растениями, а Mn – биологического захвата (Перельман, 1989). Они депонируются на поверхности почв после отмирания растений. Показано, что при иссушении климата в степях увеличивается доля полыни и маревых, в почве депонируются K, Ca, P, S, а при гумидизации – распространяются злаки и в почве возрастает содержание всех элементов (Kudrevatykh et al., 2023).

Значительное обогащение КС поселений фосфором обусловлено его поступлением из костей животных, содержащих устойчивые фосфаты кальция–апатит. Он плохо растворим и не выносится почвенными растворами. Также фосфор поступает в КС из древесины, пищевых остатков, бытовых отходов и золы. Накопление фосфора в КС свидетельствует о том, что проживание людей было стационарным и длительным. Депонирование фосфора в КС поселений является отличительной особенностью (Плеханова, 2006; Сулейманов и др., 2020; Ковалева и др., 2021; Nowaczynski et al., 2013; Acksel et al., 2019). Это объясняется тем, что в долговременные КС может приноситься более 50% антропогенного материала, обогащенного органикой, содержащей фосфор, как установлено в отложениях античных городов (Танаис, Фанагория) (Александровский и др., 2015).

Увеличения калия в КС относительно почвообразующей породы и кларка не отмечено. Оно выявлено только в тонком углистом слое на глубине 80–82 см поселения Ишкулово. Источником калия в КС служит древесная зола, которая накапливается вблизи очагов и в зольниках. Зафиксировано, что кроме калия в них аккумулируются Cu, As, Si, Al и Pb (Lisetskii, Stolba, 2022).

Для марганца установлено накопление в КС в 1,3–3,1 раза больше кларка, кроме селища Таштуй-1. В основном это может быть объяснено тем, что регион содержит много марганцевых руд. Так, в войну в 1940-е годы близ одноименных древних поселений добывали марганец на Кусимовском и Елимбетовском рудниках, здесь отмечается наибольшее его концентрирование. На участке Елимбетово-7 концентрация Mn в 1,6 раз больше допустимой нормы. Также Mn может попадать в КС из керамики, отходов выплавки бронзы, зольников, золы очагов и печей. Ранее в КС найден Mn в обломках керамики: 600–700 мг/кг, шлаке от производства бронзы – 200–5 000 мг/кг, золе растений – 700–4800 мг/кг. В местах пожаров накопление марганца может достигать до 6 500 мг/кг, особенно при сжигании деревьев, выросших во влажных условиях (ольха, ива). У людей, которые постоянно находились у очага и с дымом вдыхали Mn, могли выявиться своеобразные поведенческие реакции (Александровская, Александровский, 2003).

Аккумуляция серы выявлена в верхней части всех КС по сравнению с почвообразующей породой, иногда превосходя значение кларка. Это связано, прежде всего, с обогащением почв природной серой, т. к. все разрабатываемые металлы химически связаны с серой (сульфиды). Однако отмечено и антропогенное загрязнение, так коэффициенты техногенной аккумуляции серы в слое 0–10 см всех КС составляют 30–87%. Сера могла поступать в КС с продуктами жизнедеятельности древних людей, а также при разрушении фрагментов керамики, из руды и шлаков от производства бронзы. Это отмечалось ранее (Александровская, Александровский, 2003; Григорьев, 2009; Приходько и др., 2023).

Аккумуляция серы выявлена в верхней части всех КС по сравнению с почвообразующей породой и иногда превосходила значение кларка. Это связано прежде всего с обогащением почв природной серой, т. к. все разрабатываемые металлы химически связаны с серой (сульфиды). Однако отмечено и антропогенное загрязнение, так коэффициенты техногенной аккумуляции серы в слое 0–10 см всех КС составляют 30–87%. Сера могла также поступать в КС с продуктами жизнедеятельности древних людей, а также при разрушении фрагментов керамики и из руды и шлаков от производства бронзы. Это отмечалось ранее (Александровская, Александровский, 2003; Григорьев, 2009; Приходько и др., 2023).

Мышьяк – элемент 1-го класса токсичности в количествах выше кларка и содержания в почвообразующей породе отмечен в слоях 10–20, 20–30 и 45–50 см поселения Амангильдино алакульской культуры (3,9–3,45 тыс. л. н.). Возможно, мышьяк накопился на этапе некоторой интенсификации активности этого населения. Отмечен прирост мышьяка в объекте Таштуй-1 в почве под КС на глубине 25–30 и 45–100 см в количестве в 1,3–2 раза больше, по сравнению с породой и величиной кларка, в слое 55–60 см даже немного превосходит допустимую величину – 10 мг/кг (СанПин 1.2.3685-21). Содержание As в почвах юга Западной Сибири составляет 13 мг/кг (Сысо, 2007), в северной лесостепи Предуралья – 20 мг/кг, горнорудном регионе Урала – 96 мг/кг (Асылбаев, Хабиров, 2015; Середа и др., 2016). Эти авторы полагают, что допустимая величина для мышьяка занижена. Например, почвы мира считаются незагрязненными при его содержании 50–95 мг/кг (Kabata-Pendias, Pendias, 2010).

Накопление цинка – высоко токсичного поллютанта 1-го класса опасности отмечено в КС по сравнению с почвообразующей породой и кларком литосферы в объектах Амангильдино и Теляшево-4 (3,9–3,45 тыс. л. н.), Сабакты-1а (6,3–5 тыс. л. н.) и разновременном селище Сейткулово. Количество цинка в этих КС выше диапазона его варьирования в почвах горнорудного региона Зауралья (Zn 80–95

мг/кг) (Асылбаев, Хабилов, 2015), но меньше 220 мг/кг – величины опасной для здоровья людей (Kloke, 1980, цит. по: Сысо, 2007).

Содержание элементов 2-го класса токсичности – меди и никеля – в ряде КС постепенно увеличивается вниз по профилю и максимально в почвообразующей породе, но везде больше кларка в 1,2–4 раза. Следовательно, концентрирование этих элементов обусловлено нативной геохимической аномалией горнорудного Урала.

Следует отметить, что микроэлементы необходимы растениям в небольших количествах и используются в качестве микроудобрений при их недостатке в почве. Но при высокой концентрации в почве они становятся загрязнителями воды и растений, вызывая заболевания растений, животных и людей (Александровская, Александровский, 2003; Сысо, 2007; Ильин, 2012).

3. Значение почвенных исследований для реконструкции условий проживания древнего населения. Несмотря на то, что КС залегают близко к поверхности и на них влияют современные почвенные процессы, можно провести реконструкцию климата во время функционирования поселений. Показано, что формирование темноцветных почв, а затем черноземов Сибири началось в раннем голоцене. Почвообразование продолжилось в период 9–5 тыс. л. н. с дальнейшим ростом тепло-влажностности (Дергачева, Очур, 2012, некал. ^{14}C даты: 8430 ± 135 л. н. (СОАН-7446), 4105 ± 80 (СОАН-7139); Бронникова и др., 2018 – калиб. ^{14}C даты: 8265 ± 282 (СОАН-9366-2), 8082 ± 92 кал. лет (СОАН-9369), 7787 ± 209 лет (СОАН-9366-1), 6913 ± 347 (СОАН-9367); Демиденко, Хижняк, 2018; Иванов и др., 2019 – 8063 ± 163 , ИГАН-1581, 4553 ± 100 , ИГАН-1580). В этот период отмечается, в основном, благоприятный климат на основе комплексного изучения (палинологическим, малакологическим, макроботаническим и другими методами) датированных палеопочв, отложений озер и болот лесостепи Южного Урала и сопредельных регионов (Борисова и др., 2005; Danukalova et al., 2014; Lapteva, Korona, 2013; Panova, Antipina, 2016; Maslennikova, Udachin, 2017; Blyakharchuk et al., 2019; Rudaya et al., 2020).

КС поселения Сабакты-1а образовался в интервале 5–6,3 тыс. л. н. К этому времени с начала развития черноземов прошло 2–4 тысячи лет, успела сформироваться значительная часть их профиля и запасов $\text{C}_{\text{орг}}$. Ранее выявлено, что максимальная скорость почвообразования (2–4 мм/год) наблюдается в первые десятилетия развития. Через 1250 лет она замедляется, через 3750 лет отмечается минимальный прирост профиля почв (Лисецкий и др., 2016). В период развития стоянки Сабакты-1а в фазу 6,3–6,1 тыс. л. н. зафиксирована гумидная обстановка, в интервале 6,1–5 тыс. л. н. происходило уменьшение увлажненности климата. Однако близость к одноименному озеру создавала благоприятный микроклимат для людей. Реконструкция климата проведена на основе изучения 20 подкуранных палеопочв и многослойного поселения Турганик степного Предуралья (Хохлова и др., 2018).

В интервале 3,9–3,4 тыс. л. н. (поселения Амангильдино и Теляшево-4) отмечалась теплая и гумидная фаза, в стадию 2,7–2,5 тыс. л. н. (стоянка Елимбетово-7) было прохладно и влажно, судя по палинологическому изучению палеопочв и отложений болот и озер со 150-ю радиоуглеродными датами для юга Западной Сибири (Рябогина и др., 2022; Zah et al., 2010).

Полученные нами результаты свидетельствуют, что в районе наших исследований в период 6300–6100 лет до н. э. климат был влажным и теплым, а в фазу 6 100–5 000 л. н. условия были более сухими и теплыми, чем в настоящее время (стоянка Сабакты-1а). В период 3900–3 450 лет до н. э. (Амангильдино, Теляшево-4) климат был теплым и влажным, а в период 2 700–2 500 лет до н. э. (Елимбетово-7) климат был прохладным и влажным.

4. Увеличения содержания металлов в древних КС. Следует отметить, что начиная с эпохи бронзы, установлено загрязнение КС поселений многими поллютантами в разных регионах мира. Это обусловлено, в основном, выплавкой бронзы. Например, на Южном Урале около 4000 лет назад начали плавить мышьяковистую бронзу в укрепленных поселениях Аркаим, Куйсак, Каменный Амбар, Устье (Зайков и др., 2005). В Китае также выявлено накопление Cu, Ni, Pb, Zn, Cr и As на территории 22 памятников, созданных около 4000 л. н., в коридоре Хэси за счет интенсивной плавки металлов (Zhang et al., 2017). Тогда как в КС неолита и энеолита, например, на территории поселения Кочегарово-1 (Курганская обл., юг Западной Сибири) эти загрязнители не выявлены, а обнаружено накопление P, K, Ca, Mg, Mn и Sr. Они служат маркерами для реконструкции хозяйственной деятельности древнего населения (Якимов и др., 2012; Бикмулина и др., 2017). В многослойном поселении периодов Золотой орды и средневекового Болгара на Средней Волге установлено превышение по сравнению с фоном: Cu и Pb в 10–37 раз, Ni и Zn в 2 раза в результате производства цветных металлов в древности (Прохорова

и др., 2014). В античных городах юга России КС локально обогащены элементами (Zn, Cu, Pb, As), что обусловлено находками в них изделий из цветных металлов, шлаков и руд от их производства. Поллютанты концентрируются в большей степени в органических КС древних городов лесной зоны, чем в КС сухого климата (Александровский и др., 2015).

При изучении подкуранных каштановых почв южного Поволжья показано увеличение подвижной формы свинца и изменение его изотопного состава от эпохи бронзы к современности в результате атмосферного переноса и выпадения техногенного свинца (Пампура и др., 2013). Установлено, что загрязнение свинцом отложений озер Швеции началось 2000 лет назад с развитием промышленности; с 900 г. н. э. выявлено постоянное заметное возрастание атмосферных антропогенных выпадений свинца на пространствах Европы (Branvall et al., 1999). На основании обогащения свинцом и его изотопами шлаков и почв, отобранных на юге Франции, показано, что их накопление происходило 800 лет назад при производстве свинца (Baron et al., 2006).

5. Имеет ли накопление тяжелых металлов в КС современную техногенную причину? В разных странах вблизи современных промышленных центров отмечено загрязнение почв поллютантами (Blaser et al., 2000; Greinert et al., 2013). Так, для всей территории Китая около горнодобывающих и промышленных ареалов отмечена аккумуляция восьми тяжелых металлов (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb и Zn) в 4–27 раз больше фоновых; 12% участков продемонстрировали канцерогенный риск, что установлено на основе обобщения результатов 118 статей (Jiang et al., 2023). Проведен обзор источников загрязнения почв и вод тяжелыми металлами и их пагубные последствия для здоровья людей и даны биологические и химические методы их восстановления (Wuana, Okieimen, 2011; Dhaliwal et al., 2020).

В настоящее время вдоль горнорудного Южного Урала построено много металлургических заводов и ТЭЦ. На расстоянии менее 5–10 км от них установлено накопление рудных и сопутствующих элементов (Сембаев и др., 2019), как валового содержания, так и подвижных форм. Так, в слое 0–10 см почв г. Магнитогорска вблизи металлургического комбината превышение предельно допустимого опасного для здоровья человека количества элементов достигает: мышьяка в 3–21 раз, цинка – 2–4, свинца – 1–5, меди – 1,5–2, марганца – в 1,5–2,5 раза. Ветры с пылью и дымом также разносят загрязняющие вещества на большие расстояния (Дубинина и др., 2013). В г. Сибай (90 км на север от г. Магнитогорска), где производится серный колчедан, медный и цинковый концентрат, экологическое состояние слоя 0–30 см почв оценивается как допустимое и умеренно опасное, основываясь на суммарном показателе загрязнения несколькими поллютантами. Отмечено сильное загрязнение почв подвижной формой меди и цинка (Хасанова и др., 2017). Близ хвостохранилища г. Сибай на поверхность поступает пыль, насыщенная Cu, Cd, Pb, Sb и Zn, что резко увеличивает их содержание в верхнем горизонте почв. Около г. Сибай накопление тяжелых металлов в речной воде и донных осадках на два порядка превышает кларк, в почвах оно меньше, при этом величины поглощения данных элементов растительностью поймы и водоразделов сопоставимы с биоценозами незагрязненных ареалов (Опекунова и др., 2017; Orekunova et al., 2020; Сомов и др., 2023).

6. Растительность служит фитобарьером в ареалах, загрязненных тяжелыми металлами. Аналогичные результаты получены для травянистых растений из загрязненной зоны (Зауралье Свердловская обл., 90 км на запад от г. Магнитогорска), в травах накопление тяжелых металлов было близко к незагрязненному фону. Тогда как в слое 0–10 см черноземов этого участка содержание Zn, Pb, Cu, Co, V, Ni, Mn, Cr, Ti превышало региональные содержание в несколько раз, что обусловлено сочетанием геохимических и техногенных факторов (Еремченко, Чудинова, 2012). Растительность служит фитобарьером в круговороте вещества, стабилизирует техногенный поток и уменьшает интенсивность поступления поллютантов в дальнейшие составляющие пищевой цепи (животные, люди). Показано, что естественные ценозы по сравнению с агрокомплексами в значительной степени способны противостоять поглощению элементов в загрязненных ареалах. Растения регулируют и уменьшают передвижение тяжелых металлов из корней в надземную часть (Сысо, 2007; Ильин, 2012).

Изученные микроэлементы необходимы растениям и вносятся как микроудобрения при их недостатке. Но при их обилии, особенно выше санитарных норм, они являются загрязнителями трех классов опасности.

Из-за природных и антропогенных воздействий ряд элементов (As, Cu, Ni, Pb, V) накапливаются в почвах и КС в опасных для людей количествах. Они поглощаются растениями, попадают в воду в значительных количествах, затем усваиваются животными и людьми и могут оказывать отрицательное воздействие на их здоровье и поведенческие функции (Александровская, Александровский, 2003).

7. Восстановление почв, загрязненных тяжелыми металлами. Предложены градации оценки инактивирующей способности почв в отношении поллютантов. Черноземы характеризуются высокой буферной емкостью к металлам за счет большого запаса $S_{орг}$, нейтрального pH, тяжелого гранулометрического состава (Сысо, 2007; Ильин, 2012). Это снижает миграцию элементов в системе почва-вода-растения и общем биогеохимическом цикле. Методом последовательной экстракции несколькими реагентами установлена низкая подвижность ТМ в естественных загрязненных черноземах (Водяницкий и др., 2010; Сомов и др., 2023; Orekuno et al., 2020). Показано, что гуминовые кислоты, основные компоненты $S_{орг}$ почв, могут поглощать микроэлементы. Адсорбция элементов гуминовыми кислотами черноземов Зауралья уменьшалась в ряду: $Cu > Mo > Cr > Zn > Ni > Pb > Ti > V$ (Некрасова, Дергачева, 2011). Zn, Cu и Ni образуют с гуминовыми кислотами прочные комплексы (Ильин, 2012). Разрабатываются новые адсорбенты для очистки территорий, загрязненных поллютантами; например, созданы новые органоглины на основе бентонита и различных поверхностно-активных веществ для сорбции катионов свинца из загрязненных экосистем (Gertsen et al., 2024).

Таким образом, на основании полученных данных показано, что природные условия при функционировании большинства древних культурных слоев были благоприятными. Климат прошлого обуславливал поддержание плодородия черноземов и развитие продуктивных биомов вблизи поселений. Это было важно для осуществления придомного скотоводства; также плодородные почвы способствовали развитию мотыжного земледелия, которое практиковал ряд изученных древних сообществ. О том, что люди долго жили в ряде поселений свидетельствует мощность КС и повышенное содержание в них антропогенного фосфора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Междисциплинарное исследование почв и культурных слоев выполнено для восьми поселений возрастом от палеолита до средневековья и нового времени в горнорудном Южном Зауралье на территории Республики Башкортостан.

Судя по найденным артефактам, культурные слои залегают на стоянке энеолита Сабакты 1а – до 162 см, в объекте Ишкулово КС локализуется ниже 80 см, в других объектах – с 3–25 см до 40–60 см. КС формировались на черноземах и аллювиальной почве (Ишкулово); в них развиваются современные процессы.

В культурных слоях установлены, в основном, близкий к нейтральному pH, хорошая оструктуренность, насыщенность обменным кальцием, обогащенность тонкими гранулометрическими фракциями, отсутствие засоленности; отмечается высокое содержание органического углерода (6,1–13,7% в слое 0–20 см). КС объекта Ишкулово находится глубже 80 см; при отсутствии поступления свежего органического материала происходит минерализация органических веществ, содержание $S_{орг}$ составляет 1,3%. Содержание $S_{орг}$ слоя 40–50 см – 0,9–3,8%; 90–100 см – 0,4–3,6%.

В процессе жизнедеятельности людей отмечается изменение геохимических процессов в культурных слоях поселений. В культурных слоях найдены кости животных, их разрушение и накопление органических продуктов жизнедеятельности животных и людей обусловили депонирование антропогенного фосфора.

Проведенные исследования показали, что накопление многих элементов в КС и почвах обусловлено в основном геологическими древними процессами. Об этом свидетельствует величина их приращения в 2–4 кларка во всем профиле КС и почв, и часто большее их увеличение в материнской породе. Аналогичное накопление тяжелых металлов в почвах на значительной территории близ гор Урала отмечалось ранее рядом вышеуказанных авторов.

Загрязнение марганцем, стронцием, цинком, свинцом, хромом слоя 0–10 см ряда изученных культурных слоев и почв возможно из-за техногенной нагрузки. Так, коэффициент их техногенного накопления в слое 0–10 см ряда КС составляет 30–40%, для серы во всех КС – 30–87%. Это обусловлено тем, что объекты находятся на расстоянии 18–60 км от Магнитогорского металлургического комбината, а Кусимово-8, Сабакты-1а и Елимбетово-7 – рядом с марганцевыми месторождениями. В цитированной выше литературе показано, что элементы As, Cr, Pb и, меньше, Zn могут обогащать культурные слои локально за счет разрушения обилия фрагментов керамики и остатков глины для ее изготовления, материалов жилых и оборонительных сооружений.

Концентрирование в культурных слоях и почвах ряда загрязнителей 1-го (мышьяка, свинца, цинка, хрома) и 2-го (кобальта, меди, никеля) классов опасности часто отмечено в количествах в 2–5 раз выше кларка литосферы и, реже, больше гигиенических нормативов, допустимых для здоровья

людей. Однако черноземы и КС, благодаря вышеотмеченным свойствам, характеризуются высокой буферностью и обуславливают прочную адсорбцию тяжелых металлов, а большинство степных растения обладают слабой поглотительной способностью к этим элементам, как отмечено в научной литературе. О благоприятных условиях в почвах и культурных слоях свидетельствует активное функционирование микробиоты, что подтверждается значительными величинами микробной биомассы (до 520–680 мкг С/г в слое 0–10 см) и ее активности в виде эмиссии 0,2–1,0 С-СО₂ мкг/г почвы в час.

Реконструкция климата на основании цитированных палеопедогенных и палинологических данных показала, что в периоды функционирования древних поселений климат был в основном благоприятным для проживания. Это способствовало развитию биогеоценозов с продуктивными ландшафтами, распространению скотоводства и земледелия у древних сообществ людей.

Данные о количестве 15 химических элементов в профиле почв и культурных слоев региона, характеризующегося геохимической природной аномалией, расширяют банк данных, что важно для целей экологического мониторинга.

БЛАГОДАРНОСТИ

Глубокая благодарность археологам канд. ист. наук Е.В. Русланову; М.М. Румянцеву, С.Ю. Николаеву за помощь в сборе почвенных проб и ценные советы, а также школьникам г. Полевской, Свердловской области, Урала за помощь в полевых работах и подготовке образцов почвы к анализам.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено в рамках государственного задания «Влияние климатических флуктуаций и антропогенной деятельности на эволюцию и современное состояние почв юга России» (проект № 0191-2019-0046) и Российского научного фонда «Комплексная реконструкция заселения степей Южного Урала от каменного века до современности: социокультурные и экологические трансформации» (проект № 22-28-00815).

ЛИТЕРАТУРА

- Александровская Е.И., Александровский А.Л. Историко-географическая антропохимия. Москва: НИИ-Природа, 2003. 204 с.
- Александровский А.Л., Александровская Е.И., Долгих А.В., Замотаев И.В., Курбатова А.Н. Почвы и культурные слои древних городов юга Европейской России // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1291–1301. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15110027>
- Архив климатических данных (Электронный ресурс). <http://climatbase.ru> (дата обращения 11.11.2023).
- Асылбаев И.Г., Хабиров И.К. Содержание тяжелых элементов в почвах Южного Урала // Агрохимия. 2015. № 11. С. 58–67.
- Бикмулина Л.Р., Якимов А.С., Мосин В.С., Баженов А.И. Геохимические особенности почв и культурных слоев поселения неолита – энеолита Кочегарово-1 в лесостепной зоне Западной Сибири и их палеоэкологическая интерпретация // Археология, этнография и антропология Евразии. 2017. Т. 45 № 2. С. 35–44. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2017.45.2.035-044>
- Борисова О.К., Зеликсон Е.М., Кременецкий К.В., Новенко Е.Ю. Ландшафтно-климатические изменения Западной Сибири в позднеледниковье и голоцене в свете новых палинологических данных // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2005. № 6. С. 38–49.
- Борзунов В.А. О культурной принадлежности иткульских и гамаюно-иткульских древностей Зауралья // Российская Археология. 2019. № 3. С. 131–146. <https://doi.org/10.31857/S086960630004107-6>
- Бронникова М.А., Агатова А.Р., Лебедева М.П., Непоп Р.К., Конопляникова Ю.В., Турова И.В. Запись голоценовых изменений ландшафтов высокогорий юго-восточного Алтая в почвенно-литологической серии долины р. Богуты // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1413–1430. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18120031>
- Воробьева Л.А. Химический анализ почв. Москва: Издательства МГУ, 1998. 272 с.
- Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Савичев А.Т., Чашин А.Н. Влияние техногенных и природных факторов на содержание тяжелых металлов в почвах среднего Предуралья (г. Чусовой и его окрестности) // Почвоведение. 2010. № 9. С. 1089–1099.
- Гарустович Г.Н., Овсянников В.В., Русланов Е.В. Городище Уфа-II в золотоордынский период // Oriental Studies. 2018. Vol. 38. Is. 4. P. 32–42. <https://doi.org/10.22162/2619-0990-2018-39-4-32-42>

- Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
- Демиденко Г.А., Хижняк С.В. Корреляционные связи между компонентами палеоландшафтов юга Приенисейской Сибири в голоцене // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. № 3. С. 206–210.
- Дергачева М.И., Очур К.О. Реконструкция изменений природной среды в течение голоцена на территории Центрально-Тувинской котловины // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 1. С. 5–17. <https://www.lib.tsu.ru/mininfo000063105bio17image17-005.pdf>
- Дубинина М.В., Елесина В.В., Боброва З.М. Исследование загрязненности почвенного покрова территории г. Магнитогорска // Теория и технология металлургического производства. 2013. №1(13). С. 54–57.
- Зайков В.В., Юминов А.М., Дунаев А.Ю., Зданович Г.Б., Григорьев С.А. Геолого-минералогические исследования древних медных рудников на Южном Урале // Археология, этнография и антропология Евразии. 2005. № 4(24). С. 101–114.
- Епимахов А.В., Мосин В.С. Хронология Зауральского энеолита // Вестник археологии, антропологии этнографии. 2015. № 4(31). С. 27–37.
- Еремченко О.З., Чудинова Л.А. Микроэлементный состав почв и растительности заповедной лесостепи в условиях техногенеза // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. С. 279–285. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7050>
- Иванов И.В., Приходько В.Е., Замотаев И.В., Манахов Д.В., Новенко Е.Ю., Калинин П. И., Маркова Л.М., Плаксина А.Н. Синлитогенная эволюция пойменных почв в долинах малых рек Степного Зауралья // Почвоведение. 2019. № 6. С. 645–662. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19060066>
- Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение. Ред. А.И. Сысо. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН, 2012. 218 с.
- Каздым А.А. Техногенные отложения древних и современных урбанизированных территорий (палеоэкологический аспект). Москва: Наука, 2006. 157 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.
- Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия. 5. География. 2015. № 2. С. 7–17.
- Ковалева Н.О., Решетникова Р.А., Ковалев И.В. Фосфор в культурных слоях и почвах урбоэкосистем // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2021. № 4. С. 56–66.
- Котов В.Г. Палеолит. История башкирского народа. М.М. Кулышарипов (ред.). Том 1. Москва: Наука, 2009. С. 23–53.
- Котов В.Г., Румянцев М.М. Феномен использования природных форм в палеолите Евразии: "галечные скульптуры" // Проблемы истории, филологии, культуры. 2018. № 2(60). С. 136–151. <https://doi.org/10.18503/1992-0431-2018-2-60-136-151>
- Котов В.Г., Савельев Н.С. Энеолитическая стоянка Сабакты-8 в Башкирском Зауралье // Уфимский археологический вестник. 2007. № 6–7. С. 12–18.
- Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Галлардо Ланчо Х.Ф., Ем К.Т. Оценка скорости минерализации органического вещества почв в лесных экосистемах внутриконтинентального умеренного, средиземноморского и тропического муссонного климата // Почвоведение. 2012. № 1. С. 82–94.
- Лисецкий Ф.Н., Столба В.Ф., Голуусов П.В. Моделирование развития черноземов в зоне степи и разработка метода почвенно-генетической хронологии // Почвоведение. 2016. № 8. С. 918–931. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16080050>
- Матюшин Г.Н. Энеолит Южного Урала: лесостепь и степь. Москва: Наука, 1982. 331 с.
- Махонина Г.И., Валдайских В.В. Археологическое почвоведение в системе знаний о взаимоотношении человека и природы // Известия Уральского государственного университета. Серия 1. Проблемы образования, науки и культуры. 2007. Том 50. № 21. С. 220–224.
- Молодин В.И., Епимахов А.В., Марченко Ж.В. Радиоуглеродная хронология культур эпохи бронзы Урала и юга Западной Сибири: принципы и подходы, достижения и проблемы // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: История, филология. 2014. Т. 13. № 3. С. 136–167.

- Некрасова О.А., Дергачева М.И. Содержание микроэлементов в черноземах обыкновенных и их гуминовых кислотах (на примере Южного Урала) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. Том 16. № 4. С. 7–16.
- Некрасова О.А., Учаев А.П. Палеоэкологические условия в суббореальный и субатлантический периоды лесостепной зоны Южного Урала // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. Том 185. № 10. С. 181–185.
- Опекунова М.Г., Сомов В.В., Папян Э.Э. Загрязнение почв в районе воздействия горнорудных предприятий Башкирского Зауралья // Почвоведение. 2017. № 6. С. 744–758. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17060089>
- Пампура Т.В., Пробст А., Ладонин Д.В., Демкин В.А. Содержание и изотопный состав свинца в подкурганых и современных каштановых почвах Приволжской возвышенности // Почвоведение. 2013. № 11. С. 1325–1343. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13090062>
- Перельман А.И. Геохимия. Москва: Высшая школа, 1989. 528 с.
- Плеханова Л.Н. Особенности культурных слоев неукрепленных поселений эпохи бронзы Степного Зауралья // Вестник Челябинского государственного университета. 2006. № 3. С. 42–63.
- Плеханова Л.Н. Погребенные почвы археологических объектов как основа палеоклиматических реконструкций второй половины голоцена // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2017. Том 28. № 3. С. 33–50. <https://doi.org/10.215130207-2564-2017-3-33-50>
- Приходько В.Е., Иванов И.В., Зданович Д.Г., Зданович Г.Б., Манахов Д.В., Инубуши К. Аркаим – укрепленное поселение эпохи бронзы степного Зауралья: почвенно-археологические исследования. Ред. А.Л. Александровский. Москва: ФГУП Издательский дом "Типография" Россельхозакадемии, 2014. 264 с.
- Приходько В.Е., Рогозин Е.П., Чаплыгин М.С. Реконструкция климата, почв и растительности срубного времени на основании исследования курганов Предуральской лесостепи Республики Башкортостан // Почвоведение. 2016. № 9. С. 1052–1067. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16090112>
- Приходько В.Е., Азаренко Ю.А. Использование древних разновозрастных погребенных почв как маркеров загрязнения химическими элементами современных почв и экологических условий прошлого // Фундаментальные основы биогеохимических технологий и перспективы их применения в охране природы, сельском хозяйстве и медицине. Труды XII Международной биогеохимической школы, посвященной 175-летию со дня рождения В.В. Докучаева (Тула, 16–18 сентября 2021 г.). Тула: Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, 2021. С. 182–186.
- Приходько В.Е., Пивоварова Е.Г., Полянская Л.М., Рогозин Е.П., Тишкин А.А. Комплексное изучение поселения Березовая Лука эпохи бронзы (лесостепной Алтай) // Современные решения актуальных проблем евразийской археологии. Сборник научных статей. Барнаул: Алтайский государственный университет, 2023. С. 242–246. <https://doi.org/10.14258/msapea.2023.3.50>
- Прохорова Н.В., Головлёв А.А., Прокопенко И.В., Семькин Ю.А., Бочаров С.Г., Ситдилов А.Г. Почвоведение и археология: взаимосвязь в исследовании Болгарского городища // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Том 16. №1(4) С. 1105–1110.
- Рябогина Н.Е., Южанина Э.Д., Афонин А.С., Якимов А.С., Новиков И.К. Палеоэкологические исследования приозерных водораздельных поселений Тоболо-Ишимского междуречья (поселение Золотое 1, Курганская область) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2022. № 4(59). С. 43–55. <https://doi.org/10.208742071-0437-2022-59-4-4>
- Савельев Н.С. Памятники гамаюнской и курмантауской культур юго-западной оконечности Уральской горной страны // Уфимский археологический вестник. 2018. № 18. С. 24–42. <https://doi.org/10.31833/uav.2018.18.003>
- Савельев Н.С. А.Х. Пшеничнюк и Филипповка: к 35-летию начала исследований // Уфимский археологический вестник. 2021. Том 21. № 1. С. 6–17. <https://doi.org/10.31833/uav/2021.21.1.001>
- Савельев Н.С., Николаев С.Ю., Румянцев М.М., Русланов Е.В., Савельева А.Г., Сулейманов Р.Р., Хурмаев А.А., Кунгурцев А.Я. Комплекс материальной культуры башкир Южного Урала XVIII-XIX вв. (по данным селища Имсяк-Тау-1 в горно-степном Зауралье) // Уфимский археологический вестник. 2023. Том 23. № 2. С. 300–319. <https://doi.org/10.31833/uav/2023.23.2.009>
- Сембаев Ж.Х., Хантурина Г.Р., Бактыбаева З.Б., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Рахматуллин Н.Р. Загрязнение почвенного покрова горнорудных территорий Республик Казахстан и Башкортостан тяжелыми металлами // Медицина труда и экология человека. 2019. № 1(17). С. 16–22. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2019-10003>
- СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

- Серегина Ю.Ю., Семенова И.Н., Кужина Г.Ш. Комплексная оценка загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова прибрежной зоны р. Белая Белорецкого района Республики Башкортостан // Живые и биокосные системы. 2013. № 3. С. 12.
- Середа Н.А., Баязитова Р.И., Нафикова М.В., Баязитова Л.И. Тяжелые металлы в почвах и сельскохозяйственных культурах лесостепи Башкортостана // Агрохимический вестник. 2016. № 4. С. 2–5.
- Сомов В.В., Опекунов, А. Ю., Опекунова, М. Г., Дергилева Е.В., Коршунова Д.В., Кукушкин, С. Ю. Формы нахождения металлов в почвах степных ландшафтов в зоне воздействия горнорудного производства (Южный Урал) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2023. Том 68. № 4. С. 764–782. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.409>
- Сулейманов Р.Р., Овсянников В.В., Колонских А.Г., Абакумов Е.В., Кунгурцев А.Я., Сулейманов А.Р. Почвенно-археологическое исследование средневекового вотикеевского комплекса в северной лесостепной зоне Южного Предуралья // Почвоведение. 2020. № 3. С. 279–290. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20030089>
- Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири / Российская академия наук, Сибирское отделение, Институт почвоведения и агрохимии. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН, 2007. 277 с.
- Сычева С.А., Леонова Н.Б., Пустовойтов К.Е., Седов С.Н., Чичагова О.А. Культурные слои как память об антропогенном почвообразовании и литогенезе // Память почв. Почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий / Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. Москва: Издательство ЛКИ, 2008. С. 651–675.
- Ткачев В.В. Генезис алакульской культуры в контексте горной археологии // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Том 20. № 3–2(83). С. 517–526.
- Хабиров И.К., Батанов Б.Н., Габбасова И.М., Асылбаев И.Г., Якупов И.Ж. Влияние горнорудного комплекса Зауралья на химический состав почв // Вестник Оренбургского государственного университета. 2007. № 1(64). С. 111–114.
- Хазиев Ф.Х., Мукатанов А.Х., Хабиров И.К., Кольцова Г.А., Габбасова И.М., Рамазанов Р.Я. Почвы Башкортостана. Том 1. Уфа: Гилем, 1995. 384 с.
- Хасанова Р.Ф., Семенова И.Н., Суюндуков Я.Т., Рафикова Ю.С., Биктимерова Г.Я., Ильбулова Г.Р., Кужина Г.Ш., Ильина И.В. Экологическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почв промышленных зон города Сибай // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 12(212). С. 74–77.
- Хохлова О.С., Моргунова Н.Л., Хохлов А.А., Гольева А.А. Изменения климата и растительности за последние 7000 лет в степном Предуралье // Почвоведение. 2018. № 5. С. 538–550. <https://doi.org/10.7868/S0032180X18050039>
- Чаплыгин М.С. История изучения погребальных памятников срубной культуры на территории Башкирского Приуралья // Уфимский археологический вестник. 2013. № 13. С. 40–62.
- Яблонский Л.Т. Золото сарматских вождей. Элитный некрополь Филипповка 1 (по материалам раскопок 2004–2009 гг.). Каталог коллекции. М.Г. Мошкова (ред.). Книга 1. Москва: ИА РАН, 2013. 232 с.
- Якимов А.С., Кайдалов А.И., Сечко Е.А., Пустовойтов К.Е., Кузяков Я.В. Почвы раннесредневекового (IV–VI вв. н. э.) городища Среднего Притоболья и их палео-географическое значение // Археология, этнография и антропология Евразии. 2012. № 4(52). С. 134–143.
- Acksel A., Baumann K., Hu Y., Leinweber P. A Look into the Past: Tracing Ancient Sustainable Manuring Practices by Thorough P Speciation of Northern European // Soil Systems. 2019. Vol. 3 No. 4. P. 72. <https://doi.org/10.3390/soilsystems3040072>
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biology and Biochemistry. 1978. Vol. 10. No. 3. P. 215–221. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(78\)90099-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(78)90099-8)
- Baron S., Carignan J., Ploquin A. Dispersion of heavy metals (metalloids) in soils from 800-years old pollution (Mont-Lozere, France) // Environmental Science & Technology. 2006. Vol. 40. No. 17. P. 5319–5326. <https://doi.org/10.1021/es0606430>
- Branvall M.-L., Bindler P., Renberg I., Emteryd O., Bartniki J., Billstrom K. The Medieval metal industry was the cradle of modern large-scale atmospheric lead pollution in northern Europe // Environmental Science & Technology. 1999. Vol. 33. No. 24. P. 4391–4395. <https://doi.org/10.1021/es990279n>
- Blaser P., Zimmermann S., Luster J., Shotyk W. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in Swiss forest soils // Science of the Total Environment. 2000. Vol. 249. No. 1–3. P. 257–280. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00522-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00522-7)

- Blyakharchuk T., Prikhodko V., Kilunovskaya M., Li H.-C. Vegetation and climate reconstruction based on pollen records derived from burial mounds soil in Tyva Republic, Cenral Asia // *Quaternary International*. 2019. Vol. 507. P. 108–123. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.09.028>
- Dhaliwal S.S., Singh J., Taneja P.K., Manda A. Remediation Techniques for Removal of Heavy Metals from the Soil Contaminated through Different Sources: A Review // *Environmental Science Pollution Research*. 2020. Vol. 27. P. 1319–1333. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06967-1>
- Danukalova G., Osipova E., Yakovlev A., Yakovleva T. Biostratigraphical characteristic of the Holocene deposits of the Southern Urals // *Quaternary International*. 2014. Vol. 328–329. P. 244–263. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.10.065>
- Gertsen M., Perelomov L., Kharkova A., Burachevskaya M., Hemalatha S., Atroshchenko Y. Removal of Lead Cations by Novel Organoclays Derived from Bentonite and Amphoteric and Nonionic Surfactants // *Toxics*. 2024. Vol. 12. No. 10. P. 713. <https://doi.org/10.3390/toxics12100713>
- Golyeva A., Khokhlova O., Lebedeva M., Shcherbakov N., Shuteleva I. Micromorphological and Chemical Features of Soils as Evidence of Bronze Age Ancient Anthropogenic Impact (Late Bronze Age Muradymovo Settlement, Ural Region) // *Geosciences*. 2018. Vol. 8. No. 9. P. 313. <https://doi.org/10.3390/geosciences8090313>
- Greinert A., Fruzińska R., Kostecki J., Bednarz K. Possibilities of heavy metals available for plants determination in the soil of an industrial zone // *Ecological Chemistry and Engineering*. 2013. Vol. 20. No. 2. P. 251–260.
- Jiang Y., Hu B., Sh, H., Yi L., Chen S., Zhou Y., Cheng J., Huang M., Yu W., Sh, Z. Pollution and risk assessment of potentially toxic elements in soils from industrial and mining sites across China // *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 336. P. 117672. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117672>
- Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. CRC press: Boca Raton, FL, 2010. 548 p.
- Kudrevatykh I.Y., Kalinin P.I., Mitenko G.V. The effect of changes vegetation cover on the chemical properties of steppe soils during climate aridization // *Plant and Soil*. 2023. Vol. 491. P. 265–484. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05704-x>
- Lapteva E., Korona O. The dynamics of the forest steppe vegetation of the southern Trans-Ural plain in the Holocene: Natural changes and anthropogenic influence, Multidisciplinary Investigations of the Bronze Age Settlements in the Southern Trans-Urals. P. Krause, L.N. Koryakova (eds.). Bonn: Habelt, 2013. P. 327–342.
- Lisetskii F.N., Stolba V.F. Archaeological ash deposits and soils formed on ash in the south of the East European Plain // *Quaternary International*. 2022. Vol. 618. P. 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.030>
- Lisetskii F.N., Buryak Z.A., Marinina O.A., Ukrainskiy P.A., Goleusov P.V. Features of Soil Organic Carbon Transformations in the Southern Area of the East European Plain // *Geosciences*. 2023. Vol. 13. No. 9. P. 278. <https://doi.org/10.3390/geosciences13090278>
- Maslennikova A.V., Udachin V.N. Lakes ecosystem response to Holocene climate changes and human impact in the Southern Urals: Diatom and geochemical proxies // *The Holocene*. 2017. Vol. 27. No. 6. P. 847–859. <https://doi.org/10.1177/0959683616675942>
- Nowaczinski E., Schukraft G., Rassmann K., Hecht S., Texier F., Eitel B., Bubenzer O. Geophysical-Geochemical Reconstuction of Ancient Population Size – the Early Bronze Age Settlement of Fidvár (Slovakia) // *Archaeological Prospection*. 2013. Vol. 20. No. 4. P. 267–283. <https://doi.org/10.1002/arp.1460>
- Opekunova M.G., Opekunov A.Y., Somov V.V., Kukushkin S.Y., Papyan E.E. Transformation of metals migration and biogeochemical cycling under the influence of copper mining production (the Southern Urals) // *Catena*. 2020. Vol. 189. P. 104512. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104512>
- Panova N.K., Antipina T.G. Late Glacial and Holocene environmental history on the eastern slope of the Middle Ural Mountains // *Quaternary International*. 2016. Vol. 420. P. 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.035>
- Rudaya N., Krivonogov S., Słowiński M., Cao X., Zhilich S. Postglacial history of the Steppe Altai: Climate, fire and plant diversity // *Quaternary Science Review*. 2020. Vol. 249. P. 106616. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106616>
- Stobbe A., Gumnior M., Ruhl L., Schneider H. Bronze Age human-landscape interactions in the southern Transural steppe – Evidence from high-resolution palaeobotanical studies // *The Holocene*. 2016. Vol. 26. No. 10. P. 1692–1710.
- Suleymanov P., Obydenova G., Kungurtsev A., Atnabaev N., Komissarov M., Gusarov A., Adelmurzina I., Suleymanov, A., Abakumov E. Human-Altered Soils at an Archeological Site of the Bronze Age: The Tyater-Araslanovo-II Settlement, Southern Cis-Ural Region // *Quaternary*. 2021. Vol. 4. No. 4. P. 32. <https://doi.org/10.3390/quat4040032>
- Thiemeyer H., Peters S. Landscape development and soils around the Bronze Age settlement Kamennyi Ambar, southern Trans-Urals // *Quaternary International*. 2016. Vol. 420. P. 101–114. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.026>

Wuana P.A., Okieimen F.E. Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation // International Scholarly Research Notices. 2011. No. 1. P. 402647. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>

Zhang S., Yang Y., Storozum M. J., Li H., Cui Y., Dong G. Copper smelting and sediment pollution in Bronze Age China: A case study in the Hexi corridor, Northwest China // Catena. 2017. Vol. 156. P. 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.04.001>

Поступила в редакцию 05.12.2024

Принята 17.01.2025

Опубликована 25.05.2025

Сведения об авторах:

Валентина Евгеньевна Приходько – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (г. Пушкино, Россия); valprikhodko@rambler.ru

Савельев Никита Сергеевич – кандидат исторических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Отдел археологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН (г. Уфа, Россия); sns_1971@mail.ru

Котов Вячеслав Георгиевич – кандидат исторических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Отдел археологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН (г. Уфа, Россия); kslav1@yandex.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License

Soil and geochemical study of chernozems and settlement cultural layers (dated from Paleolithic to Medieval ages) in the mining Urals region

© 2025 V. E. Prikhodko ¹, N. S. Savelev ², V. G. Kotov ²

¹Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, RAS, Pushchino, Moscow region, Russia. E-mail: valprikhodko@rambler.ru

²Department of Archaeology, Ufa Federal Research Center, RAS, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia. E-mail: sns1971@mail.ru, kslav1@yandex.ru

The aim of the study was to characterize soil and geochemical properties of the cultural layers (CL) and chernozems of eight settlements dated from the Paleolithic to the Medieval Ages in the mining Southern Urals.

Methodology. Together with archeologists we studied pedological, geochemical and microbiological properties of soils and CL of eight settlements, dating 136–2,5 ka BP and located along the slope of the Southern Urals mountains. The sites are located on the terraces of small rivers of the Ural River basin, used as moderately grazed pastures, except for one site (Telyashevo-4, 3,9–3,45 ka BP) used as arable land. Samples were collected sequentially from each 5-cm layer to the parent rock. From the 0–30 cm layer samples were taken in three replicates. The chemical and physical characteristics of soils and cultural layers were determined by conventional methods. Microbial biomass was estimated by substrate-induced respiration with glucose addition; soil basal respiration was measured by gas chromatography after seven days of moist soil incubation. Determination of 15 macro- and trace elements was performed by X-ray fluorescence analysis on the Spectroscan Max-GV device.

Main results. Most of the CL had developed on chernozems, at a depth from 3–25 cm to 40–60 cm. The 0–10 cm CL layer contained 6–13,7% of organic matter (C_{org}) due to current soil processes. In the Ishkulovo CL (0,6–0,8 ka BP), located below 80 cm, C_{org} decreased to 1,3% due to the lack of fresh organic material. The CL and soils were found to have good structure, no salinization, increased anthropogenic phosphorus (0,2–0,4%) and exchangeable calcium, near neutral pH. In the Tashtuy-1 CL (19th century AD) pH was alkaline due to the carbonate presence. The development of ancient settlements took place in periods with a favorable paleoclimate, according to the published data. Such climate facilitated productive landscapes, ensuring the development of husbandry and agriculture. Due to their properties, chernozems have a high buffering capacity, a strong bond with heavy metals, high

content of microbial biomass (520–680 $\mu\text{g C/g}$ of soil in the 0–10 cm layer) and soil respiration rate (0,2–1,0 $\text{C-CO}_2 \mu\text{g/g}$ of soil per hour).

Conclusion. In chernozems and cultural layers of ancient settlements of different ages at the Southern Urals, accumulation of pollutants of the I (arsenic, lead, zinc, chromium) and II (cobalt, copper, nickel) hazard classes was shown to be several times higher than the lithosphere clark value, albeit rarely higher than the permissible content for humans, which is mainly due to the natural anomaly of the Urals Mountains and, to a lesser extent, the proximity (18–60 km) to the Magnitogorsk Metallurgical plant. Favorable properties of soils and CL, namely high content of C_{org} , fine fractions and exchangeable calcium, absence of salinization, near neutral pH cause strong adsorption of heavy metals, not affecting negatively soil microbial biomass and soil basal respiration. The study provided detailed data on the chemical elements content throughout soil profiles and CL, thus supplementing the information about their accumulation in the geochemical anomaly of the Southern Urals in the respective database, which is important for monitoring.

Keywords: pollutants; organic matter; natural and man-made accumulation of elements; pedological; microbiological and geochemical properties; chemical elements; archaeological finds.

How to cite: Prikhodko V.E., Savelev N.S., Kotov V.G. Soil and geochemical study of chernozems and settlements cultural layers (dated from Paleolithic to Medieval Ages) in the mining Urals region. *The Journal of Soils and Environment*. 2025. 8(2). DOI: [10.31251/pos.v8i2.290](https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.290) (in Russian with English abstract).

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to express our deep gratitude to archaeologists E.V. Ruslanov, Candidate of Historical Sciences, as well as M.M. Rumyantsev and S.Yu. Nikolaev for their help in collecting soil samples and providing valuable advices, and to schoolchildren from Polevskoy, Sverdlovsk Region, for their help in field work and preparing soil samples for analyses.

We would also like to thank two reviewers of the article for their valuable comments.

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. 0191-2019-0046: “The influence of climatic fluctuations and anthropogenic activity on the evolution and current state of soils in southern Russia”), and the Russian Science Foundation (project No. 22-28-00815: “Comprehensive reconstruction of the settlement of the steppes of the Southern Urals from the Stone Age to the present: socio-cultural and environmental transformations”).

REFERENCES

- Aleksandrovskaya E.I., Aleksandrovskiy A.L. Historical and geographical anthropochemistry. Moscow: NIA-Priroda Press, 2003. 204 P. (in Russian).
- Aleksandrovsky A.L., Aleksandrovskaya E.I., Dolgikh A.V., Zamotaev I.V., Kurbatova A.N. Soils and cultural layers of ancient cities in the south of European Russia. *Eurasian Soil Science*. 2015. Vol. 48. No. 11. P. 1171–1181. <https://doi.org/10.1134/S1064229315110022>
- Archive of Climate Data (Electronic resource). <http://climatbase.ru> (accessed on 11.11.2023). (in Russian).
- Asylbaev I.G., Khabirov I.K. Content of heavy elements in soils of the Southern Urals. *Agrokhimika*. 2015. No. 11. P. 58–67. (in Russian).
- Bikmulina L.R., Yakimov A.S., Bazhenov A.I., Mosin V.S. Geochemical soil analysis and environmental reconstructions at the neolithic and chalcolithic settlement Kochegarovo-1 in the forest-steppe zone of Western Siberia. *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*. 2017. Vol. 45. No. 2. P. 35–44. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2017.45.2.035-044>
- Borisova O.K., Zelikson E.M., Kremenetsky K.V., Novenko E.Yu. Landscape and climatic changes in Western Siberia in the Late Glacial and Holocene in the light of new palynological data. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2005. No. 6. P. 38–49. (in Russian).
- Borzunov V.A. On the cultural attribution of the Itkul and Gamayun-Itkul antiquities of the Trans-Urals. *Russian Archaeology*. 2019. No. 3. P. 131–146. <https://doi.org/10.31857/S086960630004107-6>
- Bronnikova M.A., Lebedeva M.P., Konoplianikova Y.V., Turova I.V., Agatova A.R., Nepop R.K. Record of Holocene Changes in High Mountain Landscapes of Southeastern Altai in the Soil-Sediment Sequence of the Boguty River Valley. *Eurasian Soil Science*. 2018. Vol. 51. No. 12. P. 1381–1392. <https://doi.org/10.1134/S1064229318120037>

- Vorobyova L.A. Handbook for Chemical Analysis of Soils. Moscow: Moscow University Press, 1998. 272 p. (in Russian).
- Vodyanitskii Y.N., Vasil'ev A.A., Chashchin A.N., Savichev A.T. The Influence of Technogenic and Natural Factors on the Content of Heavy Metals in Soils of the Middle CisUrals Region: The Town of Chusovoi and Its Suburbs. Eurasian Soil Science. 2010. Vol. 43. No. 9. P. 1011–1021. <https://doi.org/10.1134/S1064229310090085>
- Garustovich G.N., Ovsyannikov V.V., Ruslanov E.V. The ancient settlement of Ufa-II during the Golden Horde Period. Oriental Studies. 2018. Vol. 38. Is. 4. P. 32–42. (in Russian). <https://doi.org/10.22162/2619-0990-2018-39-4-32-42>
- Grigoriev N.A. Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust. Ekaterinburg: Ural Branch of the RAS Press, 2009. 382 p. (in Russian).
- Demidenko G.A., Khizhnyak S.V. Correlation relations between paleolandscapes components of the south of Priyeniseyskaya Siberia in the Holocene. Bulletin of Krasnoyarsk Agrarian University. 2018. No. 3. P. 206–210. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Ochur K.O. Environment changes reconstruction by pedohumic method in the Central Tuva Hollow during Holocene period. Tomsk State University Journal of Biology. 2012. No. 1. P. 5–17. (in Russian). <https://www.lib.tsu.ru/mminfo/000063105/bio/17/image/17-005.pdf>
- Dubinina M.V., Elesina V.V., Bobrova Z.M. Study of soil pollution in the territory of Magnitogorsk. The Theory and Process Engineering of Metallurgical Production. 2013. No. 1(13). P. 54–57. (in Russian).
- Zaikov V.V., Yuminov A.M., Dunaev A.Yu., Zdanovich G.B., Grigoriev S.A. Geological and mineralogical studies of ancient copper mines in the Southern Urals. Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia. 2005. No. 4(24). P. 101–114. (in Russian).
- Epimakhov A.V., Mosin V.S. Chronology of the Trans-Ural Chalcolithic. Bulletin of Archaeology, Anthropology & Ethnology. 2015. No.4(31). P. 27–37. (in Russian).
- Eremchenko O.Z., Chudinova L.A. Microelement composition of soils and vegetation of the protected forest-steppe under technogenesis conditions. Modern problems of science and education. 2012. No. 5. P. 279–285. (in Russian). <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7050>
- Ivanov I.V., Prikhodko V.E., Kalinin P.I., Zamotaev I.V., Manakhov D.V., Novenko E.Y., Markova L.M., Plaksina A.L. Synlithogenic Evolution of Floodplain Soils in Valleys of Small Rivers in the Trans-Ural Steppe. Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 6. P. 593–609. <https://doi.org/10.1134/S1064229319060061>
- Ilyin V.B. Heavy metals and non-metals in the soil-plant system. Ed. A.I. Syso. Novosibirsk: Publishing House SB RAS, 2012. 220 p. (in Russian).
- Kazdym A.A. Technogenic sediments of ancient and modern urbanized areas (paleoecological aspect). Moscow: Nauka Publ., 2006. 157 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. Frieve. Moscow: Kolos Publ., 1977. 224 p. (in Russian).
- Kasimov N.S., Vlasov D.V. Clarks of chemical elements as standards of comparison in ecogeochemistry. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya. 2015. No. 2. P. 7–17. (in Russian).
- Kovaleva N.O., Reshetnikov P.A., Kovalev I.V. Phosphorus in cultural layers and soils of urban ecosystems. Moscow University Soil Science Bulletin. 2021. Vol. 76. No. 4. P. 217–226. <https://doi.org/10.3103/S0147687421040050>
- Kotov V.G. Paleolith. History of the Bashkir people. Ed. M.M. Kulsharipov. Vol. 1. Moscow: Nauka Publ., 2009. P. 23–53. (in Russian).
- Kotov V.G., Rummyantsev M.M. The phenomenon of the use of natural forms in the Paleolithic of Eurasia: “pebble sculptures”. Journal of Historical, Philological and Cultural Studies. 2018. No. 2(60). P. 136–151. (in Russian). <https://doi.org/10.18503/1992-0431-2018-2-60-136-15>
- Kotov V.G., Savelev N.S. Eneolithic site Sabakty-8 in the Bashkir Trans-Urals. Ufa Archaeological Herald. 2007. Vol. 6–7. P. 12–18. (in Russian).
- Kurganova I.N., de Gerenyu V.O.L., Lanco J.F.G., Oehm C.T. Evaluation of the rates of soil organic matter mineralization in forest ecosystems of temperate continental, mediterranean, and tropical monsoon climates. Eurasian Soil Science. 2012. Vol. 45. No. 1. P. 68–79. <https://doi.org/10.1134/S1064229312010085>
- Lisetskii F.N., Goleusov P.V., Stolba V.F. Modeling of the evolution of steppe chernozems and development of the method of pedogenetic chronology. Eurasian Soil Science. 2016. Vol. 49. No. 8. P. 846–858. <https://doi.org/10.1134/S1064229316080056>

- Matyushin G.N. Eneolithic of the Southern Urals: forest-steppe and steppe. Moscow: Nauka Publ., 1982. 331 p. (in Russian).
- Makhonina G.I., Valdaiskikh V.V. Archaeological soil science in the system of knowledge about the relationship between man and nature. *Izvestiya Ural Federal University Journal*. 2007. Vol. 50. No.21. P. 220–224. (in Russian).
- Molodin V.I., Epimakhov A.V., Marchenko Zh.V. Radiocarbon chronology of the south Urals and the south of the Western Siberia cultures (2000–2013-years investigations): principles and approaches, achievements and problems. *Vestnik NSU. Series: History and Philology*. 2014. Vol. 13. No. 3. P. 136–167 (in Russian).
- Nekrasova O.A., Dergacheva M.I. The amount of trace elements in ordinary chernozems and their humic acids (on an example of South Urals). *Tomsk State University Journal of Biology*. 2011. Vol. 16. No. 4. P. 7–16. (in Russian).
- Nekrasova O.A., Uchaev A.P. Paleoecological conditions in the Subboreal and Subatlantic periods of the forest-steppe zone of the Southern Urals. *Vestnik Orenburg State University*. 2015. Vol. 185. No. 10. P. 181–185. (in Russian).
- Opekunova M.G., Somov V.V., Papyan E.E. Soil contamination in the impact zone of mining enterprises in the Bashkir Transural region. *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 50. No. 6. P. 732–745. <https://doi.org/10.1134/S1064229317060084>
- Pampura T.V., Demkin V.A., Probst A., Ladonin D.V. Lead content and isotopic composition in submount and recent soils of the Volga upland. *Eurasian Soil Science*. 2013. Vol. 46. No. 11. P. 1059–1075. <https://doi.org/10.1134/S1064229313090020>
- Perelman A.I. Geochemistry. Moscow: Vysshaya Shkola Publ., 1989. 528 p. (in Russian).
- Plekhanova L.N. Features of cultural layers of unfortified settlements of the Bronze Age of the Steppe Trans-Urals. *Vestnik ChelSU*. 2006. No. 3. P. 42–63. (in Russian).
- Plekhanova L.N. Buried soils of archaeological objects as the base of paleoclimatic reconstructions second half of the Holocene. *Problems of Ecological Monitoring and Ecosystem Modelling*. 2017. Vol. 28. No. 3. P. 33–50. <https://doi.org/10.215130207-2564-2017-3-33-50>
- Prikhodko V.E., Ivanov I.V., Zdanovich D.G., Zdanovich G.B., Manakhov D.V., Inubushi K. Arkaim – a fortified settlement of the Bronze Age of the steppe Trans-Urals: soil-archaeological studies. Ed. A.L. Alexandrovsky. Moscow: Publishing House "Typography", 2014. 264 p. (in Russian).
- Prikhod'ko V.E., Rogozin E.P., Chaplygin M.S. Reconstruction of Climate, Soil, and Vegetation Conditions of the Srubnaya Cultural Epoch on the Basis of Kurgan Studies in the Cis-Ural Forest-Steppe of the Republic of Bashkortostan. *Eurasian Soil Science*. 2016. Vol. 49. No. 9. P. 988–1002. <https://doi.org/10.1134/S1064229316090118>
- Prikhodko V.E., Azarenko Yu.A. The use of ancient different age burned soils as markers of contamination with chemical elements of modern soils and ecological conditions of the past. In book: *Fundamental principles of biogeochemical technologies and prospects for their use in nature conservation, agriculture and medicine. Proceedings of the XII International Biogeochemical School dedicated to the 175th anniversary of the birth of V.V. Dokuchaev* (Tula, 16–18 September, 2021). Tula: Tula State Pedagogical University named after L.N. Tolstoy, 2021. P. 182–186. (in Russian).
- Prikhodko V.E., Pivovarova E.G., Polyanskaya L.M., Rogozin E.P., Tishkin A.A. Complex study of Berezovaya Luka settlement of the bronze age (forest-steppe Altai). In book: *Modern solutions to current problems of Eurasian archeology. Collection of scientific articles*. Barnaul: Altai State University, 2023. P. 242–246. (in Russian). <https://doi.org/10.14258/msapea.2023.3.50>
- Prokhorova N.V., Golovlyov A.A., Prokopenko I.V., Semykin Yu.A., Bocharov S.G., Sitdikov A.G. Soil science and archeology: interrelation in research of Bulgarian ancient settlement. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018. Vol. 16. No. 1(4). P. 1105–1110. (in Russian).
- Ryabogina N.E., Yuzhanina E.D., Afonin A.S., Yakimov A.S., Novikov I.K. Paleoenvironmental studies of lakeside watershed settlements of the Tobol-Ishim interfluvium (Zolotoe 1 settlement. Kurgan oblast). *Vestnik Arheologii, Antropologii i Etnografii*. 2022. No. 4(59). P. 43–55. (in Russian). <https://doi.org/10.208742071-0437-2022-59-4-4>
- Savelev N.S. Monuments of the Gamayun and Kurmantau cultures of the south-western limits of the Ural Mountain region. *Ufa Archaeological Herald*. 2018. No. 18. P. 24–42. (in Russian). <https://doi.org/10.31833/uav.2018.18.003>
- Savelev N.A. Pshenichnyuk and Filippovka: 35 years of research. *Ufa Archaeological Herald*. 2021. Vol. 21. No. 1. P. 6–17. (in Russian). <https://doi.org/10.31833/uav/2021.21.1.001>
- Savelev N.S., Nikolaev S.Yu., Rumyantsev M.M., Ruslanov E.V., Saveleva A.G., Suleymanov R.R., Khurmaev A.A., Kungurtsev A.Ya. Complex of artefacts of southern Urals bashkirs of 18th–19th centuries (according to data from Imsyak-Tau-1 settlement in mountain-steppe Transurals). *Ufa Archaeological Herald*. 2023. Vol. 23. No. 2. P. 300–319. (in Russian). <https://doi.org/10.31833/uav/2023.23.2.009>

- Sembaev Zh.H., Khanturina G.R., Baktybaeva Z.B., Suleymanov R.A., Valeev T.K., Rakhmatullin N.R. Soil contamination of heavy metals of the mining territories the Republic of Kazakhstan and Bashkortostan. Occupational medicine and human ecology. 2019. No. 1(17). P. 16–22. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2019-10003>
- SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans". (in Russian).
- Seregina Yu.Yu., Semenova I.N., Kuzhina G.Sh. Complex assessment of pollution by heavy metals of a soil cover of a coastal zone of river White Beloretsky region of the republic of Bashkortostan. Live and Bio-Abiotic Systems. 2013. No. 3. P. 12.
- Sereda N.A., Bayazitova P.I., Nafikova M.V., Bayazitova L.I. Heavy metals in soils and agricultural crops of forest steppe in Bashkortostan Republic. Agrochemical Herald. 2016. No. 4. P. 2–5. (in Russian).
- Somov V.V., Opekunov. A. Yu., Opekunova. M.G., Dergileva E.V., Korshunova D.V., Kukushkin S. Yu. Speciation of metals in soils of steppe landscapes affected by mining (Southern Urals). Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences. 2023. Vol. 68. No. 4. (in Russian). <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.409>
- Suleymanov R.R., Suleymanov A.R., Kungurtsev A.Y., Ovsiyannikov V.V., Kolonskih A.G., Abakumov E.V. Soil-Archaeological Study of the Votikeevo Medieval Archeological Site in the Northern Forest-Steppe Zone of the Southern Cis-Ural Region. Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. No. 3. P. 283–293. <https://doi.org/10.1134/S1064229320030084>
- Syso A.I. Regularities of distribution of chemical elements in parent rocks and soils of Western Siberia. Novosibirsk: Publ. House SB RAS, 2007. 277 p. (in Russian).
- Sycheva S.A., Leonova N.B., Pustovoitov K.E., Sedov S.N., Chichagova O.A. Cultural layers as a memory of anthropogenic soil formation and lithogenesis. In book: Soils Memory. Soil as a Memory of Biosphere-Geosphere-Anthroposphere Interactions. V.O. Targulyan, S.V. Goryachkin (eds.). Moscow: LKI Publisher, 2008. P. 651–675. (in Russian).
- Tkachev V.V. Genesis of Alakul culture in the context of mining archeology. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. Vol. 20. No. 3–2(83). P. 517–526. (in Russian).
- Khabirov I.K., Batanov B.N., Gabbasova I.M., Asylbaev I.G., Yakupov I.J. Mining complex influence of of Zauralie on chemical structure of soil. Vestnik of the Orenburg State University. 2007. No. 1(64). P. 111–114. (in Russian).
- Khaziev F.Kh., Mukatanov A.Kh., Khabirov I.K., Koltsova G.A., Gabbasova I.M., Ramazanov P.Ya. Soils of Bashkortostan. Vol. 1. Ufa: Gilem Press. 1995. 384 p. (in Russian).
- Khasanova R.F., Semenova I.N., Suyundukov Ya.T., Rafikova Yu.S., Biktimerova G.Ya., Ilbulova G.R., Kuzhina G.Sh., Ilyina I.V. Ecological estimation of pollution by heavy metals of soils of industrial zones of Sibay city. Vestnik of the Orenburg State University. 2017. No. 12(212). P. 74–77. (in Russian).
- Khokhlova O.S., Morgunova N.L., Khokhlov A.A., Gol'eva A.A. Climate and Vegetation Changes over the Past 7000 Years in the Cis-Ural Steppe. Eurasian Soil Science. 2018. Vol. 51. No. 5. P. 506–517. <https://doi.org/10.1134/S106422931805006X>
- Chaplygin M.S. The study history of funerary monuments of the srubnaya culture in Bashkir Cisurals. Ufa Archaeological Herald. 2013. No. 13. P. 40–62. (in Russian).
- Yablonsky L.T. Gold of the Sarmatian leaders. Elite necropolis Filippovka 1 (based on materials from excavations in 2004–2009). Collection catalogue. M.G. Moshkova (ed.). Book 1. Moscow: Institute of Archaeology RAS Press, 2013. 232 p. (in Russian).
- Yakimov A.S., Kaidalov A.I., Sechko E.A., Pustovoytov K.E., Kuzyakov Y.V. Soils of an Early Medieval (4th–6th centuries) settlement in the Middle Tobol region and their paleogeographic implication. Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia. 2012. Vol. 40. No. 4. P. 134–143. <https://doi.org/10.1016/j.aeae.2013.04.014>
- Acksel A., Baumann K., Hu Y., Leinweber P. A Look into the Past: Tracing Ancient Sustainable Manuring Practices by Thorough P Speciation of Northern European. Soil Systems. 2019. Vol. 3 No. 4. P. 72. <https://doi.org/10.3390/soilsystems3040072>
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil Biology and Biochemistry. 1978. Vol. 10. No. 3. P. 215–221. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(78\)90099-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(78)90099-8)
- Baron S., Carignan J., Ploquin A. Dispersion of heavy metals (metalloids) in soils from 800-years old pollution (Mont-Lozere, France). Environmental Science & Technology. 2006. Vol. 40. No. 17. P. 5319–5326. <https://doi.org/10.1021/es0606430>

- Branvall M.-L., Bindler P., Renberg I., Emteryd O., Bartniki J., Billstrom K. The Medieval metal industry was the cradle of modern large-scale atmospheric lead pollution in northern Europe. *Environmental Science & Technology*. 1999. Vol. 33. No. 24. P. 4391–4395. <https://doi.org/10.1021/es990279n>
- Blaser P., Zimmermann S., Luster J., Shotyk W. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in Swiss forest soils. *Science of the Total Environment*. 2000. Vol. 249. No. 1–3. P. 257–280. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00522-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00522-7)
- Blyakharchuk T., Prikhodko V., Kilunovskaya M., Li H.-C. Vegetation and climate reconstruction based on pollen records derived from burial mounds soil in Tyva Republic, Cenral Asia // *Quaternary International*. 2019. Vol. 507. P. 108–123. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.09.028>
- Dhaliwal S.S., Singh J., Taneja P.K., Manda A. Remediation Techniques for Removal of Heavy Metals from the Soil Contaminated through Different Sources: A Review. *Environmental Science Pollution Research*. 2020. Vol. 27. P. 1319–1333. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06967-1>
- Danukalova G., Osipova E., Yakovlev A., Yakovleva T. Biostratigraphical characteristic of the Holocene deposits of the Southern Urals. *Quaternary International*. 2014. Vol. 328–329. P. 244–263. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.10.065>
- Gertsen M., Perelomov L., Kharkova A., Burachevskaya M., Hemalatha S., Atroshchenko Y. Removal of Lead Cations by Novel Organoclays Derived from Bentonite and Amphoteric and Nonionic Surfactants. *Toxics*. 2024. Vol. 12. No. 10. P. 713. <https://doi.org/10.3390/toxics12100713>
- Golyeva A., Khokhlova O., Lebedeva M., Shcherbakov N., Shuteleva I. Micromorphological and Chemical Features of Soils as Evidence of Bronze Age Ancient Anthropogenic Impact (Late Bronze Age Muradymovo Settlement, Ural Region). *Geosciences*. 2018. Vol. 8. No. 9. P. 313. <https://doi.org/10.3390/geosciences8090313>
- Greinert A., Fruzińska R., Kostecki J., Bednarz K. Possibilities of heavy metals available for plants determination in the soil of an industrial zone. *Ecological Chemistry and Engineering*. 2013. Vol. 20. No. 2. P. 251–260.
- Jiang Y., Hu B., Sh, H., Yi L., Chen S., Zhou Y., Cheng J., Huang M., Yu W., Sh, Z. Pollution and risk assessment of potentially toxic elements in soils from industrial and mining sites across China. *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 336. P. 117672. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117672>
- Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. CRC press: Boca Raton, FL, 2010. 548 p.
- Kudrevatykh I.Y., Kalinin P.I., Mitenko G.V. The effect of changes vegetation cover on the chemical properties of steppe soils during climate aridization. *Plant and Soil*. 2023. Vol. 491. P. 265–484. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05704-x>
- Lapteva E., Korona O. The dynamics of the forest steppe vegetation of the southern Trans-Ural plain in the Holocene: Natural changes and anthropogenic influence, Multidisciplinary Investigations of the Bronze Age Settlements in the Southern Trans-Urals. P. Krause, L.N. Koryakova (eds.). Bonn: Habelt, 2013. P. 327–342.
- Lisetskii F.N., Stolba V.F. Archaeological ash deposits and soils formed on ash in the south of the East European Plain. *Quaternary International*. 2022. Vol. 618. P. 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.030>
- Lisetskii F.N., Buryak Z.A., Marinina O.A., Ukrainskiy P.A., Goleusov P.V. Features of Soil Organic Carbon Transformations in the Southern Area of the East European Plain. *Geosciences*. 2023. Vol. 13. No. 9. P. 278. <https://doi.org/10.3390/geosciences13090278>
- Maslennikova A.V., Udachin V.N. Lakes ecosystem response to Holocene climate changes and human impact in the Southern Urals: Diatom and geochemical proxies. *The Holocene*. 2017. Vol. 27. No. 6. P. 847–859. <https://doi.org/10.1177/0959683616675942>
- Nowaczinski E., Schukraft G., Rassmann K., Hecht S., Texier F., Eitel B., Bubenzer O. Geophysical-Geochemical Reconstruction of Ancient Population Size – the Early Bronze Age Settlement of Fidvár (Slovakia). *Archaeological Prospection*. 2013. Vol. 20. No. 4. P. 267–283. <https://doi.org/10.1002/arp.1460>
- Opekunova M.G., Opekunov A.Y., Somov V.V., Kukushkin S.Y., Papyan E.E. Transformation of metals migration and biogeochemical cycling under the influence of copper mining production (the Southern Urals). *Catena*. 2020. Vol. 189. P. 104512. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104512>
- Panova N.K., Antipina T.G. Late Glacial and Holocene environmental history on the eastern slope of the Middle Ural Mountains. *Quaternary International*. 2016. Vol. 420. P. 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.035>
- Rudaya N., Krivonogov S., Słowinski M., Cao X., Zhilich S. Postglacial history of the Steppe Altai: Climate, fire and plant diversity. *Quaternary Science Review*. 2020. Vol. 249. P. 106616. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106616>
- Stobbe A., Gumnior M., Ruhl L., Schneider H. Bronze Age human-landscape interactions in the southern Transural steppe – Evidence from high-resolution palaeobotanical studies. *The Holocene*. 2016. Vol. 26. No. 10. P. 1692–1710.

Suleymanov P., Obydenнова G., Kungurtsev A., Atnabaev N., Komissarov M., Gusarov A., Adelmurzina I., Suleymanov, A., Abakumov E. Human-Altered Soils at an Archeological Site of the Bronze Age: The Tyater-Araslanovo-II Settlement, Southern Cis-Ural Region. Quaternary. 2021. Vol. 4. No. 4. P. 32. <https://doi.org/10.3390/quat4040032>

Thiemeyer H., Peters S. Landscape development and soils around the Bronze Age settlement Kamennyy Ambar, southern Trans-Urals. Quaternary International. 2016. Vol. 420. P. 101–114. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.026>

Wuana P.A., Okiyeimen F.E. Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. International Scholarly Research Notices. 2011. No. 1. P. 402647. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>

Zhang S., Yang Y., Storozum M. J., Li H., Cui Y., Dong G. Copper smelting and sediment pollution in Bronze Age China: A case study in the Hexi corridor, Northwest China. Catena. 2017. Vol. 156. P. 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.04.001>

Received 5 December 2024

Accepted 17 January 2025

Published 25 May 2025

About the authors:

Valentina E. Prikhodko – Doctor of biological Sciences, Leading Researcher, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science RAS (Pushchino, Russia); valprikhodko@rambler.ru

Nikita S. Savelev – Candidate of Hystorical Sciences, Senior Researcher, Department of Archaeology, Ufa Federal Research Center, RAS (Ufa, Russia); sns1971@mail.ru

Vyacheslav G. Kotov – Candidate of Hystorical Sciences, Senior Researcher, Department of Archaeology, Ufa Federal Research Center, RAS (Ufa, Russia); kslav1@yandex.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under Creative Commons Attribution 4.0 License

УДК 631.4

<https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.295>

Развитие и результаты агрохимических исследований в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН

© 2025 В. Н. Якименко , Т. В. Нечаева 

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

В статье рассматривается история развития агрохимических исследований в ИПА СО РАН (СО АН СССР) и их основные результаты с момента образования Западно-Сибирского филиала АН СССР до наших дней. Описаны структурные преобразования научных подразделений агрохимического профиля, начиная с исходной лаборатории плодородия почв и до современной лаборатории агрохимии. Представлены учёные, стоящие у истоков развития агрохимии не только в институте, но и в Сибири в целом, а также научные сотрудники, проводящие исследования в настоящее время. Дана информация о направлениях и результатах исследований, приводится краткий обзор опубликованных работ.

Ключевые слова: агрохимия; плодородие почв; минеральное питание растений; удобрения; агроценоз; рациональное природопользование.

Цитирование: Якименко В.Н., Нечаева Т.В. Развитие и результаты агрохимических исследований в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН // Почвы и окружающая среда. 2025. Том 8. № 2. e295. DOI: [10.31251/pos.v8i2.295](https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.295)

Плодородие является определяющим базовым свойством почвы; его научно обоснованное сохранение и повышение составляет основу высокопродуктивного земледелия и, как итог, продовольственной безопасности страны. Поэтому исследования теоретических и прикладных аспектов плодородия, агрохимических свойств почв и продуктивности агроэкосистем во все годы функционирования Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО РАН (ранее – ИПА СО АН СССР) представляют одно из ключевых направлений его научной деятельности.

В августе 1948 г. состоялась известная сессия ВАСХНИЛ, на которой, в числе прочего, было принято решение, поддержанное ЦК КПСС, о развитии исследований (в том числе в Сибири) по созданию научных основ обработки почвы, возделыванию сельскохозяйственных культур на старопахотных, залежных и целинных землях, а также по внедрению травопольных севооборотов и полезащитного лесоразведения. Во исполнение этого решения в 1950 г. в Медико-биологическом институте Западно-Сибирского филиала Академии наук (АН) СССР была организована **лаборатория почвоведения и мелиорации с кабинетом леса**. Лабораторию возглавил кандидат геолого-минералогических наук **Сергей Николаевич Селяков**, занимавшийся вопросами мелиорации и рационального использования засоленных почв и солонцов Обь-Иртышского междуречья (Селяков, 1967, 1972, 1973; и др.). Создание данного структурного подразделения послужило, пожалуй, истоком, отправной точкой развития академических почвенно-агрохимических исследований в Сибири.

Постановлением Президиума АН СССР от 28 августа 1953 г. Медико-биологический институт был переименован в Биологический институт (БИ) АН СССР, а 18 мая 1957 г. создано Сибирское отделение (СО) АН СССР, в состав которого включён и Биологический институт.

В 50-е годы лаборатории почвоведения и мелиорации БИ пришлось решать практические вопросы в связи с освоением целинных и залежных земель на территории юга Западной Сибири. Изучались водно-физические свойства почв, динамика подвижных форм макроэлементов, состав микрофлоры, изменение этих показателей под влиянием удобрений и различных приёмов обработки почв. Результаты исследований, проведённых в этот период С.Н. Селяковым, Т.Н. Рябовой, В.Б. Ильиным, И.Л. Клевенской, Н.Н. Наплековой, В.П. Панфиловым, В.П. Шаповаловым, были опубликованы в Трудах Биологического института: «Вопросы освоения целинных и залежных земель Западной Сибири» (1957) и «Вопросы орошения сельскохозяйственных культур в Кулундинской степи» (1959).



Роман Викторович Ковалев

В 1958 г. лабораторию почвоведения и мелиорации БИ возглавил **Роман Викторович Ковалев**. В 1960 г. он защитил докторскую диссертацию «Почвы Ленкоранской области» (Ковалев, 1959), ряд сотрудников защитили кандидатские диссертации; существенно укрепившийся кадровый состав лаборатории позволил трансформировать её в **Отдел почвоведения**. Созданному отделу предписывались следующие основные направления научной деятельности: разработка теории почвообразовательного процесса, научных основ повышения плодородия почв, мелиорации, географии и картографирования почвенного покрова, теории управления микробиологическими процессами в почвах. В Отдел почвоведения БИ СО АН СССР вошли следующие лаборатории: географии и генезиса почв (руководитель Ковалев Р.В.), плодородия почв (Ильин В.Б.), физики, мелиорации и эрозии почв (Панфилов В.П.), почвенной микробиологии (Клевенская И.Л.), а также Горно-Алтайская почвенная лаборатория.

Результаты исследований сотрудников Отдела почвоведения БИ СО АН СССР были изложены в ряде научных работ, включая монографию «Почвы Новосибирской области» (1966), где рассмотрены генетические и производственные свойства почв четырёх крупных природно-экономических регионов области; агрохимические исследования проведены в тесной взаимосвязи с почвенными и касались, в основном, потенциального плодородия почв.

В 1968 г. в серии «Агрохимическая характеристика почв СССР» вышел том, посвящённый районам Западной Сибири (Агрохимическая характеристика ..., 1968). Сотрудники Отдела почвоведения Биологического института Р.В. Ковалев, Л.А. Зайкова, И.Я. Маслова, М.П. Панина, В.М. Попов, Т.Н. Рябова, В.П. Шаповалов подготовили главу по агрохимической характеристике почв Новосибирской области в соответствии со схемой почвенного районирования (Ковалев и др., 1968б). Общую характеристику почвенного покрова Западной Сибири написали Р.В. Ковалев и С.С. Трофимов (1968в), главу о почвах Горно-Алтайской автономной области подготовили Р.В. Ковалев, В.И. Волковинцер и В.А. Хмелев (Ковалев и др., 1968а), почвы Кемеровской области описал С.С. Трофимов (1968); остальные главы подготовили сотрудники вузов Западной Сибири. В данной монографии были обобщены все имеющиеся на тот момент материалы почвенно-агрохимических исследований пахотных и перспективных для освоения почв южной части Западной Сибири, а также результаты по эффективности применения удобрений на разных типах почв.

В 1968 г. на базе Отдела почвоведения Биологического института СО АН СССР с уже сложившейся структурой и коллективом исследователей создан **Институт почвоведения и агрохимии СО АН СССР**, организатором которого и первым директором был д-р с.-х. наук Р.В. Ковалев. В последующем Институт возглавляли: чл.-кор. РАН И.М. Гаджиев – 1986–2006 гг., д-р биол. наук К.С. Байков – 2006–2015 гг., д-р биол. наук А.И. Сысо – 2015–2019 гг., д-р биол. наук В.А. Андроханов – с 2019 г. по настоящее время. История развития агрохимических исследований в Институте более подробно представлена в статье И.Я. Масловой, В.Н. Якименко (2014), в сборнике научных трудов Всероссийской конференции «Почвы и окружающая среда» (Гамзиков, 2023; Якименко, 2023) и на сайте Института в разделе «Агрохимические исследования» (<https://www.issa-siberia.ru/index.php/agrokhimicheskie-issledovaniya>, дата обращения 22.11.2024). В настоящем сообщении приводятся сведения не только по истории развития агрохимического направления в Институте, но и современным научным исследованиям сотрудников действующей лаборатории агрохимии.



Виктор Борисович Ильин

Виктор Борисович Ильин в 1959 г. защитил кандидатскую диссертацию и вскоре под его руководством в составе Отдела почвоведения БИ была организована **лаборатория плодородия почв**, которая стала фундаментом, отправной точкой всех последующих агрохимических (и биогеохимических) исследований в ИПА. С момента её образования началось более углубленное изучение эффективного плодородия основных типов почв. Некоторые результаты этих исследований отражены в сборнике «Плодородие почв Новосибирского Приобья» (1971). С середины 60-х годов в лаборатории плодородия почв стали активно проводиться исследования по изучению содержания и распределения микроэлементов в природных объектах; это научное направление активно развивал В.Б. Ильин (1968, 1969, 1972, 1985, 1988; Медь, марганец ..., 1971; и др.). В 1970 г. он защитил докторскую диссертацию «Биогеохимия и агрохимия микроэлементов (Mn, Cu, Mo, V) в южной части Западной Сибири» (Ильин, 1970) и опубликовал свой труд в виде монографии (Ильин, 1973). В 1972 г. лаборатория плодородия почв ИПА закономерно трансформировалась в **лабораторию биогеохимии и агрохимии микроэлементов**, которой В.Б. Ильин заведовал до 1995 г.

В связи с изменением научного направления лаборатории плодородия почв, в Институте возникла необходимость создания структурного подразделения, занимающегося проблемами классической агрохимии. В апреле 1972 г. из лаборатории плодородия почв был выделен **кабинет агрохимии**, куда вошли сотрудники, проводившие исследования почвенного плодородия и эффективности применения удобрений – И.Я. Маслова, Л.А. Сухина, Л.П. Антипина, В.М. Назарюк, А.Я. Хромов, Р.П. Макарикова, А.С. Прозоров и др. Кабинет агрохимии возглавила **Любовь Павловна Антипина**, занимающаяся исследованиями фосфатного режима почв Сибири (Антипина, 1971; 1974; и др.). Однако через некоторое время она перешла на работу в СО ВАСХНИЛ, где провела районирование почв Западной Сибири по запасам и качественному составу фосфатного фонда, установила факторы, определяющие поведение фосфора в почвах (Антипина, 1976, 1978; Антипина и др., 1988; и др.).



Израиль Абрамович Куперман

В мае 1974 г. кабинет агрохимии был преобразован в **лабораторию агрохимии почв**, которую возглавил **Израиль Абрамович Куперман**, перешедший в неё с супругой (Е.В. Хитрово) и рядом сотрудников из лаборатории физиологии растений. Под руководством И.А. Купермана исследования в лаборатории агрохимии почв стали иметь не только практическое, но и теоретическое значение (Куперман, Хитрово, 1980, 1982, 1984; и др.). В 1984 г. Израиль Абрамович защитил докторскую диссертацию «Минеральное питание, дыхание и продуктивность растений» (Куперман, 1984). Обобщение и систематизация И.А. Куперманом многочисленных литературных данных и результатов, полученных агрохимиками ИПА, были представлены в публикации «Принципы построения систем удобрений агроценозов» (Куперман, 1990). В октябре 1979 г. лаборатория агрохимии почв была переименована в **лабораторию минерального питания растений**, которой И.А. Куперман заведовал до 1987 г.



Владимир Митрофанович Назарюк

С 1990 по 2015 гг. лабораторию минерального питания растений (а впоследствии, агрохимии) возглавлял **Владимир Митрофанович Назарюк**, длительные исследования которого посвящены изучению специфики баланса и трансформации азота в агроэкосистемах (Назарюк, 1989, 2002; и др.). После окончания в 1971 г. Кишиневского госуниверситета по специальности почвоведение и агрохимия, Владимир Митрофанович поступил на работу в лабораторию плодородия почв ИПА, где прошёл путь от старшего лаборанта до заведующего лабораторией и главного научного сотрудника. В 1980 г. он защитил кандидатскую диссертацию (Назарюк, 1980), а в 1991 г. – докторскую «Азот в системе почва-удобрение-растение при возделывании овощных культур и картофеля в Западной Сибири» (Назарюк, 1991). В работах В.М. Назарюка значительное внимание уделено изучению поведения азота в системе почва-растение-удобрение, специфике азотмобилизующей способности выращиваемых культур в зависимости от свойств почв, особенностей климата и генотипа растений (Назарюк и др., 2001, 2002; Сидорова и др., 2006; Назарюк, Калимуллина, 2011; и др.).

Отдельно следует отметить, что в 1972 г. в лесостепной зоне Новосибирского Приобья был организован комплексный научно-исследовательский **станционар «Искитимский»** (рис. 1), где в разные годы успешно проводили агрохимические исследования многие сотрудники ИПА. На Искитимском стационаре был заложен многолетний опыт в 8-польном севообороте с целью мониторинга плодородия почв и разработки приёмов его сохранения посредством научно обоснованной системы применения удобрений. Активное участие в этих исследованиях принимали канд. с.-х. наук **А.Я. Хромов** и канд. биол. наук **А.С. Прозоров**. В 1977–1987 гг. на стационаре работал **И.Н. Шарков**, исследуя процессы минерализации органического вещества почвы, баланс углерода в пахотных почвах и причины появления «экстра»-азота при применении азотных удобрений. Длительные опыты на Искитимском стационаре проводила д-р биол. наук **И.Я. Маслова**, занимаясь исследованиями по малоизученной не только в Сибири, но и в России в целом теме – агрохимии серы (Маслова, 1989, 1993, 1995, 2008; Маслова, Якушева, 2017; и др.). Здесь закладывали и проводили многолетние эксперименты **В.М. Назарюк, Ф.Р. Калимуллина, М.И. Кленова, О.П. Якутина, Л.А. Игнатьев** и др. На Искитимском стационаре с 1988 г. по настоящее время **В.Н. Якименко** проводит исследования, посвящённые решению ряда актуальных проблем агрохимии калия (Якименко, 2015, 2019; и др.). Долгие годы он является начальником стационара, координируя проведение экспедиционно-полевых исследований и решение организационно-хозяйственных вопросов, приложив немало усилий по сохранению существования этой научной базы ИПА СО РАН.



Рисунок 1. Научно-исследовательский стационар ИПА СО РАН «Искитимский». Фото В.Н. Якименко.

Сотрудники ИПА с 1977 г. на протяжении ряда лет принимали участие в комплексных исследованиях по изучению возможности эффективного использования продуктов переработки ультракалийевых алюмосиликатных руд Сыннырского массива месторождений (сынныритов), расположенных в зоне БАМ. Работа выполнялась по Заданию ГКНТ и Госплана СССР, в ней участвовали представители около 10 научных организаций, принадлежащих различным ведомствам. В агрохимической части этого проекта было показано, что продукты переработки сынныритов могут успешно использоваться в качестве бесхлорных калийных удобрений (Яковлев, Маслова, 1985; Яковлев и др., 1987, 1990).

Результаты исследований эффективности органических и минеральных удобрений в различных регионах Сибири и зоне БАМ, выполненных агрохимиками ИПА, как самостоятельно, так и совместно с другими организациями, активно внедрялись в агропроизводство и использовались для разработки практических рекомендаций (Рекомендации по развитию ..., 1979; Назарюк, 1986; Технология возделывания ..., 1988; Пути снижения ..., 1989; Органо-минеральное ..., 1990; и др.).

В 1979 г. в ИПА СО АН СССР было создано ещё одно подразделение агрохимического направления – **лаборатория питательного режима почв и трансформации удобрений**.



Геннадий Павлович Гамзиков

Геннадия Павловича Гамзикова, организовавшего и возглавлявшего лабораторию питательного режима почв и трансформации удобрений ИПА с 1979 по 1988 гг., отличает многоплановость проводимых исследований, однако особое внимание он уделил решению проблемы азота в сибирском земледелии, изучению биоцикла азота в системе почва-удобрение-растение (Гамзиков, 2013, 2018; и др.). Геннадий Павлович установил ряд особенностей азотного фонда пахотных почв Западной Сибири, обусловленных своеобразием биоклиматических условий, защитил по данной теме докторскую диссертацию (Гамзиков, 1978) и опубликовал монографию «Азот в земледелии Западной Сибири» (Гамзиков, 1981). В совместных исследованиях с коллегами Г.П. Гамзиков выявил географические и агротехнические закономерности действия азотных удобрений в различных почвенно-климатических зонах Западной Сибири, разработал картосхему азотного фонда и эффективности азотных удобрений, предложил пути регулирования баланса азота в агроценозах (Гамзиков и др., 1983, 1984, 1985; Агрохимический свойства ..., 1989; и др.).

По инициативе и под руководством Г.П. Гамзикова в 1979–1980 гг. в Новосибирской области был создан полевой научный **стационар «Ордынский»**, на котором функционировала оросительная система, позволяющая проводить исследования эффективности применения удобрений при разных нормах полива. Ряд интересных научных работ был выполнен на **Нарымской опытной станции** в Томской области в многолетнем опыте с удобрениями, заложенном в 1948 г. Сотрудники лаборатории питательного режима почв и трансформации удобрений активно использовали вегетационный домик ИПА для проведения вегетационных и модельных опытов, в том числе с меченым изотопом ^{15}N (Гамзиков, 2023).

В 1988–1992 гг. лабораторией питательного режима почв и трансформации удобрений ИПА руководил **Анатолий Павлович Лешков**, долгие годы возглавлявший Барнаульскую агрохимическую лабораторию. Он вёл активную работу, наряду с Г.П. Гамзиковым, по созданию Ордынского стационара и эффективной организации проводимых на нём агрохимических опытов. Исследования А.П. Лешкова были направлены на разработку рекомендаций по применению азотных удобрений, повышению продукционного процесса растений и сохранению плодородия почв в системе орошаемых агроценозов (Нитраты ..., 1991; и др.).



Павел Анатольевич Барсуков

С 1992 по 1997 гг. лабораторией питательного режима почв и трансформации удобрений ИПА заведовал **Павел Анатольевич Барсуков**, защитивший в 1991 г. кандидатскую диссертацию «Влияние длительного применения удобрений на баланс и трансформацию азота в дерново-подзолистой почве» (Барсуков, 1991). Совместно с коллегами Павел Анатольевич проводил исследования по влиянию минеральных удобрений и способов обработки почвы на продуктивность сельскохозяйственных культур, баланс и динамику азота и фосфора, их содержание в почвах и растениях, запасы почвенного углерода (Барсуков, 1995, 1998; Гамзиков, Барсуков, 1997; Макарикова, Барсуков, 1998; Барсуков, Андрианова, 2001; Барсуков, Гамзиков, 2003; Гамзиков и др., 2007; и др.); изучал специфику циклов углерода и азота в почвах тундровых экосистем арктических регионов Сибири (Biasi et al., 2005; Meyer et al., 2006; Wild et al., 2014; и др.). В настоящее время П.А. Барсуков работает ведущим научным сотрудником лаборатории агрохимии.

Сотрудники лаборатории питательного режима почв и трансформации удобрений ИПА – **Г.П. Гамзиков, О.И. Гамзикова, П.С. Широких, Р.П. Макарикова, А.П. Лешков, П.А. Барсуков, В.С. Барсукова, М.Н. Кулагина** и др. внесли большой вклад в изучение важных вопросов агрохимии.

В 1997 г. в результате объединения лаборатории питательного режима почв и трансформации удобрений с лабораторией минерального питания растений была образована **лаборатория агрохимии**, успешно работающая в ИПА СО РАН в настоящее время.



Владимир Николаевич Якименко

С 2015 г. лабораторией агрохимии руководит **Владимир Николаевич Якименко**. После окончания в 1979 г. Томского госуниверситета по специальности почвоведение и агрохимия, он был направлен по распределению в ИПА на должность стажёра-исследователя. В 1982 г. перешёл на работу в Новосибирский сельскохозяйственный институт, где в 1987 г. защитил кандидатскую диссертацию «Разработка технологии выращивания огурца на торфяных субстратах в плёночных теплицах зоны БАМ» по специальностям агрохимия и овощеводство. С 1988 г. работает в ИПА, проводя разноплановые эколого-агрохимические исследования, посвященные, главным образом, калийному статусу зональных почв Западной Сибири; по данной тематике в 2004 г. защитил докторскую диссертацию (Якименко, 2003а), в которой разработал системный подход к оценке и регулированию режима калия в агроценозах, исследовал процессы трансформации калийного состояния пахотных почв (Якименко, 2021; 2023; 2024; и др.), предложил градации обеспеченности почв калием (Якименко, 2003б; 2018; и др.).

Кроме того, В.Н. Якименко совместно с коллегами в длительных исследованиях установил закономерности изменения почвенных фондов подвижных форм фосфора, серы, магния, галогенов и тяжёлых металлов в зависимости от интенсивности антропогенной нагрузки на агроценоз.

Значительный интерес представляют результаты исследований многих сотрудников лаборатории агрохимии, работавших в ИПА СО РАН в разные годы.



Иван Николаевич Шарков

Иван Николаевич Шарков поступил на должность инженера в лабораторию агрохимии ИПА в 1977 г. после окончания Воронежского госуниверситета по специальности агрохимия и почвоведение; в 1986 г. защитил кандидатскую диссертацию (Шарков, 1986). В 1987 г. Иван Николаевич перешёл на работу в Сибирский НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства СО ВАСХНИЛ, где прошёл путь от заведующего лабораторией плодородия почв до руководителя организации. В 1997 г. он защитил докторскую диссертацию «Минерализация и баланс органического вещества в почвах агроценозов Западной Сибири» (Шарков, 1997). С 2022 г. работает ведущим научным сотрудником лаборатории агрохимии ИПА. Область научных интересов И.Н. Шаркова – разработка теоретических, научно-методических и прикладных аспектов проблемы управления почвенным плодородием с целью повышения урожайности культур и эффективности агротехнологий в сибирском регионе.

И.Н. Шарковым разработан комплексный подход к воспроизводству гумуса в почвах агроценозов (Шарков, 2003, 2011; и др.); вскрыты причинно-следственные связи, обуславливающие стабилизацию запасов гумуса в старопахотных чернозёмах при изменении поступления в них растительных остатков (Шарков, 2009; Шарков и др., 2014; и др.); выявлены закономерности процессов превращения углерода и азота в почвах Сибири (Шарков, 2016, 2017; Шарков и др., 2023; и др.).



Наталья Борисовна Наумова

Исследования ведущего научного сотрудника **Натальи Борисовны Наумовой** посвящены изучению химических и микробиологических свойств почв сельскохозяйственных и лесохозяйственных экосистем, в том числе биоразнообразия микробных сообществ и специфики свойств ризосферы растений (Наумова, 2005; Наумова и др., 2018, 2019; и др.). В 1986 г. Наталья Борисовна защитила кандидатскую диссертацию «Биомасса микроорганизмов в почвах естественных, сельскохозяйственных и техногенных экосистем Сибири» (Наумова, 1990). В последние несколько лет, в связи с повышением доступности методов высокопроизводительного секвенирования, Н.Б. Наумова совместно с коллегами активно занимается изучением состава и структуры сообществ почвенных микроорганизмов в разных агроэкологических контекстах с помощью метода метабаркодирования по генам 16S рРНК (бактерии) и ITS (грибы, другие микроскопические эукариоты).

Проведено сравнительное изучение почвенного микробиома в агроценозах пшеницы при традиционной и нулевой обработке почвы; выявлено 23 типа, 87 классов и 4100 операционных таксономических единиц (ОТЕ, аналог вида) бактерий (Naumova et al., 2022a, 2023a, 2023b). При изучении микробиома и функционального потенциала ризосферы овощных культур (тыквенные, бобовые), выращиваемых в условиях защищённого грунта, обнаружено 20 типов бактерий, среди которых доминировали *Proteobacteria* (32% от общего числа последовательностей), *Acidobacteria* (23%) и *Actinobacteria* (18%); среди огромного числа (до 5000) выявленных ОТЕ в каждом образце, доминировали представители семейства *Bradyrhizobiaceae*, т.е. азотфиксаторы (Naumova et al., 2020, 2022b).



Ольга Петровна Якутина

Научные интересы старшего научного сотрудника **Ольги Петровны Якутиной** связаны с изучением плодородия почв Западной Сибири и изменения их свойств под влиянием водной эрозии, а также экологических аспектов эрозионных процессов. Большое внимание в её работах уделено фосфору как одному из ключевых элементов питания растений и, в частности, содержанию почвенных фосфатов и структуре фосфатного фонда основных типов почв Западной Сибири (Якутина, 2001, 2004а; и др.). Ольгой Петровной исследована трансформация различных форм фосфорных удобрений, выявлена сравнительная эффективность суперфосфата и фосфоритной муки сибирских месторождений (Якутина, 1998; и др.); в 2004 г. защищена кандидатская диссертация «Фонд минеральных фосфатов почв Присаляирья и эффективность фосфорных удобрений» (Якутина, 2004б).

Значительное внимание в исследованиях О.П. Якутиной уделено вопросам, связанным с потерями элементов питания растений с поверхностным стоком талых вод на расчленённых территориях юга Западной Сибири, изучению селективной аккумуляции продуктов выноса в пределах эрозионной катены, оценке содержания фосфора в природных водах (Якутина, 2014; Якутина и др., 2009; Yakutina, 2011; и др.). В проведённых совместно с коллегами исследованиях показано изменение структуры фонда азота, фосфора и калия под влиянием водной эрозии, а также в стадии постэрозионного восстановления почв (Якутина, Нечаева, 2019; Якутина, 2020; Yakutina et al., 2015; и др.); установлена обеспеченность элементами питания яровой пшеницы и бобовых трав, выращенных на почвах склоновых агроландшафтов в лесостепной зоне Западной Сибири (Якутина и др., 2018; Якутина и др., 2020; и др.).



Флюра Рахматуллаевна Калимуллина

Научная деятельность старшего научного сотрудника, кандидата биологических наук **Флюры Рахматуллаевны Калимуллиной** посвящена таким вопросам агрохимии как плодородие почв и его сохранение при применении минеральных удобрений и растительных остатков (Назарюк, Калимуллина, 2018; 2023; и др.). Многолетние исследования, проведённые совместно с В.М. Назарюком, направлены на изучение физиолого-агрохимических особенностей разных симбиотических генотипов гороха и их влияние на азотный режим почв (Назарюк и др., 2006; 2007б; и др.). По этой теме совместно с сотрудниками Института цитологии и генетики СО РАН выполнен интеграционный проект «Разработка генетических, селекционных и эколого-агрохимических основ бобово-ризобияльного симбиоза». Исследован вклад азота микробной биомассы как источника образования минеральных форм азота, доступных растениям (Назарюк, Калимуллина, 2017). Значительное внимание уделено изучению состояния эродированных лугово-чернозёмных почв Западной Сибири (Назарюк, Калимуллина 2019; 2021). Проведены эколого-агрохимические исследования действия удобрений при загрязнении почв нефтью и тяжёлыми металлами (Назарюк и др., 2007а; Назарюк, Калимуллина, 2020; и др.).



Наталья Валентиновна Смирнова

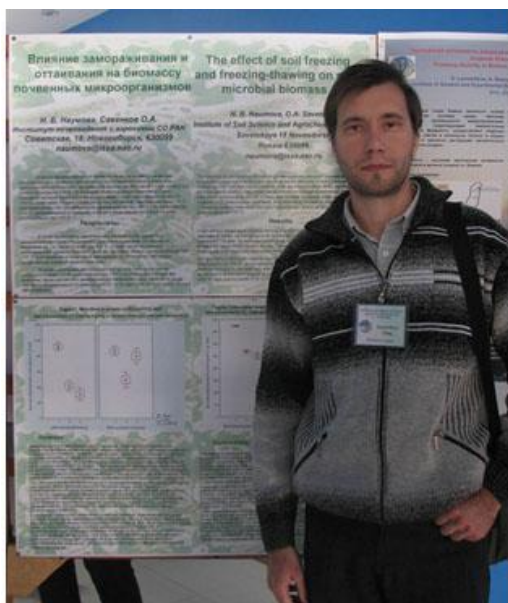
Научные интересы старшего научного сотрудника **Натальи Валентиновны Смирновой** связаны с биогеохимией азота и углерода в системе почва-растения-атмосфера, оценкой «дыхания» почв природных и антропогенно-преобразованных земель. В 2005 г. она защитила кандидатскую диссертацию «Азот в агроценозах на эродированном черноземе лесостепной зоны Западной Сибири» (Смирнова, 2005). Совместно с коллегами Наталья Валентиновна провела крупномасштабные исследования активности углеродного и азотного пулов почв под действием различных факторов, включая сельскохозяйственную нагрузку, водную эрозию и др. (Назарюк и др., 2005; Нечаева и др., 2020б; Demyan et al., 2013; Smirnova et al., 2014; Yakutina et al., 2015; и др.). В последние годы Н.В. Смирнова является руководителем исследовательской группы, объединяющей специалистов ИПА СО РАН и партнёрских организаций для решения задач оптимизации и управления минеральным питанием различных культур, фотобиологии и фотоморфогенеза растений, выращиваемых в контролируемых условиях защищённого грунта (Смирнова и др., 2023; Sokolova et al., 2024; Voronina et al., 2024; и др.).

Н.В. Смирнова является активным популяризатором науки, автором программ дополнительного образования для школьников и студентов с целью привлечения молодых кадров в науку, а также организатором и научным экспертом конкурсов, олимпиад и сетевых проектов для школьников и их наставников: «Всероссийский атлас почвенных микроорганизмов, как основа для поиска новых противомикробных продуцентов и ферментов с уникальными свойствами», «Биоинженерные технологии», «Школьники – волонтеры науки».



Таисия Владимировна Нечаева

Таисия Владимировна Нечаева в 2005 г. окончила Томский политехнический университет по специальности «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», в 2011 г. защитила кандидатскую диссертацию «Калий эродированных серых лесных почв Предсалаирья» (Нечаева, 2011). Область научных интересов старшего научного сотрудника Т.В. Нечаевой – рациональное природопользование, плодородие и агроэкология почв разного типа землепользования. Принимала активное участие в научных проектах по изучению поглотительной способности различных видов угля (Нечаева, Соколов, 2019; и др.), специфике разложения опада берёзы на фоне выщелачивания и засоления (Нечаева и др., 2022), хозяйственного значения клевера паннонского (Нечаева и др., 2020в), параметров плодородия почв склоновых агроландшафтов на юге Западной Сибири (Нечаева и др., 2019а; 2019б; Нечаева, 2022; и др.). В настоящее время занимается изучением агрохимического статуса почв залежных земель, выведенных из активного сельскохозяйственного оборота (Нечаева, Добрянская, 2020а; Нечаева, 2023; Нечаева, Смоленцева, 2024; и др.).



Олег Александрович Савенков

Олег Александрович Савенков пришёл на работу в лабораторию агрохимии ИПА СО РАН в 1997 г. после окончания Новосибирского ГАУ по специальности агрономия; в 2004 г. защитил кандидатскую диссертацию «Основные параметры цикла азота и их моделирование в агроценозах северной лесостепи Западной Сибири» (Савенков, 2004). Область научных интересов научного сотрудника О.А. Савенкова – круговорот углерода и азота в агроэкосистемах Западной Сибири, почвенная и растительная диагностика в отношении макро- и микроэлементов, рациональное природопользование. В настоящее время в сотрудничестве с коллегами О.А. Савенков изучает ризосферный и почвенный микробиом основных сельскохозяйственных культур в разнообразных агрономических контекстах, а также занимается вопросами фотоморфогенеза и оптимизации минерального питания растений, выращиваемых в контролируемых условиях микроклимата (Назарюк и др., 2004; Наумова и др., 2021, 2023; Смирнова и др., 2023; Naumova et al., 2019; и др.).

Большое внимание в работе лаборатории агрохимии уделяется агрохимическому обследованию сельскохозяйственных угодий. Особые успехи в этом направлении имеет группа под руководством ведущего научного сотрудника, канд. биол. наук **П.А. Барсукова**, включавшая в разные годы от 5 до 9 сотрудников; в их числе канд. биол. наук **А.Г. Башук**, канд. биол. наук **П.А. Никитич (Трусова)**, **О.А. Русалимова**, **А.А. Крылова** (рис. 2). Большой исследовательский опыт и профессиональные компетенции позволяют сотрудникам группы выполнять различные научные, поисковые и прикладные проекты, касающиеся как сельскохозяйственных, так и естественных экосистем, расположенных от степной и лесостепной зон Западной Сибири до арктических областей (Achat et al., 2013; Kayler et al., 2018; Brédoire et al., 2019; и др.).

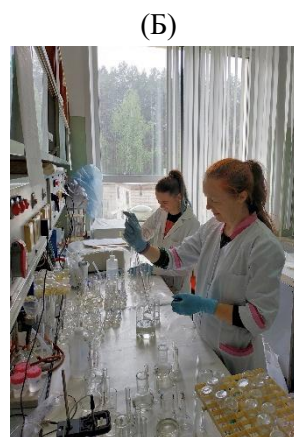


Рисунок 2. Сотрудники лаборатории агрохимии ИПА СО РАН: (А) – А.Г. Башук (слева) и П.А. Барсуков (справа); (Б) – О.А. Русалимова (на переднем плане) и А.А. Крылова. Фото П.А. Барсукова.

В последние годы сотрудники группы выполняют прикладные исследования в агроэкосистемах южной части Западной Сибири, направленные на оценку плодородия почв, их диагностику и расчёт доз удобрений под урожай будущего года. Эти работы проводятся на основе патентов РФ, полученных в 2000-е годы (Барсуков, 2003; Макарикова, Барсуков, 2005) и совершенствование которых продолжается в настоящее время (Оленченко и др., 2018; Барсуков и др., 2020; Барсуков, Ызаканов, 2022; Lyubechanskii et al., 2023).

Достижения учёных-агрохимиков ИПА СО РАН в немалой степени обеспечены высококвалифицированной работой инженеров-аналитиков (рис. 3), как работавших ранее, так и в настоящее время: Марии Даниловны Суховерховой, Надежды Георгиевны Сергеенковой, Татьяны Георгиевны Якушевой, Натальи Тимофеевны Владимировой, Надежды Николаевны Шматухиной, Светланы Борисовны Дроздовой, Галины Александровны Бугровской, Ксении Александровны Кирилловой и др. Своим многолетним и качественным трудом по всестороннему анализу почвенных и растительных образцов они внесли весомый вклад в получение важных научных результатов.



Рисунок 3. Инженеры-аналитики лаборатории агрохимии ИПА СО РАН: слева направо сидят – Н.Т. Владимирова, Т.Г. Якушева, стоят – К.А. Кириллова, Г.А. Бугровская. Фото В.Н. Якименко.

Кроме всего прочего, важно сказать, что в 2017 г. инициативная группа сотрудников ИПА провела большую работу по созданию, а в последующие годы – функционированию научного электронного журнала «Почвы и окружающая среда» (<https://soils-journal.ru/>), входящему в настоящее время в «Перечень ...» ВАК РФ. Самая активная, определяющая роль в этом процессе принадлежит сотрудникам лаборатории агрохимии: Н.Б. Наумовой (заведующая редакцией), Т.В. Нечаевой (ответственный секретарь) и В.Н. Якименко (заместитель главного редактора, научный редактор), которые своим энтузиазмом и профессионализмом обеспечивают эффективную и устойчивую редакционно-издательскую деятельность.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Публикация подготовлена в рамках государственного задания Института почвоведения и агрохимии СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

- Агрохимическая характеристика почв СССР (районы Западной Сибири) / А.В. Соколов, Р.В. Ковалев, С.С. Трофимов (отв. ред.). Москва: Наука, 1968. Том 9. 381 с.
- Агрохимические свойства почв и эффективность удобрений / Гамзиков Г.П., Ильин В.Б., Назарюк В.М. и др. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1989. 254 с.
- Антипина Л.П. Превращение фосфорных удобрений в черноземах и серых лесных почвах Тюменской области // Агрохимия. 1971. № 7. С. 36–44.
- Антипина Л.П. Фосфатный режим черноземов разной степени окультуренности // Агрохимия. 1974. № 8. С. 39–47.
- Антипина Л.П. Характеристика фосфатного режима почв Сибири с помощью агрохимических методов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 1976. № 4. С. 1–8.
- Антипина Л.П. Фракционный состав минеральных фосфатов в черноземах Сибири // Агрохимия. 1978. № 1. С. 32–40.

- Антипина Л.П., Пашкович М.К., Малыгина Л.П. Фосфор в почвенном покрове Западной Сибири // *Агрохимия*. 1988. № 5. С. 20–28.
- Барсуков П.А. Влияние длительного применения удобрений на баланс и трансформацию азота в дерново-подзолистой почве. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1991. 17 с.
- Барсуков П.А. Последствия применения удобрений для окружающей среды (в условиях таежной зоны Западной Сибири) // *Сибирский экологический журнал*. 1995. Том 2. № 1. С. 73–87.
- Барсуков П.А. Влияние предшествующего применения удобрений на цикл азота в почве // *Почвоведение*. 1998. № 10. С. 1240–1249.
- Барсуков П.А. Способ определения потребности сельскохозяйственной культуры в азотном удобрении // Патент на изобретение № RU 2202108 С2. Москва, 2003.
- Барсуков П.А., Андрианова Н.Г. Баланс азота удобрений в орошаемых агроэкосистемах лесостепной зоны Западной Сибири // *Почвоведение*. 2001. № 10. С. 1268–1274.
- Барсуков П.А., Гамзиков Г.П. Трансформация и использование в последствии закрепленного азота (^{15}N) в зависимости от предшествующей удобренности дерново-подзолистой почвы // *Агрохимия*. 2003. № 7. С. 5–10.
- Барсуков П.А., Смоленцев Н.Б., Русалимова, О.А. Оценка доступного растениям калия в суглинистых почвах при экстракции 0,1М раствором сульфата магния // *Почвы и окружающая среда*. 2020. Том 3. № 1. e114. <https://doi.org/10.31251/pos.v3i1.114>
- Барсуков П.А., Ызаканов Т.Ж. Расчет потерь органического углерода из почв на примере лесостепи Западной Сибири // *Известия ВУЗов Кыргызстана*. 2022. № 6. С. 123–130. <https://doi.org/10.26104/IVK.2022.45.557>
- Вопросы освоения целинных и залежных земель Западной Сибири / Р.В. Ковалев (отв. ред.); АН СССР. Западно-Сибирский филиал // *Труды Биологического института*. Вып. 3. Новосибирск, 1957. 253 с.
- Вопросы орошения сельскохозяйственных культур в Кулундинской степи / Н.С. Петин (отв. ред.); АН СССР. Западно-Сибирский филиал // *Труды Биологического института*. Вып. 4. Новосибирск, 1959. 160 с.
- Гамзиков Г.П. Азотный фонд почв Западной Сибири и эффективность азотных удобрений. Автореферат диссертации ... д-р биол. наук. Новосибирск, 1978. 40 с.
- Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. Москва: Наука, 1981. 267 с.
- Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: Издательство ИИЦ ГНУ СибНСХБ Россельхозакадемии, 2013. 790 с.
- Гамзиков Г.П. Почвенная диагностика азотного питания растений и применения азотных удобрений в севооборотах // *Плодородие*. 2018. № 1(100). С. 8–14.
- 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. <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>
- Гамзиков Г.П., Барсуков П.А. Баланс азота при длительном применении удобрений в агроценозах на дерново-подзолистой почве // *Агрохимия*. 1997. № 9. С. 5–10.
- Гамзиков Г.П., Барсуков П.А., Варвайн О.Д. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2007. № 5. С. 28–31.
- Гамзиков Г.П., Кочергин А.Е., Крупкин П.И., Чуканов В.И. Рекомендации по диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений. Новосибирск, 1983. 30 с.
- Гамзиков Г.П., Кострик Г.И., Емельянова В.Н. Баланс и превращение азота удобрений. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1985. 161 с.
- Гамзиков Г.П., Мурин В.Н., Салмин Л.Н., Лешков А.П. Рекомендации по применению азотных удобрений в земледелии Новосибирской области. Новосибирск, 1984. 23 с.
- Ильин В.Б. Микроэлементы в почвах южной части Западной Сибири // *Известия Сибирского отделения Академии наук СССР. Серия биологических и медицинских наук*. 1968. № 15–3. С. 40–47.
- Ильин В.Б. К содержанию бора и молибдена в растениях юга Западной Сибири // *Биогеохимия растений: Труды Бурятского института естественных наук*. Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство, 1969. С. 144–150.

- Ильин В.Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов (Mn, Cu, Mo, B) в южной части Западной Сибири. Автореферат диссертации ... д-р биол. наук. Новосибирск, 1970. 53 с.
- Ильин В.Б. Почвенно-агрохимический аспект изучения микроэлементов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 1972. № 6. С. 43–46.
- Ильин В.Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов (Mn, Cu, Mo, B) в южной части Западной Сибири / Р.В. Ковалев (отв. ред.). Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1973. 401 с.
- Ильин В.Б. Элементарный химический состав растений / Утверждено к печати Институтом почвоведения и агрохимии СО АН СССР. Новосибирск: Наука, 1985. 130 с.
- Ильин В.Б. Биогенная и техногенная аккумуляция химических элементов в почве // Почвоведение. 1988. № 7. С. 124–132.
- Ковалев Р.В. Почвы Ленкоранской области. Автореферат диссертации ... д-р с.-х. наук. Новосибирск, 1959. 46 с.
- Ковалев Р.В., Волковинцер В.И., Хмелев В.А. Агрохимическая характеристика почв земледельческих районов Горно-Алтайской автономной области // Агрохимическая характеристика почв СССР. Том 9. Москва: Наука, 1968а. С. 93–117.
- Ковалев Р.В., Зайкова Л.А., Маслова И.Я., Панина М.П., Попов В.М., Рябова Т.Н., Шаповалов В.П. Агрохимическая характеристика почв Новосибирской области // Агрохимическая характеристика почв СССР. Том 9. Москва: Наука, 1968б. С. 169–227.
- Ковалев Р.В., Трофимов С.С. Общая характеристика почвенного покрова Западной Сибири // Агрохимическая характеристика почв СССР. Т. 9. Москва: Наука, 1968в. С. 5–31.
- Куперман И.А. Минеральное питание, дыхание и продуктивность растений. Автореферат диссертации ... д-р биол. наук. Новосибирск, 1984. 37 с.
- Куперман И.А. Принципы построения систем удобрения агроценозов // Проблемы почвоведения в Сибири: Сборник научных трудов / И.М. Гаджиев (отв. редактор). Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1990. С. 74–94.
- Куперман И.А., Хитрово Е.В. Дыхательный газообмен и продуктивность агрофитоценозов // Сельскохозяйственная биология. 1980. Том 15. № 2. С. 278–284.
- Куперман И.А., Хитрово Е.В. Влияние дефицита азота, фосфора и калия на дыхание и продуктивность яровой пшеницы // Агрохимия. 1982. № 7. С. 11–17.
- Куперман И.А., Хитрово Е.В. Калийное питание яровой пшеницы и кукурузы в зависимости от условий освещения // Агрохимия. 1984. № 3. С. 18–27.
- Макарикова Р.П., Барсуков П.А. Изменение фракционного состава фосфора почв Сибири при систематическом применении удобрений // Сибирский экологический журнал. 1998. Том 5. № 6. С. 525–529.
- Макарикова Р.П., Барсуков П.А. Способ диагностики и регулирования фосфорного питания растений. Патент на изобретение № RU 2244922 С2. Москва, 2005.
- Маслова И.Я. Потребление серы яровой пшеницей в процессе формирования урожая // Агрохимия. 1989. № 5. С. 67–73.
- Маслова И.Я. Диагностика и регуляция питания яровой пшеницы серой. Новосибирск: Новосибирский филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Академический научно-издательский и книгораспространительский центр "Наука"», 1993. 124 с.
- Маслова И.Я. Сера в почвах Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 1995. Том 2. № 1. С. 51–59.
- Маслова И.Я. Воздействие содержащих серу аэротехногенных веществ на некоторые агрохимически значимые процессы и свойства почв // Агрохимия. 2008. № 6. С. 80–94.
- Маслова И.Я., Якимекно В.Н. История развития и достижения агрохимических исследований в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН (к 45-летию образования института) // Агрохимия. 2014. № 2. С. 3–12.
- Маслова И.Я., Якушева Т.Г. Сортные особенности накопления и распределения серы в надземной биомассе растений яровой мягкой пшеницы // Агрохимия. 2017. № 12. С. 21–26.
<https://doi.org/10.7868/S0002188117120043>
- Медь, марганец и бор в ландшафтах Барабинской низменности и Новосибирского Приобья / В.Б. Ильин (отв. редактор). Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1971. 212 с.

- Назарюк В.М. Агрохимические аспекты построения системы удобрения овощных культур в Западной Сибири. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1980. 25 с.
- Назарюк В.М. Система удобрения овощных культур и раннего картофеля в Западной Сибири: Рекомендации. Москва: Россельхозиздат, 1986. 38 с.
- Назарюк В.М. Баланс азота удобрений в зависимости от условий азотного питания овощных культур и картофеля // Агрохимия. 1989. № 2. С. 10–16.
- Назарюк В.М. Азот в системе почва-удобрение-растение при возделывании овощных культур и картофеля в Западной Сибири. Автореферат диссертации ... д-р биол. наук. Новосибирск, 1991. 32 с.
- Назарюк В.М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2002. 257 с.
- Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Использование минеральных удобрений и растительных остатков в зерновом севообороте // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2011. № 5. С. 26–28.
- Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Роль азота микробной биомассы в азотном питании растений на почвах лесостепной зоны Западной Сибири // Агрохимия. 2017. № 1. С. 3–11.
- Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Продуктивность растений и баланс углерода в агроэкосистемах при использовании минеральных удобрений и растительных остатков // Проблемы агрохимии и экологии. 2018. № 4. С. 9–14. <https://doi.org/10.26105/AE.2018.4.74.002>
- Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Фосфатное состояние эродированных лугово-черноземных почв и эффективность фосфорных удобрений в условиях Западной Сибири // Агрохимия. 2019. № 6. С. 3–13. <https://doi.org/10.1134/S0002188119060097>
- Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Роль удобрений в азотном питании растений при загрязнении почвы нефтью // Агрохимия. 2020. № 4. С. 76–84. <https://doi.org/10.31857/S0002188120040092>
- Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Распределение форм калия в почвенном профиле эродированных лугово-черноземных почв и их трансформация в агроценозах // Агрохимия. 2021. № 11. С. 16–24. <https://doi.org/10.31857/S0002188121110107>
- Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Калийное состояние почвы и продуктивность культур при внесении минеральных удобрений и растительных остатков // Агрохимия. 2023. № 11. С. 3–10. <https://doi.org/10.31857/S0002188123110108>
- Назарюк В.М., Кленова М.И., Сидорова К.К. Влияние генотипа и условий азотного питания на эффективность бобово-ризобияльного симбиоза // Агрохимия. 2001. № 4. С. 16–21.
- Назарюк В.М., Кленова М.И., Калимуллина Ф.Р. Эколого-агрохимические подходы к проблеме нитратного загрязнения в агроэкосистемах // Экология. 2002. № 6. С. 416–421.
- Назарюк В.М., Кленова М.И., Калимуллина Ф.Р. Роль минерального питания в повышении продуктивности растений и регулировании пищевого режима почвы, загрязненной нефтью // Агрохимия. 2007а. № 7. С. 64–73.
- Назарюк В.М., Савенков О.А., Смирнова Н.В. Обоснование и оценка параметров плодородия почв и продуктивности растений для моделирования цикла азота в агроэкосистемах // Сибирский экологический журнал. 2004. Том 11. № 3. С. 391–401.
- Назарюк В.М., Сидорова К.К., Шумный В.К., Калимуллина Ф.Р., Кленова М.И. Физиологические и агрохимические особенности разных симбиотических генотипов гороха (*Pisum Sativum* L.) // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2006. № 6. С. 688–697.
- Назарюк В.М., Сидорова К.К., Шумный В.К., Калимуллина Ф.Р., Кленова М.И. Азотный режим почв различных генотипов макросимбионта // Почвоведение. 2007б. № 2. С. 189–196.
- Назарюк В.М., Смирнова Н.В., Савенков О.А. Эффективность азотных удобрений при различной обработке и эродированности черноземов Западной Сибири // Агрохимия. 2005. № 4. С. 10–15.
- Наумова Н.Б. Биомасса микроорганизмов в почвах естественных, сельскохозяйственных и техногенных экосистем Сибири. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1990. 18 с.
- Наумова Н.Б. Биомасса и активность почвенных микроорганизмов после низового пожара в сосновом лесу // Почвоведение. 2005. № 8. С. 984–987.
- Наумова Н.Б., Аликина Т.Ю., Кузнецова Г.В. Биоразнообразие бактериальных ансамблей в бурозёме элювиированном под сосной корейской // Почвы и окружающая среда. 2018. Том 1. № 3. С. 151–169. <https://doi.org/10.31251/pos.v1i3.31>

- Наумова Н.Б., Беланов И.П., Аликина Т.Ю. Таксономическое разнообразие бактериального ансамбля в эмбриоземе самозарастающего золоотвала // Почвы и окружающая среда. 2019. Том 2. № 3. с84. <https://doi.org/10.31251/pos.v2i3.84>
- Наумова Н.Б., Беланов И.П., Савенков О.А., Степанова М.В., Щемелева Г.В., Батурина О.А., Кабилов М.Р. Почвенный и ризосферный бактериобиом пшеницы при комбинировании гуматов и золы уноса // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 3. с218. <https://doi.org/10.31251/pos.v6i3.218>
- Наумова Н.Б., Ручко Е.Н., Савенков О.А., Плешакова В.И. Микробиом почвы и сельскохозяйственных культур при внесении компоста куриного помета // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 1. с141. <https://doi.org/10.31251/pos.v4i1.141>
- Нечаева Т.В. Калий эродированных серых лесных почв Предсалаирья. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2011. 19 с.
- Нечаева Т.В. Изменение плодородия почв склонового агроландшафта в лесостепи Западной Сибири // Плодородие. 2022. № 6(129). С. 41–45. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.129.11>
- Нечаева Т.В. Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор) // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 2. С. с215. <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>
- Нечаева Т.В., Гопп Н.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В. Калийное состояние почв склонового агроландшафта на юго-востоке Западной Сибири // Земледелие. 2019а. № 1. С. 10–14. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10103>
- Нечаева Т.В., Гопп Н.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В. Магний в почвах и растениях в условиях склонового агроландшафта на юго-востоке Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2019б. Том 2. № 4. с91. <https://doi.org/10.31251/pos.v2i4.91>
- Нечаева Т.В., Добрянская С.Л. Калийфиксирующая способность и состав обменных катионов постагрогенного чернозема // Плодородие. 2020а. № 4(115). С. 24–28. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.115.07>
- Нечаева Т.В., Смирнова Н.В., Худяев С.А., Любечанский И.И. Изменение элементного химического состава опада березы повислой (*Betula pendula*) при разложении на фоне выщелачивания и засоления в лабораторном эксперименте // Почвы и окружающая среда. 2020б. Том 3. № 4. с130. <https://doi.org/10.31251/pos.v3i4.130>
- Нечаева Т.В., Смирнова Н.В., Худяев С.А., Любечанский И.И. Разложение опада березы повислой на фоне выщелачивания и засоления в лабораторном эксперименте // Лесоведение. 2022. № 5. С. 580–592. <https://doi.org/10.31857/S0024114822050035>
- Нечаева Т.В., Смоленцева Е.Н. Сравнительная характеристика свойств и агрохимического статуса почв разного типа землепользования в лесостепи Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 3. с281. <https://doi.org/10.31251/pos.v7i3.281>
- Нечаева Т.В., Соколов Д.А. Поглотительная способность и состав обменных катионов различных видов угля // Химия в интересах устойчивого развития. 2019. Том. 27. № 6. С. 618–624. <https://doi.org/10.15372/KhUR2019182>
- Нечаева Т.В., Якутина О.П., Боголюбова Е.В. Клевер паннонский (*Trifolium pannonicum* Jacq.) – перспективная кормовая культура и фитомелиорант (литературный обзор) // Почвы и окружающая среда. 2020в. Том 3. № 1. с115. <https://doi.org/10.31251/pos.v3i1.115>
- Нитраты и качество продуктов растениеводства / А.П. Лешков, В.М. Назарюк, Г.И. Ткаченко и др.; Академия наук СССР; Сибирское отделение; Институт почвоведения и агрохимии. Новосибирск: Новосибирское отделение издательства «Наука», 1991. 168 с.
- Оленченко В.В., Смоленцева Е.Н., Заплавнова А.А., Русалимова О.А., Барсуков П.А. Применение геофизических методов для оценки строения и свойств почв черноземного ряда // Почвы и окружающая среда. 2018. Том 2. № 1. с57. <https://doi.org/10.31251/pos.v2i1.57>
- Органо-минеральное сырье сельскохозяйственного назначения Новосибирской области. Новосибирск: РИО ППО «Печать», 1990. 169 с.
- Плодородие почв Новосибирского Приобья / Р.В. Ковалев, В.Б. Ильин (отв. ред.). Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1971. 188 с.
- Почвы Новосибирской области / Р.В. Ковалев, С.Н. Селяков, И.М. Гаджиев и др. Новосибирск: Новосибирское отделение издательства «Наука», 1966. 422 с.
- Пути снижения содержания нитратов в овощах и картофеле в Сибири / В.М. Назарюк, В.Н. Якименко, А.С. Прозоров и др. Новосибирск: УД Сибирское отделение Академии наук СССР, 1989. 39 с.

Рекомендации по развитию сельскохозяйственного производства в зоне БАМа / Сибирское отделение ВАСХНИЛ. Новосибирск: Сибирское отделение ВАСХНИЛ, 1979. 290 с.

Савенков О.А. Основные параметры цикла азота и их моделирование в агроценозах северной лесостепи Западной Сибири. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2004. 18 с.

Селяков С.Н. Определение запасов водорастворимых солей в засоленных почвах // Почвоведение. 1967. № 7. С. 121–126.

Селяков С.Н. Засоленность почв Кулунды // Кулундинская степь и вопросы ее мелиорации. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1972. С. 110–134.

Селяков С.Н. Вопросы оценки и мелиорации засоленных почв // Проблемы генезиса и мелиорации орошаемых почв. Том 1. Москва, 1973. С. 120–125.

Сидорова К.К., Шумный В.К., Назарюк В.М. Симбиотическая азотфиксация: генетические, селекционные и эколого-агрохимические аспекты. Новосибирск: Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, 2006. 134 с.

Смирнова Н.В. Азот в агроценозах на эродированном черноземе лесостепной зоны Западной Сибири. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2005. 18 с.

Смирнова Н.В., Худяев С.А., Лебедева М.А., Смоленцев Н.Б., Кирпиков А.А., Савенков О.А., Буянова М.Д. Опыт выращивания *Ocimum basilicum* L. на искусственных субстратах на основе торфа, перлита и Циона // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. Том 127. № 1. С. 1–6. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.75>

Технология возделывания овощных культур в зоне БАМа: Рекомендации. Новосибирск: ВАСХНИЛ. Сибирское отделение. СибНИИРС, 1988. 188 с.

Трофимов С.С. Агрохимическая характеристика почв Кемеровской области // Агрохимическая характеристика почв СССР. Том 9. Москва: Наука, 1968. С. 118–168.

Шарков И.Н. Исследование баланса углерода в почве в связи с применением органических и азотных удобрений. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1986. 20 с.

Шарков И.Н. Минерализация и баланс органического вещества в почвах агроценозов Западной Сибири. Автореферат диссертации ... д-р биол. наук. Новосибирск, 1997. 37 с.

Шарков И.Н. Совершенствование концепции воспроизводства органического вещества в почвах зерновых агроценозов Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2003. № 2(148). С. 72–77.

Шарков И.Н. Минимизация обработки и ее влияние на плодородие почвы // Земледелие. 2009. № 3. С. 24–27.

Шарков И.Н. Концепция воспроизводства гумуса в почвах // Агрохимия. 2011. № 12. С. 21–27.

Шарков И.Н. Проблемы интенсификации технологий возделывания зерновых культур в Сибири // Инновации и продовольственная безопасность. 2016. № 1(11). С. 24–32.

Шарков И.Н. Эффективность удобрения яровой пшеницы азотом на черноземе выщелоченном в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2017. № 8. С. 25–31. <https://doi.org/10.7868/S0002188117080038>

Шарков И.Н., Колбин С.А., Васильева Н.В. Возможности интенсификации технологии выращивания яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2023. № 6. С. 3–11. <https://doi.org/10.31857/S0002188123060108>

Шарков И.Н., Самохвалова Л.М., Мишина П.В., Шепелев А.Г. Влияние пожнивных остатков на состав органического вещества чернозема выщелоченного в лесостепи Западной Сибири // Почвоведение. 2014. № 4. С. 473–479. <https://doi.org/10.7868/S0032180X1404008X>

Якименко В.Н. Калий в почвах агроценозов Западной Сибири. Автореферат диссертации ... д-р биол. наук. Новосибирск, 2003а. 32 с.

Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003б. 231 с.

Якименко В.Н. Действие и последствие калийных удобрений в полевом опыте на серой лесной почве // Агрохимия. 2015. № 4. С. 3–12.

Якименко В.Н. Формы калия в почве и методы их определения // Почвы и окружающая среда. 2018. Том 1. № 1. С. 25–31. <https://doi.org/10.31251/pos.v1i1.5>

Якименко В.Н. Баланс калия, урожайность культур и калийное состояние почвы в длительном полевом опыте в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2019. № 10. С. 16–24. <https://doi.org/10.1134/S0002188119100156>

- Якименко В.Н. Взаимовлияние калия и магния при выращивании картофеля на серой лесной почве // *Агрохимия*. 2021. № 6. С. 8–15. <https://doi.org/10.31857/S0002188121050136>
- 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. <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>
- Якименко В.Н. Фиксация калия и магния почвой агроценоза // *Агрохимия*. 2023. № 3. С. 3–11. <https://doi.org/10.31857/S0002188123030134>
- Якименко В.Н. Десорбция калия и магния серой лесной почвой // *Агрохимия*. 2024. № 10. С. 15–22. <https://doi.org/10.31857/S0002188124100028>
- Якименко В.Н. История развития и достижения агрохимических исследований в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН (СО АН СССР) [Электронный ресурс]. URL: <https://issa-siberia.ru/index.php/agrokhimicheskie-issledovaniya> (дата обращения 22.11.2024).
- Яковлев Л.К., Маслова И.Я. Калийное удобрение. Авторское свидетельство SU 1165672 A1 СССР, МПК C05D 1/02. Заявка № 3739290 от 16.05.1984, опубликована 07.07.1985.
- Яковлев Л.К., Данилова Л.Е., Маслова И.Я., Дзикович К.А. Способ получения бесхлорного калийного удобрения. Авторское свидетельство SU 1298199 A1 СССР, МПК C05D 11/00. Заявка № 3844981 от 06.12.1984, опубликована 23.03.1987.
- Яковлев Л.К., Дзикович К.А., Якименко В.Н. Повышение агрохимической эффективности синнритита путем его механической активации // *Аграрно-промышленный комплекс Сибири*. Новосибирск: ВАСХНИЛ. Сибирское отделение, 1990. С. 42–45.
- Якутина О.П. Эколого-агрохимический аспект применения фосфоритной муки сибирских месторождений // *Сибирский экологический журнал*. 1998. Том 5. № 6. С. 531–535.
- Якутина О.П. Динамика фосфатного состояния кислых почв Западной Сибири при внесении фосфорных удобрений // *Агрохимия*. 2001. № 10. С. 11–15.
- Якутина О.П. Изменение фонда минеральных фосфатов почв Присалаирья под влиянием водной эрозии и удобрений // *Сибирский экологический журнал*. 2004а. Том 11. № 3. С. 411–417.
- Якутина О.П. Фонд минеральных фосфатов почв Присалаирья и эффективность фосфорных удобрений. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2004б. 18 с.
- Якутина О.П. Содержание фосфора в жидком стоке талых вод на юге Западной Сибири // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2014. № 1. С. 55–57.
- Якутина О.П. Валовый фосфор в профиле почв и конусах выноса пахотных и залежных участков эрозионно опасного склона на юге Западной Сибири // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2020. № 3. С. 51–55. <https://doi.org/10.26178/AE.2020.20.32.001>
- Якутина О.П., Нечаева Т.В. Постагrogenная трансформация смыто-намытых почв разновозрастных залежей на юге Западной Сибири // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2019. № 4. С. 61–66. <https://doi.org/10.26178/AE.2019.30.72.002>
- Якутина О.П., Нечаева Т.В., Боголюбова Е.В. Обеспеченность элементами питания клевера паннонского (*Trifolium pannonicum* Jacq.) в лесостепи Западной Сибири // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2020. № 6. С. 35–40. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/6/35-40>
- Якутина О.П., Нечаева Т.В., Смирнова Н.В. Плодородие почв склона, структура и качество урожая яровой пшеницы на юге Западной Сибири // *Почвы и окружающая среда*. 2018. Том 1. № 3. С. 126–142. <https://doi.org/10.31251/pos.v1i3.37>
- Якутина О.П., Танасиенко А.А., Чумбаев А.С. Поверхностный сток и миграция основных элементов питания растений в процессе снеготаяния // *Агрохимия*. 2009. № 2. С. 66–70.
- Achat D.L., Bakker M.R., Augusto L., Derrien D., Gallegos N., Lashchinskiy N., Milin S., Nikitich P., Raudina T., Rusalimova O., Zeller B., Barsukov P. Phosphorus status of soils from contrasting forested ecosystems in southwestern Siberia: effects of microbiological and physicochemical properties // *Biogeosciences*. 2013. Vol. 10. No. 2. P. 733–752. <https://doi.org/10.5194/bg-10-733-2013>

- Biasi C., Wanek W., Rusalimova O., Kaiser C., Meyer H., Barsukov P., Richter A. Microtopography and plant-cover controls on nitrogen dynamics in hummock tundra ecosystems in Siberia // *Arctic, Antarctic and Alpine Research*. 2005. Vol. 37. No. 4. P. 435–443. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2005\)037\[0435:MAPCON\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2005)037[0435:MAPCON]2.0.CO;2)
- Brédoire F., Zeller B., Kayler Z.E., Barsukov P.A., Nikitich P., Rusalimova O., Bakker M.R., Bashuk A., Sainte-Marie J., Didiera S., Legouta A., Derrien D. The fate of leaf-litter N under contrasting pedo-climatic conditions in southwestern Siberia // *Soil Biology and Biochemistry*. 2019. Vol. 135. P. 331–342. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.05.022>
- Demyan M.S., Rasche F., Schütt M., Cadisch G., Smirnova N., Schulz E. Combining a coupled FTIR-EGA system and in situ DRIFTS for studying soil organic matter in arable soils // *Biogeosciences*. 2013. Vol. 10. No. 5. P. 2897–2913. <https://doi.org/10.5194/bg-10-2897-2013>
- Kayler E., Brédoire F., McMillan H., Barsukov P.A., Rusalimova O., Nikitich P., Bakker M.R., Zeller B., Fontaine S., Derrien D. Soil evaporation and organic matter turnover in the Sub-Taiga and Forest-Steppe of southwest Siberia // *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. P. 10904. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28977-8>
- Lyubechanskii I.I., Golovanova E.V., Dudko R.Y., Azarkina G.N., Rusalimova O.A., Samoylova E.S., Shekhovtsov S.V., Barsukov P.A. Impact of no-tillage on soil invertebrate communities in the southern forest steppe of West Siberia: preliminary research // *Diversity*. 2023. Vol. 15. No. 3. P. 402. <https://doi.org/10.3390/d15030402>
- Meyer H., Kaiser C., Biasi C., Hämmerle R., Rusalimova O., Lashchinsky N., Baranyi C., Daims H., Barsukov P., Richter A. Soil carbon and nitrogen dynamics along a latitudinal transect in Western Siberia, Russia // *Biogeochemistry*. 2006. Vol. 81. No. 2. P. 239–252. <https://doi.org/10.1007/s10533-006-9039-1>
- Naumova N., Barsukov P., Baturina O., Rusalimova O., Kabilov M. Soil Mycobium Diversity under Different Tillage Practices in the South of West Siberia // *Life*. 2022a. Vol. 12. No. 8. 1169. <https://doi.org/10.3390/life12081169>
- Naumova N., Baturina O., Nechaeva T., Kabilov M. Root and Rhizosphere Microbiome of Tomato Plants Grown in the Open Field in the South of West Siberia under Mineral Fertilization // *Horticulturae*. 2022b. Vol. 8. 1051. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111051>
- Naumova N., Barsukov P., Baturina O., Rusalimova O., Kabilov M. Soil Alveolata diversity in the undisturbed steppe and wheat agrocenoses under different tillage // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023a. № 6. С. 703–711. <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-81>
- Naumova N., Barsukov P., Baturina O., Rusalimova O., Kabilov M. West-Siberian Chernozem: How Vegetation and Tillage Shape Its Bacteriobiome // *Microorganisms*. 2023b. Vol. 11. No. 10. P. 2431. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11102431>
- Naumova N.B., Savenkov O.A., Alikina T.Y., Kabilov M.R. Rhizosphere Bacteriobiome of the Husk Tomato Grown in the Open Field in West Siberia // *Agriculture (Polnohospodárstvo)*. 2019. Vol. 65. No. 4. P. 147–154. <https://doi.org/10.2478/agri-2019-0015>
- Naumova N.B., Savenkov O.A., Alikina T.Y., Fotev Y.V. Characterization of the core bacteriobiome in the rhizosphere of greenhouse vegetables: taxonomic diversity and putative functions // *Почвы и окружающая среда*. 2020. Том 3. № 3. e128. <https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.128>
- Smirnova N., Demyan M.S., Rasche F., Cadisch G., Mueller T. Calibration of CO₂ trapping in alkaline solutions during soil incubation at varying temperatures using a RespiCond IV // *Open Journal of Soil Science*. 2014. Vol. 4. No. 5. P. 161–167. <https://doi.org/10.4236/ojss.2014.45019>
- Sokolova E.A., Mishukova O.V., Hlistun I.V., Tromenschleger I.N., Tikunov A.Y., Manakhov A.D., Rogaev E.I., Savenkov O.A., Buyanova M.D., Ivanov I.V., Smirnova N.V., Voronina E.N. The Effectiveness of Co-Inoculation by Consortia of Microorganisms Depends on the Type of Plant and the Soil Microbiome // *Plants*. 2024. Vol. 13. No. 1. P. 116. <https://doi.org/10.3390/plants13010116>
- Voronina E., Sokolova E., Tromenschleger I., Mishukova O., Hlistun I., Miroshnik M., Savenkov O., Buyanova M., Ivanov I., Galyamova M., Smirnova N. Properties of Potential Plant-Growth-Promoting Bacteria and Their Effect on Wheat Growth Promotion (*Triticum aestivum*) and Soil Characteristics // *Microbiology Research*. 2024. Vol. 15. No. 1. P. 20–32. <https://doi.org/10.3390/microbiolres15010002>
- Wild B., Schneck J., Alves R.J.E., Barsukov P., Bárta J., Čapek P., Gentsch N., Gittel A., Guggenberger G., Lashchinsky N., Mikutta R., Rusalimova O., Šantrůčková H., Shibistova O., Urich T., Watzka M., Zrazhevskaya G., Richter A. Input of easily available organic C and N stimulates microbial decomposition of soil organic matter in arctic permafrost soil // *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. Vol. 75. P. 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.04.014>
- Yakutina O.P. Phosphorus content in sediment and eroded soils in the southeastern part of West Siberia // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011. Vol. 140. No. 1–2. P. 57–61. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.11.011>

Yakutina O.P., Nechaeva T.V., Smirnova N.V. Consequences of snowmelt erosion: Soil fertility, productivity and quality of wheat on Greyzemic Phaeozem in the south of West Siberia // Agriculture, Ecosystem and Environment. 2015. Vol. 200. P. 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.021>

Поступила в редакцию 17.01.2025

Принята 17.05.2025

Опубликована 25.05.2025

Сведения об авторах:

Якименко Владимир Николаевич – доктор биологических наук, доцент, заведующий лабораторией агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия), yakimenko@issa-siberia.ru, vnyakimenko.2018@mail.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, taya_@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/)

Advancement and results of agrochemical research in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

© 2025 V. N. Yakimenko , T. V. Nechaeva 

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

The article deals with the history and main results of the agrochemical research in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISSA SB RAS, formerly of the USSR Academy of Sciences), starting from the establishment of the West-Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences till the present days. The article describes the rearrangements of the agricultural research structure from the original soil fertility laboratory to the current laboratory of agrochemistry and provides information about researchers, who worked at the at the beginnings of the agrochemical studies not only in ISSA SB RAS, but in Siberia as well; scientists, currently contributing to the agrochemical research, are also presented. The article briefly describes the main research directions and results, giving a brief review of the published works.

Key words: agrochemistry; soil fertility; mineral nutrition of plants; fertilizers; agrocenosis; reasonable use of natural resources.

How to cite: Yakimenko V.N., Nechaeva T.V. Advancement and results of agrochemical research in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences // The Journal of Soils and Environment. 2025. 8(2). e295. DOI: [10.31251/pos.v8i2.295](https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.295) (in Russian with English abstract).

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

REFERENCES

- Agrochemical Characterization of Soils of the USSR (areas of West Siberia) / A.V. Sokolov, R.V. Kovalev, S.S. Trofimov (eds.). Moscow: Nauka Publ., 1968. Vol. 9. 381 p. (in Russian).
- Agrochemical properties of soils and the effectiveness of fertilizers / Gamzikov G.P., Ilyin V.B., Nazarchuk V.M. et al. Novosibirsk: Nauka Publ. Siberian Branch, 1989. 254 p. (in Russian).
- Antipina L.P. Conversion of phosphorus fertilizers in chernozems and gray forest soils of the Tyumen region. Agrokhirnia. 1971. No. 7. P. 36–44. (in Russian).
- Antipina L.P. Phosphate regime of chernozems of different degrees of cultivation. Agrokhirnia. 1974. No. 8. P. 39–47. (in Russian).
- Antipina L.P. Characteristics of the phosphate regime of Siberian soils using agrochemical methods. Siberian Herald of Agricultural Science. 1976. No. 4. P. 1–8. (in Russian).

- Antipina L.P. Fractional composition of mineral phosphates in Siberian chernozems. *Agrokhimia*. 1978. No. 1. P. 32–40. (in Russian).
- Antipina L.P., Pashkovich M.K., Malygina L.P. Phosphorus in the soil cover of Western Siberia. *Agrokhimia*. 1988. No. 5. P. 20–28. (in Russian).
- Barsukov P.A. The effect of long-term application of fertilizers on the balance and transformation of nitrogen in sod-podzolic soil. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1991. 17 p. (in Russian).
- Barsukov P.A. Consequences of the use of fertilizers for the environment (in the conditions of the taiga zone of Western Siberia). *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 1995. Vol. 2. No. 1. P. 73–87. (in Russian).
- Barsukov P.A. The effect of fertilization history on the nitrogen cycle in soil. *Eurasian Soil Science*. 1998. Vol. 31. No. 10. P. 1121–1130.
- Barsukov P.A. Method for determining farm crop demand of nitrogenous fertilizer. Patent No. RU 2202108 C2. Moscow, 2003. (in Russian).
- Barsukov P.A., Andrianova N.G. Budget of fertilizer nitrogen in irrigated agroecosystems of the forest-steppe zone of Western Siberia. *Eurasian Soil Science*. 2001. Vol. 34. No. 10. P. 1132–1137.
- Barsukov P.A., Gamzikov G.P. Transformation and aftereffect of immobilized nitrogen (^{15}N) depending on the previous fertilization of soddy-podzolic soil. *Agrokhimia*. 2003. No. 7. P. 5–10. (in Russian).
- Barsukov P.A., Smolentsev N.B., Rusalimova O.A. Estimation of plant available potassium in loamy soils by extraction with magnesium sulfate solution. *The Journal of Soils and Environment*. 2020. Vol. 3. No. 1. e114. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v3i1.114>
- Barsukov P., Yzakanov T. Calculation of organic carbon losses from soils on the example of the forest-steppe of Western Siberia. *Izvestiya VUZov Kyrgyzstana (Proceedings of Higher Educational Institutions of Kyrgyzstan)*. 2022. No. 6. P. 123–130. <https://doi.org/10.26104/IVK.2022.45.557>
- Issues of development of virgin and fallow lands in Western Siberia / R.V. Kovalev (ed.); USSR Academy of Sciences. Proceedings of the Biological Institute. Vol. 3. Novosibirsk, 1957. 253 p. (in Russian).
- Issues of crop irrigation in the Kulunda steppe / N.S. Petinov (ed.); USSR Academy of Sciences. Proceedings of the Biological Institute. Vol. 4. Novosibirsk, 1959. 160 p. (in Russian).
- Gamzikov G.P. Nitrogen fund of soils of Western Siberia and efficiency of nitrogen fertilizers. Abstract of Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1978. 40 p. (in Russian).
- Gamzikov G.P. Nitrogen in agriculture in Western Siberia. Moscow: Nauka Publ., 1981. 267 p. (in Russian).
- Gamzikov G.P. Agrochemistry of nitrogen in agrocenoses. Novosibirsk: Publishing House of Rosselkhozakademii, 2013. 790 p. (in Russian).
- Gamzikov G.P. Soil diagnostics of nitrogen nutrition and application of nitrogen fertilizers in crop rotation. *Plodorodie*. 2018. No. 1(100). P. 8–14. (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, 2–6 October, 2023)*. Novosibirsk: ISSA SB RAS, 2023. P. 36–41. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>
- Gamzikov G.P., Barsukov P.A. Nitrogen balance with long-term application of fertilizers in agrocenoses on sod-podzolic soil. *Agrokhimia*. 1997. No. 9. P. 5–10. (in Russian).
- Gamzikov G.P., Barsukov P.A., Varvain O.D. Changes of properties of soddy-podzolic soil in the course of long-term fertilization. *Russian Agricultural Sciences*. 2007. No. 5. P. 28–31. (in Russian).
- Gamzikov G.P., Kochergin A.E., Krupkin P.I., Chukanov V.I. Recommendations for diagnostics of nitrogen nutrition of field crops and application of nitrogen fertilizers. Novosibirsk, 1983. 30 p. (in Russian).
- Gamzikov G.P., Kostrik G.I., Emelyanova V.N. Balance and transformation of fertilizer nitrogen. Novosibirsk: Nauka Publ. Siberian Branch, 1985. 161 p. (in Russian).
- Gamzikov G.P., Murin V.N., Salmin L.N., Leshkov A.P. Recommendations for the use of nitrogen fertilizers in agriculture in the Novosibirsk region. Novosibirsk, 1984. 23 p. (in Russian).
- Ilyin V.B. Microelements in the soils of the southern part of Western Siberia. *Izvestia of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. Series of biological and medical sciences*. 1968. No. 15–3. P. 40–47. (in Russian).

- Ilyin V.B. On the content of boron and molybdenum in plants of the south of Western Siberia. Biogeochemistry of plants: Works of the Buryat Institute of Natural Sciences. Ulan-Ude: Buryat Book Publishing House, 1969. P. 144–150. (in Russian).
- Ilyin V.B. Biogeochemistry and agrochemistry of the trace elements (Mn, Cu, Mo, B) in the south of the Western Siberia. Abstract of Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1970. 53 p. (in Russian).
- Ilyin V.B. Soil-agrochemical aspect of the study of trace elements. Siberian Herald of Agricultural Science. 1972. No. 6. P. 43–46. (in Russian).
- Ilyin V.B. Biogeochemistry and agrochemistry of the trace elements (Mn, Cu, Mo, B) in the south of the Western Siberia / R.V. Kovalev (ed.). Novosibirsk: Nauka Publ. Siberian Branch, 1973. 401 p. (in Russian).
- Ilyin V.B. Elementary chemical composition of plants / Approved for publication by the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. Novosibirsk: Nauka Publ., 1985. 130 p. (in Russian).
- Ilyin V.B. Biogenic and technogenic accumulation of chemical elements in the soil. Pochvovedenie. 1988. No. 7. P. 124–132. (in Russian).
- Kovalev R.V. Soils of the Lankaran region. Abstract of Dissertation ... Dr. of Agricultural Sci. Novosibirsk, 1959. 46 p. (in Russian).
- Kovalev R.V., Volkovincer V.I., Khmelev V.A. Agrochemical characterization of soils of agricultural districts of the Gorno-Altai Autonomous Oblast. In book: Agrochemical characterization of soils of the USSR. Vol. 9. Moscow: Nauka Publ., 1968a. P. 93–117. (in Russian).
- Kovalev R.V., Zaikova L.A., Maslova I.Y., Panina M.P., Popov V.M., Ryabova T.N., Shapovalov V.P. Agrochemical characterization of soils of the Novosibirsk region. In book: Agrochemical characterization of soils of the USSR. Vol. 9. Moscow: Nauka Publ., 1968b. P. 169–227. (in Russian).
- Kovalev R.V., Trofimov S.S. General characterization of soil cover of West Siberia. In book: Agrochemical characterization of soils of the USSR. Vol. 9. Moscow: Nauka Publ., 1968c. P. 5–31. (in Russian).
- Kuperman I.A. Mineral nutrition, respiration and productivity of plants. Abstract of Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1984. 37 p. (in Russian).
- Kuperman I.A. Principles of constructing fertilization systems for agrocenoses. In book: Problems of Soil Science in Siberia: Collection of Scientific Papers / I.M. Gadzhiev (ed.). Novosibirsk: Nauka Publ. Siberian Branch, 1990. P. 74–94. (in Russian).
- Kuperman I.A., Khitrovo E.V. Respiratory gas exchange and productivity of agrophytocenoses. Agricultural Biology. Vol. 15. No. 2. P. 278–284. (in Russian).
- Kuperman I.A., Khitrovo E.V. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium deficiency on respiration and productivity of spring wheat. Agrokhimia. 1982. No. 2. P. 11–17. (in Russian).
- Kuperman I.A., Khitrovo E.V. Potassium nutrition of spring wheat and corn depending on lighting conditions. Agrokhimia. 1984. No. 3. P. 18–27. (in Russian).
- Makarikova R.P., Barsukov P.A. Changes in the fractional composition of phosphorus in Siberian soils with systematic application of fertilizers. Sibirskij Ekologicheskij Zhurnal. 1998. Vol. 5. No. 5. P. 525–529. (in Russian).
- Makarikova R.P., Barsukov P.A. Method for diagnosis and regulation of plant phosphorous feeding. Patent No. RU 2244922 C2. Moscow, 2005. (in Russian).
- Maslova I.Ya. Sulfur consumption by spring wheat during crop formation. Agrokhimia. 1989. No. 5. P. 67–73. (in Russian).
- Maslova I.Ya. Diagnostics and regulation of spring wheat nutrition with sulfur. Novosibirsk: Novosibirsk Branch of Academic Scientific Publishing and Book Distribution Center "Nauka", 1993. 124 p. (in Russian).
- Maslova I.Ya. Sulfur in the soils of Western Siberia. Sibirskij Ekologicheskij Zhurnal. 1995. Vol. 2. No. 1. P. 51–59. (in Russian).
- Maslova I.Ya. Impact of sulfur-containing aerotechnogenic substances on some agrochemically significant processes and soil properties. Agrokhimia. 2008. No. 6. P. 80–94. (in Russian).
- Maslova I.Ya., Yakimenko V.N. History and advances of agrochemical research in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (to the 45 th anniversary of the Institute). Agrokhimia. 2014. No. 2. P. 3–12. (in Russian).

- Maslova I.Ya., Yakusheva T.G. Varietal features of sulphur accumulation and distribution in above-ground phytomass of soft spring wheat. *Agrokhimia*. 2017. No. 12. P. 21–26. (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0002188117120043>
- Copper, manganese and boron in the landscapes of the Baraba lowland and Novosibirsk Priobye / V.B. Ilyin (ed.). Novosibirsk: Nauka Publ. Siberian Branch, 1971. 212 p. (in Russian).
- Nazaryuk V.M. Agrochemical aspects of building a fertilization system for vegetable crops in West Siberia. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1980. 25 p. (in Russian).
- Nazaryuk V.M. Fertilization system for vegetable crops and early potatoes in Western Siberia: Recommendations. Moscow: Rosselkhozizdat Publ., 1986. 38 p. (in Russian).
- Nazaryuk V.M. Balance of nitrogen fertilizers depending on the conditions of nitrogen nutrition of vegetable crops and potatoes. *Agrokhimia*. 1989. No. 2. P. 10–16. (in Russian).
- Nazaryuk V.M. Nitrogen in soil-fertilizer-plant system in vegetable crops and potato cultivation in Western Siberia. Abstract of Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1991. 32 p. (in Russian).
- Nazaryuk V.M. Balance and transformation of nitrogen in agroecosystems. Novosibirsk: Publ. House SB RAS, 2022. 257 p. (in Russian).
- Nazaryuk V.M., Kalimullina F.R. Using mineral fertilizer and vegetative residues in grain crop rotation. *Vestnik of the Russian Agricultural Sciences*. 2011. No. 5. P. 26–28. (in Russian).
- Nazaryuk V.M., Kalimullina F.R. The role of the microbial biomass nitrogen in nitrogen nutrition of plants grown on the soils of forest steppe in Western Siberia. *Agrokhimia*. 2017. No. 1. P. 3–11. (in Russian).
- Nazaryuk V.M., Kalimullina F.R. Productivity of plants and carbon balance in the agroecosystems under application of mineral fertilizers and plant residues. *Agrochemistry and Ecology Problems*. 2018. No. 4. P. 9–14. (in Russian). <https://doi.org/10.26105/AE.2018.4.74.002>
- Nazaryuk V.M., Kalimullina F.R. Phosphate as eroded meadow-chernozem soils and the efficiency of phosphorus fertilizers in conditions of Western Siberia. *Agrokhimia*. 2019. No. 6. P. 3–13. (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S0002188119060097>
- Nazaryuk V.M., Kalimullina F.R. Role of fertilizers in nitrogen nutrition of plants when soil is contaminated with oil. *Agrokhimia*. 2020. No. 4. P. 76–84. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188120040092>
- Nazaryuk V.M., Kalimullina F.R. Distribution of potassium forms in the soil profile of eroded meadow-chernozem soils and their transformation in agrocenoses. *Agrokhimia*. 2021. No. 11. P. 16–24. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188121110107>
- Nazaryuk V.M., Kalimullina F.R. Potash state of the soil and crop productivity when applying mineral fertilizers and plant residues. *Agrokhimia*. 2023. No. 11. P. 3–10. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188123110108>
- Nazaryuk V.M., Klenova M.I., Sidorova K.K. Influence of genotype and nitrogen nutrition conditions on the efficiency of legume-rhizobium symbiosis. *Agrokhimia*. 2001. No. 4. P. 16–21. (in Russian).
- Nazaryuk V.M., Klenova M.I., Kalimullina F.R. Ecoagrochemical approaches to the problem of nitrate pollution in agroecosystems. *Russian Journal of Ecology*. 2002. Vol. 33. No. 6. P. 392–397. <https://doi.org/10.1023/A:1020995329784>
- Nazaryuk V.M., Klenova M.I., Kalimullina F.R. Effect of Mineral Nutrition on the Productivity of Plants and the Nutritive Regime of Oil-Contaminated Soil. *Agrokhimia*. 2007a. No. 7. P. 64–73. (in Russian).
- Nazaryuk V.M., Savenkov O.A., Smirnova N.V. Substantiation and estimation of the parameters of soil fertility and plant productivity for nitrogen cycle modelling in agricultural ecosystems. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2004. Vol. 11. No. 3. P. 391–401. (in Russian).
- Nazaryuk V.M., Kalimullina F.R., Klenova M.I., Sidorova K.K., Shumny V.K. Physiological and agrochemical properties of different symbiotic genotypes of pea (*Pisum Sativum* L.). *Biology Bulletin*. 2006. Vol. 33. No. 6. P. 559–567.
- Nazaryuk V.M., Kalimullina F.R., Klenova M.I., Sidorova K.K., Shumny V.K. Nitrogen regime of soils with different macrosymbiont genotypes. *Eurasian Soil Science*. 2007b. Vol. 40. No. 2. P. 168–175.
- Nazaryuk V.M., Smirnova N.V., Savenkov O.A. Efficiency of nitrogen fertilizers on eroded chernozems under different tillage systems in Western Siberia. *Agrokhimia*. 2005. No. 4. P. 10–15. (in Russian).
- Naumova N.B. Biomass of microorganisms in soils of natural, agricultural and technogenic ecosystems of Siberia. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1990. 18 p. (in Russian).

- Naumova N.B. Biomass and activity of soil microorganisms after a surface fire in a pine forest. Eurasian Soil Science. 2005. Vol. 38. No. 8. P. 870–873.
- Naumova N.B., Alikina T.Y., Kuznetsova G.V. Biodiversity of bacterial assemblages in the Haplic Cambisol under Korean pine. The Journal of Soils and Environment. 2018. Vol. 1. No. 3. P. 151–169. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v1i3.31>
- 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. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v2i3.84>
- Naumova N.B., Belanov I.P., Savenkov O.A., Stepanova M.V., Shemeleva G.V., Baturina O.A., Kabilov M.R. Soil and rhizosphere bacteriobiome of wheat under combined humate and fly ash application. The Journal of Soils and Environment. 2023. Vol. 6. No. 3. e218. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v6i3.218>
- Naumova N.B., Ruchko H.N., Savenkov O.A., Pleshakova V.I. Soil and crop microbiome under soil amendment with poultry manure compost. The Journal of Soils and Environment. 2021. Vol. 4. No. 1. e141. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v4i1.141>
- Nechaeva T.V. Potassium of the eroded Greyzemic Phaeozems of Cis-Salair region. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 2011. 19 p. (in Russian).
- Nechaeva T.V. Changes in fertility of soils of the slope agricultural landscape in the forest-steppe of Western Siberia. Plodorodie. 2022. No. 6(129). P. 41–45. (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.129.11>
- 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. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>
- Nechaeva T.V., Gopp N.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V. Potassium Status of the Slope Agricultural Landscape in the South-East of Western Siberia. Zemledelie. 2019a. No. 1. P. 10–14. (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10103>
- Nechaeva T.V., Gopp N.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V. Magnesium in soils and plants of a sloping agrolandscape in the south-east of West Siberia. The Journal of Soils and Environment. 2019b. Vol. 2. No. 4. e91. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v2i4.91>
- Nechaeva T.V., Dobryanskaya S.L. Potassium fixation capacity and exchangeable cations' composition in a postagrogenic chernozem. Plodorodie. 2020a. No. 4(115). P. 24–28. (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.115.07>
- Nechaeva T.V., Smirnova N.V., Khudayev S.A., Lyubchanskii I.I. Changes in chemical element composition of Betula pendula litter during decomposition in a laboratory experiment simulating leaching and salinization. The Journal of Soils and Environment. 2020b. Vol. 3. No. 4. e130. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v3i4.130>
- Nechaeva T.V., Smirnova N.V., Khudayev S.A., Lyubchanskii I.I. Betula pendula Leaf Litter Decomposition in a Laboratory Experiment Simulating Leaching and Salinization. Lesovedenie. 2022. No. 5. P. 580–592. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0024114822050035>
- Nechaeva T.V., Smolentseva E.N. Chernozem properties and agrochemical status under different land use in the forest-steppe of West Siberia. The Journal of Soils and Environment. 2024. 7(3). e281. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v7i3.281>
- Nechaeva T.V., Sokolov D.A. Absorption capacity and composition of exchange cations in different types of coal. Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. 2019. Vol. 27. No. 6. P. 618–624. (in Russian). <https://doi.org/10.15372/KhUR2019182>
- Nechaeva T.V., Yakutina O.P., Bogolyubova E.V. Hungarian clover (*Trifolium pannonicum* Jacq.) - perspective forage crop and phytomeliorant (literary review). The Journal of Soils and Environment. 2020c. Vol. 3. No. 1. e115. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v3i1.115>
- Nitrates and the quality of plant products / A.P. Leshkov, V.M. Nazaryuk, G.I. Tkachenko et al.; USSR Academy of Sciences; Siberian Branch; Institute of Soil Science and Agrochemistry. Novosibirsk: Novosibirsk Branch of Nauka Publ., 1991. 168 p. (in Russian).
- Olenchenko V.V., Smolentseva E.N., Zaplavnova A.A., Rusalimova O.A., Barsukov P.A. Using geophysical methods to assess the structure and properties of chernozemic soils. The Journal of Soil and Environment. 2019. Vol. 2. No. 1. e57. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v2i1.57>
- Organo-mineral raw materials for agricultural purposes of the Novosibirsk region. Novosibirsk: RIO PPO "Pechat", 1990. 169 p. (in Russian).

- Soil fertility of the Novosibirsk Priobie / R.V. Kovalev, V.B. Ilyin (ed.). Novosibirsk: Nauka Publ. Siberian Branch, 1971. 188 p. (in Russian).
- Soils of the Novosibirsk region / R.V. Kovalev, S.N. Selyakov, I.M. Gadzhiev et al. Novosibirsk: Nauka Publ. Siberian Branch, 1966. 422 p. (in Russian).
- Ways to reduce nitrate content in vegetables and potatoes in Siberia / V.M. Nazaryuk, V.N. Yakimenko, A.S. Prozorov et al. Novosibirsk: UD Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1989. 39 p. (in Russian).
- Recommendations for the development of agricultural production in the BAM zone. Novosibirsk: Siberian Branch of VASKhNIL, 1979. 290 p. (in Russian).
- Savenkov O.A. Main parameters of nitrogen cycle and their modeling in agrocenoses of northern forest-steppe of Western Siberia. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 2004. 18 p. (in Russian).
- Selyakov S.N. Determination of reserves of water-soluble salts in saline soils. *Pochvovedenie*. 1967. No. 7. P. 121–126. (in Russian).
- Selyakov S.N. Soil salinity of Kulunda. In book: Kulunda steppe and issues of its melioration. Novosibirsk: Nauka Publ. Siberian Branch, 1972. P. 110–134. (in Russian).
- Selyakov S.N. Issues of assessment and melioration of saline soils. In book: Problems of genesis and melioration of irrigated soils. Vol. 1. Moscow, 1973. P. 120–125. (in Russian).
- Sidorova K.K., Shumny V.K., Nazaryuk V.M. Symbiotic nitrogen fixation: genetic, breeding and ecological-agrochemical aspects. Novosibirsk: Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics SB RAS, 2006. 134 p. (in Russian).
- Smirnova N.V. Nitrogen in agrocenoses on eroded chernozem of forest-steppe zone of Western Siberia. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 2005. 18 p. (in Russian).
- Smirnova N.V., Khudyaev S.A., Lebedeva M.A., Smolentsev N.B., Kirpikov A.A., Savenkov O.A., Buyanova M.D. The experience of growing *Ocimum basilicum* L. on artificial substrates based on peat, perlite and Zion. *International Research Journal*. 2023. Vol. 127. No. 1. P. 1–6. (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.75>
- Technology of vegetable crop cultivation in the BAM zone: Recommendations. Novosibirsk: VASKhNIL. Siberian Branch, 1988. 188 p. (in Russian).
- Trofimov S.S. Agrochemical characterization of soils of the Kemerovo region. In book: Agrochemical characterization of soils of the USSR. Vol. 9. Moscow: Nauka Publ., 1968. P. 118–168. (in Russian).
- Sharkov I.N. Research of carbon balance in soil in connection with the use of organic and nitrogen fertilizers. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1986. 20 p. (in Russian).
- Sharkov I.N. Mineralization and balance of organic matter in soils of agrocenoses of Western Siberia. Abstract of Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1997. 37 p. (in Russian).
- Sharkov I.N. Improvement of a concept of organic matter reproduction in soils for cereal agrocenoses of Siberia. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2003. No. 2(148). P. 72–77. (in Russian).
- Sharkov I.N. Minimization of soil cultivation and its influence on fertility. *Zemledelie*. 2009. No. 3. P. 24–27. (in Russian).
- Sharkov I.N. The concept of humus reproduction in soils. *Agrokhimia*. 2011. No. 12. P. 21–27. (in Russian).
- Sharkov I.N. Problems of intensification of technologies of cultivation grain crops in Siberia. *Innovations and Food Safety*. 2016. No. 1(11). P. 24–32. (in Russian).
- Sharkov I.N. Efficiency of nitrogen fertilization of spring wheat on leached chernozem in the forest-steppe of Western Siberia. *Agrokhimia*. 2017. No. 8. P. 25–31. (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0002188117080038>
- Sharkov I.N., Kolbin S.A., Vasileva N.V. Possibilities of intensification of spring wheat growing technology in the Western Siberia forest-steppe. *Agrokhimia*. 2023. No. 6. P. 3–11. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188123060108>
- Sharkov I.N., Samokhvalova L.M., Mishina P.V., Shepelev A.G. Effect of crop residues on the organic matter composition of a leached chernozem in the Western Siberian forest-steppe. *Eurasian Soil Science*. 2014. Vol. 47. No. 4. P. 304–309. <https://doi.org/10.1134/S1064229314040085>
- Yakimenko V.N. Potassium in soils of agrocenoses of Western Siberia. Abstract of Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Novosibirsk, 2003a. 32 p. (in Russian).

- Yakimenko V.N. Potassium in agrocnoses of Western Siberia. Novosibirsk: Published by Siberian Branch of RAS, 2003b. 231 p. (in Russian).
- Yakimenko V.N. Influence and further action of potash fertilizers in field experiments on gray forest soil. *Agrokhimia*. 2015. No. 4. P. 3–12. (in Russian).
- Yakimenko V.N. Potassium forms in soil and methods of determination. *The Journal of Soils and Environment*. 2018. Vol. 1. No. 1. P. 25–31. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v1i1.5>
- Yakimenko V.N. Balance of potassium, yield and potash status of the soil in long-term field experiments in forest-steppe of Western Siberia. *Agrokhimia*. 2019. No. 10. P. 16–24. (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S0002188119100156>
- Yakimenko V.N. Interaction of potassium and magnesium in cultivation of potatoes on gray forest soil. *Agrokhimia*. 2021. No. 6. P. 8–15. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188121050136>
- 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, 2–6 October, 2023)*. Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 27–36. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>
- Yakimenko V.N. Fixation of potassium and magnesium by the soil of agrocnoses. *Agrokhimia*. 2023. No. 3. P. 3–11. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188123030134>
- Yakimenko V.N. Desorption of potassium and magnesium by gray forest soil. *Agrokhimia*. 2024. No. 10. P. 15–22. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188124100028>
- Yakimenko V.N. The history of development and achievements of agrochemical research at the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (SB AS USSR) [Electronic resource]. URL: <https://issa-siberia.ru/index.php/agrokhimicheskie-issledovaniya> (accessed on 22.11.2024). (in Russian).
- Yakovlev L.K., Maslova I.Ya. Potash fertilizer. Author's certificate SU 1165672 A1 USSR, IPC C05D 1/02. Application No. 3739290 dated 16.05.1984, published 07.07.1985. (in Russian).
- Yakovlev L.K., Danilova L.E., Maslova I.Ya., Dzikovich K.A. Method for producing chlorine-free potassium fertilizer. Author's certificate SU 1298199 A1 USSR, IPC C05D 11/00. Application No. 3844981 dated 06.12.1984, published 23.03.1987. (in Russian).
- Yakovlev L.K., Dzikovich K.A., Yakimenko V.N. Increasing the agrochemical efficiency of synnyrite by its mechanical activation. In book: *Agrarian and industrial complex of Siberia*. Novosibirsk: VASKhNIL. Siberian Branch, 1990. P. 42–45. (in Russian).
- Yakutina O.P. Ecological and agrochemical aspect of the use of phosphorite flour from Siberian deposits. *Sibirskij Ekologicheskij Zhurnal*. 1998. Vol. 5. No. 6. P. 531–535. (in Russian).
- Yakutina O.P. Dynamics of the phosphate state of acidic soils in Western Siberia with the introduction of phosphorus fertilizers. *Agrokhimia*. 2001. No. 10. P. 11–15. (in Russian).
- Yakutina O.P. Changes in the reserves of mineral phosphates in the soils of the Salair foothills under the influence of water erosion and fertilizers. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2004a. Vol. 11. No. 3. P. 411–417. (in Russian).
- Yakutina O.P. Reserves of mineral phosphates in the soils of the Salair foothills and efficiency of phosphorus fertilizers. Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 2004b. 18 p. (in Russian).
- Yakutina O.P. Content of phosphorus in surface runoff during snowmelt in the south of Western Siberia. *Agrochemistry and Ecology Problems*. 2014. No. 1. P. 55–57. (in Russian).
- Yakutina O.P. Total phosphorus in soil profiles and sediment depositions of ploughed and fallow plots of erosion-dangerous slope at the south of Western Siberia. *Agrochemistry and Ecology Problems*. 2020. No. 3. P. 51–55. (in Russian). <https://doi.org/10.26178/AE.2020.20.32.001>
- Yakutina O.P., Nechaeva T.V. Post-agrogenic transformation of drift-eroded soils on fallows of different age in the south of Western Siberia. *Agrochemistry and Ecology Problems*. 2019. No. 4. P. 61–66. (in Russian). <https://doi.org/10.26178/AE.2019.30.72.002>
- Yakutina O.P., Nechaeva T.V., Bogolyubova E.V. Availability of plant nutrients for pannonian clover (*Trifolium pannonicum* Jacq.) in the forest -steppe of Western Siberia. *Vestnik of the Russian Agricultural Sciences*. 2020. No. 6. P. 35–40. (in Russian). <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/6/35-40>

- Yakutina O.P., Nechaeva T.V., Smirnova N.V. Fertility of soils on slope, yield structure and quality of spring wheat in the south of Western Siberia. *The Journal of Soils and Environment*. 2018. Vol. 1. No. 3. P. 126–142. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v1i3.37>
- Yakutina O.P., Tanasienko A.A., Chumbaev A.S. Surface Runoff and the Migration of Major Nutrients during Snow Melt. *Agrokhimia*. 2009. No. 2. P. 66–70. (in Russian).
- Achat D.L., Bakker M.R., Augusto L., Derrien D., Gallegos N., Lashchinskiy N., Milin S., Nikitich P., Raudina T., Rusalimova O., Zeller B., Barsukov P. Phosphorus status of soils from contrasting forested ecosystems in southwestern Siberia: effects of microbiological and physicochemical properties. *Biogeosciences*. 2013. Vol. 10. No. 2. P. 733–752. <https://doi.org/10.5194/bg-10-733-2013>
- Biasi C., Wanek W., Rusalimova O., Kaiser C., Meyer H., Barsukov P., Richter A. Microtopography and plant-cover controls on nitrogen dynamics in hummock tundra ecosystems in Siberia. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*. 2005. Vol. 37. No. 4. P. 435–443. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2005\)037\[0435:MAPCON\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2005)037[0435:MAPCON]2.0.CO;2)
- Brédoire F., Zeller B., Kayler Z.E., Barsukov P.A., Nikitich P., Rusalimova O., Bakker M.R., Bashuk A., Sainte-Marie J., Didiera S., Legouta A., Derrien D. The fate of leaf-litter N under contrasting pedo-climatic conditions in southwestern Siberia. *Soil Biology and Biochemistry*. 2019. Vol. 135. P. 331–342. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.05.022>
- Demyan M.S., Rasche F., Schütt M., Cadisch G., Smirnova N., Schulz E. Combining a coupled FTIR-EGA system and in situ DRIFTS for studying soil organic matter in arable soils. *Biogeosciences*. 2013. Vol. 10. No. 5. P. 2897–2913. <https://doi.org/10.5194/bg-10-2897-2013>
- Kayler E., Brédoire F., McMillan H., Barsukov P.A., Rusalimova O., Nikitich P., Bakker M.R., Zeller B., Fontaine S., Derrien D. Soil evaporation and organic matter turnover in the Sub-Taiga and Forest-Steppe of southwest Siberia. *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. P. 10904. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28977-8>
- Lyubechanskii I.I., Golovanova E.V., Dudko R.Y., Azarkina G.N., Rusalimova O.A., Samoylova E.S., Shekhovtsov S.V., Barsukov P.A. Impact of no-tillage on soil invertebrate communities in the southern forest steppe of West Siberia: preliminary research. *Diversity*. 2023. Vol. 15. No. 3. P. 402. <https://doi.org/10.3390/d15030402>
- Meyer H., Kaiser C., Biasi C., Hämmerle R., Rusalimova O., Lashchinsky N., Baranyi C., Daims H., Barsukov P., Richter, A. Soil carbon and nitrogen dynamics along a latitudinal transect in Western Siberia, Russia. *Biogeochemistry*. 2006. Vol. 81. No. 2. P. 239–252. <https://doi.org/10.1007/s10533-006-9039-1>
- Naumova N., Barsukov P., Baturina O., Rusalimova O., Kabilov M. Soil Mycobiome Diversity under Different Tillage Practices in the South of West Siberia. *Life*. 2022a. Vol. 12. No. 8. 1169. <https://doi.org/10.3390/life12081169>
- Naumova N., Baturina O., Nechaeva T., Kabilov M. Root and Rhizosphere Microbiome of Tomato Plants Grown in the Open Field in the South of West Siberia under Mineral Fertilization. *Horticulturae*. 2022b. Vol. 8. 1051. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111051>
- Naumova N., Barsukov P., Baturina O., Rusalimova O., Kabilov M. Soil Alveolata diversity in the undisturbed steppe and wheat agrocenoses under different tillage. *Vavilov Journal of Selection and Breeding*. 2023a. Vol. 27. No. 6. P. 703–711. <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-81>
- Naumova N., Barsukov P., Baturina O., Rusalimova O., Kabilov M. West-Siberian Chernozem: How Vegetation and Tillage Shape Its Bacteriobiome. *Microorganisms*. 2023b. Vol. 11. No. 10. P. 2431. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11102431>
- Naumova N.B., Savenkov O.A., Alikina T.Y., Kabilov M.R. Rhizosphere Bacteriobiome of the Husk Tomato Grown in the Open Field in West Siberia. *Agriculture (Polnohospodárstvo)*. 2019. Vol. 65. No. 4. P. 147–154. <https://doi.org/10.2478/agri-2019-0015>
- Naumova N.B., Savenkov O.A., Alikina T.Y., Fotev Y.V. Characterization of the core bacteriobiome in the rhizosphere of greenhouse vegetables: taxonomic diversity and putative functions. *The Journal of Soils and Environment*. 2020. Vol. 3. No. 3. e128. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.128>
- Smirnova N., Demyan M.S., Rasche F., Cadisch G., Mueller T. Calibration of CO₂ trapping in alkaline solutions during soil incubation at varying temperatures using a Respicond IV. *Open Journal of Soil Science*. 2014. Vol. 4. No. 5. P. 161–167. <https://doi.org/10.4236/ojss.2014.45019>
- Sokolova E.A., Mishukova O.V., Hlistun I.V., Tromenschleger I.N., Tikunov A.Y., Manakhov A.D., Rogaev E.I., Savenkov O.A., Buyanova M.D., Ivanov I.V., Smirnova N.V., Voronina E.N. The Effectiveness of Co-Inoculation by Consortia of Microorganisms Depends on the Type of Plant and the Soil Microbiome. *Plants*. 2024. Vol. 13. No. 1. P. 116. <https://doi.org/10.3390/plants13010116>

Voronina E., Sokolova E., Tromenschleger I., Mishukova O., Hlistun I., Miroshnik M., Savenkov O., Buyanova M., Ivanov I., Galyamova M., Smirnova N. Properties of Potential Plant-Growth-Promoting Bacteria and Their Effect on Wheat Growth Promotion (*Triticum aestivum*) and Soil Characteristics. *Microbiology Research*. 2024. Vol. 15. No. 1. P. 20–32. <https://doi.org/10.3390/microbiolres15010002>

Wild B., Schnecker J., Alves R.J.E., Barsukov P., Bárta J., Čapek P., Gentsch N., Gittel A., Guggenberger G., Lashchinskiy N., Mikutta R., Rusalimova O., Šantrůčková H., Shibistova O., Urich T., Watzka M., Zrazhevskaya G., Richter A. Input of easily available organic C and N stimulates microbial decomposition of soil organic matter in arctic permafrost soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. Vol. 75. P. 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.04.014>

Yakutina O.P. Phosphorus content in sediment and eroded soils in the southeastern part of West Siberia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011. Vol. 140. No. 1–2. P. 57–61. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.11.011>

Yakutina O.P. Nechaeva T.V., Smirnova N.V. Consequences of snowmelt erosion: Soil fertility, productivity and quality of wheat on Greyzemic Phaeozem in the south of West Siberia. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 2015. Vol. 200. P. 88–93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.021>

Received 17.01.2025

Accepted 17 May 2025

Published 25 May 2025

About the authors:

Vladimir N. Yakimenko – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Agrochemistry, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia), yakimenko@issa-siberia.ru, vnyakimenko.2018@mail.ru

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