

ISSN 2618-6802 (online)



Почвы и окружающая среда

Научный журнал

Том 7. Выпуск 4

2024

<https://soils-journal.ru>

The Journal of Soils and Environment

Scientific Journal

Volume 7. Issue 4

2024



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 Павлович – 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)

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

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

Чевычелов Александр Павлович – доктор биологических наук, 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 биогеоценологии 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 (Pочvy i okružaiûsaâ 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).

© 2024 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. Androkhov – 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 (IWEP 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)

Anatoly A. Tanasienko – 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)

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 okružaiûsaiâ 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

© 2024 Institute of Soil Science and Agrochemistry of SB RAS

Содержание

Теоретические и прикладные проблемы почвоведения

- Лебедева М.А., Худяев С.А. Расчет метрологических характеристик методики определения гранулометрического состава грунтов пипеточным методом (по ГОСТ 12536-2014) e276

Генезис, экология и география почв

- Смоленцев Б.А., Махатков И.Д. Морфогенетические особенности структуры почвенного покрова Притазовского заполярья (Западная Сибирь) e270

Органическое вещество и биохимия почв

- Русских И.В., Стрельникова Е.Б. Влияние пожаров на состав алифатических соединений в степных почвах Хакасии e287

Деградация, рекультивация и мелиорация почв

- Чашин А.Н., Самофалова И.А., Мудрых Н.М., Гилёв О.А., Гилев В.Ю. Геоинформационная система мелиорируемых земель Пермского края e277

Биогеохимия, загрязнение и ремедиация объектов окружающей среды

- Гаршин М.В., Храмова Л.А., Сулейманов Р.Р. Оценка гидрофобных свойств нефтезагрязнённых почв методом водяного пятна (метод «Water Spot») e273

- Власов М.Н., Васильев А.А., Самофалова И.А., Гилев В.Ю., Чашин А.Н. Загрязнение почв урбанизированной территории частицами пластмасс в пойме малой реки Данилиха e274

- Носова М.В., Середина В.П., Стовбунник С.А. Техногенное засоление подзолистых и аллювиальных почв среднетаёжной подзоны Западной Сибири e284

Поведение почв и экосистем в пространстве и во времени

- Прейс Ю.И., Головацкая Е.А., Кабанов М.М. Характеристика торфов южной тайги юго-востока Западной Сибири как основа оценки запасов углерода e286

Обзоры, дискуссии, памятные даты

- Дергачева М.И., Бажина Н.Л. История исследований лаборатории биогеоценологии ИПА СО РАН: эколого-эволюционное направление в учении о гумусе почв e251

Contents

Fundamental and Applied Soil Science

- Lebedeva M.A., Khudyaev S.A.** Metrological characteristic of the pipette method (GOST 12536-2014) for determining soil granulometric composition e276

Soil Genesis, Ecology and Geography

- Smolentsev B.A., Makhatkov I.D.** Morphogenetic features of the soil cover structure in the Pritazovsky Arctic (West Siberia) e270

Soil Organic Matter and Biochemistry

- Russkikh I.V., Strelnikova E.B.** The effect of fires on the composition of aliphatic compounds in the steppe soils of Khakassia e287

Soil Degradation, Recultivation and Melioration

- Chashchin A.N., Samofalova I.A., Mudrykh N.M., Gilev O.A., Gilev V.Y.** Geoinformation system of reclaimed lands of the Perm territory e277

Environment Biogeochemistry, Pollution and Remediation

- Garshin M.V., Khramtsova L.A., Suleymanov R.R.** Assessment of hydrophobic properties of oil-contaminated soils using the «Water Spot» method. e273

- Vlasov M. N., Vasiliev A.A., Samofalova I.A., Gilev V.Y., Chashchin A.N.** Soil contamination by plastic particles in the floodplain of the small Danilikha River in an urbanized area e274

- Nosova M.V., Seredina V.P., Stovbunik S.A.** Technogenic salinization of podzolic and alluvial soils of the middle taiga subzone of West Siberia e284

Soil and Ecosystem Behaviour in Time and Space

- Preis Y.I., Golovatskaya E.A., Kabanov M.M.** Characteristics of peats of the southern taiga in the southeast of West Siberia as a basis for carbon stocks assessment in peat deposits e286

Reviews, Discussions and Memoria

- Dergacheva M.I., Bazhina N.L.** History of research in the laboratory of biogeocenology (ISSA SB RAS): ecologo-evolutionary direction in the soil humus doctrina e251



Расчет метрологических характеристик методики определения гранулометрического состава грунтов пипеточным методом (по ГОСТ 12536-2014)

© 2024 М. А. Лебедева , С. А. Худяев 

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

Цель исследования. Расчет значений показателей прецизионности (повторяемости и воспроизводимости) и неопределенности определения гранулометрического (зернового) состава грунтов пипеточным методом.

Методы. В образцах почв пипеточным методом определяли содержание следующих гранулометрических фракций: 0,1–0,05 мм, 0,05–0,01 мм, 0,01–0,005 мм, 0,005–0,002 мм, 0,002–0,001 мм, менее 0,01 мм, менее 0,001 мм (ГОСТ 12536-2014). Определение рН солевой вытяжки проводили потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), а органического вещества – фотометрическим методом (ГОСТ 26213-2021, п. 6.1). Для каждого образца рабочей пробы получено по 16 результатов единичных измерений для каждой фракции грунта. На основании полученных данных была проведена оценка показателей прецизионности в условиях внутри лабораторной повторяемости и воспроизводимости, а также показателей неопределенности методики по алгоритму, указанному в РМГ 61-2010 и ГОСТ 34100.3-2017.

Основные результаты. Рассчитаны следующие внутрилабораторные показатели качества методики определения гранулометрического (зернового) состава грунтов пипеточным методом:

- 1) Значение внутрилабораторного показателя повторяемости результатов анализа (σ_r) находится в интервале значений от 0,4 до 1,8%.
- 2) Относительный показатель внутрилабораторной прецизионности (σ_R) принимает значения в интервале от 0,7 до 2,9%.
- 3) Расширенная неопределенность (U) для разных исследуемых фракций грунта составляет от 0,9 до 3,9%.

Заключение. Рассчитанные метрологические характеристики определения гранулометрического (зернового) состава грунтов пипеточным методом позволят проводить внутренний контроль качества измерений и повысить качество результатов и доверие к лаборатории.

Ключевые слова: гранулометрический состав; пипеточный метод; повторяемость; воспроизводимость; неопределенность.

Цитирование: Лебедева М.А., Худяев С.А. Расчет метрологических характеристик методики определения гранулометрического состава грунтов пипеточным методом (по ГОСТ 12536-2014) // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 4. e276. DOI: [10.31251/pos.v7i4.276](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.276)

ВВЕДЕНИЕ

Гранулометрический состав почв (массовое процентное содержание не связанных в агрегаты частиц разного размера) – важнейшая характеристика почв, которая оказывает влияние на их водный, воздушный и питательный режимы. Информацию о гранулометрическом составе почв используют в сельском хозяйстве (для размещения культур в севообороте, расчета доз удобрений, расчета норм и сроков полива и др.), при проведении мелиоративных работ, проведении инженерно-экологических изысканий (оценка загрязнения почв тяжелыми металлами, оценка пригодности почв и грунтов для биологической рекультивации), а также при строительстве зданий и сооружений. Для лабораторного определения гранулометрического состава, в зависимости от целей исследований, используют следующие методы или их комбинацию: ситовой (для крупных фракций от более 10 мм до 1 мм), седиментометрический (метод пипетки, ареометрический, автоматический прибор PRIO), а также метод лазерной дифракции (Шеин, Мади, 2018).

Аналитические испытательные лаборатории в Российской Федерации при определении гранулометрического состава руководствуются международным (ISO 11277:2020) и межгосударственными (ГОСТ 12536-2014) стандартами. Наиболее широко в подобных исследованиях применяется ГОСТ 12536-2014. Вместе с тем в данном стандарте не регламентируются метрологические характеристики, что делает невозможным внутрилабораторный контроль качества результатов анализа, а также сравнение полученных данных между разными лабораториями. Сложность оценки точности полученных результатов связана также с отсутствием аттестованных государственных стандартных образцов (для фракций менее 1 мм) гранулометрического состава почв.

Отсутствие стандартных образцов связано с тем, что почвы и грунты представляют собой многокомпонентные вещества со сложным органо-минеральным составом, при измельчении которых получаются частицы с разным удельным весом, отличающиеся объемом и формой (Васильева и др., 2015).

Согласно ГОСТ Р 58975-2020 «Оценка соответствия. Рекомендации по выбору методик исследований (испытаний) и измерений при проведении оценки соответствия», методика измерений является стандартной, если ей приписаны точностные характеристики, которые могут быть использованы для внутрилабораторного контроля качества измерений. В случае отсутствия у методики точностных характеристик лаборатория должна провести процедуру валидации и установить их значения (ГОСТ ISO/IEC 17025-2019).

К показателям качества методики анализа относят показатели точности, правильности, повторяемости, воспроизводимости, внутрилабораторной прецизионности (если методика предназначена для применения в одной лаборатории), а также, при необходимости, другие показатели, характеризующие составляющие бюджета неопределенности или погрешности измерений, получаемых по методике анализа. Рассчитанные метрологические характеристики методики можно использовать для проведения контроля качества и стабильности результатов измерений, обеспечивая тем самым получение достоверных данных в лабораториях (РМГ 76-2014).

Цель данной работы – расчет значений показателей прецизионности (повторяемости и воспроизводимости) и неопределенности определения гранулометрического (зернового) состава грунтов пипеточным методом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В эксперименте использовали незасоленные, бескарбонатные и не содержащие гипс образцы рабочих проб (1П-23/30 – подбур иллювиально-железистый оподзоленный, горизонт BF; 1П-23/84 и 1П-23/92 – литозем темногумусовый, горизонт AU) с кислой реакцией среды ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 4,7 - 5,1 - 4,9$) и различным содержанием органического вещества (1,33% – 24,1% – 14,4%). Определение pH солевой вытяжки проводили потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), а органического вещества – фотометрическим методом (ГОСТ 26213-2021, п. 6.1). В образцах почв определяли содержание следующих гранулометрических фракций: 0,1–0,05 мм, 0,05–0,01 мм, 0,01–0,005 мм, 0,005–0,002 мм, 0,002–0,001 мм, менее 0,01 мм, менее 0,001 мм согласно ГОСТ 12536-2014 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического состава (зернового) и микроагрегатного состава», п. 4.4 (пипеточный метод). Фракции < 0,05 мм, < 0,01 мм, < 0,005 мм, < 0,002 мм, < 0,001 мм вычисляли по формуле, приведенной в п. 4.4.4.3 ГОСТ 12536-2014. Содержание фракций, представленных в виде диапазонов, находили по разности фракций согласно п. 4.4.4.4 и п. 4.4.4.6 ГОСТ 12536-2014. В работе использовали поверенные средства измерений, аттестованное испытательное оборудование и реактивы, соответствующие установленным требованиям ГОСТ 12536-2014.

При проведении эксперимента в условиях внутрилабораторной прецизионности результаты измерений были получены в одной лаборатории при варьировании всех факторов, которые оказывают влияние на формирование внутрилабораторной прецизионности (серии результатов единичного анализа были получены в разное время, разными аналитиками, с использованием разных партий реактивов одного типа, разных наборов сит и мерной посуды), а результаты единичного анализа внутри каждой серии – в одинаковых условиях и практически одновременно.

Для оценки воспроизводимости два аналитика независимо друг от друга в течение пяти дней определяли содержание исследуемых фракций. Для оценки повторяемости каждой рабочей пробы проводили по 8 параллельных определений.

Для каждого образца получено по 16 результатов единичных измерений для каждой фракции грунта. На основании полученных данных была проведена оценка показателей прецизионности в условиях внутрилабораторной повторяемости и воспроизводимости, а также показателей неопределенности методики по алгоритму, указанному в РМГ 61-2010.

Статистическую обработку данных проводили по следующей схеме:

1) Исключили выбросы и для условий повторяемости рассчитали среднее значение ($X_{m,l}$) и выборочную дисперсию ($S^2_{m,l}$) по следующим формулам:

$$X_{m,l} = \frac{\sum_{i=1}^N X_{m,l,i}}{N} \quad S^2_{m,l} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{m,l,i} - X_{m,l})^2}{N-1},$$

где N – число параллельных определений в одной серии; $X_{m,l,i}$ – значение единичного определения.

2) Оценили однородность дисперсий (S_{ml}^2) по критерию Кохрена (G) при доверительной вероятности $P = 0,95$ по следующей формуле:

$$G_{m(\max)} = \frac{(S_{m,l}^2)_{\max}}{\sum_{i=1}^L S_{m,i}^2},$$

где $(S_{m,l}^2)_{\max}$ – максимальное значение $S_{m,l}^2$ из выборочных дисперсий.

3) Не исключённые из расчетов $S_{m,l}^2$ считали однородными и по ним оценили СКО ($S_{r,m}$), характеризующее повторяемость результатов единичного анализа (параллельных определений). Показатель повторяемости методики анализа в виде СКО – $\sigma_{r,m}$ для содержания, соответствующего содержанию фракции грунта в оцениваемом образце (ОО) устанавливали, принимая равным значению $S_{r,m}$, рассчитанным по формуле:

$$S_{r,m} = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^{L'} S_{m,l}^2}{L'}},$$

где L – число серий измерений.

Показатель повторяемости методики в виде предела повторяемости ($r_{n,m}$), рассчитывали по формуле:

$$r_{n,m} = Q(P,n) \times S_{r,m},$$

где $Q(P,n) = 2,77$ при $n = 2$ (n – число параллельных измерений), $P = 0,95$.

Так как методикой не предусмотрено проведение параллельных определений и результат единичного анализа – это собственно результат анализа, то показатель прецизионности в условиях внутрилабораторной воспроизводимости ($S_{R,m}$ – выборочное СКО результатов анализа ОО) рассчитывали по формуле:

$$S_{R,m} = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^{L'} (X_{m,l} - X_m')^2}{L'-1} + \left(1 - \frac{1}{N}\right) S_{r,m}^2},$$

где L' – число неотброшенных результатов; X_m – среднее арифметическое неотброшенных результатов.

Показатель воспроизводимости методики анализа в виде СКО – $\sigma_{R,m}$ для содержания, соответствующего содержанию фракции грунта в ОО рассчитывали по формуле:

$$\sigma_{R,m} \approx \sqrt{S_{R,m}^2 + \frac{S_{r,m}^2}{2}}.$$

Показатель воспроизводимости методики в виде предела воспроизводимости ($R_{l,m}$) рассчитывали по формуле:

$$R_{l,m} = Q(P,2) \times \sigma_{R,m},$$

где $Q(P,2) = 2,77$ при $n = 2$ (n – число параллельных измерений), $P = 0,95$.

Значения рассчитанных метрологических характеристик указаны в единицах измеряемой величины (абсолютные).

При оценке неопределенности измерений использованы алгоритмы расчета, установленные в ГОСТ 34100.3-2017. Составляющие неопределенности оценивали по типу А и по типу В.

Стандартная неопределенность по типу А (U_A) совпадает с выборочной дисперсией (S), по которой рассчитывается среднее значение полученных результатов и среднеквадратическое отклонение (СКО) по формулам:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} - \text{среднее значение, где } n - \text{число измерений.}$$

$$CKO = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} - \text{среднеквадратическое отклонение.}$$

$$U_A = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n(n-1)}} - \text{стандартная неопределенность по типу } A.$$

Стандартная неопределенность типа В (U_B) оценивалась исходя из информации о характеристиках СИ, заявленной изготовителем (табл. 1):

$$U(B) = \frac{a}{\sqrt{3}} \text{ или } U(B) = \frac{a}{\sqrt{6}},$$

где a – погрешность средства измерения, участвующего в испытании; $\sqrt{3}$ (равномерное или прямоугольное распределение вероятностей); $\sqrt{6}$ (треугольное распределение вероятностей).

Таблица 1

Бюджет неопределенности

Источник неопределенности	Анализ входных величин
Измерение размера частиц	Стандартная неопределенность измерения размера частиц рассчитывается исходя из допустимого отклонения максимального размера одной ячейки лабораторного сита (допустимый интервал, согласно ГОСТ Р 51568-99 (ИСО 3310-1-90)) по формуле: U (размера частиц 1 мм) = $0,14/\sqrt{3} = 0,08$ мм U (размера частиц 0,25 мм) = $0,062/\sqrt{3} = 0,04$ мм Полная неопределенность измерения размера частиц: U (размера частиц) = $0,08+0,04 = 0,12$ мм.
Измерение массы	Стандартная неопределенность, связанная с измерением массы U (m), оценивается исходя из указанных в паспорте на весы пределов погрешности взвешивания $\pm 0,03$ г. U (m) = $0,03/\sqrt{3} = 0,017$ г.
Измерение объема	Стандартная неопределенность, связанная с измерением объема U (V), оценивается исходя из пределов погрешности U (V) = $0,5/\sqrt{6} = 0,204$ мл (цилиндр мерный 1000 см ³) U (V) = $0,5/\sqrt{6} = 0,204$ мл (пикнометры 100 см ³) U (V) = $0,05/\sqrt{6} = 0,02$ мл (пипетка 5 см ³) U (V) = $0,015/\sqrt{6} = 0,004$ мл (пипетка 1 см ³) В ходе оценивания вкладов в неопределенность были зарегистрированы колебания температуры воздуха лабораторного помещения в течение рабочего дня на ± 3 С°, а коэффициент объемного расширения для воды равен $2,1 \times 10^{-4}$. Для мерного цилиндра на 1000 мл имеем: $1000 \times 3 \times 2,1 \times 10^{-4} = 0,64$. Разделив это число на коэффициент Стьюдента = 1,96 (при P = 0,95) получили, что для неопределенности, обусловленной влиянием температурного фактора в лаборатории S = 0,32 мл. Пикнометры = $100 \times 3 \times 2,1 \times 10^{-4} / 1,96 = 0,03$, пипетки = $5 \times 3 \times 2,1 \times 10^{-4} / 1,96 = 0,002$ мл, пипетки = $1 \times 3 \times 2,1 \times 10^{-4} / 1,96 = 0,0003$ мл U (Vt) = 0,352 мл
Параметры микроклимата	U (влажность) = $3/\sqrt{3} = 1,73\%$ U (давление) = $1,5/\sqrt{3} = 0,97$ кПа

Суммарная стандартная неопределенность U (Σ) равна квадратному корню из сумм квадратов стандартных неопределенностей:

$$U(\Sigma) = \sqrt{U1^2 + U2^2}$$

Расширенная неопределенность измерений U определяется как произведение суммарной стандартной неопределенности U_{Σ} и коэффициента охвата k (значение $k=2$, соответствует интервалу с уровнем доверия, близким к 95%):

$$U=k \times U_{\Sigma}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем использовать любую методику для рутинных измерений, согласно ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 лаборатория должна подтвердить, что она может надлежащим образом применять выбранную методику, обеспечивая требуемое исполнение, то есть получать результаты с показателями качества, не превышающими установленных значений. С целью оценки показателей качества методики РМГ 61-2010 рекомендует проведение экспериментальных исследований с применением не менее трех образцов для оценивания. В качестве ОО для оценки показателей прецизионности кроме СО и АС (аттестованная смесь веществ), допускается использование стабильных и однородных рабочих проб.

С целью оценки показателя повторяемости $\sigma_{r,m}$ результатов анализа были рассчитаны значения средних арифметических ($X_{m,l}$) значений и выборочных дисперсий ($S^2_{m,l}$). На основании полученных значений выборочных дисперсий в каждом из ОО проверена гипотеза о равенстве генеральных дисперсий с использованием критерия Кохрена. Для этого проведено сравнение вычисленных $G_{m(max)}$ (табл. 2) с табличным значением $G_{табл}$ для числа степеней свободы $\nu=N-1$, соответствующего максимальной дисперсии, и f (число степеней свободы) = L , соответствующего числу суммируемых дисперсий, и принятой доверительной вероятности $P=0,95$: $G_{табл} = 0,8159$ при $\nu=7$, $f=2$. Проверка показала, что для всех ОО $G_{m(max)} < G_{табл}$.

Таблица 2

Значения критерия Кохрена ($G_{m(max)}$)

Размер фракции грунта, мм	Номер образца		
	1П-23/30	1П-23/84	1П-23/92
0,1–0,05	0,7250	0,7726	0,7652
0,05–0,01	0,6044	0,7152	0,5633
0,01–0,005	0,5614	0,7671	0,6252
0,005–0,002	0,5140	0,7586	0,7944
0,002–0,001	0,7604	0,6307	0,6483
Менее 0,01	0,5880	0,5010	0,6161
Менее 0,001	0,6422	0,5816	0,6386

Таким образом, гипотеза о равенстве генеральных дисперсий получила полное подтверждение, т.е. не выявлены дисперсии, подлежащие исключению. Все полученные дисперсии следует считать однородными, и по ним можно рассчитать СКО, характеризующее повторяемость результатов единичного анализа ($S_{r,m}$) и оценить показатель повторяемости методики анализа (σ_r) (табл. 3). В качестве принятых (окончательных) значений показателей указана медиана результатов измерений трех ОО. Для разных исследуемых фракций грунта σ_r составляет от 0,4 до 1,8%. Интегральной оценкой показателя повторяемости является предел повторяемости (r), который позволяет решить, существует ли значительная разница между результатами повторных анализов пробы, проведенных в определенных условиях, при оговоренном уровне достоверности. С уменьшением размера фракции грунта значение r изменяется с 4,9 до 1,2% (табл. 3), данный показатель может применяться при проверке приемлемости результатов измерений и контроле качества испытаний в пределах одной партии образцов для анализа. Абсолютное расхождение между двумя результатами измерений, полученными в условиях повторяемости, не должно превышать значений предела повторяемости.

Показатели прецизионности в условиях внутрилабораторной воспроизводимости (σ_R) изменяются от 0,7 до 2,9%, могут использоваться при контроле стабильности результатов измерений в пределах лаборатории в форме выборочного статистического контроля.

Для сопоставления результатов измерений, полученных для одного и того же свойства объекта, необходимо знать неопределенность (U), представляющую собой интервал, характеризующий диапазон значений, которые могут быть обоснованно приписаны измеряемой величине. Результаты

анализа, полученные по методике, представляют в виде $\bar{x} \pm U$, где \bar{x} – результат анализа. При оценке неопределенности принимают во внимание все известные эффекты, влияющие на результат. Суммарная стандартная неопределенность, рассчитанная нами, складывалась из результатов прецизионности измерений (внутрилабораторная прецизионность, оцененная по типу А) и погрешности средств измерений (по типу В). Расширенная неопределенность (U) для разных исследуемых фракций грунта составляет от 0,9 до 3,9%.

Таблица 3

Результаты расчета метрологических характеристик определения гранулометрического (зернового) состава грунтов пипеточным методом

Размер фракции грунта, мм	Показатель,* %	1П-23/30	1П-23/84	1П-23/92	Принято (медиана)
0,1–0,05	X_m	23,1	6,1	5,7	$G_{m(max)} < G_{табл}$
	σ_f	1,5	1,3	1,1	1,3
	σ_R	1,7	2,2	1,4	1,7
	r	4,0	3,5	3,0	3,5
	R	4,6	6,1	4,0	4,6
	U	2,8	4,3	3,1	3,1
0,05–0,01	X_m	10,6	32,3	46,0	$G_{m(max)} < G_{табл}$
	σ_f	1,2	2,2	1,8	1,8
	σ_R	1,8	4,7	2,5	2,5
	r	3,3	6,0	4,9	6,0
	R	4,9	12,9	6,8	6,8
	U	2,1	6,6	3,9	3,9
0,01–0,005	X_m	1,3	10,8	20,0	$G_{m(max)} < G_{табл}$
	σ_f	0,6	1,0	1,1	1,0
	σ_R	0,8	2,7	2,2	2,2
	r	1,6	2,9	3,2	2,9
	R	2,2	7,6	6,2	6,2
	U	0,7	3,1	3,8	3,1
0,005–0,002	X_m	1,1	9,4	13,1	$G_{m(max)} < G_{табл}$
	σ_f	0,4	1,2	0,8	0,8
	σ_R	0,7	3,1	1,1	1,1
	r	1,2	3,3	2,3	2,3
	R	2,0	8,7	3,2	3,2
	U	0,8	4,1	1,8	1,8
0,002–0,001	X_m	0,8	4,6	6,5	$G_{m(max)} < G_{табл}$
	σ_f	0,3	0,8	0,7	0,7
	σ_R	0,8	1,4	1,0	1,0
	r	0,9	2,4	1,9	1,9
	R	2,1	4,2	2,9	2,9
	U	0,8	2,2	1,6	1,6
Менее 0,01	X_m	5,4	39,4	46,2	$G_{m(max)} < G_{табл}$
	σ_f	0,5	1,7	0,9	0,9
	σ_R	0,7	3,4	2,0	2,0
	r	1,5	4,6	2,5	2,5
	R	2,1	25,9	5,6	5,6
	U	0,8	9,9	2,9	2,9
Менее 0,001	X_m	2,2	14,3	6,7	$G_{m(max)} < G_{табл}$
	σ_f	0,4	0,7	0,4	0,4
	σ_R	0,7	2,9	0,6	0,7
	r	1,2	2,1	1,1	1,2
	R	1,9	8,1	1,7	1,9
	U	0,6	3,6	0,9	0,9

Примечание.

* X_m – общее среднее значение, σ_f – показатель повторяемости (относительное среднее квадратичное отклонение), σ_R – показатель воспроизводимости (относительное среднее квадратичное отклонение), r – предел повторяемости, R – предел воспроизводимости, U – расширенная неопределенность, $G_{m(max)}$ – расчетные значения критерия Кохрена, $G_{табл}$ – критические значения критерия Кохрена (РМГ 61, приложение И).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований образцов рабочих проб позволили определить следующие внутрилабораторные показатели качества методики определения гранулометрического (зернового) состава грунтов пипеточным методом:

- 1) Значение внутрилабораторного показателя повторяемости результатов анализа (σ_T) находится в интервале значений от 0,4 до 1,8%.
- 2) Относительный показатель внутрилабораторной прецизионности (σ_R) принимает значения в интервале от 0,7 до 2,9%.
- 3) Расширенная неопределенность (U) для разных исследуемых фракций грунта составляет от 0,9 до 3,9%.

Расчитанные метрологические характеристики определения гранулометрического (зернового) состава грунтов пипеточным методом, позволят проводить внутренний контроль качества измерений и повысить качество результатов и доверие к лаборатории.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию Института почвоведения и агрохимии СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

Васильева И.Е., Таусенев Д.С., Бусько А.Е., Землянко П.В., Шабанова Е.В., Забанов Ю.А., Манохина С.Н. Изучение гранулометрического состава порошков стандартных образцов природных сред // Стандартные образцы. 2015. № 1. С. 39–49.

ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. Москва: Государственный комитет СССР по стандартам (с изменением №1 от 01.01.2023), 1985. 7 с.

ГОСТ Р 51568-99 (ИСО 3310-1-90). Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Москва: Госстандарт России, 2000. 7 с.

ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического состава (зернового) и микроагрегатного состава. Москва: Стандартформ, 2015. 18 с.

ГОСТ 34100.3-2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Москва: Стандартформ, 2018. 104 с.

ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. Москва: Стандартиформ, 2019. 25 с.

ГОСТ Р 58975-2020. Оценка соответствия. Рекомендации по выбору методик исследований (испытаний) и измерений при проведении оценки соответствия. Москва: Стандартформ, 2020. 4 с.

ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. Москва: Российский институт стандартизации, 2021. 7 с.

РМГ 61-2010. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Москва: Стандартформ, 2013. 58 с.

РМГ 76-2014. Внутренний контроль качества результатов количественного химического анализа. Москва: Стандартиформ, 2015. 110 с.

Шейн Е.В., Мади А.И. Гранулометрический состав почв: методы лазерной дифракции и седиментометрии, их сравнение и использование // Агрохимический вестник. 2018. № 1. С. 9–11.

ISO 11277:2020. Soil quality. Determination of particle size distribution in mineral soil material. Method by sieving and sedimentation. Switzerland. 43 p.

Поступила в редакцию 02.07.2024

Принята 28.10.2024

Опубликована 05.11.2024

Сведения об авторах:

Лебедева Марина Александровна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); MarinaMyadelets@yandex.ru, marinalebedeva325@gmail.com

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

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



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

Metrological characteristic of the pipette method (GOST 12536-2014) for determining soil granulometric composition

© 2024 M. A. Lebedeva , S. A. Khudyaev 

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

The aim of the study. To calculate precision indicators (repeatability and reproducibility) and uncertainty in determining the granulometric (grain) composition of soils using the pipette method.

Methods. Using the pipette method the content of the following granulometric fractions was determined in soil samples: 0,1–0,05 mm, 0,05–0,01 mm, 0,01–0,005 mm, 0,005–0,002 mm, 0,002–0,001 mm, less than 0,01 mm, less than 0,001 mm. The determination of pH of the salt extract was carried out by potentiometric technique, and organic matter was measured photometrically. For each aliquot of the sample 16 single measurements were obtained for each soil fraction. Based on these data, precision indicators were assessed under conditions of intralaboratory repeatability and reproducibility, uncertainty indicators were assessed as well.

Main results. The following intralaboratory quality indicators were obtained for the method of determining the granulometric (grain) composition of soils using the pipette method:

- 1) The value of the intralaboratory repeatability indicator of analysis results (σ_r) ranged 0,4–1,8%.
- 2) The relative indicator of intralaboratory precision (σ_R) was within the 0,7–2,9% range.
- 3) Expanded uncertainty (U) for different soil fractions ranged from 0,9 to 3,9%.

Conclusions. The calculated metrological characteristics of determining the granulometric (grain) composition of soils using the pipette method facilitates the internal control of the measurements quality, promoting the quality and confidence in the laboratory work.

Keywords: granulometric composition; pipette method; repeatability; reproducibility; uncertainty.

How to cite: Lebedeva M.A., Khudyaev S.A. Metrological characteristics of the pipette method (GOST 12536-2014) for determining soil granulometric composition. *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(276). e276. DOI: [10.31251/pos.v7i4.276](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.276) (in Russian with English abstract).

FUNDING

The study was carried out according to the state assignment of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS with the financial support by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

REFERENCES

- Vasilyeva I.E., Tausensev D.S., Bus'ko A.E., Zemlyanko P.V., Shabanova E.V., Zabanov Yu.A., Manochina S.N. Study of particle size distribution of environment certified reference material. *Certified Reference Materials*. 2015. No. 1. P. 39–49. (in Russian).
- GOST 26483-85. Soils. Preparation of salt extract and determination of its pH using the CINAO method. Moscow: USSR State Committee for Standards (with amendment No. 1 of 01/01/2023), 1985. 7 p. (in Russian).
- GOST R 51568-99 (ISO 3310-1-90). Laboratory sieves made of metal wire mesh. Moscow: Gosstandart of Russia, 2000. 7 p. (in Russian).
- GOST 12536-2014. Soils. Methods for laboratory determination of granulometric composition (grain) and microaggregate composition. Moscow: Standardform, 2015. 18 p. (in Russian).
- GOST 34100.3-2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008. Measurement uncertainty. Part 3. Guidance on expressing measurement uncertainty. Moscow: Standardform, 2018. 104 p. (in Russian).
- GOST ISO/IEC 17025-2019. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Moscow: Standartinform, 2019. 25 p. (in Russian).

GOST R 58975-2020. Conformity assessment. Recommendations for the selection of research (testing) and measurement methods when conducting conformity assessment. Moscow: Standardform, 2020. 4 p. (in Russian).

GOST 26213-2021. Soils. Methods for determining organic matter. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2021. 7 p. (in Russian).

RMG 61-2010. Indicators of accuracy, correctness, precision of methods of quantitative chemical analysis. Moscow: Standardform. 2013. 58 p. (in Russian).

RMG 76-2014. Internal quality control of quantitative chemical analysis results. Moscow: Standartinform, 2015. 110 p. (in Russian).

Shein E.V., Mady A.I. Granulometric composition of soils: methods of laser diffraction and sedimentometry, their comparison and use. Agrochemical Herald. 2018. No. 1. P. 9–11. (in Russian).

ISO 11277:2020. Soil quality. Determination of particle size distribution in mineral soil material. Method by sieving and sedimentation. Switzerland. 43 p.

Received 02 July 2024

Accepted 28 October 2024

Published 05 November 2024

About the authors:

Marina A. Lebedeva – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil Biogeochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); MarinaMyadelets@yandex.ru

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

The authors read and approved the final manuscript



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

УДК 631.445

<https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.270>

Морфогенетические особенности структуры почвенного покрова Притазовского заполярья (Западная Сибирь)

© 2024 Б. А. Смоленцев , И. Д. Махатков 

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

Цель исследования. Дать морфогенетическую характеристику структуры почвенного покрова (СПП) Притазовского заполярья.

Место и время проведения. Почвенно-географические и почвенно-генетические исследования проводили в период с 2009 по 2011 годы в подзоне южной тундры Западной Сибири в левобережной части бассейна р. Таз, в нижнем ее течении. Камеральные работы, в т.ч. аналитические исследования проводили в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН в период с 2010 по 2016 годы.

Методы. На двух ключевых участках, различающихся ландшафтами, проведено крупномасштабное, а местами детальное почвенное обследование. Созданные почвенные карты были оцифрованы в пакете QGIS. Математическая обработка полученных цифровых данных по площадям и периметрам ареалов почв и почвенных комбинаций (ПК) проведена с использованием MsExcel. При классификации почвенных комбинаций за основу взята таксономическая система В.М. Фридланда; также использованы предложенные им же количественные показатели для морфогенетического анализа СПП.

Основные результаты. Основу почвенного покрова (ПП) Притазовского заполярья составляют глееземы и криоземы, занимающие 90,9% площади. Большинство ареалов этих почв слабо варьируют по площади и внешнему периметру и имеют несложное геометрическое строение. По площади наиболее крупных контуров все элементарные почвенные ареалы (ЭПА) и почвенные комбинации относятся к мелко- и среднеареальным (<30 га). Более 90% контуров имеют очень мелкие размеры (<5 га). Наименьшими размерами ЭПА характеризуются торфяно-криоземы полигонально-валиковых болот. Большинство почвенных контуров (83%) исследуемой территории имеют округлую или вытянутую форму со слабоизвилистыми границами и небольшой длиной внешнего периметра, что обуславливает их монолитное и слаборасчлененное строение (коэффициент расчленения <2,5). Главными дифференцирующими факторами почвенного покрова являются криогенез, глеевые процессы, детритогенез. В целом, почвенный покров Притазовского заполярья характеризуется как монотонно-гетерогенный для территорий с расчлененным рельефом и гомогенно-монотонный для территорий с плоским рельефом.

Заключение. Почвенный покров территорий Притазовского заполярья с расчлененным рельефом более классификационно контрастен и менее геометрически сложен по сравнению с ПП территорий с плоским рельефом, который имеет очень сложное геометрическое строение из-за большого количества в нем очень мелких ЭПА. Мелкоконтурность и большое количество ЭПА и ПК на единицу площади сильно отличает почвенный покров тундры от ПП остальных биоклиматических зон Западной Сибири.

Ключевые слова: Cryosols; Gleysols; структура почвенного покрова; Притазовское заполярье; Западная Сибирь.

Цитирование: Смоленцев Б.А., Махатков И.Д. Морфогенетические особенности структуры почвенного покрова Притазовского заполярья (Западная Сибирь) // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 4. e270. DOI: 10.31251/pos.v7i4.270

ВВЕДЕНИЕ

Изучение природных комплексов северных территорий России и, в частности, регионов Западной Сибири, связано с определенными сложностями, обусловленными трудной доступностью и значительными финансовыми затратами, в том числе на исследование почвенного покрова. Поэтому почвенный покров заполярной территории Западной Сибири изучен фрагментарно и крайне слабо; все современные исследования по его изучению ограничены определением и описанием компонентного состава (Таргульян и др., 1972; Тонконогов, 1977; Заров и др., 2022; Ткачева и др., 2023), генетических особенностей составляющих его отдельных типов почв (Гербер и др., 2017; Smolentsev, Konarbaeva, 2013; Loiko et al., 2023) и особенностей их элементного состава (Московченко, Романенко, 2020). До настоящего времени опубликована единственная монография о почвах лесотундровой и тундровой зон Западной Сибири (Васильевская и др., 1986). Публикаций о количественной оценке неоднородности структуры почвенного покрова заполярных территорий Западной Сибири нет. Почва, как всякое трехмерное тело, имеет определенную форму, объем и

внутреннее содержание, по которому определяется ее классификационная принадлежность. Не имея количественных показателей геометрии почвенных контуров, степени их дифференциации или изменчивости, степени изрезанности и извилистости их границ, классификационной контрастности почвенного покрова в целом, невозможно получить полную и достоверную информацию о структуре почвенного покрова, его неоднородности, степени сходства или различия для разных биоклиматических зон (подзон) и геоморфологических районов Западной Сибири.

Цель работы – дать морфогенетическую характеристику структуры почвенного покрова Притазовского заполярья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в подзоне южной тундры Западной Сибири в левобережной части бассейна р. Таз, в нижнем ее течении. По геоморфологическому районированию Западной Сибири (Воскресенский, 1980) исследуемая территория расположена в области ледниковых и водно-ледниковых пониженных равнин. Абсолютные высоты колеблются в пределах 25–35 м над уровнем моря. Согласно новейшим схемам почвенно-географического районирования (Карта ..., 2013), территория исследований входит в состав Полярного географического пояса Евразийской полярной почвенно-биоклиматической области почвенной зоны тундровых глеевых почв и подбуров Субарктики Ямало-Гыданской провинции. Почвообразующие породы представлены флювиогляциальными отложениями легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава.

Рельеф исследованной территории представлен холмистыми повышениями и плоскими, в том числе, водораздельными участками в междуречье рек Вэсакояха и Лукыяха (Нуныяха), являющихся левыми притоками р. Таз. В период проведения полевых исследований глубина сезонного оттаивания многолетне-мерзлых пород в середине августа колебалась от 20 см до 2-х метров. Другими исследованиями установлено более глубокое оттаивание мерзлоты в этом регионе (Лойко и др., 2022; Слагода и др., 2022).

Было выбрано два ключевых участка, расположенных в различающихся ландшафтах. Первый ключевой участок (рис. 1А) имеет наиболее расчлененный холмистый рельеф (рис. 1Б) и характерную для южной тундры растительность. Второй участок расположен на плоском заболоченном водоразделе (рис. 2) с большим количеством полигонально-валиковых болот. На первом участке площадью 194 га проведено крупномасштабное почвенное обследование, а в местах с высокой мелкоконтурностью – детальное. На втором участке изучалась структура почвенного покрова полигонально-валиковых болот. Здесь было проведено детальное почвенное картографирование, т.к. размеры элементарных почвенных ареалов отдельных почв не превышали 50 м². Общая площадь детального почвенного обследования составила 9,8 га.

Почвенное обследование проводилось согласно принятым методикам (Общесоюзная инструкция..., 1973; Методология составления..., 2006). Категория сложности территории для проведения почвенных обследований – V. Крупномасштабное почвенное картографирование выполнялось в масштабе 1:10000, детальное – в масштабе 1:2000. При почвенном обследовании первого ключевого участка было заложено 38 почвенных разрезов (основных и поверочных) и более 200 прикопок, необходимых для определения границ почвенных контуров. Большинство основных разрезов имели горизонтальную протяженность (ширину) более 1 м и на их передней стенке выделялось 2-3 типа (подтипа) почв. На втором ключевом участке закладывали, в основном, прикопки, так как близкое залегание мерзлоты не позволяло заложить основные полнопрофильные разрезы. Вскрываемый прикопками профиль почв оказывался достаточным для определения их классификационной принадлежности.

В результате проведенных полевых исследований установлено, что почвенный покров обоих ключевых участков характеризуется значительной мелкоконтурностью. Размеры ЭПА, имеющих профиль с полным набором типодиагностирующих горизонтов, колеблются от нескольких десятков сантиметров до двух-трех метров по наибольшей стороне. Соответственно, даже при детальном почвенном обследовании невозможно выделить однородные контуры ЭПА. На это же указывает В.Д. Васильевская с соавторами (1993), характеризуя структуру почвенного покрова полярных территорий: «Однородные (некомплексные) ареалы скорее представляют собой исключение в СПП». Поэтому в качестве элементарных единиц выделов на почвенной карте использовали двух-, трехкомпонентные почвенные комбинации.

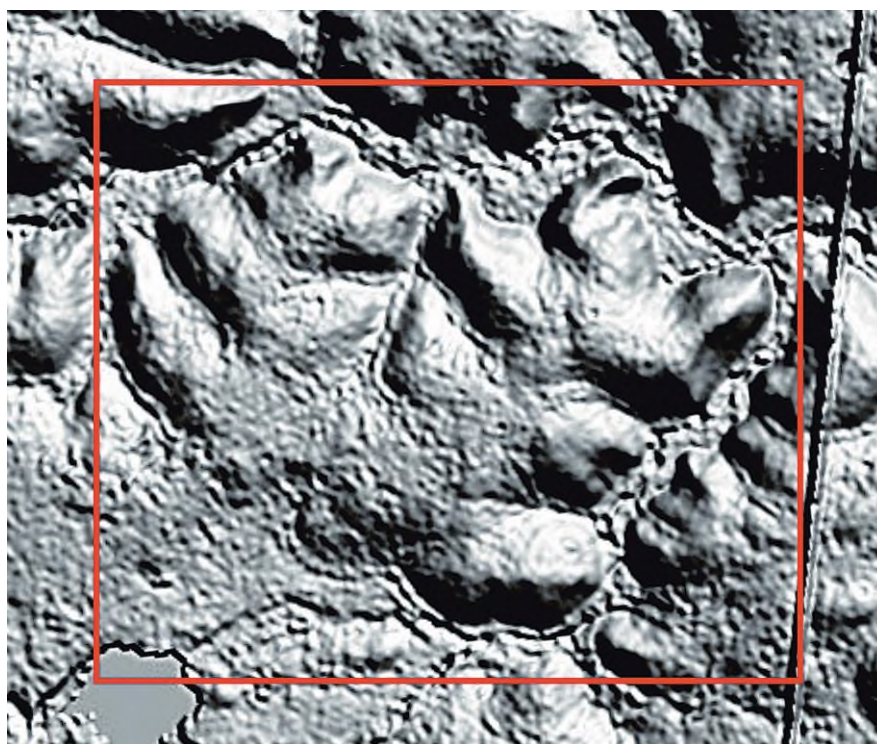
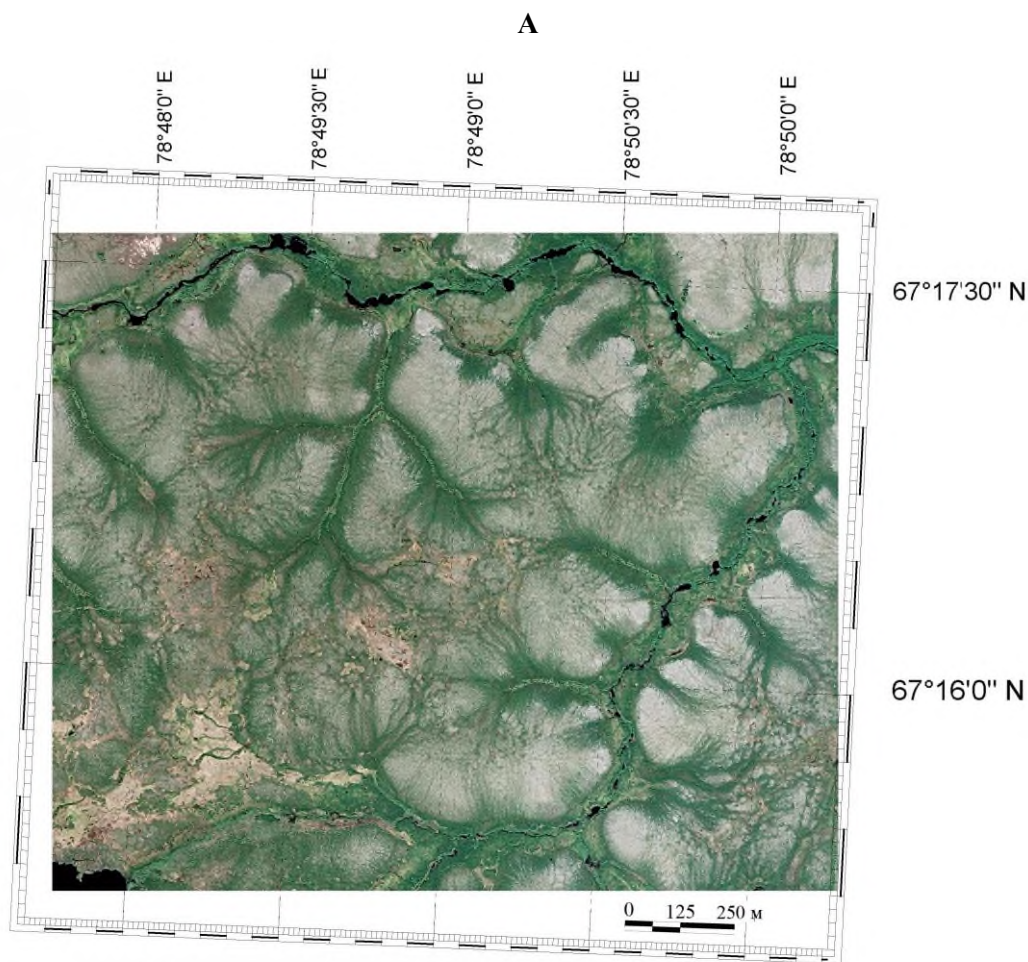


Рисунок 1. Ключевой участок № 1: А – космический снимок, Б – рельеф.

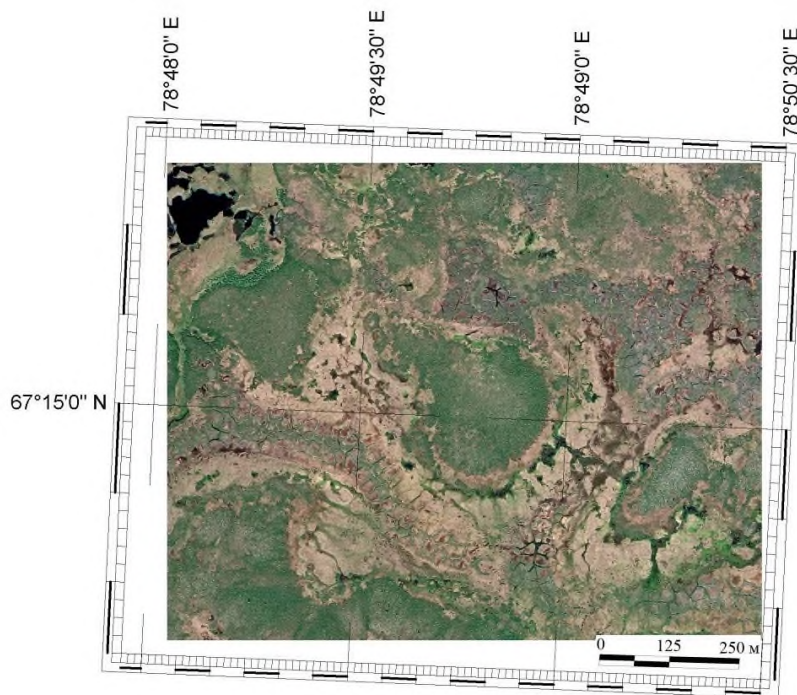


Рисунок 2. Космический снимок ключевого участка № 2.

Созданные почвенные карты (рис. 3 и 4) были оцифрованы в пакете QGIS. Математическая обработка полученных цифровых данных по площадям и периметрам ареалов почв и почвенных комбинаций проводилась с использованием MsExcel. При классификации почвенных комбинаций за основу взята таксономическая система В.М. Фридланда (1972; 1984); также использовали предложенные им же количественные показатели для морфогенетического анализа СПП.

Морфометрическая или морфологическая характеристика СПП включает следующие показатели (Роома, 1972): 1) площадь – общая, средняя, минимальная, максимальная; 2) степень дифференциации величины почвенных контуров; 3) конфигурация (форма) контуров; 4) расчлененность контуров с выявлением коэффициента расчленения и распределения его частостей; 5) контурность – количество контуров почв на единицу площади (100 га); 6) экология образования и развития ЭПА и почвенных комбинаций.

При сравнении почвенных контуров по площади и величине коэффициента внешнего расчленения использовали ранее составленные градации (Смоленцев, 2002), а при характеристике сложности ПП – градация, предложенная Я.М. Годельманом (1991). Градации почвенного покрова по коэффициентам контрастности и неоднородности разработаны автором данной статьи (Б.А. Смоленцевым) на основе эмпирического метода научных исследований, путем измерения и сравнения полученных значений этих коэффициентов для почвенного покрова различных геоморфологических районов Западной Сибири. Названия категорий заимствованы у Я.М. Годельмана (1991) с добавлением двух промежуточных категорий по коэффициенту неоднородности почвенного покрова: монотонно-гомогенный и гетерогенно-монотонный.

Классификационная неоднородность или контрастность почвенного покрова определялась на основе генетических особенностей составляющих его почв, по формуле, предложенной Ю.К. Юдисом (1967). Степень различия свойств почв рассчитывалась с учетом степени выраженности в почвах криогенных признаков и признаков оглеения, оторфованности почв и характера органогенного горизонта. Контрастность глееземов криогенно-ожелезненных, как занимающих наибольшую площадь на исследуемой территории, принята за единицу. Степень контрастности между любыми двумя почвами рассчитывалась как суммарный балл их различий по четырем показателям. Названия почв даны в соответствии с «Классификацией и диагностикой почв России» 2004 года и «Полевого определителя почв России» 2008 г. Космические снимки взяты из свободного доступа – Google Earth Pro. Снимок рельефа представлен из <https://livingatlas2.arcgis.com/arcticdemexplorer/>.

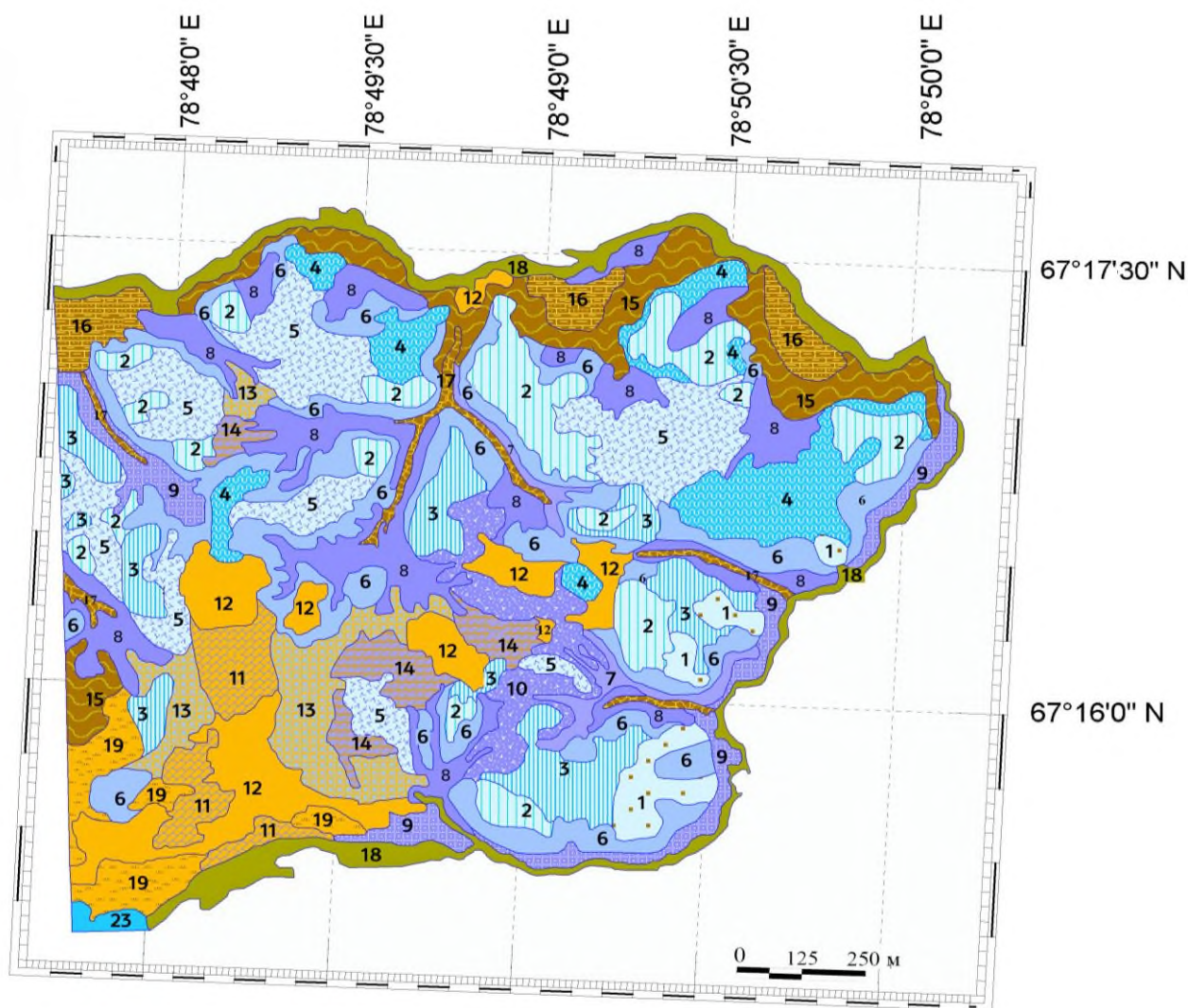


Рисунок 3. Почвенная карта ключевого участка № 1. Условные обозначения к почвенной карте: 1 – наноконплексы глееземов криогенно-ожелезненных с пятнами (медальонами) криогенных извержений; 2 – пятнистости глееземов криогенно-ожелезненных с глееземами грубогумусированными до 10%; 3 – пятнистости глееземов криогенно-ожелезненных с глееземами грубогумусированными криотурбированными до 25%; 4 – пятнистости глееземов грубогумусированных криогенно-ожелезненных с глееземами криометаморфическими грубогумусированными до 25%; 5 – пятнистости глееземов криогенно-ожелезненных с глееземами криометаморфическими до 25% и криоземами грубогумусовыми глееватыми до 10%; 6 – глееземы криометаморфические криотурбированные; 7 – вариации криоземов грубогумусовых типичных с криоземами грубогумусовыми глееватыми до 25%; 8 – криоземы грубогумусовые глееватые; 9 – вариации криоземов грубогумусовых глееватых с торфяно-криоземами глееватыми до 25%; 10 – вариации криоземов грубогумусовых глееватых с криоземами типичными до 25% и глееземами грубогумусовыми до 10%; 11 – вариации торфяно-криоземов с криоземами грубогумусовыми глееватыми до 45%; 12 – торфяно-криоземы; 13 – сочетание глееземов криометаморфических криотурбированных до 50% с криоземами грубогумусовыми глееватыми до 25% и торфяно-криоземами до 25%; 14 – пятнистости-вариации криоземов грубогумусовых глееватых до 50% с торфяно-криоземами глееватыми до 25% и торфяно-глееземами до 25%; 15 – мозаики торфяно-глееземов с аллювиальными торфяно-глеевыми; 16 – вариации торфяно-криоземов глееватых до 50% с торфяно-глееземами до 40% и криоземами грубогумусовыми глееватыми до 10%; 17 – мозаики торфяно-глееземов с аллювиальными торфянисто-глеевыми; 18 – аллювиальные торфяно-глеевые; 19 – комплексы торфяно-криоземов глееватых с торфяными олиготрофными мерзлотными почвами до 25%; 23 – озеро.

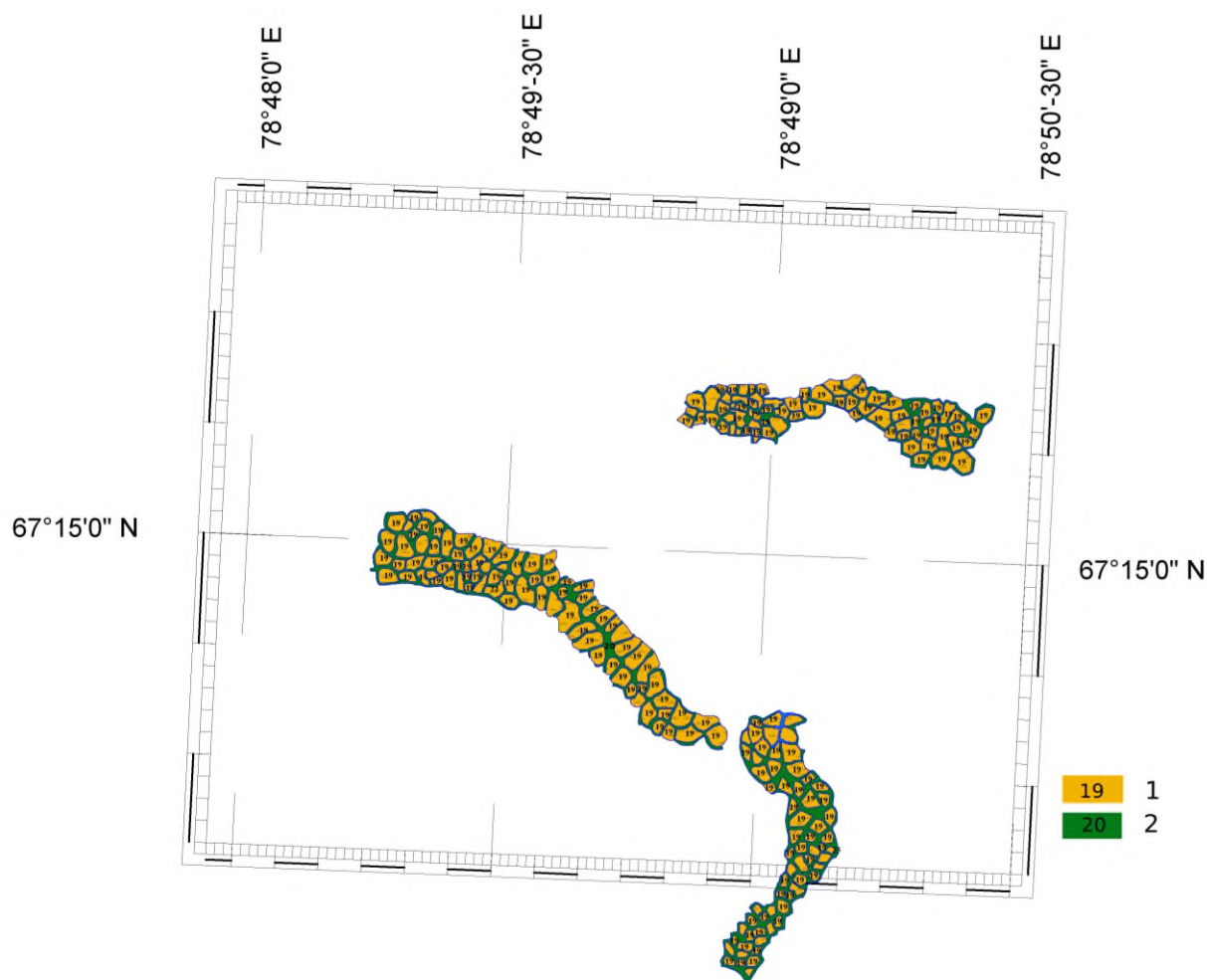


Рисунок 4. Фрагмент почвенной карты с ареалами полигонально-валиковых болот. Почвы: 1 – торфяно-криоземы, 2 – торфяные олиготрофные мерзлотные болотных валиков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Компонентный состав почвенного покрова Притазовского заполярья (в пределах исследованной территории) представлен в таблице 1 и на рисунке 5.

Всего на обследованной территории выделено 4 отдела, 9 типов и 15 подтипов почв. Наиболее распространенными почвами являются глееземы и криоземы. На долю глееземов приходится 50,4% территории, на долю криоземов – 36,1%; аллювиальные почвы занимают 7,9% площади. В наименьшей степени распространены торфяные олиготрофные мерзлотные почвы, занимающие 1,3% площади территории (см. рис. 5). В.М. Фридланд (1984) при проведении почвенно-географического деления структур почвенного покрова континентов включил исследуемую территорию в состав страны с господством микроструктур – криогенных почвенных комплексов севера Евразии.

На территории Притазовского заполярья микроструктуры представлены комплексами и пятнистостями. Разные подтипы глееземов с пятнами (медальонами) криогенных извержений образуют регулярно-циклические пучинно-бугорковатые наноконтакты (см. рис. 3, рис. 6). Основным фактором дифференциации почв в этой комбинации служит криогенез, обуславливающий контрастное различие их морфологических профилей. Характер границ между компонентами комплексов резкий.

Почвенный покров полигонально-валиковых болот, часто встречающихся на плоских водоразделах, представлен регулярно-циклическими комплексами торфяно-криоземов на полигонах с торфяными олиготрофными мерзлотными почвами на валиках (см. рис. 4). Глееземы криогенно-железистые с криотурбированными и (или) грубогумусированными подтипами образуют пространственно неупорядоченные пятнистости. Различия почв в пятнистостях наблюдаются по степени разложения органического материала, проявлению криогенного ожелезнения и криотурбаций. Данные микроструктуры формируются на холмистых повышениях.

Таблица 1

Классификационная схема почв Притазовского заполярья (в пределах исследованной территории)

Ствол	Отдел	Тип	Подтип (номер почвы)	Формула профиля
Постлито- генные	Глеевые почвы	Глееземы	криогенно-ожелезненные (1)	O-G _{cf} -G-CG
			грубогумусированные (2)	Oao-G-CG
			грубогумусированные криотурбированные (3)	Oao-G _{ctr} -CG
			грубогумусированные криогенно- ожелезненные (4)	Oao-G _{cf} -G-CG
		Глееземы криометамор- фические	криотурбированные (5)	O-G-CRM _{ctr} -CG
			грубогумусированные (6)	Oao-G-CRM-CG
		Торфяно-глееземы	криотурбированные (7)	T-G-G _{ctr} -CG
	Криотур- бирован- ные почвы	Криоземы	типичные (8)	O-CR-C ₁
			Криоземы грубогумусовые	типичные (9)
		Торфяно-криоземы	глееватые (10)	AO-CR _(g) -C _g ₁
			типичные (11)	T-CR-C ₁
			глееватые (12)	T-CR _(g) -C _g ₁
Синлито- генные	Аллюви- альные	Аллювиальные торфянисто- глеевые	типичные (13)	T-G-CG ~ ~
		Аллювиальные торфяно-глеевые	типичные (14)	T-G-CG ~ ~
Органо- генные	Торфяные	Торфяные олиготрофные мерзлотные	типичные (15)	TO-TT-TT ₁

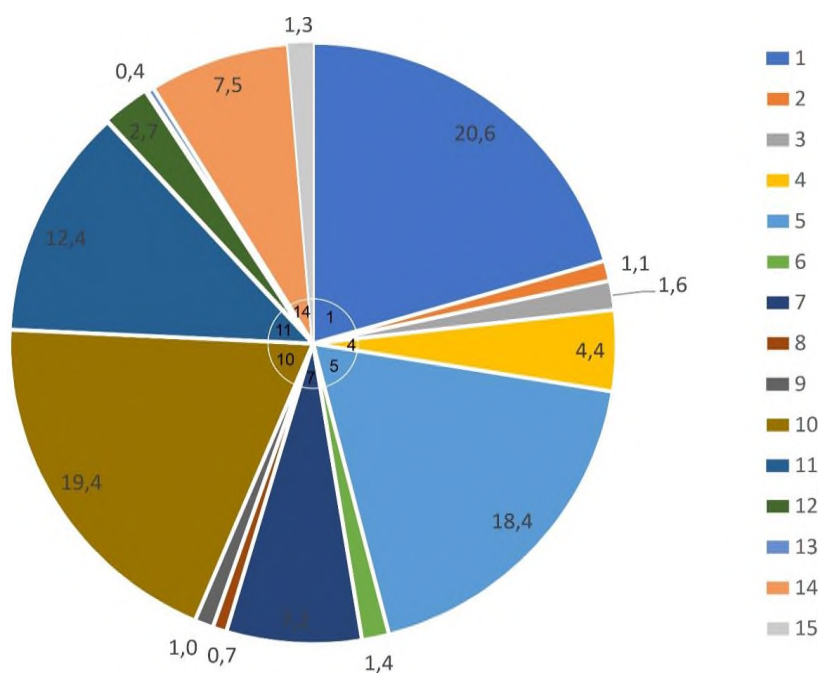


Рисунок 5. Процентное соотношение подтипов почв (см. табл. 1) с учетом их участия в почвенных комбинациях.

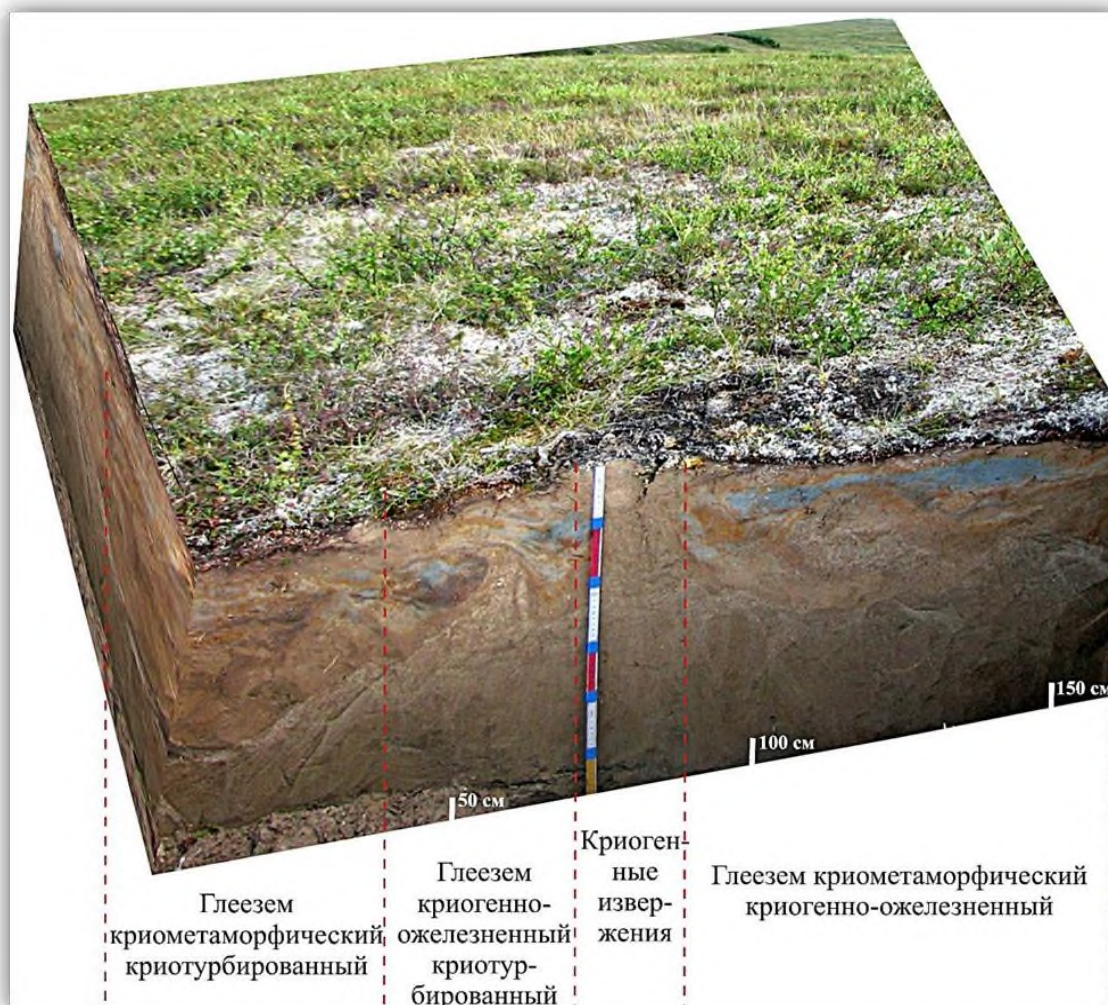


Рисунок 6. Пример неоднородности почвенного покрова типичной тундры Западной Сибири; в центре – пучинно-бугорковатый наноконкомплекс глееземов криогенно-ожезненных с пятнами (медальонами) криогенных извержений.

Структура почвенного покрова южной тундры, образованная почвенными комбинациями с ведущей ролью микроструктур, занимает около 30% изученной территории. На большей ее части в условиях расчлененного рельефа формируются почвенные комбинации с ведущей ролью мезоструктур (с учетом микроструктур входящих в состав сложных сочетаний). Почвенный покров здесь образован многократным пространственным повторением мозаик, вариаций, простых и сложных сочетаний, составленных почвами, относящимися к отделам криоземов, глеевых и аллювиальных почв (табл. 1, см. рис. 3). Мозаики распространены в трансупераквальных (Глазовская, 1973) ландшафтах долин ручьев. Это двухкомпонентные почвенные комбинации. Они представлены торфяно-глееземами и аллювиальными торфянисто- или торфяно-глеевыми почвами. Фактор дифференциации почв – различие почвообразующих пород.

Вариации образованы криоземами грубогумусовыми с их полугидроморфными аналогами, а также с торфяно-криоземами глееватыми. Эти почвенные комбинации формируются по нижним частям склонов к речным долинам и ложбинам стока. Основной фактор дифференциации почв в таких комбинациях – глубина залегания мерзлотного слоя и мощность его оттаивания в летнее время с образованием (или без) надмерзлотной верховодки, приводящей к гидрометаморфизации почвенного профиля.

Почвы простых сочетаний представлены глееземами, криоземами грубогумусовыми глееватыми и торфяно-криоземами. Пятнистости и пучинно-медальонные наноконкомплекс внутри сочетаний усложняют их геометрическое строение. Основными генетико-геометрическими формами данных почвенных комбинаций являются линейно-древовидные с нанопятнистыми включениями.

По площади наиболее крупных контуров все ЭПА и почвенные комбинации относятся к мелко- и среднеареальным (<30 га). Для сравнения, почвенные комбинации северо-таежной подзоны по этому показателю – мегамассивные (более 200 га) (Смоленцев, 2002).

Наибольшее количество выделенных контуров (93,5%) имеют очень мелкие размеры (<5 га). Мелкими размерами (5,1–10,0 га) характеризуются около 5% контуров. Всего два почвенных контура: аллювиальных торфяно-глеевых почв и мозаики этих почв с торфяно-глееземами, имеющие площадь 11,7 и 10,1 га, относятся к среднеареальным. Вариабельность размеров ЭПА и почвенных комбинаций средняя – 0,47–0,62 (табл. 2).

Таблица 2

Основные морфометрические показатели почвенных выделов участка № 1

№ почвенной комбинации на карте	Общая площадь, га	% от общей площади	Размеры ЭПА, ПК, га			Отношение максимальной к минимальной	Коэффициент расчленения			ДПК	ДПП	Количество контуров, п
			Средняя	Минимальная	Максимальная		Средний	Минимальный	Максимальный			
1	4,08	2,1	1,02	0,33	2,45	7	1,4	1,4	1,8	0,78	0,51	4
2	15,17	7,8	0,95	0,25	3,99	16	1,4	1,1	2,0	0,77	0,50	16
3	12,18	6,3	1,21	0,13	3,57	27	1,6	1,1	2,2	0,62	0,45	10
4	11,26	5,8	1,61	0,20	6,12	31	1,7	1,1	2,8	0,80	0,64	7
5	20,07	10,3	2,51	0,50	5,91	12	1,8	1,5	2,4	0,55	0,30	8
6	26,43	13,7	1,20	0,20	7,54	38	2,2	1,1	6,6	0,67	0,66	22
7	2,58	1,3	1,29	0,82	1,76	2	3,8	3,4	4,1			2
8	22,3	11,5	1,39	0,25	3,78	15	2,4	1,4	3,3	0,47	0,55	16
9	5,26	2,7	1,32	0,90	1,93	2	2,5	1,8	3,5	0,24	0,33	4
10	5,77	3,0	5,77				4,4		4,4			1
11	5,41	2,8	1,8	0,82	2,69	3	1,8	1,3	2,0	0,36	0,13	3
12	13,79	7,1	1,72	0,14	6,62	47	1,6	1,2	3,0	0,78	0,64	8
13	8,43	4,3	2,81	0,65	5,80	9	2,2	1,6	2,7	0,71	0,52	3
14	4,94	2,5	1,24	0,68	2,02	3	1,7	1,6	1,9	0,35	0,14	4
15	11,53	5,9	5,77	1,43	10,10	7	3,3	1,7	4,8	0,75	0,76	2
16	5,20	2,7	1,73	1,48	2,02	1	1,4	1,4	1,5	0,11	0,09	3
17	2,71	1,4	0,54	0,27	1,34	5	2,9	2,0	4,4	0,59	0,54	5
18	11,68	6,1	11,68		11,68		8,4		8,4			1
19	5,27	2,7	1,32	0,47	2,12	5	1,6	1,3	2,1	0,60	0,44	4
Общая	194,06	100	1,58	0,13	11,68		2,0	1,1	8,4			123

Примечание: ДПК – дифференциация величины почвенных контуров, ДПП – дифференциация величины почвенных периметров.

Наибольшие различия в размерах наблюдаются у торфяно-криоземов (0,78) и у глееземов (0,71–0,80). Высокие значения отношений максимальной площади к минимальной у глееземов связано с их приуроченностью к холмистым повышениям, имеющим разные размеры. У торфяно-криоземов высокие значения свидетельствуют об отсутствии препятствий для увеличения их размеров. Эти почвы формируются на плоских водоразделах; они эволюционируют из окружающих их глееземов и криоземов в результате процессов торфообразования и торфонакопления.

Большая часть почвенных контуров исследуемой территории имеют округлую или вытянутую форму со слабоизвилистыми границами и небольшой длиной внешнего периметра (по отношению к площади). Все это послужило причиной низкой величины коэффициента расчленения (КР) почвенных контуров: 83% имеют моноконтурное и слаборасчлененное строение ($КР < 2,5$), 11% – расчленены в средней степени ($КР 2,6–3,5$) и только 6% имеют сильнорасчлененное ($3,6–4,5$) и изрезанное ($>4,5$) строение (см. табл. 2, рис. 7).

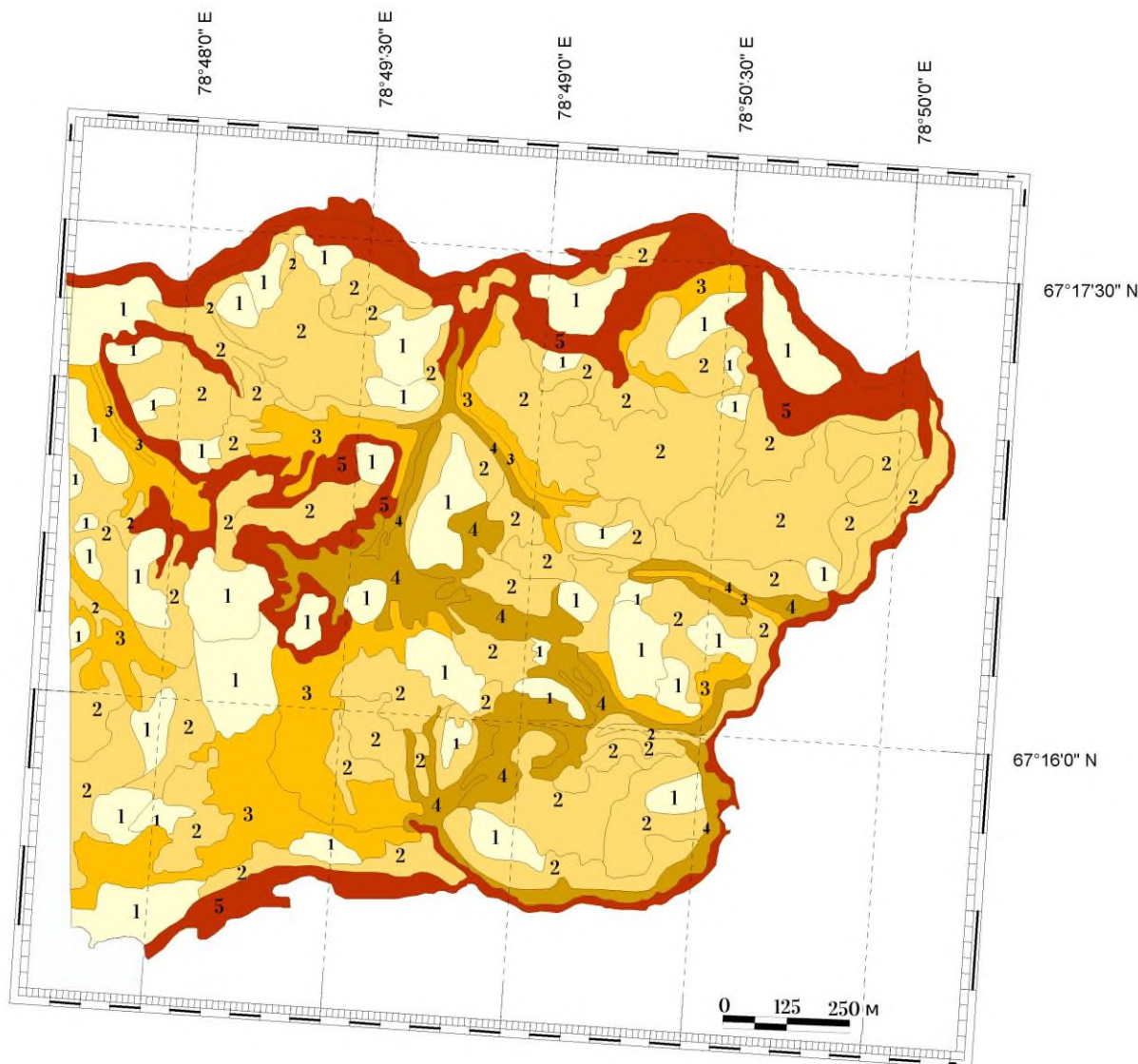


Рисунок 7. Карта расчлененности почвенных контуров ключевого участка № 1 (1 – моноконтурные, 2 – слаборасчлененные, 3 – среднерасчлененные, 4 – сильнорасчлененные, 5 – изрезанные).

Наименьшей внешней расчлененностью характеризуются контуры ЭПА глееземов криогенно-ожеженных и почвенные комбинации с их фоном. Это связано с местоположением этих почв в рельефе: они занимают вершины холмообразных повышений, имеющих округлую форму. Ареалы данных почв и их комбинаций с другими почвами относятся к замкнутым слаборасчлененно-ареальным: средний КР – 1,4–1,8, что ниже среднего исследованной территории.

Сильнорасчлененное и изрезанное строение имеют ареалы почв, развивающихся узкими извилистыми полосами, окаймляющими подножия холмов, а также в сильно изрезанных ложбинах стока, в т.ч. долинах рек и ручьев. К подножию увалов приурочены глееземы криометаморфические криотурбированные, некоторые ареалы которых имеют один из самых высоких коэффициентов расчлененности – 6,6 (см. рис. 7, табл. 2).

Контуры вариаций криоземов грубогумусовых с их полугидроморфными аналогами характеризуются высокими средними значениями коэффициента расчленения, которые почти в 2 раза

превышают средний показатель всех контуров исследуемой территории. Почвы долин рек, торфяно-глееземы и аллювиальные торфяно- и торфянисто-глеевые, характеризуются наивысшей степенью расчлененности контуров (см. табл. 2, рис. 7).

В целом, почвенный покров исследованной расчлененной территории, с точки зрения сложности геометрического строения, характеризуется как мелкоареальный вытянуто-округлый слаборасчлененный, местами ветвистый изрезанный. Высокое значение коэффициента сложности обусловлено большим количеством почвенных выделов на единицу площади – в среднем 63 контура на 100 га. Это в несколько раз больше, чем у всех ранее изученных нами территорий (Смоленцев, Вологжина, 2004; Смоленцев, Смоленцева, 2005).

В условиях плоского рельефа формируются комплексы-пятнистости полигонально-валиковых болот из торфяно-криоземов и торфяных олиготрофных мерзлотных почв. Почвенный покров, образованный этими комбинациями, имеет дырчатое строение. Контуров торфяно-криоземов округлой или вытянутой формы опоясаны узкими извилистыми валиками из торфяных олиготрофных мерзлотных почв. Размеры ЭПА торфяно-криоземов очень мелкие – от 40 до 920 м²; средний размер ЭПА этих почв – 270 м². Это на два порядка меньше размеров контуров почвенных комбинаций, формирующихся в условиях холмистого рельефа. ЭПА торфяно-криоземов характеризуются слабой изрезанностью, они нерасчлененные. Среднее значение коэффициента расчленения – 1,16, что свидетельствует об округлой слабо вытянутой форме ЭПА. Ареалы торфяных олиготрофных мерзлотных почв, опоясывающие ЭПА торфяно-криоземов имеют сильнодырчатое строение; средний коэффициент внутреннего расчленения – 14,1.

В целом, почвенный покров, сформировавшийся в условиях плоского рельефа, имеет очень сложное геометрическое строения (КС = 26,4), что обусловлено большим количеством очень мелких ЭПА. Если пересчитать количество ЭПА на 100 га площади, то оно составит около 2800 контуров.

Контрастность почв или их классификационная неоднородность, рассчитывалась по четырём показателям: степени выраженности криогенных признаков, признаков оглеения, оторфованности почв и характера органогенного горизонта (табл. 3).

Таблица 3

Группировка почв по степени выраженности криогенных признаков, признаков оглеения, оторфованности почв и характера органогенного горизонта

Признак	Степень выраженности	№ почвы по табл. 1
Проявление криогенных признаков	отсутствует	2, 13, 14
	наличие фронта промерзания	1, 4, 15
	признаки криотурбаций	3, 7
	наличие криогенной структуры	5, 6
	наличие криотурбированного горизонта	8, 9 10, 11, 12,
Проявление признаков оглеения	отсутствует	8, 9, 11, 15
	глееватые	10, 12
	наличие глеевого горизонта	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 13, 14
Оторфованность	отсутствует	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10
	торфянистые (10–30 см)	13
	торфяные (30–50 см)	7, 11, 12, 14, 15
Характер органогенного горизонта	грубогумусовый	9, 10
	подстилочно-торфяный с наличием прослойки грубогумусового материала	2, 3, 4, 6
	подстилочно-торфяный	1, 5, 8
	торфяный	7, 11, 12, 13, 14, 15

Почвенный покров ключевого участка № 1 по величине суммарного коэффициента контрастности (табл. 4) характеризуется как полуконтрастный (табл. 5). Относительно невысокий показатель контрастности почвенного покрова обусловлен низким классификационным

разнообразием постлитогенных почв: всего два отдела этого ствола занимают 90,8% территории. Коэффициент неоднородности (см. табл. 4), как интегральный показатель уровня дробности, расчлененность и контрастность почвенного покрова расчлененной территории Притазовского заполярья характеризуют его как монотонно-гетерогенный (табл. 6).

Генетические различия почв ключевого участка № 2 обнаруживаются по наличию криотурбированного горизонта у торфяно-криоземов и его отсутствию у торфяных олиготрофных мерзлотных почв. По остальным показателям контрастности почвы не различаются. В соответствии с низким значением (0,3) коэффициента контрастности почвенный покров ключевого участка № 2 характеризуется как неконтрастный. Коэффициент неоднородности почвенного покрова (8,2), сформировавшегося в условиях плоского рельефа Притазовского заполярья, определяет его как гомогенно-монотонный.

Таблица 4

Морфогенетические показатели неоднородности почвенного покрова Притазовского заполярья

Площадь, га	Р, м	КР	КС	КК	КН
Ключевой участок № 1					
общая	194,06	115 398			
средняя	1,58	931	2,03	1,2	16,8
минимум	0,13	141	1,05		
максимум	11,68	10 160	8,40		
Ключевой участок № 2					
общая	2,651	9850			
средняя	0,035	131	1,38	26,4	0,3
минимум	0,004	27	1,06		
максимум	0,857	5233	15,97		

Примечание. Р – периметр, КР – коэффициент расчленения, КС – коэффициент сложности, КК – коэффициент контрастности, КН – коэффициент неоднородности.

Таблица 5

Категории почвенного покрова по коэффициенту контрастности (КК)

Категория	Градация КК
Неконтрастный	$КК < 10$
Полуконтрастный	$10,01 < КК < 20$
Контрастный	$20,01 < КК < 30$
Пёстрый	$КК > 30$

Таблица 6

Категории почвенного покрова по коэффициенту неоднородности (КН)

Категория	Градация КН
Гомогенный	$КН < 4$
Монотонно-гомогенный	$4,01 < КН < 8$
Гомогенно-монотонный	$8,01 < КН < 12$
Монотонный	$12,01 < КН < 16$
Гетерогенно-монотонный	$16,01 < КН < 20$
Монотонно-гетерогенный	$20,01 < КН < 24$
Гетерогенный	$КН > 24$

ВЫВОДЫ

1. В почвенном покрове Притазовского заполярья наиболее распространенными почвами являются глееземы и криоземы, занимающие 90,8% площади. Большинство ареалов этих почв слабо варьируют по площади и внешнему периметру, имея несложное геометрическое строение; исключение – ареалы почв, приуроченные к ложбинам стока и окаймляющие подножия холмов, имеющие сильно расчлененное и изрезанное строение. Ареалы аллювиальных и торфяных почв, занимающие 9,2% площади, имеют, соответственно, извилисто-полосчатую и дырчатую форму с сильно изрезанным строением. Наименьшими размерами элементарных почвенных ареалов (до 40 м²) характеризуются торфяно-криоземы полигонально-валиковых болот.

2. Главными дифференцирующими факторами почвенного покрова являются криогенез, глеевые процессы и детритогенез.

3. Структура почвенного покрова исследованного региона на 30% состоит из почвенных комбинаций с ведущей ролью микроструктур; тогда как на большей его части, в условиях расчлененного рельефа, формируются почвенные комбинации с ведущей ролью мезоструктур.

4. Классификационное разнообразие почв региона обусловлено разной степенью выраженности в них криогенных признаков, признаков оглеения, оторфованности и характера органогенного горизонта. Почвенный покров территорий с расчлененным рельефом намного разнообразнее такового территорий с плоским рельефом.

5. В целом почвенный покров Притазовского заполярья характеризуется как монотонно-гетерогенный для территорий с расчлененным рельефом и гомогенно-монотонный для территорий с плоским рельефом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В структуре почвенного покрова Притазовского заполярья элементарные почвенные ареалы (ЭПА) представляют собой исключение из-за их значительной мелкоконтурности. Размеры некоторых ЭПА настолько малы, что их невозможно выделить даже на детальных почвенных картах. В этой связи, основными элементарными единицами выделов при почвенном картографировании являются двух- и трёхкомпонентные почвенные комбинации (ПК). Почвенный покров (ПП) территорий с расчлененным рельефом более классификационно контрастен и менее геометрически сложен по сравнению с ПП территорий с плоским рельефом, который имеет очень сложное геометрическое строение из-за большого количества в нем мелких ЭПА. Мелкоконтурность и большое количество ЭПА и ПК на единицу площади сильно отличает почвенный покров тундры от ПП других биоклиматических зон Западной Сибири.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

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

ЛИТЕРАТУРА

Васильевская В.Д., Иванов В.В., Богатырев Л.Г. Почвы севера Западной Сибири. Москва: Издательство Московского университета, 1986. 227 с.

Васильевская В.Д., Караваева Н.А., Наумов Е.М. Формирование структуры почвенного покрова полярных областей // Почвоведение. 1993. № 7. С. 44–55.

Воскресенский С.С. Геоморфологическое районирование СССР. Москва: Высшая школа, 1980. 343 с.

Гербер А.А., Кулижский С.П., Лойко С.В. Почвы криометаморфического отдела лесотундры Западной Сибири в пределах правобережной части р. Пур // Почвы Сибири: вызовы XXI века: сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием (Новосибирск, 4–7 декабря 2017 г.). Томск: Издательский Дом ТГУ, 2017. Часть 1. С. 42–46.

Глазовская М.И. Почвы Мира. Москва: Издательство Московского университета, 1973. Том 2. 427 с.

Годельман Я.М. Классификационная система почвенного покрова // Почвоведение. 1991. № 6. С. 15–37.

Заров Е.А., Голубятников Л.Л., Лапшина Е.Д., Лойко С.В. Растительность и почвы тундровых ландшафтов Пур-Тазовского междуречья // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2022. № 1. С. 82–92. <https://doi.org/10.31857/S1026347022010188>

Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1 : 2500000 / Научные редакторы: Г.В. Добровольский, И.С. Урусевская. Москва: «Талка+», 2013.

Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Лойко С.В., Кузьмина Д.М., Истигечев Г.И., Крицков И.В., Лим А.Г., Климова Н.В., Новоселов А.А., Константинов А.О., Новолодская Э.В., Кулижский С.П. Трансформация морфологических свойств почв вследствие закустаривания пятнистой тундры // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2022. № 59. С. 6–41. <https://doi.org/10.17223/19988591/59/1>

Методология составления крупномасштабных агроэкологически ориентированных почвенных карт. Москва: Типография Россельхозакадемии, 2006. 160 с.

Московченко Д.В., Романенко Е.А. Особенности элементного состава почв Пур-Тазовского междуречья // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Том 103. С. 51–84. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-103-51-84>

Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. Москва: Колос, 1973. 96 с.

Полевой определитель почв России. Москва: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

Роома И.П. О методике количественной характеристики структуры почвенного покрова // Почвенные комбинации и их генезис. Москва: Наука, 1972. С. 177–180.

Слагода Е.А., Новосёлов А.А., Королева Е.С., Кузнецова А.О., Бутаков В.И., Тихонравова Я.В., Зазовская Э.П. Следы криогенных процессов в поздненеоплейстоценовых отложениях // Криосфера Земли. 2022. Том XXVI. № 1. С. 21–35. <https://doi.org/10.15372/KZ20220103>

Смоленцев Б.А. Структура почвенного покрова Сибирских увалов. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2002. 118 с.

Смоленцев Б.А., Вологжина О.В. Пространственная и функционально-генетическая характеристика почвенных комбинаций Барабинской равнины // Сибирский экологический журнал. 2004. № 3. С. 355–366.

Смоленцев Б.А., Смоленцева Е.Н. Особенности структуры почвенного покрова Сокурской возвышенности // Сибирский экологический журнал. 2005. № 5. С. 809–821.

Ткачева А.А., Лойко С.В., Климова Н.В. Почвы и растительность прирусловых пойм юга тундры в пределах пур-тазовского междуречья // Актуальные проблемы и перспективы развития геоэкологии: материалы VII Всероссийского научного молодежного геоэкологического форума с международным участием, посвященного 150-летию и 100-летию со дня рождения ученых-мерзлотоведов Михаила Ивановича Сумгина и Кирилла Фабиановича Войтковского. (Якутск, 27 июня – 07 июля 2023 года). Якутск: Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН, 2023. С. 114–117.

Таргульян В.О., Гудына А.Н., Терешков Г.М. Почвы // Природные условия освоения Тазовского нефтегазоносного района. Москва: Наука, 1972. С. 134–142.

Тонконогов В.Д. Почвенный покров // Ямало-Гыданская область (физико-географическая характеристика). Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. С. 169–197.

Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. Москва: Мысль, 1972. 424 с.

Фридланд В.М. Структуры почвенного покрова мира. Москва: Мысль, 1984. 240 с.

Юодис Ю.К. О структуре почвенного покрова Литовской ССР // Почвоведение. 1967. № 11. С. 50–55.

Loiko S.V., Klimova N.V., Kritckov I.V., Kuzmina D.M., Kulizhsky S.P. Soils and vegetation of the riverside floodplain in the hydrological continuum of the southern tundra within the Pur–Taz interfluvium (Western Siberia) // Acta Biologica Sibirica. 2023. Vol. 9. P. 293–315. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7879848>

Smolentsev B.A., Konarbaeva G.A. Soil characteristic and soil iodine content of trans-polar territory of Pur-Taz interfluvium of Western Siberia // Open Journal of Ecology. 2013. Vol. 8. P. 510–517. <https://doi.org/10.4236/oje.2013.38060>

Поступила в редакцию 29.05.2024

Принята 17.10.2024

Опубликована 28.10.2024

Сведения об авторах:

Смоленцев Борис Анатольевич – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); smolentsev.b@issa-siberia.ru

Махатков Игорь Дмитриевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); makhatkov@issa-siberia.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



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

Morphogenetic features of the soil cover structure in the Pritazovsky Arctic (West Siberia)

© 2024 **B. A. Smolentsev** , **I. D. Makhatkov** 

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

The aim of the study. To give a morphogenetic characterization of the soil cover structure (SCS) of the Pritazovsky Arctic.

Location and time of the study. Soil geography and soil genesis studies were carried out in 2009–2011 in the southern tundra zone of West Siberia on the left-bank part of the Taz River, in its lower reaches. Laboratory work, including analyses, was carried out in 2010–2016.

Methods. A large-scale and detailed soil survey was conducted at two key sites with different landscapes. The developed soil maps were digitized in the QGIS package. The obtained digital data about the areas and perimeters of soil areas and soil combinations were converted into MS Excel, where their mathematical processing was done. When classifying soil combinations, the taxonomic system of V.M. Friedland was taken as a basis, as well as the quantitative indicators for the SCS morphogenetic analysis, the indicators also proposed by V.M. Friedland.

Results. The basis of the soil cover of the Pritazovsky Arctic consists of Gleysols and Cryosols, which occupy 90,9% of the area. As for the largest areas of these soils, they vary slightly in area and outer perimeter length, having a simple geometric structure. All elementary soil areas (ESA) and soil combinations belong to small and medium-sized areas (<30 ha). More than 90% of the ESA have very small size (<5 ha). The smallest elementary soil areas are occupied by Follic-Cryosols of polygonal roller bogs. Most of the soil areas (83%) of the studied territory have a rounded or elongated shape with slightly curved borders and a short outer perimeter, which determines their monolithic and poorly articulated structure (the coefficient of dissection <2,5). The main differentiating factors of the soil cover are cryogenesis, gley processes, and detritogenesis. In general, the Pritazovsky Arctic soil cover is characterized as monotonously heterogeneous for territories with broken relief and homogeneously monotonous for territories with flat relief.

Conclusions. The soil cover of the Pritazovsky Arctic territories with a broken relief is more classificationally contrasting and less geometrically complex compared with the soil cover of the territories with a flat relief. The latter has a very complex geometric structure due to the large number of very small ESA. A mosaic of small soil areas, i.e. the large number of ESA and soil combinations per unit area, strongly distinguishes the tundra soil cover from the soil cover of other bioclimatic zones of West Siberia.

Keywords: Cryosol; Gleysols; soil cover structure; Pritazovsky Arctic; West Siberia.

How to cite: Smolentsev B.A. Makhatkov I.D. Morphogenetic features of the soil cover structure in the Pritazovsky Arctic (West Siberia) // *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(4). e270. DOI: [10.31251/pos.v7i4.270](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.270) (in Russian with English abstract).

FUNDING

The study was carried out according to the state assignment of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS with the financial support by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 121031700316-9).

REFERENCES

Vasilevskaya V.D., Ivanov V.V., Bogatyrev L.G. Soils of the north of Western Siberia. Moscow: Publishing House of Moscow University, 1986. 227 p. (in Russian).

- Vasilevskaya V.D., Karavaeva N.A., Naumov E.M. Formation of the structure of the soil cover of the polar regions. *Pochvovedenie*. 1993. No. 7. P. 44–55. (in Russian).
- Voskresensky S.S. *Geomorphological zoning of the USSR*. Moscow: Higher school, 1980. 343 p. (in Russian).
- Gerber A.A., Kulizhsky S.P., Loyko S.V. Soils of the cryometamorphic department of the forest tundra of Western Siberia within the right-bank part of the river Pur. In book: *Soils of Siberia: challenges of the XXI century*. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with international participation (Novosibirsk, 4–7 December, 2017). Tomsk: Publishing House of TSU, 2017. Part 1. P. 42–46. (in Russian).
- Glazovskaya M.I. *Soils of the World*. Moscow: Publishing House of Moscow University, 1973. Vol. 2. 427 p. (in Russian).
- Godelman Ya.M. Classification system of soil cover // *Pochvovedenie*. 1991. No. 6. P. 15–37. (in Russian).
- Zarov E.A., Golubyatnikov L.L., Lapshina E.D., Loyko S.V. Vegetation and soils of tundra landscapes of the Pur-Taz interfluvial region. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series. Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. 2022. No. 1. P. 82–92. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S1026347022010188>
- Map of soil and ecological zoning of the Russian Federation. Scale 1 : 2500000 / Scientific editors: G.V. Dobrovolsky, I.S. Urusevskaya. Moscow: "Talka+", 2013. (in Russian).
- Classification and diagnostics of soils of Russian / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian).
- Loiko S.V., Kuzmina D.M., Istigechev G.I., Kritskov I.V., Lim A.G., Klimova N.V., Novoselov A.A., Konstantinov A.O., Novolodskaya E.V., Kulizhsky S.P. Transformation of morphological properties of soils due to thickening of spotted tundra. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2022. No. 59. P. 6–41. (in Russian). <https://doi.org/10.17223/19988591/59/1>
- Methodology for the compilation of large-scale agroecologically oriented soil maps. Moscow: Printing House of the Russian Agricultural Academy, 2006. 160 p. (in Russian).
- Moskovchenko D.V., Romanenko E.A. Elemental composition of soils of the Pur-Taz interfluvium. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2020. Vol. 103. P. 51–84. (in Russian). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-103-51-84>
- All-Union instruction on soil surveys and compilation of large-scale soil maps of land use. Moscow: Kolos Publ., 1973. 96 p. (in Russian).
- Field guide for Russian soil. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2008. 182 p. (in Russian).
- Rooma I.P. On the methodology of quantitative characterization of the soil cover structure. In book: *Soil combinations and their genesis*. Moscow: Nauka Publ., 1972. P. 177–180. (in Russian).
- Slagoda E.A., Novoselov A.A., Koroleva E.S., Kuznetsova A.O., Butakov V.I., Tikhonravova Ya.V., Zazovskaya E.P. Traces of cryogenic processes in Late Pleistocene sediments. *Kriosfera Zemli*. 2022. Vol. XXVI. No. 1. P. 21–35. (in Russian). <https://doi.org/10.15372/KZ20220103>
- Smolentsev B.A. The structure of the soil cover of Siberian hummocks. Novosibirsk: Publishing House of the SB RAS, 2002. 118 p. (in Russian).
- Smolentsev B.A., Vologzhina O.V. Spatial and functional genetic characteristics of soil combinations of the Barabinsk plain. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2004. No. 3. P. 355–366. (in Russian).
- Smolentsev B.A., Smolentseva E.N. Features of the structure of the soil cover of the Sokur upland. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2005. No. 5. P. 809–821. (in Russian).
- Tkacheva A.A., Loyko S.V., Klimova N.V. Soils and vegetation of the coastal floodplains of the southern tundra within the Pur-Taz interfluvium. In book: *Actual problems and prospects of geocryology development. Materials of the VII All-Russian Scientific Youth Geocryological Forum with international participation dedicated to the 150th and 100th anniversary of the birth of permafrost scientists Mikhail Ivanovich Sumgin and Kirill Fabianovich Voitkovsky*. (Yakutsk, 27 June – 07 July, 2023). Yakutsk: Publishing house of the P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 2023. P. 114–117. (in Russian).
- Targulyan V.O., Gudyna A.N., Tereshkov G.M. Soils. In book: *Natural conditions of development of the Tazovsky oil and gas bearing area*. Moscow: Nauka Publ., 1972. P. 134–142. (in Russian).
- Tonkonogov V.D. Soil cover. In book: *Yamalo-Gydan region (physical and geographical characteristics)*. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1977. P. 169–197. (in Russian).
- Friedland V.M. Structure of the soil cover. Moscow: Mysl Publ., 1984. 424 p. (in Russian).
- Friedland V.M. Structures of the soil cover of the world. Moscow: Mysl Publ., 1984. 240 p. (in Russian).

Juodis Y.K. On the structure of the soil cover of the Lithuanian SSR. Pochvovedenie. 1967. No. 11. P. 50–55. (in Russian).

Loiko S.V., Klimova N.V., Kritckov I.V., Kuzmina D.M., Kulizhsky S.P. Soils and vegetation of the riverside floodplain in the hydrological continuum of the southern tundra within the Pur–Taz interfluvium (Western Siberia). Acta Biologica Sibirica. 2023. Vol. 9. P. 293–315. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7879848>

Smolentsev B.A., Konarbaeva G.A. Soil characteristic and soil iodine content of trans-polar territory of Pur-Taz interfluvium of Western Siberia. Open Journal of Ecology. 2013. Vol. 8. P. 510–517. <https://doi.org/10.4236/oje.2013.38060>

Received 29 May 2024

Accepted 17 October 2024

Published 28 October 2024

About the authors:

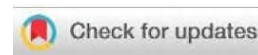
Boris A. Smolentsev – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Geography and Genesis of Soils in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); smolentsev.b@issa-siberia.ru

Igor D. Makhatkov – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Geography and Genesis of Soils in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); makhatkov@issa-siberia.ru

The authors read and approved the final manuscript



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



Влияние пожаров на состав алифатических соединений в степных почвах Хакасии

© 2024 И. В. Русских , Е. Б. Стрельникова 

ФГБУН Институт химии нефти СО РАН, Академический проспект, 4, г. Томск, 634055, Россия.

E-mail: rus@ipc.tsc.rus

Цель исследования. Оценка особенностей состава алифатических соединений в почвах постпирогенных и фоновых территорий степной зоны Хакасии.

Место и время проведения. Образцы почв отобраны через три месяца после пожаров на фоновых и постпирогенных участках в Ширинском районе в окрестностях с. Туим (чернозём южный), а также в Усть-Абаканском районе вблизи г. Усть-Абакан (чернозём южный) и г. Черногорск (каштановая почва).

Методы. Пробы отбирали с глубины 0–1 см (подстилка – степной войлок) и 1–10 см. Органические соединения выделены из высушенных и измельчённых почв путём экстракции 7% раствором метанола в хлороформе. Исследование состава органических алифатических соединений проводили методом хромато-масс-спектрометрии.

Основные результаты. В составе алифатических соединений почв обнаружены углеводороды (*n*-алканы), насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты, кетоны (*n*-алкан-2-оны, 10-нонакозанон, 16-гептриаконтанон), *n*-альдегиды, спирт 1-гексакозанол. Суммарное содержание биомолекул в верхнем слое почвы фоновых участков снижено по сравнению с подстилками в среднем на 82%. Под воздействием пожара в подстилках происходит резкое снижение количества *n*-альдегидов, жирных кислот, а также длинноцепочечных кетонов по сравнению с фоновыми территориями. Распределение *n*-алканов в почвах носит бимодальный характер: первая мода представлена низкомолекулярными чётными гомологами C_{14} – C_{22} , характерными для микроорганизмов (преимущественно аэробных бактерий и грибов); вторая – высокомолекулярными нечётными структурами C_{23} – C_{35} , которые указывают на вклад наземных растений в органическое вещество почв. В распределении *n*-алканов почвенных войлоков после пожаров наблюдается рост доли чётных низкомолекулярных гомологов. Более высокое содержание низкомолекулярных гомологов характерно и для *n*-альдегидов большинства образцов подстилок горелых участков по сравнению с фоновыми территориями. Пожар в разной степени повлиял на степной войлок и непосредственно верхний слой почвы. Практически не изменилось изначально низкое содержание биомолекул в почве и характер распределения отдельных гомологических рядов на горелых участках по сравнению с фоном. Таким образом, под воздействием пожара разрушаются отдельные классы биомолекул, прежде всего характеризующиеся наличием длинной парафиновой цепи. В дальнейшем, в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, дополнительно образуются такие структуры как низкомолекулярные чётные *n*-алканы.

Заключение. Анализ состава алифатических соединений в степных почвах Хакасии на фоновых и постпирогенных территориях показал, что биомаркеры, такие как *n*-алканы и *n*-альдегиды, являются экологическими индикаторами источников, процессов деградации, пирогенной деструкции и трансформации органического вещества почвы.

Ключевые слова: фоновые и постпирогенные территории; органическое вещество почвы; распределение алифатических соединений.

Цитирование: Русских И.В., Стрельникова Е.Б. Влияние пожаров на состав алифатических соединений в степных почвах Хакасии // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 4. e287. DOI: [10.31251/pos.v7i4.287](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.287)

ВВЕДЕНИЕ

Органическое вещество почвы (ОВП) является одним из крупнейших наземных резервуаров углерода, запасы которого более чем в 10 раз превышают запасы лесной биомассы (Settele et al., 2014). Несмотря на большое значение ОВП в глобальном углеродном цикле, остаётся много вопросов относительно его формирования и сохранения. Изучение деградации и сохранения отдельных классов органических соединений, входящих в состав ОВП, таких как *n*-алканы, *n*-алканола, жирные кислоты и т.д., может дать представление о формировании, накоплении и трансформации ОВП в определенной экосистеме. Многие из этих соединений считаются «биологическими маркерами» («биомаркерами»), поскольку могут указывать на организмы-источники и сохраняться после осаждения в экологических системах, таких как почвы и отложения (Peters et al., 2005). Хотя количество исследований, связанных с липидными биомаркерами, особенно с *n*-алканами, увеличилось за последнее время, лишь ограниченная часть была сфокусирована на трансформации

этих соединений после осаждения в почвенных горизонтах. Так, в работе (Анохина и др., 2018) показано, что динамика содержания *n*-алканов с числом углеродных атомов C₁₉–C₃₅ и соответствующих продуктов их окисления *n*-метил-кетонов (*n*-алкан-2-онов) характеризует скорость биodeградации в подстилках и почвах.

Известно, что пожары оказывают значительное влияние на экосистемы, в том числе меняя содержание и состав органического вещества верхнего горизонта почв (Буряк и др., 2022). За рубежом проводятся исследования о влиянии пожаров на состав липидов почв, включая отдельные группы соединений, такие как алканы и полициклоароматические углеводороды (Almendros et al., 1988; Tinoco et al., 2006; Eckmeier, Wiesenberg, 2009; Wiesenberg et al., 2009; Kuhn et al., 2010). В работах российских учёных в основном рассматриваются морфологические, водно-физические, химические свойства (Анилова, 2012; Синюткина и др., 2024) и катионно-анионный баланс (Габбасова и др., 2019) пироженно-изменённых почв, изменения в составе липидов практически не изучены.

Целью нашей работы является оценка особенностей состава алифатических соединений в почвах постпирогенных и фоновых территорий степной зоны Хакасии.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Почвы на фоновых и постпирогенных территориях отобраны через три месяца после пожаров с трёх участков степной зоны Хакасии (табл., рис. 1–3): в Ширинском районе в окрестностях с. Туим и в Усть-Абаканском районе вблизи городов Усть-Абакан и Черногорск. Пробы отбирали с глубины 0–1 см (подстилка – степной войлок, отмершая растительность и горелые остатки с верхним слоем почвы) и с глубины 1–10 см (каштановая почва – в г. Черногорск, чернозём южный – с. Туим и г. Усть-Абакан).

Таблица

Характеристика мест отбора почвенных образцов в степной зоне Хакасии

Координаты		Дата пожара	Дата отбора
Фон	Пожар		
Ширинский район, с. Туим			
54°21'2" с.ш., 90°1'27" в.д.	54°20'57" с.ш., 90°1'31" в.д.	05.2022	08.07.2022
Усть-Абаканский район, г. Усть-Абакан			
53°50'47" с.ш., 91°24'29" в.д.	53°50'35" с.ш., 91°24'19" в.д.	04.2022	09.07.2022
Усть-Абаканский район, г. Черногорск			
53°51'5" с.ш., 91°7'27" в.д.	53°51'5" с.ш., 91°8'37" в.д.	05.2023	18.07.2023

Органические соединения выделены из высушенных и измельчённых почв путём экстракции 7% раствором метанола в хлороформе при 60°C в течение 2,5 часов. Исследование состава органических ациклических соединений проводили на хромато-масс-спектрометре DFS «Thermo Scientific», предоставленном центром коллективного пользования ТомЦКП СО РАН. Условия проведения анализа более подробно приведены в работе (Fedorov et al., 2024).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Состав биомолекул почв фоновых участков. Известно, что растительные остатки попадают на поверхность почвы и образуют слой так называемой подстилки, где и начинается формирование почвенного органического вещества. Липидные соединения в почве образуются из продуктов распада растительной биомассы, кутикулярной ткани побегов и корней, а также микроорганизмов и включают жирные кислоты, стерины, терпеноиды, гомологические ряды длинноцепочечных углеводородов, спиртов, кетонов, а также более сложные соединения (Atanassova et al., 2020). Биохимическая трансформация липидов, являющихся важным компонентом ОВП, начинается в слое подстилки.

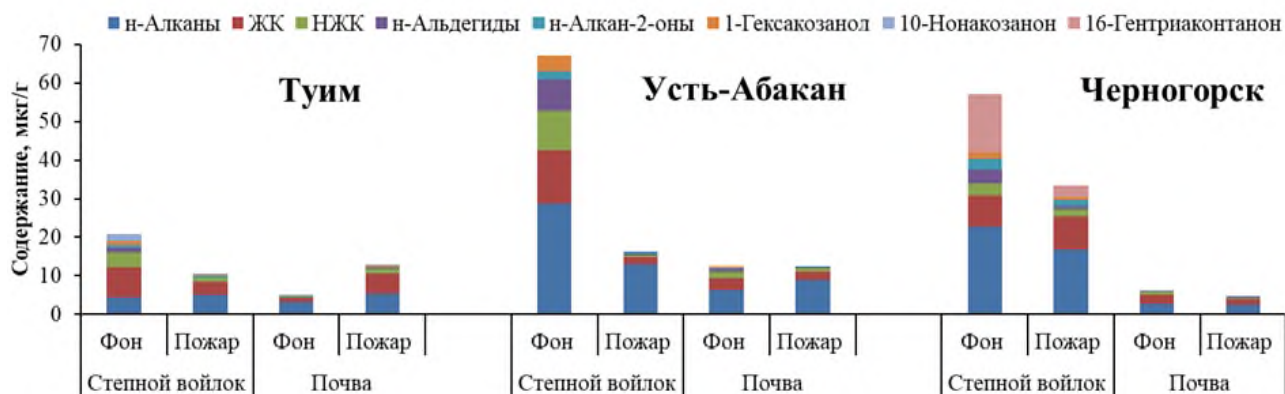


Рисунок 1. Содержание алифатических соединений в степном войлоке и почвах на фоновых и горелых территориях.

В составе биомолекул почв и подстилок степных почв Хакасии обнаружены представители алифатических органических соединений, включающие углеводороды (*n*-алканы), насыщенные жирные кислоты (ЖК) и ненасыщенные жирные кислоты (НЖК), кетоны (*n*-алкан-2-оны, 10-нонакозанон, 16-гентриаконтанон), *n*-альдегиды, спирт 1-гексакозанол (см. рис. 1). На всех участках суммарное содержание биомолекул в верхнем слое почвы снижено по сравнению с подстилками на 76–89%, а отдельно *n*-алканов – на 27 и 88% для участков в районах Туима, Усть-Абакана и Черногорска, соответственно, что согласуется с литературными данными. В работе (Thomas et al., 2021) проведено сопоставление состава *n*-алканов подстилок и почв более чем на двадцати площадках, находящихся в различных климатических и экологических условиях, включая хвойный, лиственный и смешанный леса, луга или кустарники, торфяники и степь. Для большинства территорий наблюдалось уменьшение абсолютной концентрации *n*-алканов от подстилки до верхнего слоя почвы; в среднем количество *n*-алканов снизилось на 46%.

По данным, полученным для трёх фоновых участков степи, установлено повышенное суммарное содержание алифатических соединений в почве и степном войлоке вблизи Усть-Абакана (12,4 и 67,0 мкг/г) по сравнению с Черногорском (6,3 и 57,0 мкг/г) и, особенно, районом Туима (4,9 и 20,0 мкг/г). Во всех исследованных почвах преобладают структуры, характерные для биогенного ОВ: *n*-алканы, ЖК и НЖК. В образцах, отобранных на Усть-Абаканском участке, повышена доля *n*-альдегидов и 1-гексакозанола, а в почвах Туима и Черногорска обнаружены длинноцепочечные кетоны 10-нонакозанон и 16-гентриаконтанон, характерные для эпикутикулярных восков некоторых видов растений, например, ботвы картофеля (Szafranek, Synak, 2006). Метилкетоны (*n*-алкан-2-оны) находятся во всех почвах и войлоках в незначительных сопоставимых количествах (0,2–0,4 мкг/г – в почвах и 0,3–3,1 мкг/г – в войлоках).

Молекулярно-массовое распределение *n*-алканов в почвах носит бимодальный характер (см. рис. 2–4). Первая мода представлена преимущественно низкомолекулярными чётными гомологами ряда C_{14} – C_{22} , что указывает на наличие в почве микроорганизмов (преимущественно аэробных бактерий и грибов) (Hunt, 1979) с преобладанием (C_{16}), характерного для гетеротрофных микроорганизмов (Ficken et al., 2000). Вторая мода состоит из высокомолекулярных нечётных структур C_{23} – C_{35} с преобладанием гомологов C_{29} и C_{31} , которые являются маркерами остатков наземных растений (Goske et al., 2013). В почвах Усть-Абаканского района содержание низкомолекулярных и высокомолекулярных гомологов сопоставимо, а в почве окрестностей с. Туим преобладают низкомолекулярные алканы. В войлоке всех фоновых участков доминируют высокомолекулярные *n*-алканы, причём выделяются гомологи C_{29} и C_{31} .

Ряд *n*-альдегидов включает в себя преимущественно чётные структуры C_{20} – C_{32} (см. рис. 2–4). При этом в распределении *n*-альдегидов наблюдается та же тенденция, что и у *n*-алканов. В образцах фоновых участков содержание высокомолекулярных гомологов (C_{26} – C_{30}) выше, чем низкомолекулярных (C_{20} – C_{24}). В составе *n*-альдегидов на фоновых территориях во всех войлоках и почве Усть-Абакана доминирует гексокозаналь (C_{26}), в то время как в почвах Туима и Черногорска содержание гексокозаноля и докозаноля (C_{22}) сопоставимо.

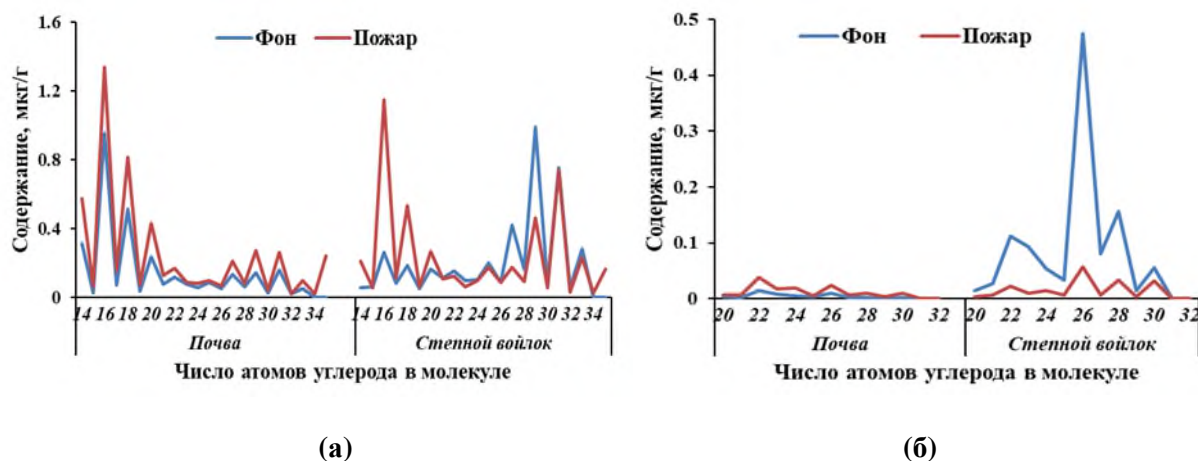


Рисунок 2. Распределение *n*-алканов (а) и *n*-альдегидов (б) в почвах Туима на фоновых и горелых участках.

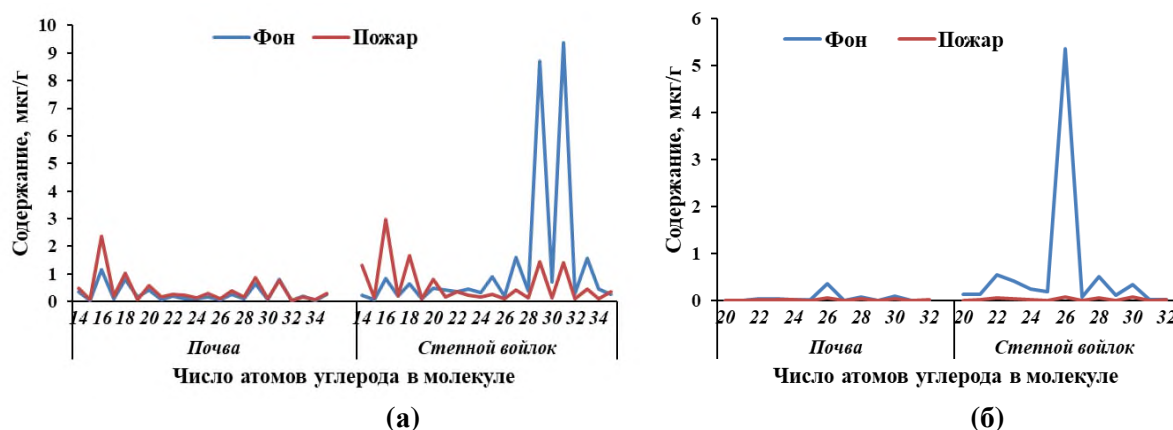


Рисунок 3. Распределение *n*-алканов (а) и *n*-альдегидов (б) в почвах Усть-Абакана на фоновых и горелых участках.

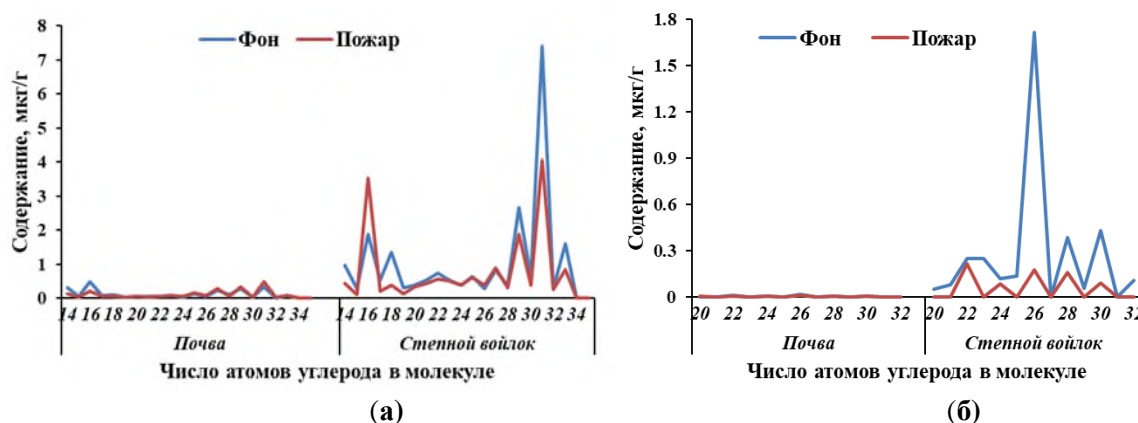


Рисунок 4. Распределение *n*-алканов (а) и *n*-альдегидов (б) в почвах Черногорска на фоновых и горелых участках.

Во всех фоновых образцах почв и войлока присутствуют *n*-алкан-2-оны ряда C_{17} – C_{35} с доминированием нечетных гомологов C_{29} , C_{31} , C_{33} . Ряд насыщенных жирных кислот в почвах степной зоны Хакасии включает четные структуры от миристиновой (C_{14}) до церотиновой (C_{26}) с преобладанием пальмитиновой (C_{16}), среди ненасыщенных жирных кислот обнаружены олеиновая ($C_{18:1}$) и линолевая ($C_{18:2}$). В составе спиртов в войлоках и почвах зафиксирован один представитель ряда *n*-алканолов – гексокозанол (C_{26}), причем в почве Усть-Абакана он не обнаружен.

Изменение состава биомолекул почв после пожара. В степном войлоке на пирогенных участках отмечено снижение количества алифатических структур по сравнению с фоновыми территориями (см. рис. 1). Это наиболее выражено вблизи Усть-Абакана, где содержание ЖК и НЖК уменьшилось в 7,8 раз, а *n*-альдегидов – в 19 раз. В войлоке вблизи Туима в результате пожара также снизилось количество *n*-альдегидов (в 5,6 раз), ЖК и НЖК (в 3,5 раз), кроме того, практически полностью исчез 10-нонакозанон. В войлоке Черногорска содержание *n*-альдегидов, 1-гексакозанола и 16-гептриаконтанона снизилось в 2–5 раз. В образцах почв Усть-Абаканского района суммарное содержание алифатических структур на пирогенных участках снижается незначительно (в 1,0–1,3 раза), а в почве Туима зафиксировано даже повышенное по сравнению с фоном (в 2,6 раз) количество этих соединений. Таким образом, пониженные количества алифатических структур в почве и подстилке Туима по сравнению с другими исследованными фоновыми территориями указывают, что этот участок, вероятно, ранее (до пожара 2022 г.) уже был подвержен воздействию огня, так как известно, что пожары в Хакасии – частое явление (Кандалова, 2007).

Через три месяца после пожара в распределении *n*-алканов почвы наблюдается рост доли чётных низкомолекулярных гомологов; довольно резкое их увеличение обнаружено в степном войлоке, отобранном в окрестностях Усть-Абакана и Туима, в 3 и 4 раза, соответственно (см. рис. 2–3). Полученные результаты хорошо согласуются с литературными данными. Так, в составе липидов, выделенных из почв Испании, на которых была пожаром выжжена растительность, преобладали короткоцепочечные *n*-алканы с чётным числом атомов углерода (Tinoco et al., 2006), в то время как вне подверженной влиянию пожара биомассе преобладали длинноцепочечные *n*-алканы (Eckmeier, Wiesenberg, 2009). В работах (Almendros et al., 1988; Wiesenberg et al., 2009; Kuhn et al., 2010) показано, что индуцированный горением термический распад длинноцепочечных *n*-алканов высших растений может приводить к образованию короткоцепочечных гомологов, обнаруженных в почве, что подтверждено изотопным анализом *n*-алканов растений и почвы (Kuhn et al., 2010).

Характер распределения *n*-альдегидов в почвах схож с распределением *n*-алканов. Более высокое содержание низкомолекулярных гомологов и более низкое общее количество *n*-альдегидов характерно для большинства образцов подстилок горелых участков по сравнению с фоновыми территориями (см. рис. 2–4). В почвах зафиксировано очень низкое содержание *n*-альдегидов, обусловленное их высокой склонностью к деградации. В распределении ЖК и *n*-алкан-2-онов существенных изменений на постпирогенных участках по сравнению с фоновыми не обнаружено.

Таким образом, пожар в разной степени повлиял на степной войлок и непосредственно верхний слой почвы. Изменения в войлоке количественно более существенные и затрагивают большинство идентифицированных групп соединений и отдельные структуры. При этом на трёх разных территориях в результате пожара происходят однонаправленные изменения состава алифатических соединений. На всех участках в степном войлоке зафиксировано смещение максимума в распределении гомологов *n*-алканов и *n*-альдегидов от высоко- к низкомолекулярным структурам. Пожар практически не повлиял на изначально низкое содержание биомолекул в почве, слабо изменился вид отдельных гомологических рядов на горелых участках по сравнению с фоном. Указанные изменения в распределении биомолекул происходят, вероятно, под влиянием как минимум двух факторов: разрушение под воздействием пожара отдельных классов соединений, прежде всего, характеризующихся наличием длинной парафиновой цепи, и образование дополнительной порции биомолекул (в частности, низкомолекулярных чётных *n*-алканов), возможно, в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты по исследованию состава алифатических соединений степных почв Хакасии показали, что липидные биомаркеры, такие как *n*-алканы и *n*-альдегиды, являются чувствительными экологическими индикаторами происхождения органического вещества, процессов его деградации в верхнем слое почвы, пирогенной деструкции и постпирогенного восстановления.

На содержание и характер распределения биомолекул в почве оказывают влияние много факторов окружающей среды (климат, растительность, свойства почвы). Предполагается, что трансформация органических соединений может пойти разными путями. В исследованных фоновых и постпирогенных почвах Хакасии наблюдается тенденция к снижению общей концентрации *n*-алканов с увеличением глубины почвы. Скорее всего, это вызвано деградацией или переработкой *n*-алканов почвенной микробиотой. Вполне вероятно, что микроорганизмы способны генерировать

новые биомолекулы, меняя структуру липидов органического вещества почвы. Поэтому возникает необходимость проведения совместных исследований с микробиологами.

В целом, необходимо расширение базы данных о тенденциях изменения липидов как важной части органического вещества почвы в различных экологических условиях, а также под влиянием климатических и антропогенных нарушений, в том числе и с точки зрения выяснения факторов, управляющих стабилизацией органического углерода в различных почвенных средах.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии нефти СО РАН (НИОКТР 121031500046-7), финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

Анилова Л.В. Постпирогенная трансформация почв степной зоны Оренбургского Предуралья // Степи Северной Евразии: Материалы VI международного Симпозиума и VIII международной школы-семинара «Геоэкологические проблемы степных регионов» (Оренбург, 18–23 июня 2012 г.). Оренбург: ИПК «Газпромнефть», 2012. С. 47–49.

Анохина Н.А., Демин В.В., Завгородняя Ю.А. Состав n-алканов и n-метил-кетонов в почвах парковой зоны Москвы // Почвоведение. 2018. № 6. С. 683–692. <https://doi.org/10.7868/S0032180X18060047>

Буряк Л.В., Каленская О.П., Кукавская Е.А., Лузганов А.Г. Зонально-географические особенности воздействия пожаров на лесообразование светлохвойных насаждений юга Сибири. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 2022. 284 с.

Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Комиссаров М.А., Сулейманов Р.Р., Суюндуков Я.Т., Хасанова Р.Ф., Сидорова Л.В., Комиссаров А.В., Сулейманов А.Р., Назырова Ф.И. Влияние пожаров на свойства степных почв Зауралья // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1513–1523. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19120049>

Кандалова Т.Г. Влияние степных пожаров на настоящие и луговые степи госзаповедника «Хакасский» // Степной бюллетень. Осень-зима. 2007. № 23–24. С. 19–24.

Синюткина А.А., Оленникова А.В., Сун-зу-ли Л.Ю., Гашкова Л.П. Трансформация торфяной залежи и накопление углерода на постпирогенных верховых болотах таёжной зоны Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 1. с246. <https://doi.org/10.31251/pos.v7i1.246>

Almendros G., Martin F., Gonzalez-Vila F.J. Effects of fire on humic and lipid fractions in a Dystric Xerochrept in Spain // Geoderma. 1988. Vol. 42. No. 2. P. 115–127. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(88\)90028-6](https://doi.org/10.1016/0016-7061(88)90028-6)

Atanassova I., Harizanova M., Banov M. Free Lipid Biomarkers in Anthropogenic Soils. In book: Soil Health Restoration and Management. Springer Nature Singapore / R. Meena (ed.). 2020. P. 321–355. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8570-4_9

Eckmeier E., Wiesenberg G.L.B. Short-chain n-alkanes (C16–20) in ancient soil are useful molecular markers for prehistoric biomass burning // Journal of Archaeological Science. 2009. Vol. 36. No. 7. P. 1590–1596. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.03.021>

Fedorov D.V., Serebrennikova O.V., Elchaninova E.A., Kadychagov P.B. Composition and Distribution of Organic Compounds in Oil-Contaminated Peat Soils of the Mamontovskoye Field (KhMAO–Yugra) // Solid Fuel Chemistry. 2024. Vol. 58. No. 2. P. 129–139. <https://doi.org/10.3103/S0361521924020022>

Ficken K.J., Li B., Swain D.L., Eglinton G. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes // Organic Geochemistry. 2000. Vol. 31. P. 745–749. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00081-4)

Gocke M., Kuzyakov Y., Wiesenberg G.L.B. Differentiation of plant derived organic matter in soil, loess and rhizoliths based on n-alkane molecular proxies // Biogeochemistry. 2013. Vol. 112. № 1–3. P. 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9659-y>

Hunt J.M. Petroleum Geochemistry and Geology. San Francisco: Freeman, 1979. 617 p.

Kuhn Th.K., Krull E.S., Bowater A., Grice K., Gleixner G. The occurrence of short chain N-alkanes with an even over odd predominance in higher plants and soils // Organic Geochemistry. 2010. Vol. 41. No. 2. P. 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2009.08.003>

Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The Biomarker Guide. Cambridge University Press. 2005. Vol. 1. 1155 p.

Settele J., Scholes R., Betts R., Bunn S., Leadley P., Nepstad D., Overpeck J.T., Taboada M.A. Terrestrial and inland water systems. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, L.L. White (eds.). NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2014. P. 271–359.

Szafranek B.M., Synak E.E. Cuticular waxes from potato (*Solanum tuberosum*) leaves // *Phytochemistry*. 2006. Vol. 67. No. 1. P. 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2005.10.012>

Thomas C.L., Jansen B., van Loon E.E., Wiesenberg G.L.B. Transformation of n-alkanes from plant to soil: a review // *Soil*. 2021. Vol. 7. P. 785–809. <https://doi.org/10.5194/soil-7-785-2021>

Tinoco P., Almendros G., Sanz J., Gonzalez-Vazquez R. Molecular descriptors of the effect of fire on soils under pine forest in two Mediterranean soils // *Organic Geochemistry*. 2006. Vol. 37. No. 12. P. 1995–2018. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2006.08.007>

Wiesenberg G.L.B., Lehndorff E., Schwark L. Thermal degradation of rye and maize straw: lipid pattern changes as a function of temperature // *Organic Geochemistry*. 2009. Vol. 40. No. 2. P. 167–174. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2008.11.004>

Поступила в редакцию 23.10.2024

Принята 21.11.2024

Опубликована 02.12.2024

Сведения об авторах:

Русских Ирина Владимировна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт химии нефти СО РАН (г. Томск, Россия); rus@ipc.tsc.ru

Стрельникова Евгения Борисовна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт химии нефти СО РАН (г. Томск, Россия); seb@ipc.tsc.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/)

The effect of fires on the composition of aliphatic compounds in the steppe soils of Khakassia

© 2024 I. V. Russkikh , E. B. Strelnikova 

Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Academicheskoy Ave., 4, Tomsk, Russia. E-mail: rus@ipc.tsc.ru

The aim of the study was to assess the composition of aliphatic compounds in soils of post-pyrogenic territories of the steppe zone.

Location and time of the study. Soil samples were collected from a depth of 0–1 cm (litter – steppe felt) and from a depth of 1–10 cm. three months after the fires at the undisturbed (control) and post-pyrogenic study sites in the Shirinsky district in the vicinity of the village (southern chernozem) and in the Ust-Abakan district near Ust-Abakan (southern chernozem) and Chernogorsk (chestnut soil).

Methods. Organic compounds were isolated from dried and crushed soils by extraction with 7% methanol solution in chloroform. The composition of organic aliphatic compounds was determined by chromatography-mass spectrometry.

Results. Hydrocarbons (*n*-alkanes), saturated and unsaturated fatty acids, ketones (*n*-alkane-2-ones, 10-nonacosanone, 16-gentriacontanone), *n*-aldehydes, alcohol 1-hexacosanol were found in the composition of soil aliphatic compounds. The total content of biomolecules in the upper soil layer of the control site was on average reduced by 82% compared to the litter. Under the influence of fire, there was a sharp decrease in the amount of *n*-aldehydes, fatty acids, and long-chain ketones in the litter, as compared with the undisturbed sites. The distribution of *n*-alkanes in soils was bimodal in nature: the first mode was represented by low-molecular even homologues C_{14} – C_{22} , common in microorganisms (mainly aerobic bacteria and fungi); the second mode was represented by the high-molecular odd structures C_{23} – C_{35} , indicating the contribution of terrestrial plants in soil organic matter. In the distribution of *n*-alkanes of soil felts after fires, an increase in the proportion of even low molecular mass homologues was found. In comparison with the control sites, a higher content of low molecular mass homologues was also characteristic of the *n*-aldehydes of the most litter samples of the of burnt areas. The

fire affected the steppe felt and the topsoil itself to varying degrees. The initially low soil content of biomolecules and the distribution nature of the individual homologous series in burnt areas practically did not change as compared with the control sites. Thus, under the influence of fire, certain classes of biomolecules were destroyed, primarily those containing long paraffin chains. Later on, as a result of soil microbial activity, such compounds as low-molecular even n-alkanes are additionally formed.

Conclusion. Analysis of aliphatic compounds composition in Khakassia steppe soils in the undisturbed and post-pyrogenic sites showed that biomarkers such as n-alkanes and n-aldehydes are environmental indicators of their sources, degradation processes, pyrogenic destruction and soil organic matter transformation.

Keywords: post-pyrogenic areas; soil organic matter; distribution of aliphatic compounds.

How to cite: Russian I.V., Strelnikova E.B. The effect of fires on the composition of aliphatic compounds in the steppe soils of Khakassia // Soils and the environment. 2024. Volume 7. No. 4. e287. DOI: [10.31251/pos.v7i4.287](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.287) (in Russian with English abstract).

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No.121031500046-7).

REFERENCES

- Anilova L.V. Postfires transformation of soils steppe zone Orenburg Cisurals. In book: Steppes of Northern Eurasia: Materials of the VI International Symposium and the VIII International school-seminar "Geoecological problems of steppe regions" (Orenburg, 18–23 June, 2012). Orenburg: IPK Gazprompechat, 2012. P. 47–49. (in Russian).
- Anokhina N.A., Demin V.V., Zavgorodnyaya Y.A. Compositions of n-Alkanes and n-Methyl Ketones in Soils of the Forest-Park Zone of Moscow. Eurasian Soil Science. 2018. Vol. 51. No. 6. P. 637–646. <https://doi.org/10.1134/S1064229318060030>
- Buryak L.V., Kalenskaya O.P., Kukavskaya E.A., Luzganov A.G. Zonal and geographical features of the impact of fires on the forest formation of light coniferous plantations in southern Siberia. Novosibirsk: Publishing House SB RAS, 2022. 284 p. (in Russian).
- Gabbasova I.M., Garipov T.T., Komissarov M.A., Suleimanov R.R., Sidorova L.V., Suleimanov A.R., Nazyrova F.I., Suyundukov Y.T., Khasanova R.F., Komissarov A.V. The impact of fires on the properties of steppe soils in the Trans-Ural region. Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 12. P. 1598–1607. <https://doi.org/10.1134/S1064229319120044>
- Kandalova T.G. The influence of steppe fires on the real and meadow steppes of the state reserve "Khakassky". Steppe Bulletin. Autumn-winter. 2007. No. 23–24. P. 19–24. (in Russian).
- Sinyutkina A.A., Olennikova A.V., Sun-zu-li L.Y., Gashkova L.P. Transformation of peat deposits and carbon accumulation in post-pyrogenic raised bogs within the taiga zone of West Siberia. The Journal of Soils and Environment. 2024. Vol. 7. No. 1. e246. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v7i1.246>
- Almendros G., Martin F., Gonzalez-Vila F.J. Effects of fire on humic and lipid fractions in a Dystric Xerochrept in Spain. Geoderma. 1988. Vol. 42. No. 2. P. 115–127. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(88\)90028-6](https://doi.org/10.1016/0016-7061(88)90028-6)
- Atanassova I., Harizanova M., Banov M. Free Lipid Biomarkers in Anthropogenic Soils. In book: Soil Health Restoration and Management. Springer Nature Singapore / R. Meena (ed.). 2020. P. 321–355. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8570-4_9
- Eckmeier E., Wiesenberg G.L.B. Short-chain n-alkanes (C16–20) in ancient soil are useful molecular markers for prehistoric biomass burning. Journal of Archaeological Science. 2009. Vol. 36. No. 7. P. 1590–1596. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.03.021>
- Fedorov D.V., Serebrennikova O.V., Elchaninova E.A., Kadychagov P.B. Composition and Distribution of Organic Compounds in Oil-Contaminated Peat Soils of the Mamontovskoye Field (KhMAO–Yugra). Solid Fuel Chemistry. 2024. Vol. 58. No. 2. P. 129–139. <https://doi.org/10.3103/S0361521924020022>
- Ficken K.J., Li B., Swain D.L., Eglinton G. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. Organic Geochemistry. 2000. Vol. 31. P. 745–749. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00081-4)
- Gocke M., Kuzyakov Y., Wiesenberg G.L.B. Differentiation of plant derived organic matter in soil, loess and rhizoliths based on n-alkane molecular proxies. Biogeochemistry. 2013. Vol. 112. № 1–3. P. 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9659-y>
- Hunt J.M. Petroleum Geochemistry and Geology. San Francisco: Freeman, 1979. 617 p.

Kuhn Th.K., Krull E.S., Bowater A., Grice K., Gleixner G. The occurrence of short chain N-alkanes with an even over odd predominance in higher plants and soils. *Organic Geochemistry*. 2010. Vol. 41. No. 2. P. 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2009.08.003>

Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. *The Biomarker Guide*. Cambridge University Press. 2005. Vol. 1. 1155 p.

Settele J., Scholes R., Betts R., Bunn S., Leadley P., Nepstad D., Overpeck J.T., Taboada M.A. Terrestrial and inland water systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, L.L. White (eds.)*. NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2014. P. 271–359.

Szafranek B.M., Synak E.E. Cuticular waxes from potato (*Solanum tuberosum*) leaves. *Phytochemistry*. 2006. Vol. 67. No. 1. P. 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2005.10.012>

Thomas C.L., Jansen B., van Loon E.E., Wiesenberg G.L.B. Transformation of n-alkanes from plant to soil: a review // *Soil*. 2021. Vol. 7. P. 785–809. <https://doi.org/10.5194/soil-7-785-2021>

Tinoco P., Almendros G., Sanz J., Gonzalez-Vazquez R. Molecular descriptors of the effect of fire on soils under pine forest in two Mediterranean soils // *Organic Geochemistry*. 2006. Vol. 37. No. 12. P. 1995–2018. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2006.08.007>

Wiesenberg G.L.B., Lehdorff E., Schwark L. Thermal degradation of rye and maize straw: lipid pattern changes as a function of temperature // *Organic Geochemistry*. 2009. Vol. 40. No. 2. P. 167–174. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2008.11.004>

Received 23 October 2024

Accepted 21 November 2024

Published 02 December 2024

About the authors:

Irina V. Russkikh – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher in the Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); rus@ipc.tsc.ru

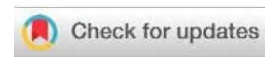
Eugenia B. Strelnikova – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher in the Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); seb@ipc.tsc.ru

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/)

УДК 912.4

<https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.277>

Геоинформационная система мелиорируемых земель Пермского края

© 2024 А. Н. Чашин , И. А. Самофалова , Н. М. Мудрых , О. А. Гилёв, В. Ю. Гилев 

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

Цель исследования. Анализ состояния и инвентаризация мелиорированных земель Пермского края с обобщением результатов в виде веб-ГИС.

Место и время проведения. Работа выполнена в административных границах Пермского края по мелиорированным участкам в течение 2022–2023 гг.

Методы. Комплексный подход к решению проблемы реализован методами геоинформационного и веб-картографирования. Геоинформационная система мелиорируемых земель создана на основе крупномасштабных почвенных карт (масштаб 1:10 000). Использовали данные дистанционного зондирования Земли, которые включают в себя космические снимки среднего пространственного разрешения Landsat 5 за 1985–1990 годы, Sentinel-2 за 2020–2021 годы и снимки сверхвысокого разрешения покрытия ESRI World Imagery, а также векторные пространственные данные OpenStreetMap. Создание и информационное наполнение ГИС-проекта осуществляли в QGIS 3.22.12. Разработка клиентского веб-приложения с использованием интерфейсов Leaflet реализована при помощи модуля QGIS2Web и универсального редактора кода Brackets. Разработка главной страницы сайта выполнена на основе технологий HTML и CSS-разметки. Размещение веб-приложения организовано на платформе GitHub. Исследование проведено в несколько этапов: геопривязка сканированных крупномасштабных почвенных карт в системе координат проекции Гаусса-Крюгера, зона 10 и последующая векторизация границ мелиорируемых участков (на основе геопривязанных карт) по данным дистанционного зондирования с использованием разновременных космических снимков в синтезе каналов SWIR-NIR-RED; оценка степени зарастания неиспользуемых мелиорируемых участков по разновременным спутниковым снимкам, полученным в зимний период при помощи метода неуправляемой классификации ISODATA; векторизация участков осушительной мелиорации на основе пространственного анализа векторных данных и данных дистанционного зондирования.

Основные результаты. Созданы растровые почвенные карты с нанесением информации в векторном формате о проведенных мелиоративных мероприятиях. На территории Пермского края в 16 муниципальных районах имеются мелиорируемые земли (осушенные и орошаемые). Векторизовано 177 мелиорируемых участков и установлено их актуальное состояние; преобладают осушенные участки. Наибольшие площади (более 1000 га) мелиорируемых земель (осушенных) отмечаются в Пермском, Октябрьском, Большесосновском, Нытвенском, Куединском, Кишертском муниципальных районах. Проведена оценка степени зарастания неиспользуемых мелиорируемых участков. Разработана технологическая схема веб-сайта, сформирована атрибутивная база данных и структура ГИС-проекта. Создана геоинформационная система пространственного анализа состояния и использования мелиорируемых земель Пермского края: веб-ГИС сервис «Геоинформационная система мелиорируемых земель Пермского края».

Заключение. Актуальное состояние почвенного покрова мелиорируемых земель определяется характером землепользования. В результате анализа современного использования мелиорируемых почв сформирована геопространственная база данных и карта мелиорируемых земель Пермского края. Установлено, что наибольшие площади мелиорируемых земель в крае расположены в Пермском муниципальном районе (6944 га), Октябрьском городском округе (1175 га) и Большесосновском муниципальный округе (1169 га). Площадь неиспользуемых (заросших древесно-кустарниковой растительностью) мелиорированных земель составила 3564 га. Из существующего ГИС-проекта создано клиентское веб-приложение «Геоинформационная система мелиорируемых земель Пермского края» и организовано на платформе GitHub, что сокращает стоимость геоинформационного проекта. Использование приложения доступно любому сельхозпроизводителю и позволяет в режиме текущего времени получать информацию о плодородии почв, планировать рациональное использование земельных ресурсов агропредприятия, что способствует устойчивому развитию земледелия на мелиорируемых землях Пермского края.

Ключевые слова: почвенная карта; веб-картографирование; мелиорируемые земли; векторизация; геопространственная база данных; хостинг; тематические слои.

Цитирование: Чашин А.Н., Самофалова И.А., Мудрых Н.М., Гилёв О.А., Гилев В.Ю. Геоинформационная система мелиорируемых земель Пермского края // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 4. e277. DOI: [10.31251/pos.v7i4.277](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.277)

ВВЕДЕНИЕ

Основой цифровизации сельского хозяйства являются API- платформы и решения в области обработки больших данных, технологии предиктивной аналитики и системы поддержки управления (Щербина, 2019). Эти цифровые решения используются для инвентаризации земельного фонда, в том числе мелиорируемого. Согласно Постановлению Правительства РФ «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации», необходимо стремиться к 2031 г. сохранить мелиорированные земли в сельскохозяйственном обороте на площади не менее 3688,6 тыс. га, обеспечить стимулирование ввода в эксплуатацию мелиорируемых земель и вовлечение в оборот для выращивания сельскохозяйственной продукции выбывшие сельскохозяйственные угодья площадью 600 тыс. га (с учетом достигнутых показателей в 2019–2021 гг.) (Постановление Правительства..., 2021).

Проведение широкомасштабных мелиоративных работ в России позволило увеличить площадь осушаемых земель до 5,1 млн га. Однако на сегодняшний день использование осушенных земель в сельском хозяйстве осуществляется, в основном, по экстенсивным системам без учета ландшафтно-мелиоративных особенностей различных типов агроландшафтов и агротехнологиям с малыми расходами энергии в производстве (низкая насыщенность удобрениями, мелиорантами, средствами защиты растений). Интенсификация сельского хозяйства в 1970–1990 годах, чрезмерное увлечение непродуманной мелиорацией, высокими дозами минеральных удобрений и пестицидов в условиях монокультуры или отсутствии севооборотов привело к деградации почв, резкому возрастанию засоренности полей, загрязнению почв и водоемов остатками агрохимикатов, а продукции – тяжелыми металлами и нитратами (Мудрых и др., 2022а, 2022б).

В основе создания регионального фонда мелиорируемых земель, имеющего в структуре почвенного покрова гидроморфные почвы, лежат значительные капитальные вложения (Щедрин, 2017). При этом возрастающая доля неиспользуемых, но мелиорированных почв требует оценки, анализа современного сельскохозяйственного использования и разработки рекомендации по возвращению выбывших земель в сельскохозяйственный оборот (Шевченко, Лытов, 2021). В Пермском крае заболочено или имеет избыточное увлажнение 234 тыс. га земель сельскохозяйственного назначения (Самофалова и др., 2008), часть из которых осушено.

В связи с этим на территории Пермского края остро стоит задача цифровой инвентаризации осушенных земель, что отвечает концепции цифровой трансформации сельского хозяйства (Щербина, 2019). Инвентаризация почвенного покрова мелиорируемых земель на современном уровне должна быть основана на использовании геоинформационных технологий (Савин, 2003), а конечный продукт геоинформационного картографирования должен представлять веб-картографический сервис, открывающий равный доступ для специалистов агропредприятий и органов государственной власти, но при этом не требующий для обращения с ним специальных компетенций в информационных технологиях (Лэззат, Ахметова, 2023). Наполнение геоинформационной системы включает векторизацию крупномасштабных почвенных карт, анализ и интерпретацию данных дистанционного зондирования, выделение границ мелиорируемых участков (Васильченко, 2022).

Цель исследований – анализ состояния и инвентаризация мелиорируемых земель Пермского края с обобщением результатов в виде веб-ГИС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основе исследования лежит создание веб-картографического сервиса (веб-ГИС) мелиорируемых земель. Основной геоинформационный слой веб-ГИС – «Границы участков», который является результатом пространственного анализа крупномасштабных почвенных карт Пермского края, **данных дистанционного зондирования (ДЗЗ)** из открытых источников и векторных пространственных данных. Крупномасштабные почвенные карты в масштабе 1 : 10 000 были проанализированы по сельскохозяйственным землепользованиям Пермского края. Данные дистанционного зондирования включали космические снимки среднего пространственного разрешения Landsat 5 за 1985–1990 годы, Sentinel 2 за 2020–2021 годы и снимки сверхвысокого разрешения покрытия ESRI World Imagery (табл. 1). Из набора векторных геоданных OpenStreetMap (получены при помощи модуля «Quick OSM» QGIS) был выделен слой «дренажные каналы».

Подробная характеристика исходных пространственных данных и решаемые на их основе задачи сгруппированы в три блока (табл. 1). Векторизация границ мелиорируемых участков

выполнялась на основе космических снимков. Экспертное дешифрирование проведено на основе композитного изображения, полученного путем объединения коротковолнового инфракрасного, ближнего инфракрасного и красного каналов снимка (SWIR-NIR-RED), имеющего высокую степень контрастности для визуального анализа состояния сельскохозяйственных угодий (Тематическое дешифрирование ..., 2020).

Таблица 1

Характеристика исходных пространственных данных

Блок данных	Наименование данных	Источник данных	Характеристика	Решаемая задача
Картографические данные	Почвенные карты	ФГУ ГЦАС Пермский	Масштаб 1:10000	Выявление и векторизация мелиорируемых почв (осушенные и орошаемые)
Данные дистанционного зондирования	Данные дистанционного зондирования Landsat 4-5 TM	ers.cr.usgs.gov Способ получения – модуль Semi-Automatic Classification Plugin QGIS	Пространственное разрешение 30 м, спектральное разрешение – 7 каналов	1. Векторизация не используемых на сегодняшний день мелиорируемых участков 2. Оценка зарастания участков
	Данные дистанционного зондирования Sentinel-2	scihub.copernicus.eu/apihub Способ получения – модуль Semi-Automatic Classification Plugin QGIS	Пространственное разрешение 10 м, 4 спектральных канала	1. Анализ с-х использования мелиорируемых участков. 2. Оценка зарастания участков
	Мозаика высокодетальных космических снимков покрытия ESRI Satellite ArcGIS/WorldImagery	Способ получения – модуль QuickMapServices QGIS	Пространственное разрешение 0,3 м, 3 спектральных канала	Векторизация мелиорируемых участков
Векторные данные	Набор векторных геоданных на весь Пермский край	OpenStreetMap	Формат Shape	Выделение слоя «Дренажные каналы»

В ходе пространственного анализа по приведенным в таблице данным, устанавливали границы мелиорируемых участков и оценивали их современное состояние. Для векторизации почвенных карт, их сканированные листы были определены в системе координат проекции Гаусса-Крюгера для зоны 10.

Создание векторных объектов «Мелиорируемые участки» выполняли в 3 этапа: 1) определение системы координат (картографическая привязка) сканированных почвенных карт; 2) векторизация мелиорируемых участков (орошаемые и осушенные) в границах векторного слоя мелиорируемых почв по данным дистанционного зондирования; 3) векторизация участков осушительной мелиорации на основе пространственного анализа векторных данных (данные OSM) и данных дистанционного зондирования.

Обобщение пространственных данных и организация открытого доступа к ним решается при помощи технологий интернет-картографирования. Это обусловлено тем, что представление ГИС в формате веб-карты по качеству визуализации, отображению картографической информации носит интерактивный характер по сравнению с бумажными картами и их векторными аналогами.

Для создания веб-ГИС активно используют открытые геотехнологии, включающие разработку клиентской части на основе ГИС-проекта (Абдуллин, 2020). Сегмент открытых геотехнологий существенно расширяет возможности разработчиков геоинформационных систем земельных ресурсов (Arote et al., 2022). Использование открытых геотехнологий QGIS обеспечивает процесс создания картографического веб-приложения таким образом, что разработанный ГИС-проект трансформируется в веб-приложение.

Создание и информационное наполнение ГИС-проекта (векторизация, создание тематических слоев) осуществляли в геоинформационной системе с открытым кодом QGIS 3.22.12. Разработка клиентского веб-приложения с использованием интерфейсов Leaflet реализована при помощи модуля qgis2web и универсального редактора кода Brackets. Разработка главной страницы сайта «Геоинформационная система мелиорируемых земель Пермского края» выполнена на основе технологий HTML и CSS-разметки. Размещение веб-приложения (хостинг) организовано на платформе GitHub.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первом этапе исследования была произведена картографическая привязка в системе координат проекции WGS 84/UTM zone 40N. Результат – геореференцированные растры почвенных карт, по которым выполняли векторизацию мелиорируемых почв. Результат этой операции представлен на примере мелиорируемых почв в Пермском муниципальном округе (рис. 1).

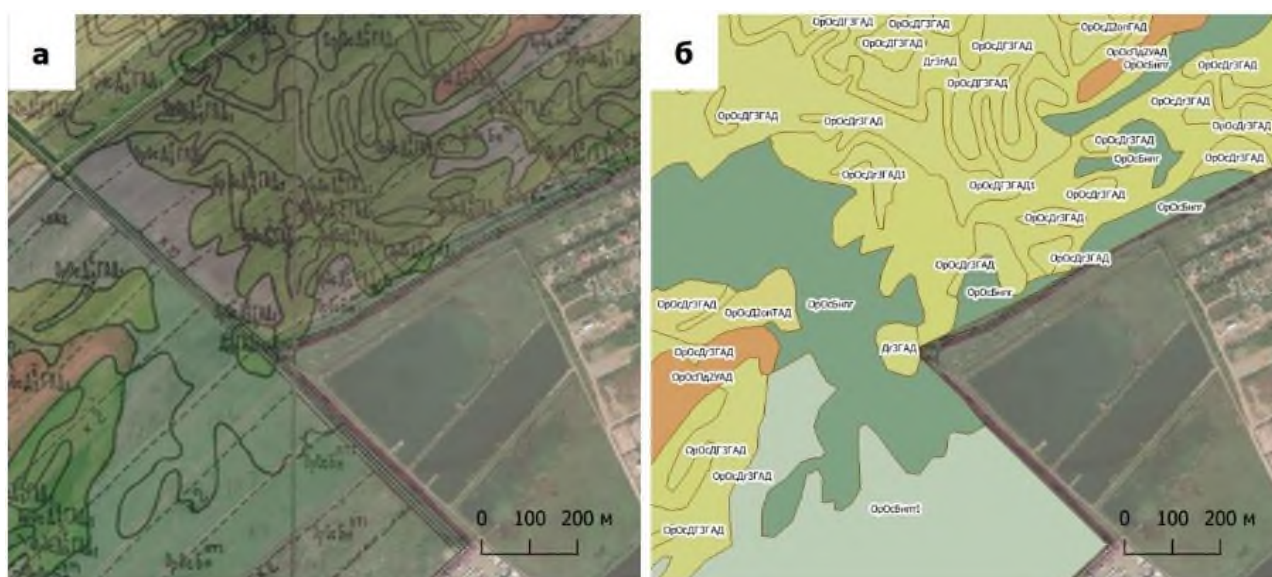


Рисунок 1. Векторизация мелиорируемых почв (Пермский муниципальный округ): а) – геопривязанный растр на подложке космоснимка; б) – результат векторизации контуров почв (пример сокращённого обозначения почв ОрОсДГЗГД – Орошаемая осушенная дерново-глиеявая глинистая на делювиальных отложениях).

Второй этап исследования включал векторизацию мелиорируемых участков (орошаемые и осушенные) в границах векторного слоя мелиорируемых почв по ДЗЗ. В ходе анализа данных установлено, что актуальное состояние участков различно: многие из них подвержены процессам зарастания древесно-кустарниковой растительностью и застройке. В связи с этим, для анализа сельскохозяйственного использования почв и интенсивности зарастания использовали разновременные космические снимки. Сначала оценивали современное использование территории, в границах которой векторизованы мелиорируемые почвы. Для этого проанализированы данные Sentinel-2 за 2020-21 годы (весенний период: середина апреля – середина мая). По этим снимкам с разрешением 10 м определяли общие очертания открытой поверхности почвы, а векторизация полей проведена по снимкам сверхвысокого разрешения ESRI World Imagery. Если на территории открытых почв не наблюдали, то векторизацию участка проводили по снимкам Landsat 4-5TM за период с 1985 по 1990 год, находящихся в открытом доступе (Белоусова, 2018).

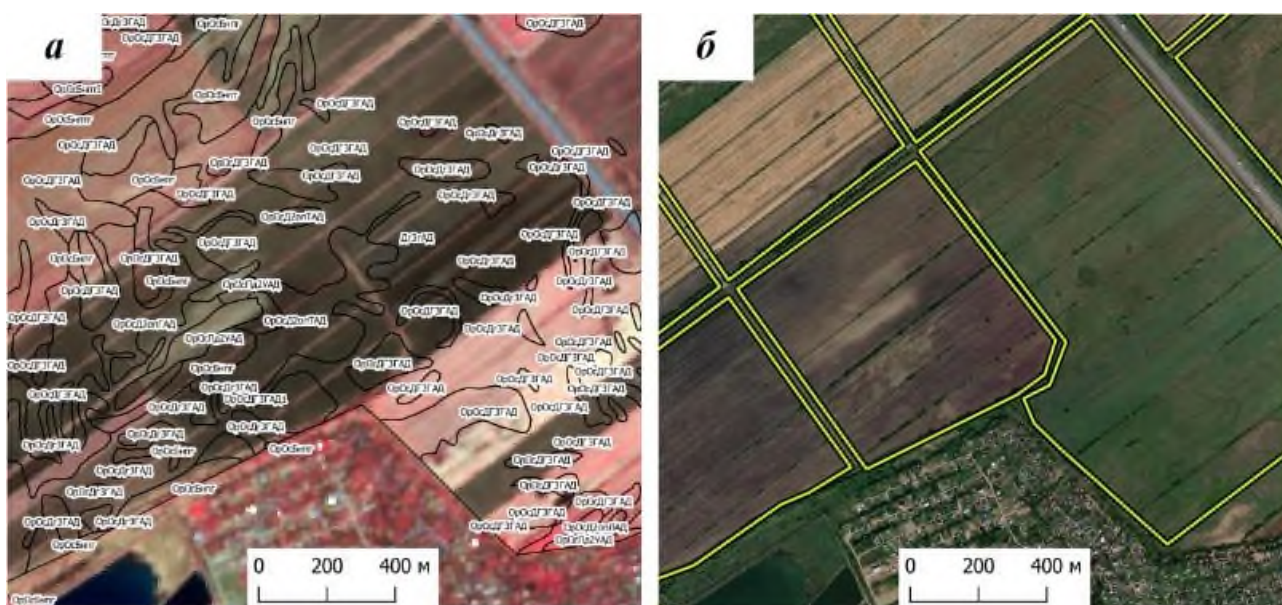


Рисунок 2. Векторизация актуальных границ мелиорируемых участков по контурам мелиорируемых почв: а) – контуры мелиорируемых почв на подложке снимка Sentinel-2 в синтезе «искусственный цвет» (Nir-Red-Green, пример сокращённого обозначения почв ОрОсДГЗГД – Орошаемая осушенная дерново-глеявая глинистая на делювиальных отложениях); б) – результат векторизации полей с учетом актуальных границ по высокдетальной мозаике космоснимков.

Для территории Пермского края проработана методика оценки степени зарастания сельскохозяйственных земель (Белоусова, Чашин, 2018). Для определения участков зарастания древесными породами использовались зимние снимки со снежным покровом. Основным методом обработки данных дистанционного зондирования является бинарная классификация, разделяющая спутниковое изображение на 2 класса: лесопокрываемые и безлесные территории (Белоусова, Чашин, 2018). Известно, что в 80 годы XX века на территории Пермского края процессы зарастания пахотных земель (в том числе мелиорируемых) не наблюдались. Поэтому оценка состояния зарастания участков землепользования хозяйств проведена на основе векторизации границ мелиорируемых участков по снимкам Landsat 5 (рис. 3). Экспертное дешифрирование выполнено в синтезе каналов SWIR-NIR-RED, который имеет высокую степень контрастности для визуального анализа состояния сельскохозяйственных угодий (Тематическое дешифрирование ..., 2020).

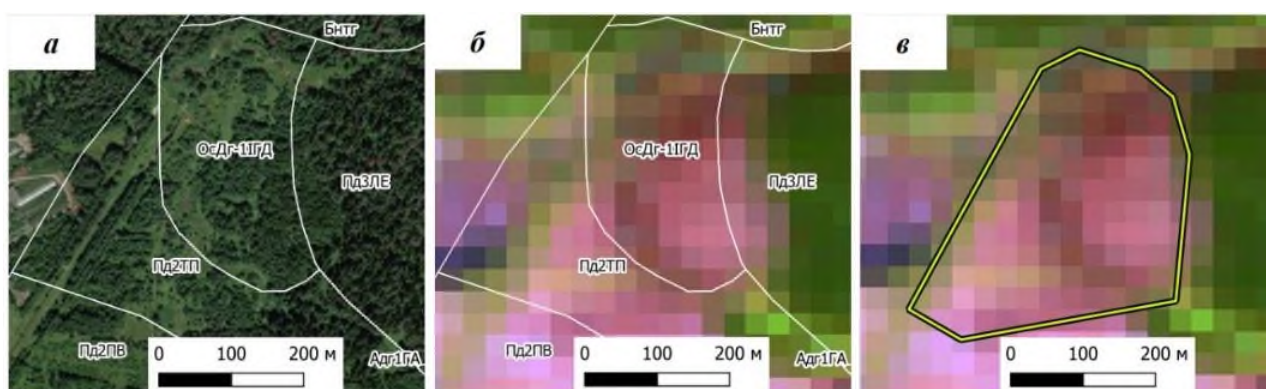


Рисунок 3. Векторизация границ заросших участков по данным Landsat: а) – контур мелиорируемой почвы на подложке современного снимка (пример сокращённого обозначения почв Пд2ТП – дерново-мелкоподзолистая тяжелосуглинистая на покровных отложениях); б) – наложение мелиорируемого контура на снимок Landsat 5 от 14.05.1989; в) – результат векторизации мелиорируемого участка по снимку 1989 года.

Оценка степени зарастания неиспользуемых мелиорируемых участков выполнялась по разновременным спутниковым снимкам, полученным в зимний период при помощи метода

неуправляемой классификации ISODATA. Было выполнено разделение разновременных изображений на 2 класса – покрытые и непокрытые лесом. Фрагмент анализа представлен на рисунке 4.

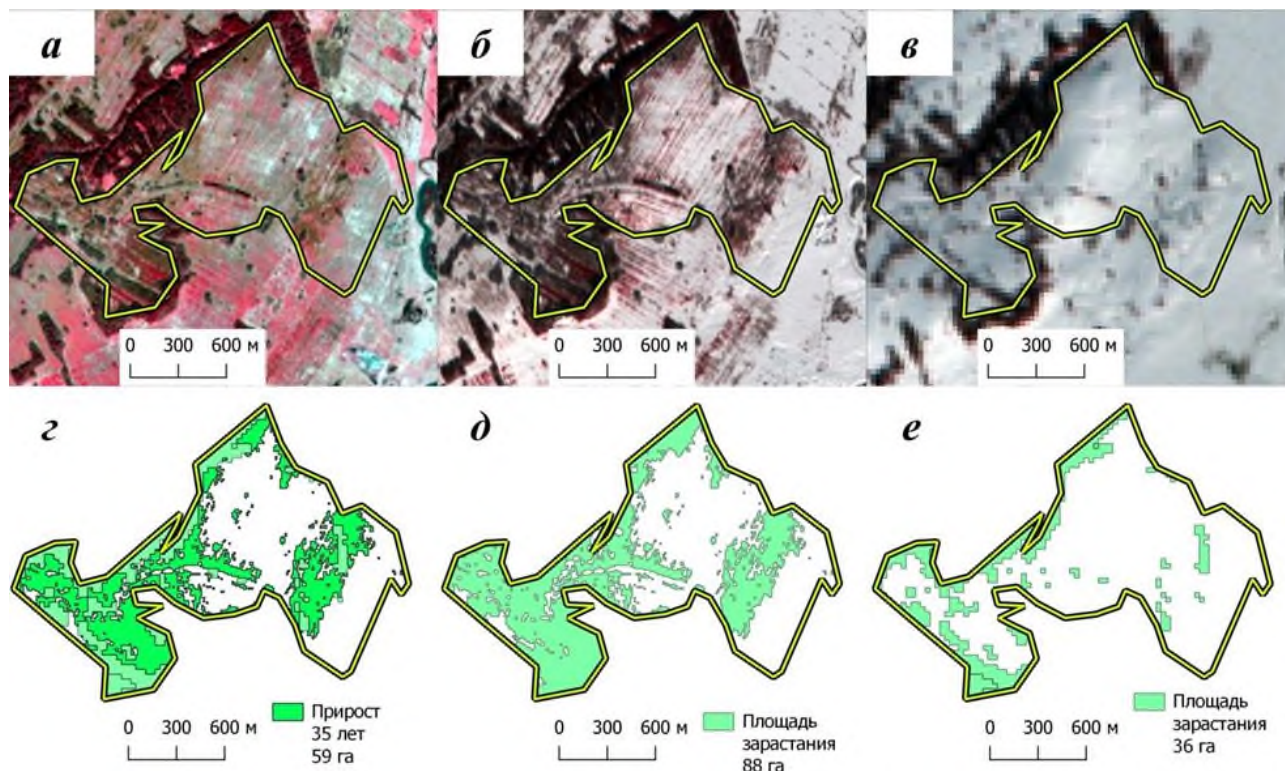


Рисунок 4. Выявление степени зарастания мелиорируемых участков (на примере участка в Уинском районе Пермского края): а) – мелиорируемый участок на подложке снимка Sentinel-2 от 5 мая 2020 (синтез «искусственный цвет»); б) – мелиорируемый участок на подложке снимка Sentinel-2 от 11 марта 2020 (синтез «искусственный цвет»); в) – мелиорируемый участок на подложке снимка Landsat от 14 февраля 1988 (синтез «искусственный цвет»); г) – площади зарастания участка в 2020 году; д) – площади зарастания участка в 1988 году; е) – прирост древесно-кустарниковой растительности за 35 лет (г – е).

Таким образом, в результате 1 и 2 этапов исследования векторизованы орошаемые и осушенные участки на территории Пермского края по данным крупномасштабных почвенных карт. Третий этап работ состоял в векторизации участков осушительной мелиорации на основе пространственного анализа векторных данных и ДЗЗ. Выделенный из набора данных векторный слой «Дренажные каналы» совмещали с изображением разновременных космических снимков. По результату наложения слоев устанавливали местоположение осушенных участков. Их векторизацию выполняли аналогично предыдущему этапу. Пример экспертного дешифрирования (Нытвенский городской округ) представлен на рисунке 5.



Рисунок 5. Векторизация актуальных границ полей, осушенных дренажными каналами: а) – дренажные каналы на подложке снимка Landsat 5 от 14 мая 1989 года (синтез каналов SWIR-NIR-RED); б) – результат векторизации поля с учетом актуальных границ по высокдетальному космоснимку.

На территории Пермского края (табл. 2) в 16 муниципальных районах имеются мелиорированные земли (осушенные и орошаемые). Векторизовано 177 мелиорируемых участков и установлено их актуальное состояние; преобладают осушенные участки. Наибольшие площади (более 1000 га) мелиорируемых земель (осушенных) отмечают в Пермском, Октябрьском, Большесосновском, Нытвенском, Куединском и Кишертском муниципальных районах.

Таблица 2

Мелиорируемые земли Пермского края

№п/п	Район	Число участков, шт.	Площадь (количество участков), га		
			Осушенные	Орошаемые	Всего
1	Пермский	89	4632,69 (63)	2311,0 (26)	6943,69
2	Чайковский	1	7,7(1)	-	7,7
3	Куединский	11	1141,30 (11)	-	1141,30
4	Октябрьский	13	1175,00 (13)	-	1175,00
5	Уинский	2	602,2 (2)	-	602,2
6	Ординский	1	169,9 (1)	-	169,9
7	Кишертский	15	1058,4 (15)	-	1058,4
8	Кунгурский	1	25,0 (1)	-	25,0
9	Березовский	3	203,89 (3)	-	203,89
10	Большесосновский	13	1169,0 (13)	-	1169,0
11	Чусовской	17	497,7 (14)	24,8 (3)	522,50
12	Краснокамский	2	349,5 (2)	-	349,5
13	Нытвенский	4	1142,90 (4)	-	1142,90
14	Карагайский	1	147,2 (1)	-	147,2
15	Сивинский	3	77,0 (3)	-	77,0
16	Юсьвинский	1	198,5 (1)	-	198,5
	Всего	177	12598,18	2335,8	14933,68

Основным фактором, лимитирующим ведение сельскохозяйственного производства в регионе, является тяжёлый гранулометрический состав почв (Самофалова и др., 2008; Самофалова, 2014), наиболее неблагоприятное воздействие которого проявляется в самой распаханной равнинной части региона. В связи с этим, мелиорируемые земли здесь представлены большей частью осушенными участками. Орошаемые участки имеются только в Пермском и в Чусовском районах.

Пространственное распределение мелиорируемых земель в регионе отражает карта (рис. 6), из которой видно, что наибольшие площади мелиорируемых земель Пермского края расположены в Пермском муниципальном районе (6944 га), Октябрьском городском округе (1175 га) и Большесосновском муниципальном округе (1169 га).

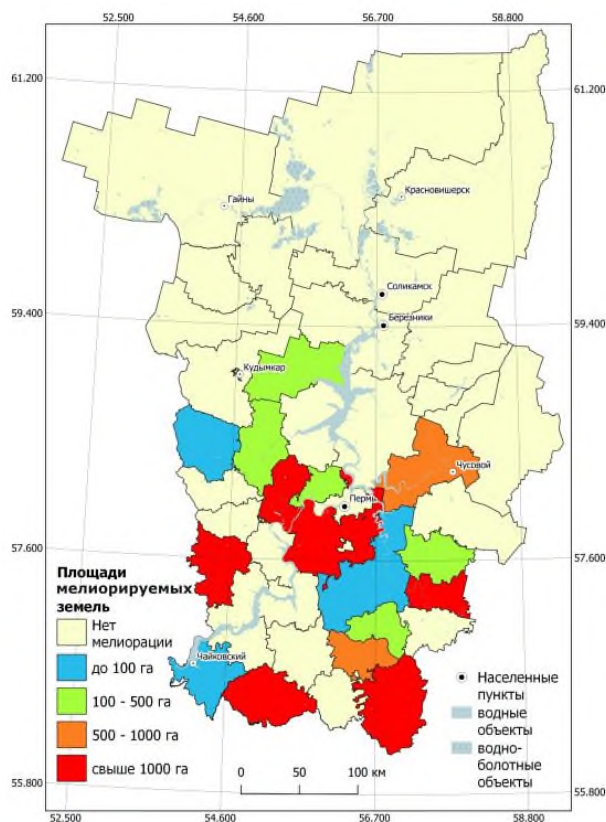


Рисунок 6. Карта распределения мелиорируемых земель в Пермском крае.

В результате анализа имеющегося набора данных и оценки функциональных возможностей геотехнологий интернет-картографирования была составлена технологическая схема разработки веб-сайта «Геоинформационная система мелиорируемых земель Пермского края» (рис. 7).

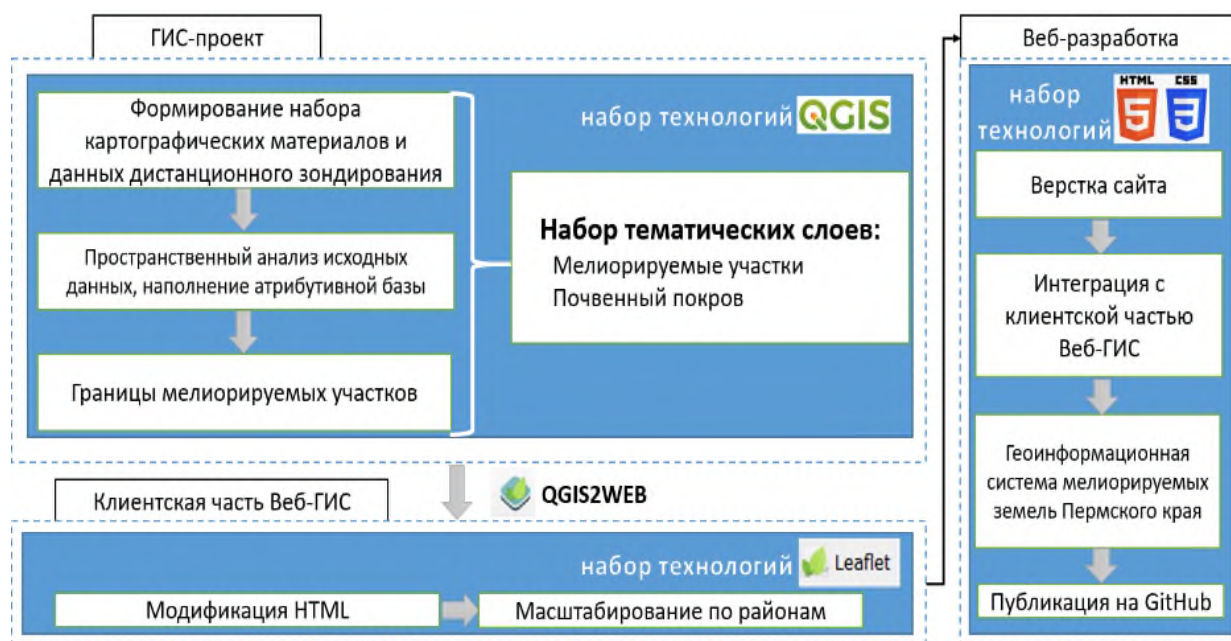


Рисунок 7. Технологическая схема разработки ГИС.

По полученным объектам сформирована атрибутивная база данных, включающая вид гидромелиорации, площадь, показатели плодородия и качества почв. В результате векторизации мелиорируемых участков и заполнения атрибутов, характеризующих актуальное состояние, площадь, показатели плодородия и качества почв мелиорируемых земель, была сформирована геопространственная база данных. Структура ГИС-проекта представлена в таблице 3, внешний вид в среде QGIS (рис. 8).

Таблица 3

Характеристика исходных пространственных данных

Имя слоя	Формат данных	Описание
границы муниципальных образований Пермского края	Векторный (полигоны)	Границы по данным OSM
Дренажные системы	Векторный (полилинии)	Данные OSM
Мелиорируемые участки	Векторный (полигоны)	Результат пространственного анализа исходных картографических материалов и данных дистанционного зондирования
Типы почв	Векторный (полигоны)	Результат векторизации растров почвенных карт
Космический снимок	Растровый	WMS-слой (мозаика ESRI Satellite)

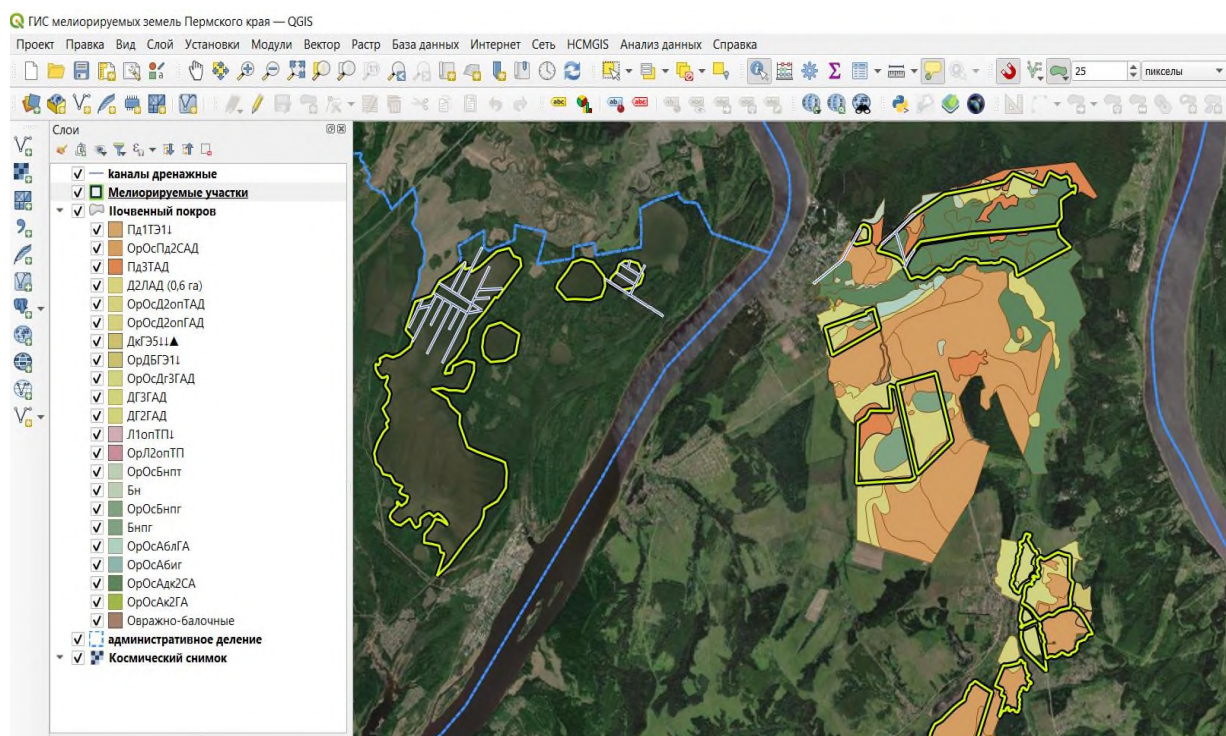


Рисунок 8. Внешний вид ГИС-проекта в среде разработки QGIS 3.22.11.

Для формирования открытой геоинформационной системы мелиорируемых земель Пермского края, из существующего ГИС-проекта создано веб-приложение. Главная страница сайта разработана на основе языка разметки html и css и интегрирована в границы отдельных районов Пермского края мелиорируемыми участками. Вид главной страницы, размещенный на GitHub представлен на рисунке 9. При нажатии на кнопку с названием района открывается вид карты в границах района (рис. 10).

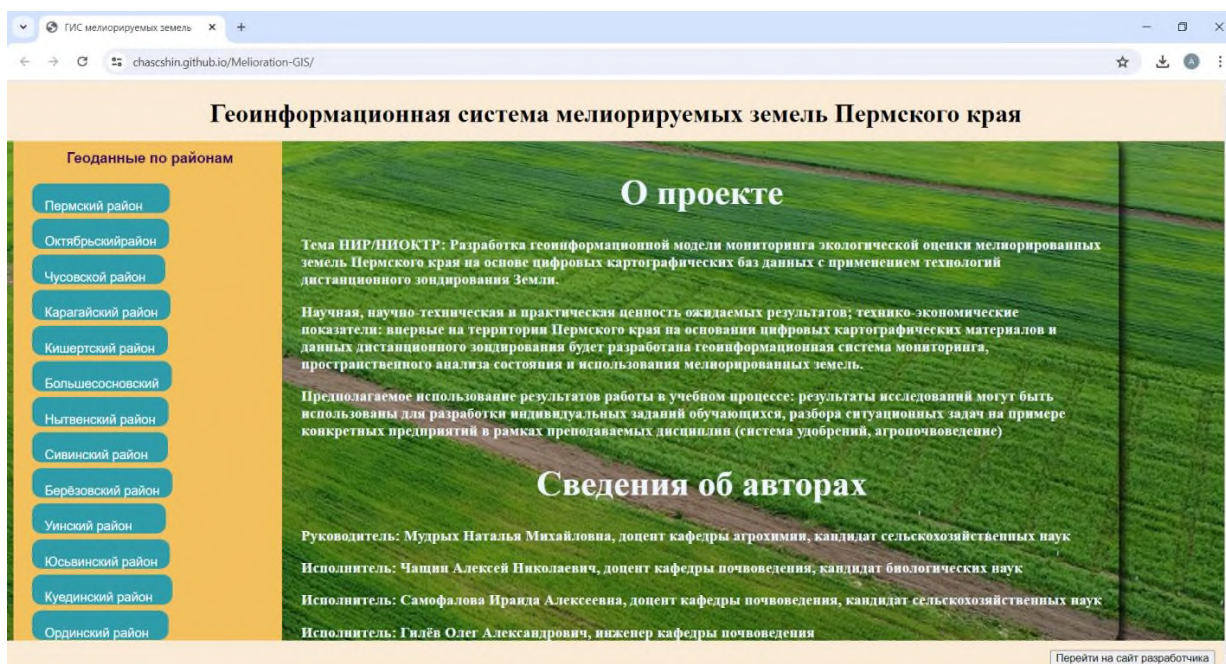


Рисунок 9. Внешний вид начальной страницы веб-ГИС.

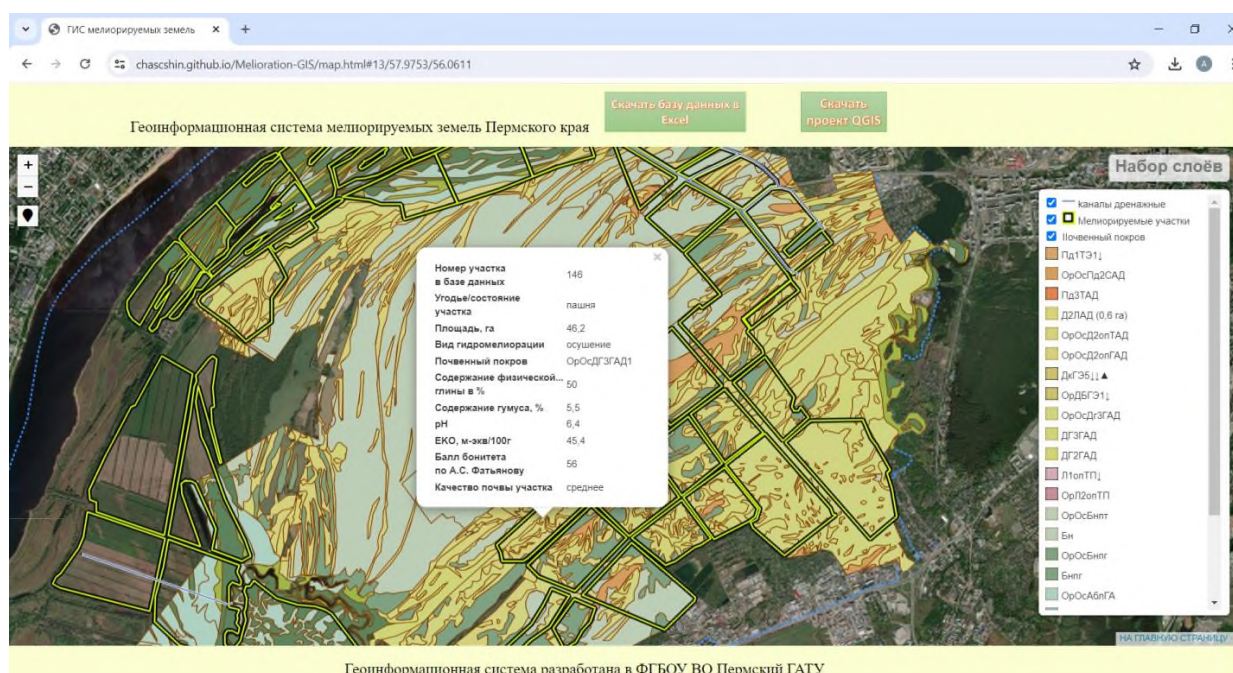


Рисунок 10. Внешний вид карты веб-ГИС на примере Пермского муниципального района.

Основным преимуществом веб-ГИС по сравнению с обычными файловыми картографическими базами данных (настольные ГИС) является возможность открытого доступа к ним. Для этого созданный картографический сайт размещают в сети интернет. Наиболее подходящей из бесплатных платформ при публикации геопространственных данных является GitHub. Открытый доступ к разработанной ГИС организован по адресу <https://chascshin.github.io/Melioration-GIS>.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Актуальное состояние почвенного покрова мелиорируемых земель определяется характером землепользования. Проанализировано современное использование мелиорируемых почв и сформирована геопространственная база данных и карта мелиорируемых земель Пермского края. Наибольшие площади мелиорируемых земель Пермского края расположены в Пермском муниципальном районе (6944 га), Октябрьском городском округе (1175 га) и Большесосновском

муниципальный округе (1169 га). Площадь неиспользуемых (заросших древесно-кустарниковой растительностью) мелиорированных земель составляет 3564 га. В результате векторизации мелиорируемых участков и заполнения атрибутов, характеризующих актуальное состояние, площадь, показатели плодородия и качества почв мелиорируемых земель (более 3000 га), сформирована геопространственная база данных. Из существующего ГИС-проекта создано клиентское веб-приложение. Размещение веб-приложения (хостинг) организовано на платформе GitHub, что существенно сокращает стоимость функционирования геоинформационного проекта.

Использование приложения доступно любому сельхозпроизводителю и позволяет в режиме реального времени получать информацию о плодородии почв, планировать рациональное использование земельных ресурсов агропредприятия на основе учета природных факторов, актуальных показателей плодородия почв и фактической вовлеченности земель в сельскохозяйственный оборот, что способствует устойчивому развитию земледелия на мелиорируемых землях Пермского края.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 122020900201-9).

ЛИТЕРАТУРА

Абдуллин Р.К., Пономарчук А.И. Технологии интернет-картографирования: учебное пособие. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. 132 с.

Белоусова А.П. Анализ использования пахотных земель по спутниковым снимкам landsat на примере Кунгурской лесостепи // Географический вестник. 2018. Том 47. № 4. С. 133–143. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2018-4-133-143>

Белоусова А.П., Чашин А.Н. Оценка интенсивности зарастания почв сельскохозяйственных угодий лесной растительностью по данным дистанционного зондирования // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2018. Том 28. № 3. С. 269–278.

Васильченко А.А. Опыт разработки локальной ГИС орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Том 28. № 2. С. 761–772. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-2-28-761-772>

Лэззат Қ., Ахметова Н.З. Внешний вид и доступность веб-карт в приложениях и на сайтах // European Research Materials. 2023. No. 2. Apr. 2023. <https://ojs.publisher.agency/index.php/ERM/article/view/1189>

Мудрых Н.М., Самофалова И.А., Чашин А.Н. Агроэкологическая оценка адаптивно-сельскохозяйственного потенциала осушенных и орошаемых почв // Агрохимический вестник. 2022а. № 6. С. 28–31. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-6-005>

Мудрых Н.М., Самофалова И.А., Чашин А.Н. Агроэкологическая типизация земель мелиорируемой территории в Нечерноземной зоне // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022б. Том 28. № 2. С. 935–946. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-2-28-935-946>

Постановление Правительства Российской Федерации от 14.05.2021 № 731 «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: <http://static.government.ru/media/files/H0r3EQe7gpGEJvEtfACIXtnJ4gt6Xpr2.pdf> (дата обращения 20.06.2022).

Савин И.Ю. Инвентаризация почв с использованием ГИС технологий // Почвоведение. 2003. № 10. С. 1189–1196.

Самофалова И.А. Системный анализ гранулометрического состава дерново-подзолистых почв // Актуальные проблемы аграрной науки в XXI веке: материалы международной научно-практической конференции. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2014. С. 97–100.

Самофалова И.А., Каменских Н.Ю., Кайгородов А.Т. Современное состояние земельных ресурсов в Пермском крае // Пермский аграрный вестник: сборник научных трудов LXVII Всероссийской научно-практической конференции. Пермь: ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2008. Часть 1. С. 117–122.

Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Шихов, А.П. Герасимов, А.И. Пономарчук, Е.С. Перминова; Пермский государственный национальный исследовательский университет. Электронные данные. Пермь, 2020. 191 с. 49,6 Мб. URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/shikhov->

[gerasimov-ponomarchukperminova-tematicheskoe-deshifrovanie-i-interpretaciyakosmicheskikh-snimkov.pdf](#) (дата обращения 25.01.2024).

Шевченко В.А., Лытов М.Н. Стратегии возобновления использования ранее выведенных из оборота мелиорированных земель // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. Том 64. № 4. С. 283–296. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-04-30>

Щедрин В.Н. Стратегия научно-технического обеспечения развития мелиорации земель в России на период до 2030 г. // Мелиорация и водное хозяйство. 2017. №. 4. С. 7–10.

Щербина Т.А. Цифровая трансформация сельского хозяйства РФ: опыт и перспективы // Россия: тенденции и перспективы развития. Статья в сборнике трудов конференции. 2019. Выпуск 14. Часть 1. С. 450–453.

Arote A.B., Pawar S.V., Joshi S.R. Mapping of Soil Properties Using Geographical Information System (25 February 2022). Proceedings of the 3rd International Conference on Contents, Computing & Communication (ICCC-2022), Available at SSRN. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4043373>

Поступила в редакцию 29.07.2023

Принята 28.10.2023

Опубликована 28.10.2023

Сведения об авторах:

Чащин Алексей Николаевич – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (г. Пермь, Россия); chascshin@mail.ru

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

Мудрых Наталья Михайловна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (г. Пермь, Россия); nata020880@hotmail.com

Гилёв Олег Александрович – инженер кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (г. Пермь, Россия); oleg.gilev49@gmail.com

Гилев Виталий Юрьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (г. Пермь, Россия); pochva2005@ya.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/)

Geoinformation system of reclaimed lands of the Perm territory

© 2024 A. N. Chashchin , I. A. Samofalova , N. M. Mudrykh , O. A. Gilev, V. Yu. Gilev 

Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov, Petropavlovskaya 23, Perm, Russia. E-mail: chascshin@mail.ru

The aim of the study was to analyze and inventory the reclaimed lands of the Perm territory, summarizing the results in the form of Web-GIS.

Location and time of the study. The work was carried out in 2022-2023 on reclaimed lands within the administrative boundaries of the Perm territory.

Methods. An integrated approach was implemented using geoinformation and web mapping. The geoinformation system of reclaimed lands was developed on the basis of large-scale soil maps (scale 1: 10,000). We used remote sensing data, which include Landsat medium-resolution space images for 1985-1990, Sentinel 2 for 2020-2021 and ESRI World Imagery ultra-high-resolution coverage images, as well as OpenStreetMap vector spatial data. The GIS project was developed and filled with information in QGIS 3.22.12. The development of the client web application using Leaflet interfaces was implemented using the QGIS2Web module and the universal code editor Brackets. The development of the main page of the site was based on HTML and CSS markup technologies. The web application was hosted on the GitHub platform. The study was

conducted in several steps: a) determination of scanned large-scale soil maps in the Pulkovo 1942/Gauss-Kruger zone 10 projection coordinate system and subsequent vectorization of reclaimed areas within the boundaries of reclaimed soils (based on georeferenced maps) based on remote sensing data using multi-temporal space images in the synthesis of SWIR-NIR-RED channels; b) assessment of the degree of overgrowing of unused reclaimed areas based on multi-temporal satellite images obtained in the winter using the ISODATA unsupervised classification method; and c) vectorization of drainage reclamation areas based on spatial analysis of vector and remote sensing data.

Results. Geoinformation rasters of soil maps of reclaimed lands were developed. In the Perm territory, there are reclaimed lands (drained and irrigated) in 16 municipal districts. Many (177) reclaimed areas were vectorized, and their current condition established. Drained areas were found to predominate. The largest areas (more than 1000 hectares) of reclaimed lands (drained) were in Permsky, Oktyabrsky, Bolshesosnovsky, Nytvinsky, Kuedinsky, Kishertsky municipal districts. The degree of vegetation restoration on the abandoned reclaimed areas was assessed. A technological scheme of the website, attribute database and a GIS project structure were developed. A geoinformation system for spatial analysis of the state and use of reclaimed lands was developed as the Web-GIS service "Geoinformation system of reclaimed lands in Perm territory".

Conclusions. The current status of the reclaimed lands soil cover is determined by land use. The analysis of the current use of reclaimed soils resulted in the development of a geospatial database and a map of reclaimed lands in Perm territory. It was found that the largest areas of reclaimed land in the region are located in the Perm (6944 hectares), Oktyabrsky (1175 hectares) and Bolshesosnovsky (1169 hectares) municipal districts. The area of the reclaimed lands that were unused and overgrown with trees and shrubs was estimated as 3564 hectares. From the existing GIS project, a client Web application "Geoinformation system of reclaimed lands of Perm Krai" was developed and hosted on the GitHub platform, thus reducing the cost of the geoinformation project. The application is available to any agricultural producer and allows real-time access to information on soil fertility, planning the rational use of agricultural land resources, all these contributing to the sustainable development of agriculture on reclaimed lands in the Perm territory.

Key words: soil map; Web mapping; reclaimed lands; vectorization; geospatial database; hosting; thematic layers.

How to cite: Chashchin A. N., Samofalova I. A., Mudrykh N. M., Gilev O. A., Gilev V. Yu. Geoinformation system of reclaimed lands of the Perm territory // *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(4). e277. DOI: [10.31251/pos.v7i4.277](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.277) (in Russian with English abstract).

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 122020900201-9).

REFERENCES

- Abdullin R.K., Ponomarchuk A.I. Internet mapping technologies: a tutorial. Perm: Perm State National Research University, 2020. 132 p. (in Russian).
- Belousova A.P. The analysis of the use of agricultural lands based on Landsat images on the example of Kungur forest-steppe. *Geographical Bulletin*. 2018. Vol. 47. No. 4. P. 133–143. (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2018-4-133-143>
- Belousova A.P., Chashchin A.N. Assessment of the intensity of agricultural land soils overgrowing by forest vegetation according to remote sensing data. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2018. Vol. 28. No. 3. P. 269–278. (in Russian).
- Vasilchenko A.A. Experience of developing a local GIS for irrigated land of the Volga-Akhtuba floodplain in the territory of the Volgograd region. *InterCarto. InterGIS*. 2022. Vol. 28. No. 2. P. 761–772. (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-2-28-761-772>
- Lezzat K., Akhmetova N.Z. Appearance and accessibility of web maps in applications and on websites. *European Research Materials*. 2023. No. 2. Apr. 2023. (in Russian). <https://ojs.publisher.agency/index.php/ERM/article/view/1189>
- Mudrykh N.M., Samofalova I.A., Chashchin A.N. Agroecological assessment of the adaptive agricultural potential of drained and irrigated soils. *Agrochemical Herald*. 2022a. No. 6. P. 28–31. (in Russian). <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-6-005>
- Mudrykh N.M., Samofalova I.A., Chashchin A.N. Agroecological typing of lands in the reclaimed territory in the Non-chernozem zone. *InterCarto. InterGIS*. 2022. Vol. 28. No. 2. P. 935–946. (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-2-28-935-946>

Resolution of the Government of the Russian Federation of 14.05.2021 No. 731 "On the State Program for the Effective Involvement of Agricultural Lands into Circulation and the Development of the Land Reclamation Complex of the Russian Federation". [Electronic resource]. URL: <http://static.government.ru/media/files/H0r3EQe7gpGEJvEtfAClXtnJ4gt6Xpr2.pdf> (accessed on 20.06.2022). (in Russian).

Savin I.Yu. Soil inventory with the use of Gis technologies. Eurasian Soil Science. 2003. Vol. 36. No. 10. P. 1057–1064.

Samofalova I.A. System analysis of granulometric composition of sod-podzolic soils. In book: Actual Problems of Agricultural Science in the 21st century: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference. Perm: IPC "Prokrost", 2014. P. 97–100. (in Russian).

Samofalova I.A., Kamenskikh N.Yu., Kaigorodov A.T. Current state of land resources in the Perm region. In book: Perm Agrarian Bulletin: Collection of Scientific Proceedings of the LXVII All-Russian Scientific and Practical Conference. Perm: Perm State Agricultural Academy, 2008. Part. 1. P. 117–122. (in Russian).

Thematic interpretation and interpretation of medium and high spatial resolution space images [Electronic resource]: a tutorial / A.N. Shikhov, A.P. Gerasimov, A.I. Ponomarchuk, E.S. Perminova; Perm State National Research University. Electronic data. Perm, 2020. 191 p. 49,6 Mb. URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/shikhov-gerasimov-ponomarchukperminova-tematicheskoe-deshifrovanie-i-interpretaciya kosmicheskikh-snimkov.pdf> (accessed on 25.01.2024). (in Russian).

Shevchenko V.A., Lytov M.N. Strategies for restoring reclaimed lands previously removed from circulation. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2021. Vol. 64. No. 4. P. 283–296. (in Russian). <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-04-30>

Shchedrin V.N. The strategy of scientific and technical support for the development of land reclamation in Russia for the period up to 2030. Melioration and Water Management. 2017. No. 4. P. 7–10. (in Russian).

Shcherbina T.A. Digital transformation of agriculture in the Russian Federation: experience and prospects. Russia: Trends and Development Prospects. Article in the Proceedings of the Conference. 2019. Vol. 14. Part 1. P. 450–453. (in Russian).

Arote A.B., Pawar S.V., Joshi S.R. Mapping of Soil Properties Using Geographical Information System (25 February 2022). Proceedings of the 3rd International Conference on Contents, Computing & Communication (ICCC-2022), Available at SSRN. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4043373>

About the authors:

Aleksey N. Chashchin – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agrochemistry and Soil Science in the Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (Perm, Russia); chascshin@mail.ru

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. Pryanishnikov (Perm, Russia); samofalovairaida@mail.ru

Natalya M. Mudrykh – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agrochemistry and Soil Science in the Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (Perm, Russia); nata020880@hotmail.com

Oleg A. Gilev – Engineer of the Department of Agrochemistry and Soil Science in the Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (Perm, Russia); oleg.gilev49@gmail.com

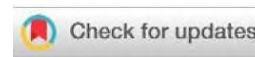
Vitaly Yu. Gilev – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agrochemistry and Soil Science in the Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (Perm, Russia); pochva2005@ya.ru

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/)

УДК 631.4

<https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.273>

Оценка гидрофобных свойств нефтезагрязнённых почв методом водяного пятна (метод «Water Spot»)

© 2024 М. В. Гаршин ^{1,4}, Л. А. Храмова ^{2,4}, Р. Р. Сулейманов ^{1,3}

¹Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, проспект Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия. E-mail: garshin.mixail@yandex.ru

²Уфимский Институт химии – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, проспект Октября, 71, г. Уфа, 450054, Россия. E-mail: khramtsovala@mail.ru

³ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», ул. Заки Валиди, 32, г. Уфа, 450076, Россия. E-mail: soils@mail.ru

⁴ООО «РН-БашНИПИнефть», ул. Ленина, 86/1, г. Уфа, 450006, Россия.

Цель исследования. Оценить степень гидрофобности нефтезагрязнённых почв методом водяного пятна (метод «Water Spot»).

Место и время проведения. Исследования проводили в 2024 году в лабораторных условиях с чернозёмом типичным и серой лесной почвой.

Методы. В просеянные и высушенные почвенные образцы добавляли нефть для достижения выбранного уровня концентрации (0, 0,2, 0,5, 1, 3 и 5% по массе), а также гексан и воду для уменьшения вязкости повышения влажности почвы, соответственно. После двух суток инкубации почвы в закрытом состоянии наносили раствор флуоресцеина натрия, и результат фотографировали в тёмном месте при свете ультрафиолетового светодиодного фонаря. Для определения эффективности хитозана (как природного сорбента) во второй серии экспериментов, проведённой по аналогичной первой серии схеме, наносили на образцы раствор хитозана, и инкубировали ещё двое суток для проявления действия хитозана на поверхности почвы. Результаты обрабатывали при помощи пакета программ CoreIDRAW и пакета анализа в Microsoft Excel.

Основные результаты. При нефтяном загрязнении почв, как правило, отмечается нарушение водного режима. При повышении концентрации нефтепродуктов от 0,5 до 5% в почве происходит снижение впитывающей способности, которое проявляется в уменьшении площади водяного пятна на поверхности почвы. После обработки загрязнённых нефтепродуктами почвенных образцов 0,1% раствором хитозана площадь водяного пятна увеличивается на серой лесной почве в среднем на 43%, на чернозёме типичном – на 6%. При увеличении концентрации раствора хитозана в два раза площадь водяного пятна увеличивается на серой лесной почве в среднем на 48%, на чернозёме типичном – на 46%. Таким образом, раствор хитозана можно использовать в качестве сорбента при загрязнении почв нефтепродуктами.

Заключение. Метод водяного пятна (метод «Water Spot») применим, прост и может использоваться при оценке загрязнённости почв нефтепродуктами: при увеличении степени загрязнённости наблюдается уменьшение площади водяного пятна на почве.

Ключевые слова: загрязнение нефтью; гидрофобность почв; хитозан; буферные свойства.

Цитирование: Гаршин М.В., Храмова Л.А., Сулейманов Р.Р. Оценка гидрофобных свойств нефтезагрязнённых почв методом водяного пятна (метод «Water Spot») // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 4. e273. DOI: [10.31251/pos.v7i4.273](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.273)

ВВЕДЕНИЕ

Все элементы биосферы (гидросфера, литосфера, атмосфера, педосфера и антропосфера) находятся в тесной взаимосвязи и при негативном влиянии на одну из сфер, возможны изменения во всей биосфере. Так, например, при загрязнении почв нефтью, возможно проявление ее гидрофобизации, что оказывает влияние на характер и равномерность увлажнения, испарение, сток, транспорт веществ, фильтрационную способность, а также доступность воды для растений (Dekker, Ritsema, 1994; Smettem et al., 2021; Popovic, Cerda, 2023).

Впрочем, водоотталкивающие свойства почв изучены недостаточно. Например, образование и накопление органических соединений на почвенных частицах в настоящее время широко известно, но их точный химический состав и способы прикрепления к поверхности частиц нуждаются в дополнительном изучении. Было установлено, что временный характер гидрофобных свойств связан,

в основном, с колебаниями влажности почвы. Выявление и разделения различных эффектов гидрофобных слоев, оценка их геоморфологического воздействия на поверхностный и подземный поток воды проводятся начиная с конца восьмидесятих годов двадцатого века. Установлено, что на эти эффекты влияют такие переменные, как частота и эффективность путей потока через гидрофобные слои, а также их положение и переходное поведение. В литературе отмечается роль водоотталкивающих свойств в развитии эрозии почвы и указывается, что они могут способствовать отделению дождевых брызг и потере почвы не только с водой, но и с ветром (Doerr et al., 2000).

На сегодняшний день разработано немало методов для определения гидрофобности почв, например, предложен WDPT-test, в основе которого лежит определение продолжительности диффузии капли воды в образец почвы (Dekker, Ritsema, 1994) – чем дольше капля проникает в образец, тем более гидрофобной является почва. Метод молярности (MED-test) водно-этаноловых капель (King, 1981) соответствует вышеуказанному методу, но в нём применяется водно-спиртовой раствор. Помимо этого, для определения и оценки гидрофобности почв используются метод определения краевого угла смачивания или метод «сидячей капли» (Leelamanie et al., 2008), а также метод подъёма капиллярной каймы (Zhang, Pei, 2020). Перечисленные методы созданы для исследования разных типов почв, не подвергнутых загрязнению нефтепродуктами, а простых и точных методов, которые позволяют оценить гидрофобность нефтезагрязнённых почв, на данный момент не существует (Потапов, 2022).

Цель работы – оценить степень гидрофобности нефтезагрязнённых почв методом водяного пятна, известный ещё как метод «Water Spot» (далее – метод «Water Spot»).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 2024 году в лабораторных условиях с чернозёмом типичным и серой лесной почвой (Классификация ..., 1977). Почвенный образец серой лесной почвы характеризуется нейтральной кислотностью; ёмкость катионного обмена составляет 26,9 ммоль (экв)/100 г, степень насыщенности основаниями – 79,1%, сумма фракций менее 0,01 мм – 28,7%, содержание гумуса – 2,8%; полная влагоёмкость – 49%. Почвенный образец чернозема типичного характеризуется нейтральной кислотностью; ёмкость катионного обмена составляет 56,3 ммоль (экв)/100 г, степень насыщенности основаниями – 92,0%, сумма фракций менее 0,01 мм – 70,8%, содержание гумуса – 7,5%; полная влагоёмкость – 56%.

Почвенные образцы доводили до воздушно-сухого состояния, измельчали на грунтовой мельнице МГ-1Ф и просеивали через сито с размером ячеек 2 мм. В чашке Петри диаметром $d = 90$ мм взвешивали необходимую расчётную массу нефти, которую определяли исходя из выбранного процента загрязнённости почвы (0, 0,2, 0,5, 1, 3 и 5%). Для уменьшения вязкости нефти добавляли 1 мл гексана, а также дистиллированную воду весовым методом для создания влажности почвы 20%. Затем в чашку Петри помещали навеску исследуемой почвы. После добавления всех компонентов тщательно перемешивали образовавшуюся массу, распределяли по всей поверхности чашки Петри ровным слоем и утрамбовывали цилиндрическим грузом 1 кг с прямым дном. Накрывали другой чашкой Петри, герметизировали полиэтиленом и выдерживали сутки для равномерного распределения загрязнения и влаги по всей площади образца.

После двух суток выдержки почвы в закрытом состоянии, на образец при помощи градуированной пипетки капали водный раствор флуоресцеина натрия с концентрацией 2 г/л в три точки для более точной фиксации границ капель. Объём, приходящийся на одну точку, составлял 0,3 мл. Результат фотографировали в тёмном месте, при свете ультрафиолетового светодиодного фонаря (рис. 1, 2).

Для апробации разрабатываемого метода «Water Spot» было решено провести вторую серию экспериментов, а именно использовать данный метод для определения степени гидрофобности почв после хемосорбции нефтепродуктов раствором хитозана, а также дополнительно проверить эффективность хитозана как природного сорбента. Положительными качествами сорбционной обработки загрязнённых сред природными сорбентами являются довольно высокий уровень очистки и экологическая безопасность (Гибадуллина и др., 2023).

Согласно литературным данным (Кокорина и др., 2013), хитозан – это природный сорбент, который может быть использован для очистки нефтезагрязнённых почв. Он обладает свойством набухать в органических средах и стойко удерживать в своей структуре растворитель, а также растворенные в нём вещества, тем самым снижая гидрофобность почвы. Сорбционный потенциал данного экологически безопасного природного сорбента определён присутствием в его

макромолекуле свободных аминогрупп, с помощью которых образуются надмолекулярные комплексы с органическими соединениями.

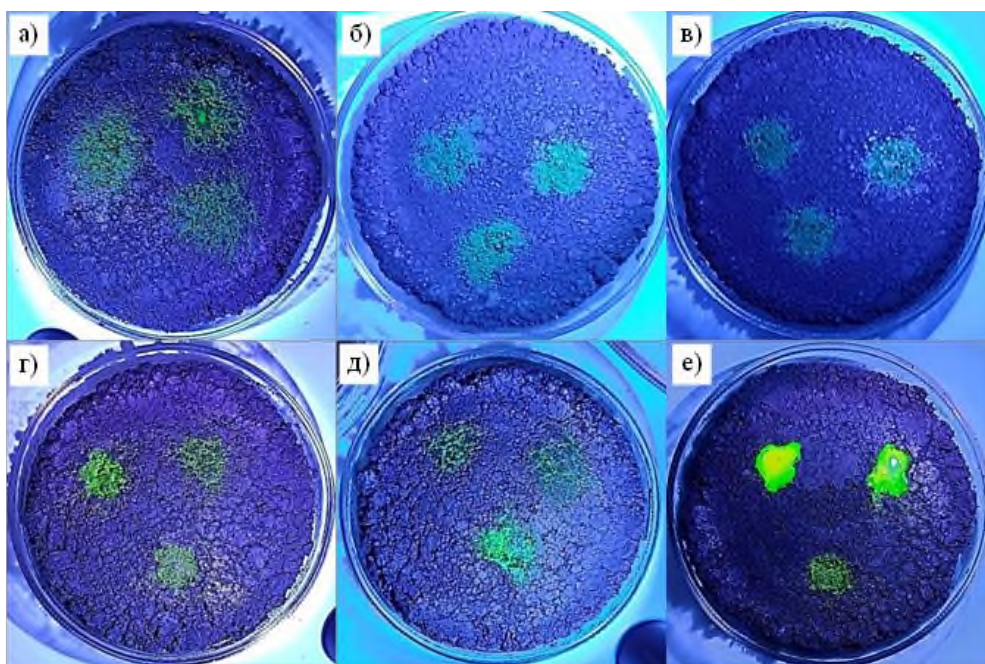


Рисунок 1. Фотографии исследования гидрофобности чернозёма типичного методом «Water Spot» в зависимости от загрязнённости. Степень загрязнения почвы нефтепродуктами в процентах (здесь и на рис. 2): а) – 0; б) – 0,2; в) – 0,5; г) – 1; д) – 3; е) – 5.

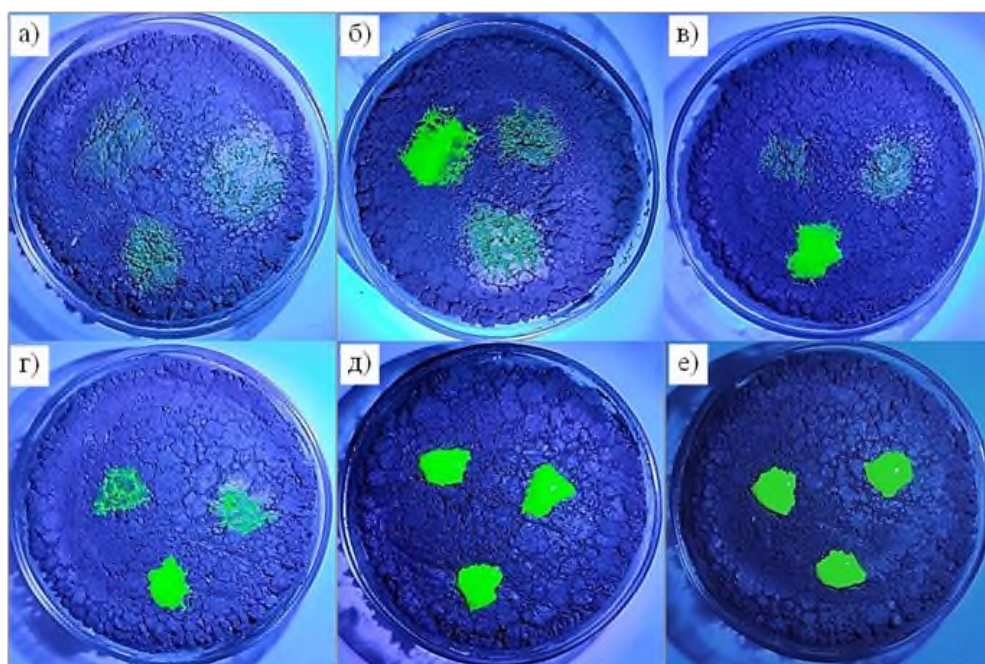


Рисунок 2. Фотографии исследования гидрофобности серой лесной почвы методом «Water Spot» в зависимости от загрязнённости нефтепродуктами.

Аналогично первому эксперименту загрязняли нефтью почвенные образцы определённой влажности, выдерживали сутки. После этого наносили на образцы раствор хитозана в уксусной кислоте в двух концентрациях – 0,1 и 0,2%, выдерживали ещё двое суток для проявления действия хитозана на поверхности почвы. Затем наносили раствор флуоресцина натрия и фиксировали на фото площадь образовавшегося водяного пятна. Результаты обрабатывали при помощи пакета программ CoreIDRAW и пакета анализа в Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метод «Water Spot» для оценки гидрофобных свойств нефтезагрязнённых почв является модификацией ранее созданного метода продолжительности диффузии воды в почву (Dekker, Ritsema, 1994). Основным отличием от данного метода является фиксация результата не по времени диффузии воды в почву, а по средней площади пятна воды на почве. После растекания и диффузии капли воды пятно будет слабозаметным и для решения этой проблемы применяется раствор флуоресцеина натрия в концентрации 2 г/л, который окрашивает капли в зелёный цвет при воздействии ультрафиолетового излучения, что позволяет точно выделять полученные пятна. Эти водяные пятна фотографировали и определяли их площадь посредством сканирования изображения в CorelDRAW, что позволяло получать результат до десятитысячных значений.

Метод обеспечивает оценку гидрофильных и гидрофобных свойств почв в большом спектре показателя влажности. Погрешность измерения данным методом при трёхкратной повторности не превышает 20% (Потапов, 2022). Полученные данные не противоречат существующим описанным представлениям о гидрофобности почв (Милановский, 2009).

На увеличение сорбционной способности повлияло внесение раствора хитозана, что вызвано не только его физико-химическими свойствами, но и тем, что он аналогичен по составу обычным органическим соединениям почв (Кокорина и др., 2013). Хитозан имеет высокую прикладную ценность, обеспечивая новую стратегию биоремедиации загрязнённой нефтью почвы; кроме того, хитозан является носителем иммобилизованных микроорганизмов, что позволяет повышать естественную рекультивацию почти в два раза (Liu et al., 2023).

Исследования показали (рис. 3), что при внесении 0,1% раствора хитозана и выдерживании в течение двух суток на загрязнённой нефтепродуктами серой лесной почве наблюдается увеличение площади водяного пятна в среднем на 43%; на чернозёме типичном отмечается незначительный эффект – площадь пятна возросла на 6%. При увеличении концентрации хитозана до 0,2% эффект от его внесения значительно проявляется на обеих почвах: на серой лесной почве площадь водяного пятна увеличивается в среднем на 48%, на чернозёме типичном – на 46%. Таким образом, раствор хитозана можно использовать в качестве сорбента при загрязнении почв нефтепродуктами.

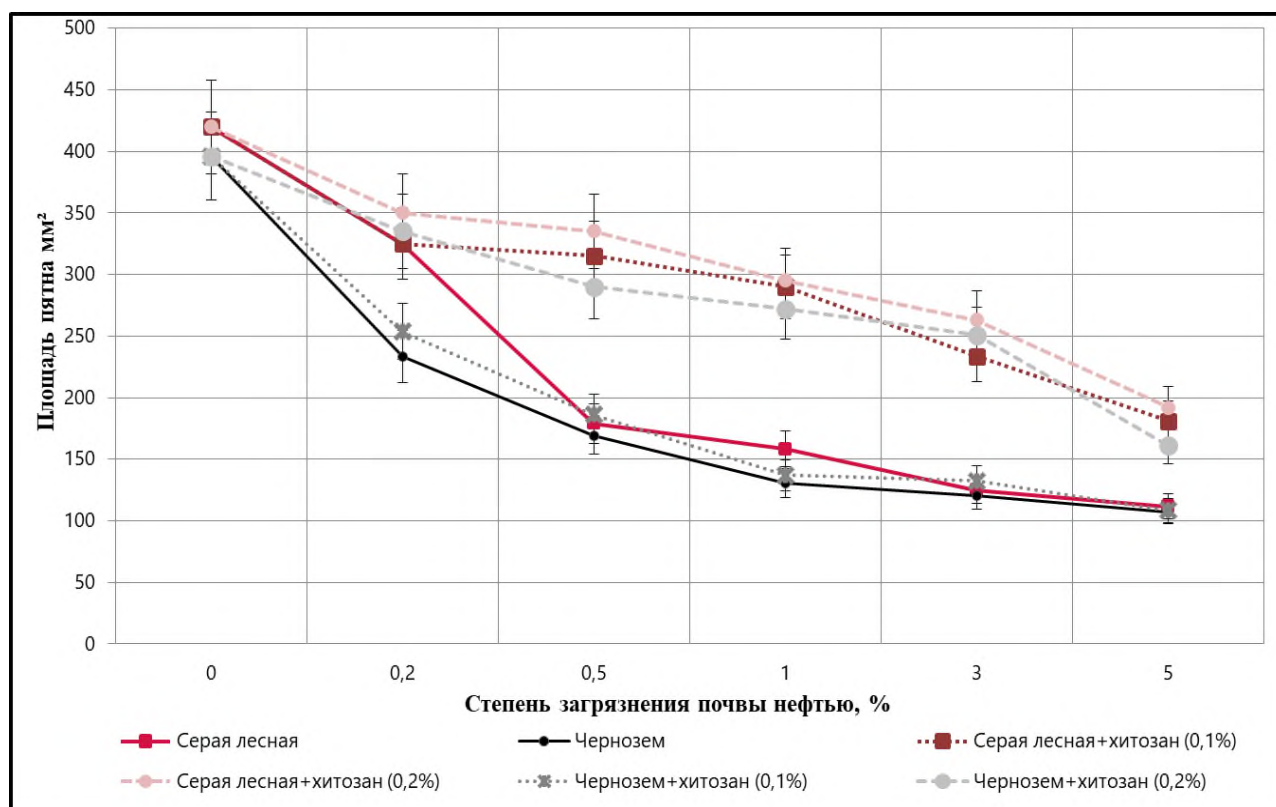


Рисунок 3. Динамика изменения площади водяного пятна на поверхности почвы в зависимости от концентрации нефтепродуктов с использованием 0,1 и 0,2% раствора хитозана. Вертикальные планки погрешности представляют собой стандартное отклонение.

Факторами, влияющими на результат определения, являются: концентрация раствора хитозана в уксусной кислоте и время экспозиции (время нахождения раствора сорбирующего вещества на поверхности образца нефтезагрязнённых почв).

Также, сравнивая большую разницу средней площади пятен между разными почвами, а именно слабую работу сорбента хитозана на чернозёме типичном при 0,1% растворе хитозана, стоит отметить, что количество раствора для всех типов почв было одинаково и большая часть раствора в чернозёме типичном израсходована на сорбцию почвенного органического вещества, а не загрязнителя. В используемом образце чернозёма типичного содержание гумуса больше, чем в серой лесной почве на 4,7%, что и повлияло на данный результат. В то же время, при увеличении концентрации раствора хитозана в два раза этого сорбента хватает и для загрязнителя, и для органического вещества почвы (Кокорина и др., 2013; Кастерина, Околелова, 2015). Следовательно, для лучшего эффекта требуется разработка подбора концентраций раствора хитозана для разных типов почв.

Следует подчеркнуть, что на получаемые результаты в большой степени оказывают влияние буферные свойства почв, обеспечивая разные варианты и особенности взаимодействия химических элементов в почве; с ними связана и подвижность различных соединений, в том числе токсичных для растений (Надточий, Мыслыва, 2014; Назырова, Гарипов, 2016, 2017).

Буферные свойства чернозёма типичного выше, чем у серой лесной почвы, а при загрязнении почв нефтью, как правило, происходит значительное уменьшение буферной способности почв в кислом интервале (Сулейманов, Назырова, 2007; Сулейманов и др., 2008, 2021).

По результатам исследования у серых лесных почв, обладающих более низкой буферной емкостью по сравнению с чернозёмом типичным, при нефтяном загрязнении устойчивость снижается ещё сильнее (Сулейманов, Назырова, 2007; Сулейманов и др., 2008). Кроме того, в серых лесных почв содержание гумуса меньше в сравнении с чернозёмом типичным, что позволяет раствору хитозана сорбировать органический загрязнитель, отчего увеличивается площадь водяного пятна и уменьшается гидрофобность. У чернозёма типичного, напротив, несмотря на то что почва была загрязнена нефтью с последующим добавлением раствора хитозана в уксусной кислоте, буферные свойства, вероятнее всего, не снизились, а большее количество гумуса привело к минимальным изменениям гидрофобности после добавления сорбента. Однако при увеличении концентрации раствора хитозана, сорбента хватает и на связывание с почвенным органическим веществом, и на сорбцию загрязнителя.

ВЫВОДЫ

1. При повышении концентрации нефтепродуктов от 0,5 до 5% в почве происходит снижение впитывающей способности, которое проявляется в уменьшении площади водяного пятна на поверхности почвы. Полученные данные по использованию метода «Water Spot» на чернозёме типичном и серой лесной почве соответствуют существующим представлениям о гидрофобности почв.

2. После обработки загрязнённых нефтепродуктами почвенных образцов 0,1% раствором хитозана площадь водяного пятна увеличивается на серой лесной почве в среднем на 43%, на чернозёме типичном – на 6%. Данные результаты показывают эффективность метода «Water Spot» для оценки гидрофобных свойств нефтезагрязнённых почв.

3. На серых лесных почвах, в связи с невысоким содержанием гумуса, при загрязнении нефтепродуктами хитозан активнее сорбирует органический загрязнитель, что увеличивает площадь водяного пятна и уменьшает гидрофобность. В чернозёме типичном содержание гумуса значительно больше в сравнении с серой лесной почвой, что сказывается при его обработке 0,1% раствором хитозана – изменения гидрофобности загрязнённой нефтью почвы после добавления сорбента минимальны. Однако при увеличении концентрации хитозана до 0,2%, происходит сорбция не только органического вещества почвы, но и её органического загрязнителя, что приводит к существенному уменьшению гидрофобности чернозёма. Таким образом, раствор хитозана можно использовать в качестве сорбента при загрязнении почв нефтепродуктами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований выявлено, что метод водяного пятна (метод «Water Spot») применим, прост и может использоваться при оценке загрязнённости почв нефтепродуктами: при увеличении степени загрязнённости наблюдается уменьшение площади водяного пятна на поверхности почвы.

ЛИТЕРАТУРА

- Гибадуллина Н.Н., Бадамшин А.Г., Сунагатова Э.М., Губа А.С. Экологически безопасный сорбент для ликвидации последствий разлива нефти // Химическая безопасность. 2023. Том 7. № 1. С. 103–115. <https://doi.org/10.25514/CHS.2023.1.24008>
- Кастерина Н.Г., Околелова А.А. Детоксикация нефтезагрязненных почв хитозаном и его трансформация // Biogeosystem Technique. 2015. Vol. 5. No. 3. P. 286–297. <https://doi.org/10.13187/bgt.2015.5.286>
- 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.
- Кокорина Н.Г., Околелова А.А., Голованчиков А.Б. Новый способ детоксикации нефтезагрязненных почв хитозаном // Почвоведение. 2013. № 12. С. 1516–1522. <https://doi.org/10.7868/S0032180X1312006X>
- Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. Москва: ГЕОС, 2009. 186 с.
- Назырова Ф.И., Гарипов Т.Т. Кислотно-основная буферность типичных и выщелоченных черноземов предуралья при различной степени их эродированности // Аграрный научный журнал. 2016. № 12. С. 23–27.
- Назырова Ф.И., Гарипов Т.Т. Изменение буферных свойств почв в зависимости от их использования // Известия Уфимского научного центра РАН. 2017. № 3–1. С. 180–183.
- Надточий П.П., Мыслыва Т.Н. Эталонные величины кислотно-основной буферности дерново-подзолистых почв для фонового мониторинга // Агрохимия. 2014. № 3. С. 83–89.
- Потапов Д.И. Влияние влажности на гидрофильно-гидрофобные свойства почв различных типов // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2022. Том 18. № 1. С.17–22.
- Сулейманов Р.Р., Назырова Ф.И. Изменение буферности почв при загрязнении нефтепромысловыми водами и сырой нефтью // Вестник Оренбургского государственного университета. 2007. Том 68. № 4. С. 133–139.
- Сулейманов Р.Р., Назырова Ф.И., Габбасова И.М. Изменение физико-химических свойств чернозема типичного в условиях загрязнения нефтепромысловыми сточными водами и рекультивации // Вестник Оренбургского государственного университета. 2008. Том 91. № 9. С. 167–173.
- Сулейманов А.Р., Назырова Ф.И., Гарипов Т.Т., Сулейманов Р.Р., Адельмурзина И.Ф., Габбасова И.М. Влияние водной и ветровой эрозии на буферные свойства почв степных районов Республики Башкортостан // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 5. С. 41–45. <https://doi.org/10.31857/S2500262721050082>
- Dekker L. W., Ritsema C. J. How water moves in a water repellent sandy soil: 1. Potential and actual water repellency // Water Resources Research. 1994. Vol. 30. No. 9. P. 2507–2517. <https://doi.org/10.1029/94WR00749>
- Doerr S.H., Shakesby R.A., Walsh R.P.D. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance // Earth-Science Reviews. 2000. Vol. 51. No. 1–4. P. 33–65. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(00\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00011-8)
- King P.M. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement // Soil Research. 1981. Vol. 19. No. 3. P. 275–285. <https://doi.org/10.1071/SR9810275>
- Leelamanie D.A.L., Karube J., Yoshida A. Characterizing water repellency indices: Contact angle and water drop penetration time of hydrophobized sand // Soil Science and Plant Nutrition. 2008. Vol. 54. No. 2. P. 179–187. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00232.x>
- Popovic Z., Cerda A. Soil water repellency and plant cover: A state-of-knowledge review // Catena. 2023. Vol. 229. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107213>
- Smettem K.R.J., Rye C., Henry D.J., Sochacki S.J., Harper R.J. Soil water repellency and the five spheres of influence: A review of mechanisms, measurement and ecological implications // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 787. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147429>
- Liu Q., Wang Y., Sun S., Tang F., Chen H., Chen S., Zhao Ch., Li L. A novel chitosan-biochar immobilized microorganism strategy to enhance bioremediation of crude oil in soil // Chemosphere. 2023. Vol. 313. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137367>
- Zhang S., Pei H. Rate of capillary rise in quartz nanochannels considering the dynamic contact angle by using molecular dynamics // Powder Technology. 2020. Vol. 372. P. 477–485. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.06.018>

Поступила в редакцию 07.06.2024

Принята 28.10.2024

Сведения об авторах:

Гаршин Михаил Владимирович – аспирант лаборатории почвоведения Уфимского Института биологии – обособленного структурного подразделения ФГБНУ Уфимский федеральный исследовательский центр РАН; ведущий инженер отдела экологических изысканий общества с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть» (г. Уфа, Россия); garshin.mixail@yandex.ru

Храмцова Людмила Александровна – аспирант лаборатории электрохимии Уфимского Института химии – обособленного структурного подразделения ФГБНУ Уфимский федеральный исследовательский центр РАН; старший инженер лаборатории геотехнических и экологических исследований общества с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть» (г. Уфа, Россия); khramtsovala@mail.ru

Сулейманов Руслан Римович – доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории почвоведения Уфимского Института биологии – обособленного структурного подразделения ФГБНУ Уфимский федеральный исследовательский центр РАН; профессор Уфимского университета науки и технологий (г. Уфа, Россия); soils@mail.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



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

Assessment of hydrophobic properties of oil-contaminated soils using the «Water Spot» method

© 2024 M. V. Garshin ^{1,4}, L. A. Khramtsova ^{2,4}, R. R. Suleimanov ^{1,3}

¹Ufa Institute of Biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, October Avenue, 69, Ufa, 450054, Russia. E-mail: garshin.mixail@yandex.ru

²Ufa Institute of Chemistry – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, October Avenue, 71, Ufa, 450054, Russia. E-mail: khramtsovala@mail.ru

³Ufa University of Science and Technology, Zaki Validi, 32, Ufa, 450076, Russia. E-mail: soils@mail.ru

⁴Limited liability company “RN-BashNIPIneft”, Lenina str., 86/1, Ufa, 450006, Russia.

The aim of the study was to assess the hydrophobicity degree of oil-contaminated soils using the Water Spot method.

Location and time of the study. The study was carried out in 2024 in laboratory conditions with typical chernozem and gray forest soil.

Methods. The sieved (2 mm, air-dried and milled soil samples were amended with oil in amounts needed to establish the chosen concentration (0, 0.2, 0.5, 1, 3 and 5% on the mass basis). Then hexane and distilled water were added to reduce oil viscosity and increase soil moisture, respectively. After two days of incubating soil, sodium fluorescein solution was added onto the sample surface to visualize spot boundaries. The images were taken in a dark place under the ultraviolet light.

To determine the effectiveness of chitosan (as a natural sorbent), a second series of experiments was performed in the same setup, but with chitosan addition, followed with two days incubation. Sodium fluorescein was then applied, and the area of the resulting spot was imaged. The resulted images were processed using the CorelDRAW software and the Microsoft Excel analysis package.

Results. Oil contamination of soils usually disturbs the water regime. Increase in petroleum products content from 0.5 to 5% leads to decrease in absorbency and the area of the water spot on the soil surface. After treating the contaminated soil samples with 0.1% chitosan solution, the water spot area increased on average by 43% on the gray forest soil, and by 6% on typical chernozem. With a twofold increase in the concentration of chitosan solution, the water spot area increased on the gray forest soil by an average of 48% and by 46% on typical chernozem. Thus chitosan solution can be used as a sorbent when soil is contaminated with oil products.

Conclusions. The water spot method is reproducible, simple, and can be used to assess soil contamination with petroleum products. The results show that with an increase in the degree of pollution, a decrease in the area of the water spot on the soil is observed.

Keywords: oil contamination; soil hydrophobicity; chitosan; buffer properties.

How to cite: Garshin M.V., Khrantsova L.A., Suleymanov R.R. Assessment of hydrophobic properties of oil-contaminated soils using the Water Spot method. *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(4). e273. DOI: [10.31251/pos.v7i4.273](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.273) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

- Gibadullina N.N., Badamshin A.G., Sunagatova E.M., Guba A.S. Environmentally friendly sorbent for oil spill response. *Chemical Safety Science*. 2023. Vol. 7. No. 1. P. 103–115. (in Russian). <https://doi.org/10.25514/CHS.2023.1.24008>
- Kasterina N.G., Okolelova A.A. Chitosan as a Detoxicant for Oil Contaminated Soils and Its Transformations. *Biogeosystem Technique*. 2015. Vol. 5. No. 3. P. 286–297. <https://doi.org/10.13187/bgt.2015.5.286>
- 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. Frieв. Moscow: Kolos Publ., 1977. 224 p. (in Russian).
- Kokorina N.G., Okolelova A.A., Golovanchikov A.B. A new method of detoxification of oily soils with chitosan. *Pochvovedenie*. 2013. No. 12. P. 1516–1522. (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0032180X1312006X>
- Milanovsky E.Yu. Soil humus substances as natural hydrophobic-hydrophilic compounds. Moscow: GEOS, 2009. 186 p. (in Russian).
- Nazirova F.I., Garipov T.T. The acid-base buffering of typical and leached chernozems of pre-urals at varying degrees of their erosion. *The Agrarian Scientific Journal*. 2016. No. 12. P. 23–27. (in Russian).
- Nazirova F.I., Garipov T.T. Change of soil buffer properties depending on their using. *Izvestiya Ufimskogo Nauchnogo Tsentra RAN*. 2017. No. 3–1. P. 180–183. (in Russian).
- Nadtochy P.P., Myslyva T.N. Standard values of acid-basic buffering capacity of soddy-podzolic soils for background monitoring. *Agrokhimia*. 2014. No. 3. P. 83–89. (in Russian).
- Potapov D.I. The influence of humidity on the hydrophobic properties of various types of soils. *The North Caucasus Ecological Herald*. 2022. Vol. 18. No. 1. P. 17–22. (in Russian).
- Suleymanov R.R., Nazyrova F.I. Change in soil buffering due to oilfield water and crude oil pollution. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2007. Vol. 68. No. 4. P. 133–139. (in Russian).
- Suleymanov R.R., Nazyrova F.I., Gabbasova I.M. Change in physical and chemical properties of chernozem typical of oilfield wastewater pollution and reclamation. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2008. Vol. 91. No. 9. P. 167–173. (in Russian).
- Suleymanov A.R., Nazyrova F.I., Garipov T.T., Suleymanov R.R., Adelmurzina I.F., Gabbasova I.M. Water and wind erosion influence on buffering capacity of soils of Republic Bashkortostan steppe regions. *Rossiiskaia Selskokhoziaistvennaia Nauka*. 2021. No. 5. P. 41–45. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500262721050082>
- Dekker L.W., Ritsema C.J. How water moves in a water repellent sandy soil: 1. Potential and actual water repellency. *Water Resources Research*. 1994. Vol. 30. No. 9. P. 2507–2517. <https://doi.org/10.1029/94WR00749>
- Doerr S.H., Shakesby R.A., Walsh R.P.D. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance. *Earth-Science Reviews*. 2000. Vol. 51. No. 1–4. P. 33–65. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(00\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00011-8)
- King P.M. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. *Soil Research*. 1981. Vol. 19. No. 3. P. 275–285. <https://doi.org/10.1071/SR9810275>
- Leelamanie D.A.L., Karube J., Yoshida A. Characterizing water repellency indices: Contact angle and water drop penetration time of hydrophobized sand. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2008. Vol. 54. No. 2. P. 179–187. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00232.x>
- Popovic Z., Cerda A. Soil water repellency and plant cover: A state-of-knowledge review. *Catena*. 2023. Vol. 229. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107213>
- Smettem K.R.J., Rye C., Henry D.J., Sochacki S.J., Harper R.J. Soil water repellency and the five spheres of influence: A review of mechanisms, measurement and ecological implications. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 787. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147429>
- Liu Q., Wang Y., Sun S., Tang F., Chen H., Chen S., Zhao Ch., Li L. A novel chitosan-biochar immobilized microorganism strategy to enhance bioremediation of crude oil in soil. *Chemosphere*. 2023. Vol. 313. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137367>

Zhang S., Pei H. Rate of capillary rise in quartz nanochannels considering the dynamic contact angle by using molecular dynamics. Powder Technology. 2020. Vol. 372. P. 477–485. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.06.018>

Received 07 June 2024

Accepted 28 October 2024

Published 28 October 2024

About the authors:

Mikhail V. Garshin – Graduate Student of the Laboratory of Soil Science of the Ufa Institute of Biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; Lead Engineer of the Environmental Survey Department, LLC “RN-BashNIPIneft” (Ufa, Russia); garshin.mixail@yandex.ru

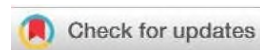
Lyudmila A. Khramtsova – Graduate Student of the Electrochemistry Laboratory of the Ufa Institute of Chemistry – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; Senior Engineer, Geotechnical and Environmental Research Laboratory, LLC “RN-BashNIPIneft” (Ufa, Russia); khramtsovala@mail.ru

Ruslan R. Suleymanov – Doctor of Biological Sciences, Principal Researcher of the Laboratory of Soil Science Ufa Institute of Biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences; Professor of the Ufa University of Science and Technology (Ufa, Russia); soils@mail.ru

The authors read and approved the final manuscript



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



Загрязнение почв урбанизированной территории частицами пластмасс в пойме малой реки Данилиха

© 2024 М. Н. Власов , А. А. Васильев , И. А. Самофалова , В. Ю. Гилев , А. Н. Чащин 

ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова», ул. Петропавловская, 23, г. Пермь, 614990, Россия. E-mail: 79523305113@yandex.ru

Цель исследования. Провести оценку содержания, морфологии и степени деградации поверхности частиц пластмасс в почвах поймы малой реки Данилиха на урбанизированной территории.

Место и время проведения. Рекреационная зона в проектируемом «Сквере Каменных», расположенная в низкой пойме на левом берегу малой реки Данилиха (приток р. Кама) в городе Пермь. Диагностированы урбо-аллювиальные серогумусовые глеевые почвы. Отбор почвенных образцов из поверхностных горизонтов проводили в июле 2023 г.

Методы. Для извлечения из почвы частиц пластмасс использовали методы визуального отбора, просеивания, флотации в насыщенном растворе NaCl. Форму и тип частиц пластмасс определяли визуально по внешним признакам. Природное органическое вещество удаляли реактивом Фентона. Морфологию поверхности частиц пластмасс и их количество определяли с помощью стереомикроскопа. Для определения связи между формой частиц пластмасс и их размерами использовали информационно-логический анализ.

Основные результаты. В объединённой пробе почвы из поверхностных горизонтов количество частиц пластмасс достигает 177 штук/кг, без учёта волокон. Масса частиц пластмасс с учётом волокон составила 0,7 г/кг. Среди форм частиц пластмасс количественно преобладают плёнки – 62%, шарики пенопласта и пены составляют 34 и 4%. По массе преобладают частицы в следующей последовательности: шарики пенопласта > плёнки > волокна > пены. В размерном диапазоне преобладают крупные частицы пластмасс от 1,1 до 15 мм. Установлены специфичные размеры частиц пластмасс для разных форм.

Заключение. Впервые изучено содержание частиц пластмасс в поверхностных горизонтах почв поймы малой реки Данилиха – урбанизированной территории на примере рекреационной зоны в проектируемом «Сквере Каменных». Частицы пластмасс имеют разные размеры и форму, что указывает на многообразие источников загрязнения. Степень деградации поверхности частиц пластмасс указывает на их активное выветривание, которое протекает в почве в условиях нейтральной реакции среды. На деградацию поверхности частиц пластмасс также активно влияют внешние факторы, которые действуют до попадания пластмасс в аллювиальные почвы. Загрязнение изученных почв частицами пластмасс можно оценить как среднее. В связи с обнаружением загрязнения почв частицами пластмасс рекомендуем органам муниципальной власти города Пермь организовать проведение мониторинга их содержания в районах с высокой антропогенной нагрузкой.

Ключевые слова: частицы пластмасс; загрязнение; урбо-аллювиальная почва; пойма малой реки; формы и размер частиц.

Цитирование: Власов М.Н., Васильев А.А., Самофалова И.А., Гилев В.Ю., Чащин А.Н. Загрязнение почв урбанизированной территории частицами пластмасс в пойме малой реки Данилиха // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 4. e274. DOI: 10.31251/pos.v7i4.274

ВВЕДЕНИЕ

Признано, что загрязнение почв искусственными полимерами является мировой экологической угрозой современности (Носова, Успенская, 2022; He et al., 2018). Поступление пластмасс в окружающую среду связано с низкой ответственностью общества и отставанием процессов утилизации от производства. В сильной степени подвержены загрязнению частицами пластмасс почвы пойм городских рек; наиболее активно частицы пластмасс поступают в аллювиальные почвы с территории водосборных бассейнов урбанизированных ландшафтов в период паводков и половодий (Носова, Успенская, 2022; Weber et al., 2022). Многими исследователями отмечено загрязнение частицами пластмасс почв пойм городских рек (Кухарчик, Чернюк, 2022; Scheurer et al., 2018; Christensen et al., 2020; Weber et al., 2022). В городах частицы пластмасс поступают в речные воды вместе с дорожной пылью и дождевыми стоками с автотрасс, с атмосферной пылью, а также с бытовым и строительным мусором (Леонов, Тиунов, 2020; Сапрыкин, Самойлов, 2021; Морачевская, Воронина, 2022; Носова, Успенская, 2022; Brander et al., 2020; Khalid et al., 2020). Почвы пойм могут

выступать дополнительным источником загрязнения частицами пластмасс вод крупных рек, притоками которых являются городские водотоки (Франк и др., 2022).

Изделия из **первичных** пластмасс, потерявшие потребительскую ценность, часто оказываются на поверхности почв. Под влиянием организмов, инфракрасных и ультрафиолетовых лучей, воды, ветра, кислорода воздуха, механического истирания первичные пластмассы разрушаются до мелких частиц **вторичных** пластмасс (Носова, Успенская, 2022; He et al., 2018; Christensen et al., 2020). С поверхности почв частицы пластмасс проникают в поверхностные горизонты и мигрируют в составе почвенного раствора по порам и трещинам вниз по профилю (Кухарчик, Чернюк, 2022; Scheurer et al., 2018). Перемещению частиц пластмасс в почвах также способствует педофауна (Леонов, Тиунов, 2020; Морачевская, Воронина, 2022; Rillig et al., 2017; Khalid et al., 2020). Однако большинство частиц пластмасс, являясь относительно молодыми антропогенными включениями почв (приблизительное время начала осаждения с 1960-х годов), накапливаются в поверхностных горизонтах (Weber et al., 2022).

Опасность вторичных частиц пластмасс в почвах определяется физическими (размер, форма, плотность, цвет) и химическими (состав) свойствами. По размеру частиц пластмасс выделяют: мегачастицы (более 25 мм по наибольшей оси), макрочастицы (5–25 мм), крупные частицы (1–5 мм), микрочастицы (1 мкм–1000 мкм), наночастицы (1 мкм–1 нм) и пикочастицы (размер менее 1 нм) (Леонов, Тиунов, 2020; Морачевская, Воронина, 2022; ISO 24187:2023). Наиболее доступными и опасными для организмов являются частицы пластмасс размером от 5 мм и менее. Фракции частиц пластмасс такого размера часто обобщают и называют микропластиком. Форма частиц пластмасс разнообразна: фрагменты, пластинки, плёнки, волокна, гранулы, шарики, пены и другие (Khalid et al., 2020). Низкая плотность, форма, размер, а также длительный период разложения частиц пластмасс способствуют их распространению в педосфере (Сапрыкин, Самойлов, 2021). В почвах встречаются частицы пластмасс с разной плотностью: полипропилен (PP 0,85–0,94 г/см³), полиэтилен (PE 0,92–0,97 г/см³), полистирол (PS 1,05–1,06 г/см³), полиамид (PA 1,13–1,15 г/см³), поликарбонат (PC 1,20–1,22 г/см³), полиэтилентерефталат (PET 1,31–1,58 г/см³), поливинилхлорид (PVC 1,41–1,61 г/см³), частицы износа шин (каучук) и другие (Кухарчик, Чернюк, 2022; Scheurer et al., 2018).

В процессе абиотического разложения и биodeградации, из частиц пластмасс в почвы выделяются токсичные мономеры (стирол, фенол, формальдегид и винилхлорид), наполнители и добавки, такие как пластификаторы, антипирены, стабилизаторы, антиоксиданты и пигменты, применяемые для улучшения свойств пластмасс (Khalid et al., 2020). Из PVC и PC могут высвобождаться пластификаторы: фталаты, применяемые для эластичности и прочности изделий, а также бисфенол-А, используемый для придания твёрдости (Морачевская, Воронина, 2022; Zimmermann et al., 2019). PS может являться источником гексабромциклододекана (Кухарчик, Чернюк, 2022), стирола и бензола (Морачевская, Воронина, 2022; Zimmermann et al., 2019). В производстве пластмасс широко используют металлы, которые также представляют опасность для окружающей среды.

Частицы пластмасс нарушают физические и химические свойства почв пойм, меняют их вещественный состав, а также увеличивают подвижность и миграцию тяжёлых металлов в сопредельные среды (Zhang et al., 2020; Weber et al., 2022).

В почвах токсичность частиц пластмасс возрастает при взаимодействии с ионами тяжёлых металлов (Wang et al., 2019). Способность частиц пластмасс адсорбировать на поверхности тяжёлые металлы из почв описана в ряде работ (Zhou et al., 2019; Zhang et al., 2020). Количество тяжёлых металлов, присутствующих на поверхности частиц пластмасс, прямо связано с концентрацией металлов в почвах (Khalid et al., 2020, 2021). Dеградация частиц пластмасс увеличивает адсорбцию тяжёлых металлов, так как сокращение их размера увеличивает общую площадь поверхности. Вследствие воздействия атмосферного ультрафиолетового излучения и механического истирания, частицы пластмасс заряжаются отрицательно, что повышает физическую адсорбцию катионов металлов из почвенного раствора (Wang et al., 2019; Zhang et al., 2020; Khalid et al., 2021). Атмосферное и почвенное выветривание изменяет свойства частиц пластмасс, отражаясь на их поведении в окружающей среде (Zhou et al., 2019).

Физико-химические характеристики почвы влияют на подвижность металлов, связанных с поверхностью частиц пластмасс. На адсорбцию и десорбцию тяжёлых металлов частицами пластмасс влияет pH почвенного раствора (Zhang et al., 2020). Поглощение тяжёлых металлов частицами пластмасс повышается с ростом величины pH почвенного раствора в диапазоне от 3 до 7 единиц (Wang et al., 2019). При низких значениях pH почвенного раствора ионы H⁺ конкурируют с катионами

металлов и снижают их адсорбцию на частицах пластмасс (Khalid et al., 2021). Органическое вещество также конкурирует за катионы металлов, поглощённые поверхностями частиц пластмасс (Khalid et al., 2021). Гидрофобная поверхность частиц пластмасс удерживает и органические загрязнители (Wang et al., 2019); так, PS способен поглощать полициклические ароматические углеводороды (Кухарчик, Чернюк, 2022).

Десорбция тяжёлых металлов с поверхности частиц пластмасс представляет угрозу для почвенной биоты (Леонов, Тиунов, 2020). Установлено, что частицы пластмасс по трофической цепи могут попадать в организм человека и вызывать гормональные нарушения, онкологические заболевания и мутагенное действие (Zimmermann et al., 2019). Все это определяет актуальность проведения исследований по проблеме загрязнения почв частицами пластмасс.

Этапы исследования почв на предмет содержания в них частиц пластмасс включают: сбор проб почв и их подготовку; извлечение частиц (просеивание и флотация); количественная и качественная оценка с применением оптической микроскопии и других методов; дополнительные исследования (Ручкина, Мерзляков, 2023; He et al., 2018; Brander et al., 2020; Weber et al., 2022; ISO 24187:2023).

На территории г. Пермь протекает свыше 100 водотоков, их социальное и экологическое значение для города с населением свыше 1 млн человек очень существенное. Эколого-геохимическое состояние почв пойм малых рек г. Пермь изучено и оценено, как неблагоприятное (Васильев, Власов, 2023), но данные о концентрации, вещественном составе и степени деградации частиц пластмасс в городских аллювиальных почвах крупного промышленного центра России до настоящего времени отсутствуют.

Цель исследования – провести оценку содержания, морфологии и степени деградации поверхности частиц пластмасс в почвах поймы малой реки Данилиха на урбанизированной территории.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования послужили поверхностные горизонты урбо-аллювиальных серогумусовых глеевых почв (Классификация ..., 2004; Полевой ..., 2008; Прокофьева и др., 2011, 2014; Герасимова и др., 2023) или Fluvisols по классификации IUSS Working Group WRB (2015), сформированных в низкой пойме левого берега малой реки Данилиха (левобережный приток р. Камы) в городе Пермь. На данном участке поймы планируется строительство «Сквера Каменских» площадью 3,9 га. Координаты: 58°00'03,04" с.ш., 56°12'53,93" в.д. (рис. 1). Рельеф большей части поймы, отводимой под создание сквера, на ранних этапах освоения территории был поднят насыпными техногенными грунтами (tQ). Аллювиальные почвы на современной аллювии (aQ) были выявлены только на двух участках, где и были отобраны образцы для проведения лабораторных исследований.



Рисунок 1. Положение района исследований в Пермском крае и схема размещения площадок для отбора образцов из поверхностных горизонтов почв в пойме реки Данилиха, г. Пермь.

Из поверхностных горизонтов почв мощностью 0–10 см отбирали образцы на двух покрытых травянистой растительностью площадках, удалённых друг от друга на 150 метров и находящихся на расстоянии 3–5 м от меженного уровня реки. Отбор проб почв выполнили в июле 2023 г. Площадки

максимально удалены от потенциальных источников пластика (например, пунктов сбора твёрдых бытовых отходов) и городской инфраструктуры.

Площадки обследования ежегодно затапливаются весной при таянии снега и летом во время ливневых дождей. В периоды паводков пойменная растительность механическим путём улавливает и удерживает взвеси в составе речных вод, в том числе частицы пластмасс. Согласно рекомендациям (Ручкина, Мерзляков, 2023; He et al., 2018; Brander et al., 2020; Weber et al., 2022; ISO 24187:2023) на двух площадках размером 5×5 метров методом конверта отобрали одну объединённую пробу массой 1000 г, составленную из 10 точечных проб (глубина 0–10 см) массой 100 г каждая. Образцы почвы сушили при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. Далее образцы подвергали перемешиванию и квартованию. Параллельно из образцов почв извлекали крупные камни и корни.

Частицы пластмасс извлекали из образца объединённой пробы почвы в два этапа с использованием общедоступных и недорогих методов: просеивание, визуальный отбор крупных частиц и флотация (He et al., 2018; Brander et al., 2020; Weber et al., 2022; ISO 24187:2023). На первом этапе из почвы выделяли частицы пластмасс размером более 1 мм. Для этого пробу почвы подвергали сухому просеиванию через сито с диаметром ячейки 1 мм. Из почвы, оставшейся на сите, с помощью пинцета проводили отбор хорошо заметных невооружённым глазом частиц пластмасс мега-, макро- и крупного размера. После отбора больших частиц пластмасс, фракции почвы размером >1,0 и <1,0 мм вновь объединяли для проведения второго этапа детекции частиц пластмасс.

На втором этапе из почвы извлекали частицы пластмасс размером от 1 до 0,1 мм. Для этого пробу почвы фракционировали по плотности с помощью специального сепаратора (Prume et al., 2023). Устройство сепаратора представляет собой стальной цилиндр, в центральной части которого встроен шаровой кран. Пробу почвы переносили в сепаратор с открытым краном и замачивали насыщенным раствором NaCl (плотность 1,2 г/см³ доводили по ареометру при комнатной температуре) в соотношении 1:2; затем суспензию тщательно перемешивали и оставляли в покое на 24 часа. Через сутки кран сепаратора закрывали. Всплывшие над краном сепаратора естественные органические остатки и частицы пластмасс сливали в стакан приёмник. Частицы пластмасс, оставшиеся на стенках сепаратора, смывали насыщенным раствором NaCl в тот же стакан приёмник. Затем материал, состоящий из естественных органических остатков и частиц пластмасс, был отфильтрован, промыт в дистиллированной воде и высушен при комнатной температуре. Далее природное органическое вещество окисляли с помощью реактива Фентона (30% раствор перекиси водорода в присутствии ионов Fe²⁺ в качестве катализатора при нагревании до 75°C в течении 30 минут на водяной бане и дальнейшем отстаивании в течении суток).

Низкая плотность раствора NaCl не позволяет вытеснить более плотные частицы PET и PVC, поэтому дополнительно проводили мокрое просеивание пробы почвы, оставшейся на дне сепаратора через сито с диаметром ячейки 0,1 мм.

Частицы пластмасс, извлечённые из почвы, изучали под стереомикроскопом (увеличение 20-кратное) и фотографировали. Охарактеризована форма частиц пластмасс, осуществлён их количественный учёт, определены размер, цвет и степень деградации поверхности.

Диаметр частиц по наибольшей длине оси измеряли с помощью программы ImageJ (Christensen et al., 2020). Степень деградации поверхности частиц пластмасс классифицировали по трём категориям в зависимости от её состояния: свежая – поверхность частиц пластмасс гладкая, с матовым или глянцевым блеском; с начальными изменениями – поверхность имеет помутнение, потускнение, присутствуют налёты; выветрившаяся – на поверхности есть сквозные дыры, трещины, потёртости (Weber et al., 2022). Для характеристики фракции частиц пластмасс размером более 1 мм, извлечённых при сухом просеивании, описывали морфологию налипших корок, способных адсорбировать минеральные и органические загрязнители.

Контроль качества работ исключал использование материалов из пластмасс во время полевых и лабораторных работ. Использовали спецодежду из хлопчатобумажных тканей. Лабораторное оборудование промывали дистиллированной водой (Brander et al., 2020; ISO 24187:2023).

Подлинность частиц пластмасс подтверждали по следующим признакам: частицы плавилась при контакте с горячей иглой; у частиц отсутствовала клеточная (биологическая) структура; частицы имели однородный цвет по всей длине и были пластичны (Brander et al., 2020; ISO 24187:2023).

Физико-химические свойства почв определяли общепринятыми методами (Ганжара и др., 2017): содержание органического углерода с пересчётом на гумус – мокрым озолением образцов в серно-хромовой смеси (по Тюрину); актуальную кислотность (pH_{вод}) – потенциометрическим методом при соотношении почва : вода равным 1:2,5; гранулометрический состав – методом пипетки

с диспергацией образцов пиррофосфатом натрия (по Качинскому). Статистическую обработку данных и их визуализацию проводили в пакете Microsoft Excel.

Для определения связи между формой частиц пластмасс и их размерами использовали функции многозначной логики. Метод информационно-логического анализа используется при изучении почвенного покрова как равнинных, так и горных территорий (Дайнеко, Фридланд, 1969; Пузаченко и др., 1970; Сорочкин, 1977; Самофалова, 2017). Информационно-логический анализ проведён в программе ALL, разработанной в Алтайском ГАУ (авторы: Л.М. Бурлакова, Д.И. Иваничкин). С этой целью исходные данные сопряженных исследований (форма частиц пластмасс, их размер) ранжировали по размерам частиц (≤ 1 ; 1,1–5,0; 5,1–10,0; 10,1–15,0; 15,1–20,0; 20,1–25,0; $>25,0$ мм) (явление А) и их формам (плёнки, шарики, пена) (фактор В).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В поверхностных горизонтах урбо-аллювиальных серогумусовых глеевых почв содержание гумуса высокое (табл. 1). Аналитические данные, показывающие содержание гумуса в поверхностных горизонтах изученных почв, могут быть завышенными за счёт окисления присутствующих частиц пластмасс 0,4 н. раствором двуххромовокислого калия ($K_2Cr_2O_7$), приготовленного на серной кислоте (H_2SO_4). Реакция среды почвенного раствора поверхностных горизонтов нейтральная, гидролитическая кислотность очень низкая. Сумма обменных оснований очень высокая. Ёмкость катионного обмена умеренно высокая. Степень насыщенности почвы основаниями высокая.

Таблица 1

Физико-химические свойства поверхностных горизонтов урбо-аллювиальных серогумусовых глеевых почв исследуемых площадок в пойме реки Данилиха

Горизонт, мощность, см	Гумус, %	pH _{KCl}	pH _{H2O}	ммоль(экв)/100 г			V, %	Гранулометрический состав
				Hг	S	ЕКО		
AУg,ur, 0–10	6,9	6,8	7,1	0,61	35,00	35,61	98	Средний суглинок

Примечание.

Представлены почвенные свойства: содержание гумуса; кислотность обменная (pH_{KCl}), актуальная (pH_{H2O}) и гидролитическая (Hг); сумма обменных оснований (S); ёмкость катионного обмена (ЕКО); степень насыщенности основаниями (V).

Для токсикологических исследований и оценки накопленного почвами вреда важное значение имеют характеристики форм частиц пластмасс, учёт их количества и размера. В объединённой пробе почвы массой 1 кг обнаружено 177 частиц пластмасс без учёта волокон. Сложность подсчёта волокон связана с многообразием их пространственной организации. Так, если волокна с формой эластичных нитей разной длины легко подсчитать, то волокна, скрученные в пучки или спутанные в катышки гораздо сложнее. Масса частиц пластмасс с учётом волокон составила 0,7 грамм/кг (шарики пенопласта – 0,5317 г, плёнки – 0,0923 г, волокна – 0,0411 г и пены – 0,0034 г). Среди форм частиц пластмасс количественно преобладают плёнки – 62% (109 шт.); далее следуют шарики пенопласта – 34% (60 шт.) и пены – 4% (8 шт.) (рис. 2а). Морфологические особенности выявленных частиц пластмасс следующие: плёнки имеют форму тонких, эластичных листов; шарики пенопласта – упругие, в виде сфер с ячеистой структурой; частицы пены имеют форму пористых губок.

При отсутствии данных о химическом составе частиц пластмасс характеристика их формы позволяет получить предварительную информацию о материале, из которого они изготовлены. Так, форма частиц пластмасс в виде шариков пенопласта может указывать на то, что они выполнены из полистирола или других полимеров. Частицы с формой плёнок могут состоять из полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида или иных материалов. Вещественный состав частиц с формой волокон может быть представлен нейлоном, полиэстером или акрилом. Частицы с формой пены могут состоять из полиуретана.

Цвет плёнок чаще прозрачный (75%), реже белый, красный, синий, серебристый, жёлтый и зелёный (рис. 2в). Шарики пенопласта бело-серые. Пены имеют жёлтый и красный цвет. Волокна преимущественно прозрачные или окрашены в белый, чёрный, красный и другие цвета.

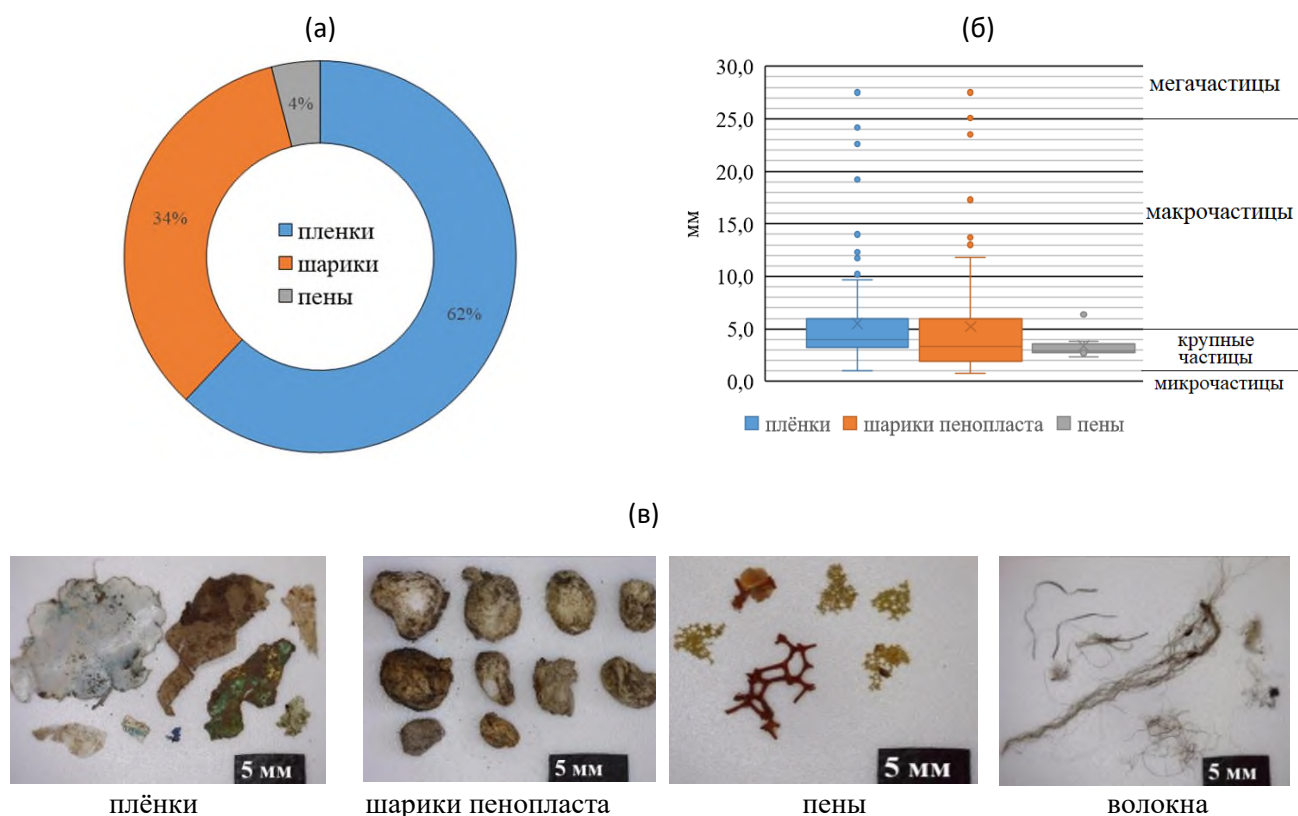


Рисунок 2. Морфологическая характеристика частиц пластмасс: а) преобладающие формы; б) размерные группы; в) внешний вид.

Размер у большинства частиц пластмасс крупный – от 1 до 5 мм по наибольшей оси. В данном диапазоне у частиц плёнок средний размер составляет 3,3 мм (табл. 2, рис. 2б), шариков пенопласта – 2,7 мм, пен – 2,9 мм. Реже встречаются макрочастицы пластмасс размером от 5 до 25 мм. В составе этой группы частиц средний диаметр плёнок составил 9,3 мм, у сдвоенных или строенных шариков пенопласта – 9,1 мм, частиц пены – 6,4 мм. Также единично выявлены мегачастицы пластмасс с размером более 25 мм. Так, у одной частицы плёнки длина составила 27,5 мм, а у фрагментов пенопласта средняя длина равняется 26,3 мм. В группе микрочастиц у шариков пенопласта средний диаметр составил 0,8 мм.

Таблица 2

Фракции частиц пластмасс в урбо-аллювиальной серогумусовой почве поймы реки Данилиха

Название фракций по величине частиц пластмасс	Плѐнки		Шарики пенопласта		Пены	
	Количество, шт.	Средний размер, мм	Количество, шт.	Средний размер, мм	Количество, шт.	Средний размер, мм
Мегачастицы, более 25 мм	1	27,5	2	26,3	–	–
Макрочастицы, 5–25 мм	36	9,3	18	9,1	1	6,4
Крупные частицы, 1–5 мм	72	3,3	35	2,7	7	2,9
Микрочастицы, 0,5–1мм	–	–	5	0,8	–	–

Примечание.

Прочерк означает, что данная фракция не обнаружена.

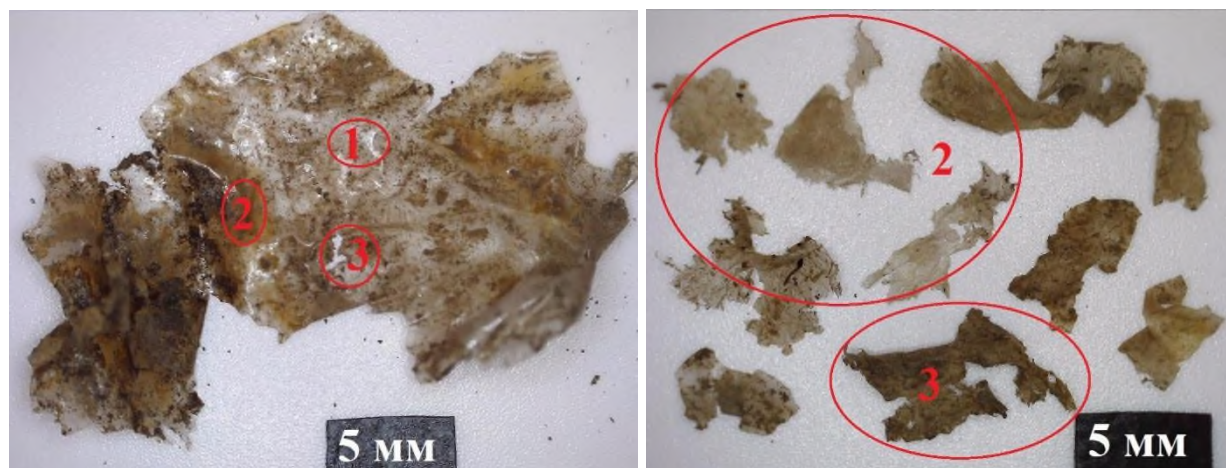
С помощью информационно-логического анализа установлена связь между формой частиц пластмасс и их размерами. Общая информативность связи ниже средней. Установлены специфичные состояния размеров частиц пластмасс для разных их форм. Так, для частиц пластмасс в форме плѐнки наиболее специфичным является размер 5,1–15,0 мм и, в некоторой степени, 1,1–5,0 мм.

Наиболее вероятными размерами для частиц пластмасс в форме шарика являются 1,1–15,0 мм, то есть отмечается больший диапазон варьирования диаметра частиц. Для частиц в форме пены наиболее специфичным является размер частиц в пределах 1,1–5,0 мм. Следует отметить, что для

частиц в форме плёнки и шарика возможно незначительное содержание микро- и мегачастиц пластмасс, в то время как для частиц пены содержание микро- и мега- частиц не является характерным. Специфичные (наиболее вероятные) состояния размеров частиц для каждого значения изучаемого фактора (формы частиц пластмасс) позволили установить форму существующей связи между ними. Логическая зависимость размеров частиц от формы частиц пластмасс определяется характером взаимодействия исследуемых параметров (криволинейная) и описывается функцией нелинейного произведения ($A=B::C$), где значение функции есть среднее арифметическое из суммы аргументов.

Для оценки взаимодействия частиц пластмасс с почвой, оценки их источников, путей поступления и дальнейшей судьбы важна характеристика степени деградации поверхности частиц. Выявлено, что у извлечённых частиц пластмасс, согласно классификации (Weber et al., 2022), присутствуют следующие степени деградации поверхности. Свежие поверхности частиц пластмасс как правило гладкие, с матовым или глянцевым блеском. Начальные изменения поверхности частиц пластмасс заметны по помутнению, потускнению и присутствию налётов. Выветрившиеся участки поверхности частиц пластмасс имеют сквозные отверстия, трещины, царапины и потёртости (рис. 3).

(а) плёнки



(б) шарики пенопласта



Рисунок 3. Примеры степени деградации поверхности частиц плёнки (а) и шариков пенопласта (б) в урбо-аллювиальной серогумусовой почве поймы реки Данилиха. Степень деградации поверхности частиц пластмасс, оценённая по Вебер с соавторами (Weber et al., 2022), на фотографиях обозначена цифрами: 1 – свежая, 2 – с начальными изменениями и 3 – выветрившаяся.

На поверхности мегачастиц плёнок размером более 25 мм присутствуют участки с разной степенью деградации. У частиц плёнок с меньшими размерами поверхность деградирует более равномерно и однообразно. Так, у крупных частиц плёнок размером от 1 до 5 мм поверхность имеет начальные изменения, либо она выветрившаяся. Поверхность шариков и фрагментов пенопласта

чаще была выветрившейся, сморщенной, потёртой и в большинстве случаев покрыта охристыми наслоениями.

Все частицы плёнок, шариков пенопласта и волокон, отобранные пинцетом при сухом просеивании, на поверхности имеют налипшие корки и налёты. Данные наслоения, налипшие на вогнутых участках поверхностей частиц пластмасс, способны содержать в себе и переносить токсичные загрязнители. Охристая и коричневая окраска корок типична для гидроксидов железа, которые характеризуются высоким сродством к тяжёлым металлам (Васильев, Власов, 2023).

ОБСУЖДЕНИЕ

Градации по степени загрязнения почв частицами пластмасс пока не разработаны, поэтому нами был проведён сравнительный анализ полученных результатов и данных из научной литературы по этой проблеме.

Загрязнение гумусовых горизонтов почв поймы реки Данилиха урбанизированной территории частицами пластмасс размером более 0,1 мм составляет 177 частиц/кг, что можно оценить, как среднее. Для сравнения укажем, что в урбанизированных почвах поймы реки Нидда в районе г. Франкфурта в Германии содержание частиц пластмасс размером от 171 мкм до 52 мм достигало 41,92 частиц/кг (вытеснение раствором NaCl с плотностью 1,2 г/см³). Это было оценено авторами исследований, как нижний диапазон содержания частиц пластмасс для пойменных почв (Weber et al., 2022). В почвах Швейцарии на 29 разных участках пойм рек Рейн, Аре, Рона максимальное количество частиц пластмасс составило 593 частиц/кг (раствор NaCl с плотностью 1,2 г/см³) (Scheurer et al., 2018). В исследовании других учёных (Кухарчик, Чернюк, 2022), приводятся данные о загрязнении частицами пластмасс почв поймы малой реки Мышка в г. Минск (Республика Беларусь), где в зоне воздействия предприятия по производству пенополистирольных плит количество частиц пенопласта в почвах варьирует от 94 до 2100 частиц/кг (флотация в дистиллированной воде). Можно предположить, что реальные масштабы загрязнения частицами пластмасс поверхностных горизонтов почв поймы реки Данилиха в г. Пермь более высокие, если учитывать частицы с размером менее 100 мкм и использовать для фракционирования более плотные вытесняющие растворы.

Морфология частиц пластмасс, выявленных в почвах поймы реки Данилиха, сопоставима с результатами других исследователей (Weber et al., 2022), полученными для почв аналогичного генезиса. Доминирование прозрачных частиц плёнок крупного размера в почвах поймы реки Данилиха можно объяснить особенностями землепользования на водосборной территории. На протяжении длительного времени в долине и водоохранной зоне поймы реки Данилиха размещались садово-огородные участки, а также стихийные свалки бытового мусора, которые являлись диффузными источниками частиц плёнок. Обнаруженные частицы пластмасс в почвах поймы реки Данилиха представляют угрозу для вторичного загрязнения вод реки Кама в пределах Воткинского водохранилища. Так, авторы исследования (Франк и др., 2022) отмечают преобладание частиц плёнок в воде реки Кама около города Краснокамска, который расположен ниже по течению от устья реки Данилиха.

Преобладание в гумусовых горизонтах почв поймы реки Данилиха крупных частиц пластмасс размером от 1 до 5 мм можно объяснить тем, что такие частицы легче задерживаются растительностью при затоплении поймы. Подобное явление также наблюдали исследователи в поймах рек Страублз-Крик, Роанок и Джеймс на территории штата Вирджиния в США (Christensen et al., 2020).

У многих частиц пластмасс в изученных почвах поверхность выветрившаяся или с начальными изменениями, что указывает на продолжительное действие внутрипочвенного и (или) напочвенного выветривания. Ранее было установлено (Christensen et al., 2020; Zhang et al., 2020), что механическое разрушение пластмасс до мелких частиц и ультрафиолетовое фотоокисление способствуют образованию на их поверхности кислородсодержащих функциональных групп C–O–C, C–O, C=O и OH, которые повышают способность поглощать загрязняющие вещества. Связи между частицами пластмасс и адсорбированными загрязнителями образуются слабые, поэтому последние могут легко высвободиться в почвенный раствор (Zhang et al., 2020). Преимущественно нейтральная реакция среды изученных почв поймы р. Данилиха способствует закреплению загрязнителей на выветрившейся поверхности частиц микропластика. При повышении кислотности почвы (использование кислого торфа, песка) в результате обустройства территории сквера, ионы H⁺ будут способствовать вытеснению тяжёлых металлов и других загрязнителей с поверхностей частиц пластмасс, что потенциально создаст дополнительную угрозу окружающей среде города.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведённых исследованиях впервые изучено содержание частиц пластмасс в почвах поймы малой реки Данилиха – урбанизированной территории на примере рекреационной зоны в проектируемом «Сквере Каменных». В почвенных образцах обнаружено 177 частиц пластмасс на килограмм почвы без учёта волокон. Установлено, что частицы пластмасс имеют разные размеры и формы, что указывает на многообразие источников загрязнения. Преобладают частицы размером от 1,1 до 15 мм. Среди форм частиц пластмасс количественно преобладают плёнки – 62%, шарики пенопласта и пены составляют 34% и 4%, соответственно. Масса частиц пластмасс с учётом волокон составила 0,7 г/кг почвы. По массе преобладают частицы в следующей последовательности: шарики пенопласта > плёнки > волокна > пены. Установлены специфичные размеры частиц пластмасс для различных их форм. Загрязнение изученных почв частицами пластмасс можно оценить как среднее.

Выявленная степень деградации поверхности частиц пластмасс указывает на их активное выветривание, которое протекает в почве в условиях нейтральной реакции среды. На деградацию поверхности частиц пластмасс также активно влияют внешние факторы, которые действуют до попадания пластмасс в аллювиальные почвы. В связи с обнаружением загрязнения почв частицами пластмасс рекомендуем органам муниципальной власти города Пермь организовать проведение мониторинга их содержания в районах с высокой антропогенной нагрузкой.

В данной статье приведены первые сведения о загрязнении почв поймы урбанизированной территории частицами пластмасс. В перспективе планируется расширить количество точек отбора проб почв на разных участках течения реки Данилиха, изучить распределение частиц пластмасс по профилю почв, а также провести дополнительные исследования по установлению вещественного состава выделенных из почвы частиц пластмасс и определить загрязняющие вещества, содержащиеся на их поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

- Васильев А.А., Власов М.Н. Эколого-геохимическое состояние городских аллювиальных почв пойм малых рек на примере города Перми. Пермь: ИПЦ «Прокрост», 2023. 261 с.
- Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению. Москва: ООО «Реарт», 2017. 164 с.
- Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: учебное пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2023. 237 с.
- 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.
- Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Кухарчик Т.И., Чернюк В.Д. Загрязнение почв микропластиком при производстве пенополистирола // Почвоведение. 2022. № 3. С. 370–380. <https://doi.org/10.31857/S0032180X2203008X>
- Леонов В.Д., Тиунов А.В. Взаимодействие беспозвоночных и синтетических полимеров в почве (обзор) // Экология. 2020. № 6. С. 403–416. <https://doi.org/10.31857/S0367059720060049>
- Морачевская Е.В., Воронина Л.П. Источники и пути транслокации микропластика в почве и растениях // Проблемы агрохимии и экологии. 2022. № 1. С. 41–50. <https://doi.org/10.26178/ae.2022.61.22.003>
- Носова А.О., Успенская М.В. Микропластик в почве: воздействие на экосистемы, потенциальные источники и аналитические методы исследования (обзор) // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. № 4 (44). С. 19–37. <https://doi.org/10.25699/SSSB.2022.44.4.001>
- Полевой определитель почв России. Москва: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.Е. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14100104>
- Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // Почвоведение. 2011. № 5. С. 611–623.

- Пузаченко Ю.Г., Карпачевский Л.А., Взнуздаева 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. 220 с.
- Ручкина К.В., Мерзляков О.Э. Основные правила отбора и подготовки проб почв для детекции микропластика. // Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Киров, 24–25 апреля 2023 г.). Киров: Вятский государственный университет, 2023. Книга 2. С. 99–103.
- 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.
- Сапрыкин А.И., Самойлов П.П. Микро- и нанопластики в окружающей среде (Аналитика, источники, распределение и проблемы экологии): аналитический обзор. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2021. 115 с. (Сер. Экология. Вып. 110).
- Сорочкин В.М. О применении информационно-логического метода в почвенных исследованиях // Почвоведение. 1977. № 9. С. 131–142.
- Франк Ю.А., Воробьев Е.Д., Рахматуллина С.Н., Трифонов А.А., Воробьев Д.С. Скрининг содержания микропластика в поверхностных водах российских рек // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 9. С. 67–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-9-67-71>
- Brander S.M., Renick V.C., Foley M.M., Steele C., Woo M., Lusher A., Carr S., Helm P., Box C., Cherniak S., Andrews R.C., Rochman C.M. Sampling and quality assurance and quality control: a guide for scientists investigating the occurrence of microplastics across matrices // Applied Spectroscopy. 2020. Vol. 74. P. 1099–1125. <https://doi.org/10.1177/0003702820945713>
- Christensen N.D., Wisinger C.E., Maynard L.A., Chauhan N., Schubert J.T., Czuba J.A., Barone J.R. Transport and characterization of microplastics in inland waterways // Journal of Water Process Engineering. 2020. Vol. 38. P. 101640 <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101640>
- He D., Luo Y., Lu S., Liu M., Song Y., Lei L. Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks // Trends in Analytical Chemistry. 2018. Vol. 109. P. 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.006>
- ISO 24187:2023. Principles for the analysis of microplastics present in the environment. International Standard published [60.60]. Edition 1. Publication date: 2023-09. 21 p.
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 2014, update 2015. 181 p.
- Khalid N., Aqeel M., Noman A. Microplastics could be a threat to plants in terrestrial systems directly or indirectly // Environmental Pollution. 2020. Vol. 267. P. 115653. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115653>
- Khalid N., Aqeel M., Noman A., Khan S.M., Akhter N. Interactions and effects of microplastics with heavy metals in aquatic and terrestrial environments // Environmental Pollution. 2021. Vol. 290. P. 118104. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118104>
- Prume J.A., Laermans H., Löder M.G.J., Laforsch C., Bogner C., Koch M. Evaluating the effectiveness of the microplastic sediment separator (MPSS) // Microplastics and Nanoplastics. 2023. Vol. 3. No. 26. <https://doi.org/10.1186/s43591-023-00073-3>
- Rillig M.C., Ziersch L., Hempel S. Microplastic transport in soil by earthworms // Scientific Reports. 2017. Vol. 7 (1). P. 1362. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-01594-7>
- Scheurer M., Bigalke M. Microplastics in Swiss floodplain soils // Environmental science & technology. 2018. Vol. 52 (6). P. 3591–3598. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.7b06003>
- Wang J., Liu X., Li Y., Powell T., Wang X., Wang G., Zhang P. Microplastics as contaminants in the soil environment: a mini-review // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 691. P. 848–857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.209>
- Weber C.J., Opp C., Prume J.A., Koch M., Chifard P. Meso- and microplastic distribution and spatial connections to metal contaminations in highly cultivated and urbanised floodplain soils – a case study from the Nidda River (Germany) // Microplastics Nanoplastics. 2022. Vol. 2. No. 25. P. 25. <https://doi.org/10.1186/s43591-022-00044-0>

Zhang S., Han B., Sun Y., Wang F. Microplastics influence the adsorption and desorption characteristics of Cd in an agricultural soil // Journal of Hazardous Materials. 2020. Vol. 388. P. 121775. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121775>

Zhou Y., Liu X., Wang J. Characterization of microplastics and the association of heavy metals with microplastics in suburban soil of central China // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 694. P.133798. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133798>

Zimmermann L., Dierkes G., Ternes T.A., Völker C., Wagner M. Benchmarking the in Vitro Toxicity and Chemical Composition of Plastic Consumer Products // Environmental Science and Technology. 2019. Vol. 53 (19). P. 11467–11477. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.9b02293>

Поступила в редакцию 10.06.2024

Принята 27.08.2024

Опубликована 28.10.2024

Сведения об авторах:

Власов Михаил Николаевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (г. Пермь, Россия); 79523305113@yandex.ru

Васильев Андрей Алексеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (г. Пермь, Россия); a.a.vasilev@list.ru

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

Гилев Виталий Юрьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (г. Пермь, Россия); pochva2005@yandex.ru

Чашин Алексей Николаевич – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (г. Пермь, Россия); chashshin@mail.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



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

Soil contamination by plastic particles in the floodplain of the small Danilikha River in an urbanized area

© 2024 M. N. Vlasov , A. A. Vasiliev , I. A. Samofalova , V. Yu. Gilev , A. N. Chashchin 

Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Prianishnikov, Petropavlovskaya 23, Perm, Russia. E-mail: 79523305113@yandex.ru

The aim of the study. To assess the content, morphology and surface degradation degree of plastic particles in the Danilikha river floodplain soils in an urbanized area.

Location and time of the study. The study was conducted in a recreational area in the projected “Kamensky Square”, located on the left bank of the low floodplain of the small Danilikha River (a left-bank tributary of the Kama River) in the city of Perm. Urban-alluvial gray-humus gley soils were identified in the area. Soil samples were taken from surface horizons in July 2023.

Methods. To extract plastic particles from soil we used visual selection, sieving, and flotation in a saturated NaCl solution. The shape and type of plastic particles were determined visually by external features. Natural organic matter was removed with Fenton's reagent. Surface morphology of the of plastic particles and their number were determined using a stereomicroscope. Information-logical analysis was used to determine the relationship between the shape of plastic particles and their sizes.

Results. In the combined soil sample from the surface horizons, the number of plastic particles reached 177 pieces/kg (excluding fibers). The mass of plastic particles, including fibers, was 0.7 g/kg. Films prevailed quantitatively among the forms of plastic particles (62%), whereas foam and foam balls made up 34% and 4%, respectively. By mass, particles predominated in the following sequence: foam balls > film > fiber > foam. The size range was dominated by large plastic particles from 1.1 to 15 mm. Specific sizes of plastic particles for different shapes were established.

Conclusions. For the first time, the content of plastic particles in the surface soil horizons of the Danilikh river floodplain in an urbanized territory was studied using the case of a recreational zone in the projected Kamensky Square. Plastic particles had different sizes and shapes, which indicated a variety of contamination sources. Contamination of the studied soils with plastic particles can be regarded as moderate. The surface degradation degree of plastic particles indicated their active weathering, which occurs in soil under neutral reaction. The surface degradation of the plastic particles was also actively influenced by external factors that act before plastics enter alluvial soils. To detect soil contamination with plastic particles, we recommend Perm municipal authorities to organize monitoring of plastics content in areas with high anthropogenic pressure.

Keywords: plastic particles; contamination; urban alluvial soil; river floodplain; shapes and size of particles.

How to cite: Vlasov M.N., Vasiliev A.A., Samofalova I.A., Gilev V.Yu., Chashchin A.N. Soil contamination by plastic particles in the floodplain of the small Danilikh River in an urbanized area. *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(4). e274. DOI: [10.31251/pos.v7i4.274](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.274) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

- Vasiliev A.A., Vlasov M.N. Ecological and geochemical state of urban alluvial soils of floodplains of small rivers using the example of the city of Perm. Perm: IPC "Prokrost", 2023. 261 p. (in Russian).
- Ganzhara N.F., Borisov B.A., Baibekov R.F. Workshop on soil science. Moscow: Reart LLC, 2017. 164 p. (in Russian).
- Gerasimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokofieva T.V. Anthropogenic soils: textbook for universities. 2nd ed., revised. and additional. Moscow: Yurayt Publishing House, 2023. 237 p. (in Russian).
- Daineko E.K., Friedland V.M. Experience in 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).
- Classification and diagnostics of soils of Russian / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian).
- Kukharchyk T.I., Chernyk V.D. Soil pollution by microplastic in the impact zone of enterprise for the production of expanded polystyrene. *Pochvovedenie*. 2022. No. 3. P. 370–380. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0032180X2203008X>
- Leonov V.D., Tiunov A.V. Interaction of invertebrates and synthetic polymers in soil: a review. *Russian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 51. No. 6. P. 503–517. <https://doi.org/10.1134/S1067413620060041>
- Morachevskaya E.V., Voronina L.P., Larina G.E. Sources and ways of microplastics translocation in soil and plants. *Agrochemistry and Ecology Problems*. 2022. No. 1 P. 41–50. (in Russian). <https://doi.org/10.26178/ae.2022.61.22.003>
- Nosova A.O., Uspenskaya M.V. Microplastics in soil: impacts on ecosystems, potential sources and analytical research methods (review). *South-Siberian Scientific Bulletin*. 2022. No. 4 (44). P. 19–37. (in Russian). <https://doi.org/10.25699/SSSB.2022.44.4.001>
- Field guide for Russian soil. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2008. 182 p. (in Russian).
- Prokof'eva T.V., Gerasimova M.I., Bezuglova O.S., Gorbov S.N., Bakhmatova K.A., Matinyan N.N., Gol'eva A.A., Zharikova E.A., Nakvasina E.N., Sivtseva N.E. Inclusion of soils and soil-like bodies of urban territories into the Russian soil classification system. *Eurasian Soil Science*. 2014. Vol. 47. No. 10. P. 959–967. <https://doi.org/10.1134/S1064229314100093>
- Prokofyeva T.V., Martynenko I.A., Ivannikov F.A. Classification of Moscow soils and parent materials and its possible inclusion in the classification system of Russian soils. *Eurasian Soil Science*. 2011. Vol. 44. No. 5. P. 561–571. <https://doi.org/10.1134/S1064229311050127>
- Puzachenko Yu.G., Karpachevsky L.A., Vznuzdaeva N.A. Possibilities of using information-logical analysis in studying soil using the example of its moisture. In book: Patterns of spatial variation in soil properties and information-statistical methods for their study. Moscow: Nauka Publ., 1970. 220 p. (in Russian).
- Ruchkina K.V., Merzlyakov O.E. Basic rules for the selection and preparation of soil samples for the detection of microplastics. In book: Ecology of the native land: problems and ways to solve them. Materials of the XVIII All-Russian Scientific and Practical conference with international participation (Kirov, 24–25 April 2023). Kirov: Vyatka State University, 2023. Book 2. P. 99–103. (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.

- Saprykin A.I., Samoilov P.P. Micro- and nanoplastics in the environment (Analytics, sources, distribution and environmental issues): analytical review. Novosibirsk: GPNTB SB RAS, 2021. 115 с. (Ser. Ecology. Vol. 110). (in Russian).
- Sorochkin V.M. On the application of the information-logical method in soil research. *Pochvovedenie*. 1977. No 9. P. 131–142. (in Russian).
- Frank Yu.A., Vorobyov E.D., Rakhmatullina S.N., Trifonov A.A., Vorobyov D.S. Screening of microplastic content in surface waters of Russian rivers. *Ecology and Industry of Russia*. 2022. Vol. 26. No. 9. P. 67–71. (in Russian). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-9-67-71>
- Brander S.M., Renick V.C., Foley M.M., Steele C., Woo M., Lusher A., Carr S., Helm P., Box C., Cherniak S., Andrews R.C., Rochman C.M. Sampling and quality assurance and quality control: a guide for scientists investigating the occurrence of microplastics across matrices. *Applied Spectroscopy*. 2020. Vol. 74. P. 1099–1125. <https://doi.org/10.1177/0003702820945713>
- Christensen N.D., Wisinger C.E., Maynard L.A., Chauhan N., Schubert J.T., Czuba J.A., Barone J.R. Transport and characterization of microplastics in inland waterways. *Journal of Water Process Engineering*. 2020. Vol. 38. P. 101640 <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101640>
- He D., Luo Y., Lu S., Liu M., Song Y., Lei L. Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *Trends in Analytical Chemistry*. 2018. Vol. 109. P. 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.006>
- ISO 24187:2023. Principles for the analysis of microplastics present in the environment. International Standard published [60.60]. Edition 1. Publication date: 2023-09. 21 p.
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 2014, update 2015. 181 p.
- Khalid N., Aqeel M., Noman A. Microplastics could be a threat to plants in terrestrial systems directly or indirectly. *Environmental Pollution*. 2020. Vol. 267. P. 115653. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115653>
- Khalid N., Aqeel M., Noman A., Khan S.M., Akhter N. Interactions and effects of microplastics with heavy metals in aquatic and terrestrial environments. *Environmental Pollution*. 2021. Vol. 290. P. 118104. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118104>
- Prume J.A., Laermans H., Löder M.G.J., Laforsch C., Bogner C., Koch M. Evaluating the effectiveness of the microplastic sediment separator (MPSS). *Microplastics and Nanoplastics*. 2023. Vol. 3. No. 26. <https://doi.org/10.1186/s43591-023-00073-3>
- Rillig M.C., Ziersch L., Hempel S. Microplastic transport in soil by earthworms. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7 (1). P. 1362. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-01594-7>
- Scheurer M., Bigalke M. Microplastics in Swiss floodplain soils. *Environmental science & technology*. 2018. Vol. 52 (6). P. 3591–3598. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.7b06003>
- Wang J., Liu X., Li Y., Powell T., Wang X., Wang G., Zhang P. Microplastics as contaminants in the soil environment: a mini-review. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 691. P. 848–857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.209>
- Weber C.J., Opp C., Prume J.A., Koch M., Chifard P. Meso- and microplastic distribution and spatial connections to metal contaminations in highly cultivated and urbanised foodplain soilscapes – a case study from the Nidda River (Germany). *Microplastics Nanoplastics*. 2022. Vol. 2. No. 25. P. 25. <https://doi.org/10.1186/s43591-022-00044-0>
- Zhang S., Han B., Sun Y., Wang F. Microplastics influence the adsorption and desorption characteristics of Cd in an agricultural soil. *Journal of Hazardous Materials*. 2020. Vol. 388. P. 121775. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121775>
- Zhou Y., Liu X., Wang J. Characterization of microplastics and the association of heavy metals with microplastics in suburban soil of central China. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 694. P.133798. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133798>
- Zimmermann L., Dierkes G., Ternes T.A., Völker C., Wagner M. Benchmarking the in Vitro Toxicity and Chemical Composition of Plastic Consumer Products. *Environmental Science and Technology*. 2019. Vol. 53 (19). P. 11467–11477. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.9b02293>

Received 10 June 2024
Accepted 27 August 2024
Published 28 October 2024

About the authors:

Mikhail N. Vlasov – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agrochemistry and Soil Science in the Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (Perm, Russia); 79523305113@yandex.ru

Andrei A. Vasiliev – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Agrochemistry and Soil Science in the Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (Perm, Russia); a.a.vasilev@list.ru

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. Pryanishnikov (Perm, Russia); samofalovairaida@mail.ru

Vitaly Yu. Gilev – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agrochemistry and Soil Science in the Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (Perm, Russia); pochva2005@yandex.ru

Aleksey N. Chashchin – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agrochemistry and Soil Science in the Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (Perm, Russia); chascshin@mail.ru

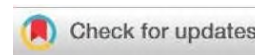
The authors read and approved the final manuscript



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

УДК 504.064

<https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.284>



Техногенное засоление подзолистых и аллювиальных почв среднетаёжной подзоны Западной Сибири

© 2024 М. В. Носова ¹, В. П. Середина ², С. А. Стывбунник¹

¹Акционерное общество «ТомскНИПИнефть», пр. Мира, 72, г. Томск, 634027, Россия. E-mail: NosovaMV@tomsknpi.ru

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Россия. E-mail: seredina_v@mail.ru

Цель исследования. Выявить основные тренды и закономерности миграции и аккумуляции нефтяных загрязнителей (нефтепродуктов, легкорастворимых солей) в почвах среднетаёжной подзоны Западной Сибири.

Место и время проведения. Почвенно-географические и почвенно-генетические исследования проводили на территории среднетаёжной подзоны Западной Сибири в среднем течении р. Обь в различных элементарных ландшафтах в 2019 и 2023 гг.

Методы. Нефтепродукты определяли экстракцией из почвы гексаном с последующим измерением на анализаторе «Флюорат-2». Качественный состав солей определен гостированными методиками в водной вытяжке.

Основные результаты. Высокоминерализованные воды оказывают более значительное влияние на свойства подзолистых и аллювиальных почв Западной Сибири, чем действие сырой нефти. Отмечено, что нефтесолевое загрязнение сопровождается высоким содержанием токсичных солей в корнеобитаемых горизонтах. Сброс минерализованных вод в ходе аварийных разливов в условиях переувлажнённых таёжных ландшафтов Западной Сибири приводит к образованию техногенно-засоленных почв на территориях, где естественное развитие этого процесса невозможно. В связи с этим, засоление почв в условиях гумидного климата, можно считать наложенным почвообразовательным процессом.

Заключение. Обнаруженные изменения позволяют оценить экологическое состояние почв (химизм, степень засоления, запас токсичных солей) и разработать предложения по рекультивации почв нефтесолевого загрязнения. Совокупное действие процессов засоления и осолонцевания нетипично для зон гумидного почвообразования, где эти процессы не развиты из-за избытка влаги и промывного водного режима. Техногенное засоление, связанное с деятельностью нефтедобычи, часто встречается в таких регионах и не зависит от климатических условий. Ввиду отсутствия промышленного опыта рекультивации почв, подверженных техногенному засолению на территории среднетаёжной подзоны Западной Сибири, исследования по экологическому состоянию почв территории загрязнения являются одной из актуальных задач современного почвоведения и экологии. При этом учёт характера загрязнения, химизма засоления и положения почв в ландшафтно-геохимической катене позволит адаптировать методы рекультивации техногенно-засоленных почв для конкретного участка загрязнения, что в дальнейшем позволит завершить процессы восстановления почв в ходе рекультивационных мероприятий.

Ключевые слова: почвы; нефтесолевое загрязнение; минерализованные жидкости; легкорастворимые соли; техногенное засоление; техногенное осолонцевание; химизм засоления.

Цитирование: Носова М.В., Середина В.П., Стывбунник С.А. Техногенное засоление подзолистых и аллювиальных почв среднетаёжной подзоны Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 4. e284. DOI: [10.31251/pos.v7i4.284](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.284)

ВВЕДЕНИЕ

Западная Сибирь – один из основных регионов добычи нефти и газа в России, где широко применяется закачка плотных солевых растворов в подземные пласты. Такой метод помогает повысить эффективность добычи углеводородов, улучшая проницаемость пластов и устойчивость их структуры. В результате аварийных выбросов при добыче, процессы техногенного засоления почв по масштабу и интенсивности отрицательных воздействий часто превосходят влияние битуминозных веществ (нефти и нефтепродуктов), что определяет актуальность проблемы и для районов избыточного увлажнения. В связи с этим, легкорастворимые соли, наряду с нефтью и

нефтепродуктами, являются основными загрязнителями данной территории (Солнцева, 2002; Геннадиев, 2009; Середина и др., 2017; Nosova et al., 2020, 2021).

Несмотря на значительное количество работ (Середина, 2006; Фоминых, 2013; Середина и др., 2017; Wiens, 2013; Carra et al., 2015), посвящённых исследованию влияния нефтяного загрязнения на свойства почв таёжных ландшафтов Западной Сибири, закономерности поведения нефтепродуктов и легкорастворимых солей, их влияние на экологическое состояние территории, а также практические аспекты рекультивационных работ на почвах пойменных экосистем основных месторождений Западной Сибири практически не изучены.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении полевых работ использовали общепринятые методы почвенных исследований, такие как сравнительно-географический, профильно-генетический и сравнительно-аналитический. Объектами исследования являлись почвы на участках разлива сырой нефти и минерализованных жидкостей на территории средней тайги Западной Сибири в пределах Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) (табл.1).

Таблица 1

Морфологическая характеристика исследуемых типов почв Западной Сибири

№	Название почв*	Морфологическое строение профиля	Количество проб	Дата отбора
1	2	3	4	5
Техногенно-загрязненные почвы				
Участок №1				
P-1	Эпицентр загрязнения: Хемозем нефтезагрязненный по аллювиальной серогумусовой типично-глееватой средне-мелкой почве (<i>Gleyic Toxic Fluvisols</i>)	(0–10 см)+(10–20 см)+(20–40 см)+(40–60 см)+(60–80 см)+(80–100 см)	6**	01.07.2019
P-2	Импактная зона загрязнения: Хемозем нефтезагрязненный по аллювиальной серогумусовой типично-глееватой почве (<i>Gleyic Toxic Fluvisols</i>)	(0–10 см)+(10–20 см)+(20–40 см)+(40–60 см)+(60–80 см)	5**	01.06.2019
П-1 (П-1.1, П-1.2, П-1.3)	Эпицентр (П-1.1)/импактная зона (П-1.2)/граница загрязнения (П-1.3): Хемозем нефтезагрязненный по аллювиальной серогумусовой типично-глееватой средне-мелкой почве (<i>Fluvisol Toxic Solonchaks</i>)	AУ _{x,v} (0–10 см)	75*** П-1.1 (25 проб), П-1.2 (25 проб), П-1.3(25 проб)	01.07.2019
		AУ _x (10–20 см)	75*** П-1.1 (25 проб), П-1.2 (25 проб), П-1.3(25 проб)	
Участок №2				
P-3	Эпицентр загрязнения: Хемозем техногенно-засоленный по подзолистой иллювиально-железистой почве (<i>Gleyic Toxic Solonchaks</i>)	Os,x(0–2 см)+OT _{s,x} (2–7 см)+EL _{s,x} (7–12 см)+BEL _{Fe,s,x} (12–30 см)+BT _{1Fe,s,x} (30–50 см)+BT _{2Fe,s,x} (50–60 см)+BT _{3Fe,s,x} (60–70 см)+BC _{Fe,s,x} (70–100 см)	8**	10.08.2023
П-2 (П-2.1, П-2.2, П-2.3)	Эпицентр (П-2.1)/импактная зона (П-2.2)/граница загрязнения (П-2.3): Хемозем техногенно-засоленный по подзолистой иллювиально-железистой мелкоосветленной легкосуглинистой почве (<i>Solonchaks Gleyic Toxic</i>)	Os,x(0–10 см)	60*** П-2.1 (20 проб), П-2.2 (20 проб), П-2.3(20 проб)	10.08.2023
		OT _{s,x} (10–20 см)	60*** П-2.1 (20 проб), П-2.2 (20 проб), П-2.3(20 проб)	

Фоновые почвы Участок №3				
1	2	3	4	5
Фон-1	Аллювиальная серогумусовая типично-глееватая средне мелкая тяжелосуглинистая почва (<i>Gleyic Fluvisols</i>)	AУv(0–13 см)+AУ(13–30 см)+AУC _g (30–45 см)+IC _{1g} (45–55 см)+IC _{2g} (55–90 см)+IIIC _{3g} (90–100 см)	6**	20.08.2023
Участок №4				
Фон-2	Подзолистая иллювиально-железистая мелкоосветленная легкосуглинистая почва (<i>Albic Podzol</i>)	O(0–2 см)+OT(2–7 см)+EL(7–12 см)+BEL _{Fe} (12–30 см)+BT _{1Fe} (30–50 см)+BT _{2Fe} (50–60 см)+BT _{3Fe} (60–70 см)+BC _{Fe} (70–100 см)	8**	15.08.2023
Участок №1				
П-1 (фон)	Аллювиальная серогумусовая типично-глееватая средне мелкая тяжелосуглинистая почва (<i>Gleyic Fluvisols</i>)	AУv(0–10 см)	20***	01.07.2019
		AУ(10–20 см)	20***	
		AУC _g (20–40 см)	20***	
Участок №2				
П-2 (фон)	Подзолистая иллювиально-железистая мелкоосветленная легкосуглинистая почва (<i>Albic Podzol</i>)	O(0–10 см)	20***	10.08.2023
		OT(10–20 см)	20***	
		EL(20–30 см)	20***	
		BEL _{Fe} (30–40 см)	20***	

Примечание.

*Название почв приведено по «Классификация и диагностика почв России» (2004), в скобках – по IUSS Working Group WRB (2022). **Отбор точечных проб проводили в почвенном разрезе из каждого генетического горизонта/слоя. Итоговое количество проб совпадает с количеством генетических горизонтов/слоев. ***Отбор объединенных проб проводили в почвенных прокопках (1 объединённая проба = 30 точечным пробам).

Из-за невозможности дифференциации генетических горизонтов в почве, загрязнённой углеводородами нефти (Р-1 в эпицентре, Р-2 в импактной зоне, П-1: П-1.1, П-1.2, П-1.3), пробы отбирались послойно через каждые десять сантиметров до глубины распространения нефти (100 см/80 см). Разница в мощности органогенного горизонта между разрезами и прикопками связана с особенностями микрорельефа и разной мощностью органогенного горизонта. В условиях техногенного загрязнения нефтепродукты могут избирательно накапливаться в более мощных органогенных горизонтах, которые обладают большей нефтеёмкостью.

Очаги загрязнения образовались вследствие разгерметизации промышленных трубопроводов, вызвав нефтяное загрязнение аллювиальных почв (июль 2019 г.) в центральной части поймы реки Оби. Аварийный отказ водовода высокого давления на водораздельной равнине левобережья привёл к загрязнению подзолистых почв минерализованными водами (август 2023 г.). Подзолистые почвы могут формироваться на водораздельных пространствах Западной Сибири, характеризующейся избыточным увлажнением и умеренным климатом, особенно на возвышенных участках и водоразделах (Роде, 1957; Ковда, 1963). В течение месяца после аварии на трубопроводном транспорте, были обследованы почвы, находящиеся под влиянием каждого типа загрязнения. Для исследования изменений почв под влиянием нефтяных загрязнителей с глубиной были заложены полнопрофильные почвенные разрезы. Отбор проб проводился из каждого генетического горизонта. Почвы находятся в эпицентре нефтяного загрязнения (Р-1: 6 точечных проб), импактной зоне нефтезагрязнения (Р-2: 5 точечных проб), в эпицентре загрязнения минерализованными водами (Р-3: 8 точечных проб).

Для исследования латеральной миграции нефтепродуктов и легкорастворимых солей заложена серия почвенных прикопок (П-1: П-1.1, П-1.2, П-1.3 и П-2: П-2.1, П-2.2, П-2.3, соответственно). Объединённые пробы, состоящие из 30 точечных проб, отбирались в эпицентре загрязнения и на различном удалении от очага загрязнения: в импактной зоне (3 метра) и на границе загрязнения (5 метров) на глубинах 0–10, 10–20 см (рис. 1). Границы зон воздействия определялись по степени деградации растительного покрова, интенсивности окраски почв под влиянием поллютантов, а также по следующим признакам: наличие битуминозной корки на поверхности почвы (ярко выражена в

эпицентре, менее выражена в импактной зоне, отсутствует на границе загрязнения), солевой корки (выражена в эпицентре) и выцветов солей (наблюдаются в импактной зоне, отсутствуют на границе загрязнения).

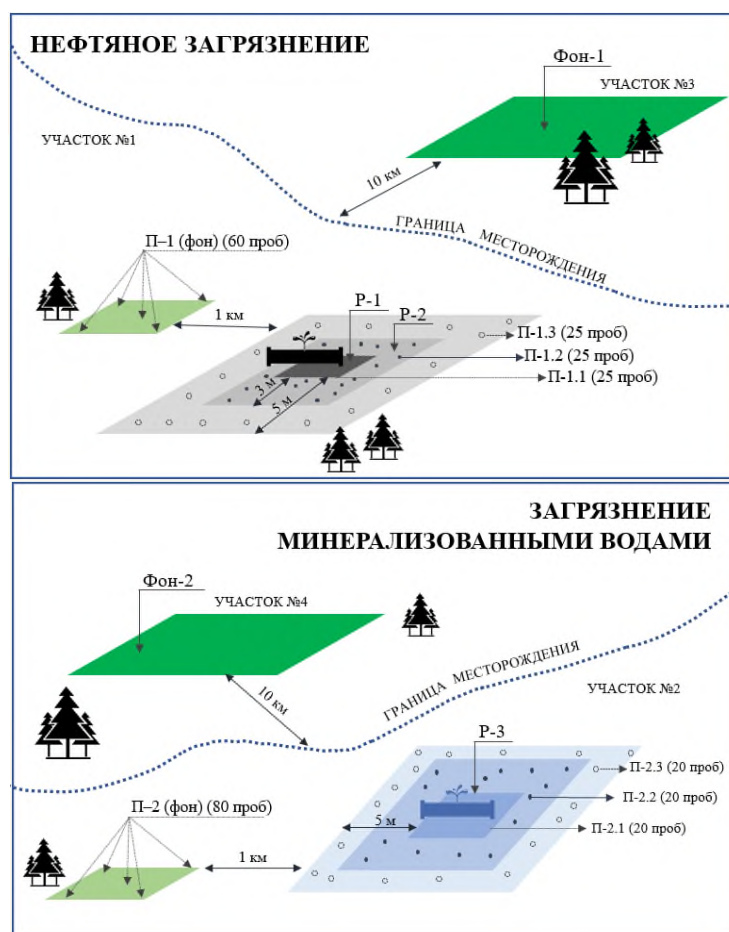


Рисунок 1. Карта-схема очагов загрязнений.

*Эпицентр загрязнения – наибольшая зона техногенного воздействия; импактная зона загрязнения – буферная зона воздействия источника загрязнения (территория от эпицентра до границ загрязнения); граница загрязнения – зона с минимальным воздействием источника загрязнения.

Для оценки степени изменения почв на загрязнённых участках по сравнению с естественными почвами, соблюдая требование максимальной однородности факторов почвообразования – почвообразующих пород, элементов рельефа и характера растительности, были заложены почвенные разрезы на фоновых участках в 10 км от зоны загрязнения. Требования к отбору фоновых проб почвы для контроля загрязнения установлены в ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб». Пробы отбирали из основных генетических горизонтов на всю глубину разреза (Фон–1: 6 точечных проб; Фон–2: 8 точечных проб). Фоновые почвенные прикопки (П–1 (фон), П–2 (фон)) заложены в непосредственной близости от места аварии, но за пределами распространения нефтяного пятна и минерализованных вод. В дальнейшем все вышеупомянутые загрязнённые почвы были рекультивированы эксплуатирующей организацией.

Систематическое положение почв на каждом обследованном участке определяли по «Классификация и диагностика почв России» (2004) и по IUSS Working Group WRB (2022).

Нефтепродукты (НП) в почвах определены в соответствии с ПНДФ 16.1:2.21-98. Плотный остаток и $r_{\text{H}_{2}\text{O}}$ определены согласно ГОСТ 26423-85. Качественный состав солей определен гостированными методиками в водной вытяжке. Перед проведением анализа почв были выполнены качественные реакции для выявления ионов солей в почвенных образцах в соответствии с действующими ГОСТами. Определение сульфат-ионов проводили по ГОСТ 26426-85, осаждая сульфат бария при добавлении раствора бария, что указывает на присутствие сульфатов в образце. Ионы натрия и калия выявляли методом пламени по ГОСТ 26427-85, при этом натрий окрашивает

пламя в жёлтый цвет, а калий – в фиолетовый. Хлорид-ион определяли по ГОСТ 26425-85 путем добавления раствора нитрата серебра, что вызывает образование белого осадка хлорида серебра, свидетельствующего о наличии хлоридов. Для обнаружения ионов кальция и магния использовали ГОСТ 26428-85: кальций образует белый осадок при добавлении оксалата аммония, а магний – при добавлении магниезонового реагента или щелочи. Ионы карбоната и бикарбоната определяли по ГОСТ 26424-85, при котором добавление кислоты к образцу вызывает выделение углекислого газа, подтверждая наличие карбонатных ионов в образце. Во всех загрязнённых почвах установлена положительная реакция на наличие солей (за исключением карбонатов и бикарбонатов, реакция – отрицательная). В фоновых почвах (Фон–1, Фон–2, П–1 (фон), П–2 (фон)) качественная реакция на наличие солей отрицательная – соли отсутствуют.

Ввиду отсутствия методических рекомендаций, а также утверждённых ПДК солей в почвах, степень засоления оценивали по классификации, представленной в трудах различных авторов (Ковда, 1963; Зайдельман, 2017). Нормальность распределения полученных результатов оценивали с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. В работе использовали параметрические методы статистики (коэффициент корреляции Пирсона – R^P). Полученные данные были сгруппированы по зонам загрязнения с определением диапазона данных ($lim=min-max$), среднего, стандартного отклонения (SD), коэффициента вариации (CV).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для верхних горизонтов загрязнённых почв характерно фронтальное просачивание нефти, которое полностью насыщает массу этих горизонтов, не создавая существенных различий между отдельными блоками. Установлено, что в почвах, загрязнённых сеноманскими водами (Р–3), а также в фоновых почвах (Фон–1, Фон–2, П–1 (фон), П–2 (фон)) содержание нефтепродуктов находится ниже предела обнаружения, в связи с чем, данные не приводятся.

Содержание **углеводородов нефти (УВН)** в нефтезагрязнённых почвах по профилю уменьшается по мере удаления от эпицентра загрязнения к импактной зоне в латеральном направлении и по мере увеличения глубины горизонтов почв (рис. 2).

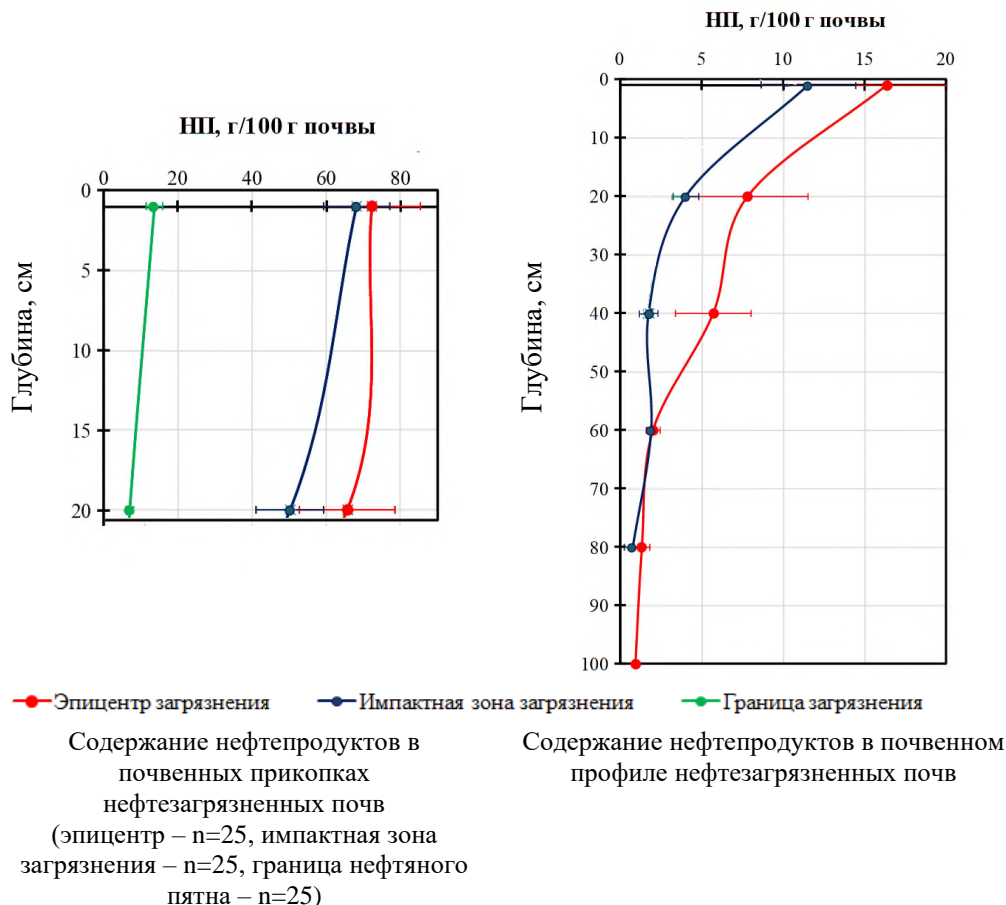


Рисунок 2. Содержание нефтепродуктов (НП) в различных зонах загрязнения.

Основная часть лёгких углеводородов удаляется с поверхности почв путем испарения и выноса с жидким поверхностным стоком. Тяжёлые УВН и смолисто-асфальтеновые компоненты чаще всего закрепляются в верхних горизонтах почв.

При аварийных разливах нефть распределяется по поверхности почвы неравномерно, что приводит к значительным колебаниям концентраций загрязняющих веществ в отдельных точках. Это создает вариативность загрязнения при отборе проб из генетических горизонтов и подчеркивает важность их отбора не только по профилю, но и необходимость отбора объединенных проб в различных зонах загрязнения. Такие пробы позволяют получить репрезентативную картину глубины и масштаба распространения поллютантов. Разница в концентрации нефти между почвенными разрезами и прикопками может быть связана с особенностями миграции углеводородов, микрорельефом и различиями в плотности почвы, что сохраняет высокую вариабельность даже при снижении концентрации с глубиной. В эпицентре загрязнения, на глубине 0–10 см, в почве отмечается содержание нефти в диапазоне от 16,23 до 72,26 г/100 г, со средним значением 66,45 и стандартным отклонением 13,16. Коэффициент вариации составляет 19,80%, что указывает на умеренную вариабельность концентраций. В слое почвы 10–20 см среднее содержание нефти составляет 50,72 г/100 г с $SD=12,75$ и $CV=25,14\%$, что свидетельствует о более высокой степени неоднородности распределения.

В импактной зоне среднее содержание нефти на глубине 0–10 см составляет 52,02 г/100 г, стандартное отклонение – 8,98, а коэффициент вариации – 17,26 %, что указывает на относительно низкую вариабельность загрязнения. В слое почвы 10–20 см, где содержание нефти варьируется от 10,09 до 50,23, среднее значение снижается до 43,47, однако стандартное отклонение ($SD=9,09$) и $CV=20,91\%$ демонстрируют повышение вариабельности по сравнению с верхними слоями.

На границе загрязнения наблюдается значительно меньшая концентрация нефти. На глубине почвы 0–10 см содержание нефти составляет в среднем 13,3 г/100 г, $SD=2,19$, а $CV=16,47\%$, что отражает сравнительно низкую вариабельность. На глубине 10–20 см среднее значение снижается до 5,69, $SD=1,14$, а CV возрастает до 20,04%, что указывает на возрастание неоднородности в нижних горизонтах. Диапазон концентрации ожидаемо снижается с глубиной, что подтверждается данными: в эпицентре загрязнения на глубине 0–10 см диапазон составляет 16,23–72,26 ($CV=19,80\%$), а на глубине 10–20 см 11,82–65,61 ($CV=25,14\%$). Аналогичная тенденция наблюдается в импактной зоне и на границе загрязнения. Несмотря на общее снижение концентрации с глубиной, коэффициенты вариации в некоторых горизонтах остаются высокими (например, 20,91% в импактной зоне на глубине 10–20 см и 20,04% на границе загрязнения). Это указывает на влияние локальных скоплений нефти, обусловленных микрорельефом и плотностью почвы. Такие закономерности подчёркивают значительную вариабельность загрязнения и важность учёта глубины и профиля для оценки экологической обстановки.

Для верхних горизонтов (0–10 см, 10–20 см) хемоземов различных зон загрязнения характерно повышенное содержание нефтепродуктов (табл. 2), что связано с закреплением техногенных углеводородов органическими компонентами почв, обладающими высокой нефтеемкостью. При этом наблюдается поступление нефтепродуктов сверху вниз по профилю почвы с постепенным снижением их концентрации. В гумусово-аккумулятивных горизонтах аллювиальных нефтезагрязнённых почв (P–1 и P–2, прикопки нефтезагрязнённых) максимум НП приурочен к эпицентру загрязнения, при движении к импактной зоне содержание углеводородов нефти уменьшается.

Таблица 2

Содержание нефтепродуктов в корнеобитаемых горизонтах почв в различных зонах загрязнения (верхние горизонты P–1, P–2, П–1: П–1.1, П–1.2, П–1.3), г/100 г почвы

Эпицентр загрязнения		Импактная зона		Граница загрязнения	
0–10 см (n=25)	10–20 см (n=25)	0–10 см (n=25)	10–20 см (n=25)	0–10 см (n=25)	10–20 см (n=25)
66,45 ± 13,16 (CV=19,80)	50,72 ± 12,75 (CV=25,14)	52,02 ± 8,98 (CV=17,26)	43,47 ± 9,09 (CV=20,91)	13,3 ± 2,19 (CV=16,47)	5,69 ± 1,14 (CV=20,04)
16,23–72,26	11,82–65,61	11,53–68,12	10,09–50,23	4,43–13,74	3,98–7,08

Примечание.

Над чертой – среднее ± стандартное отклонение, в скобках – коэффициент вариации (CV, %), под чертой – диапазон данных: $lim=min-max$,

Преимущественно ненормальное распределение концентраций нефтепродуктов связано с пространственной неоднородностью почвенных характеристик, таких как мощность органогенных горизонтов, особенности микрорельефа и плотность растительного покрова. Эти факторы создают различия в аккумуляции и миграции углеводородов в почвенном профиле, что приводит к значительным отклонениям от нормального распределения.

В большинстве горизонтов почвы распределение содержания нефти отклоняется от нормального. Это подтверждается смещением средних значений относительно середин диапазонов и значительными коэффициентами вариации (до 25,14% в эпицентре загрязнения на глубине 10–20 см и 20,04 % на границе загрязнения на той же глубине). Исключением является граница загрязнения на глубине 0–10 см, где коэффициент вариации составляет 16,47%, что приближается к нормальному распределению. Основными причинами ненормальности являются локальные скопления нефти, особенности миграции углеводородов, микрорельеф и различия в плотности почвы. Эти факторы создают высокую неоднородность даже на глубинах, где концентрация нефти снижаются.

Неровности микрорельефа способствуют локализации загрязняющих веществ в депрессиях, где задерживается большее количество нефтепродуктов, тогда как на возвышенных участках происходит их быстрее вымывание или разложение. Такие закономерности подчёркивают важность учёта пространственной неоднородности почв при оценке распределения нефтепродуктов в загрязнённых зонах.

В пределах района исследования, особенно в почвах центральной части поймы, легкорастворимые соли, привнесённые с нефтью, будут выноситься из почвенного профиля в грунтовые воды и мигрировать вниз по профилю. Следовательно, в такой почве будут оставаться битуминозные вещества, которые по своей природе миграционно более устойчивы. В восстановительных условиях, характерных для многих почв нефтедобывающих районов Западной Сибири, и суровом холодном климате, также характерном для данной климатической зоны, процессы разложения нефти значительно замедляются. Поэтому аккумулятивные ландшафты могут служить источником вторичного загрязнения территории нефтепродуктами и легкорастворимыми солями.

Поступление высокоминерализованных вод приводит к формированию сложных ореолов загрязнения. Наибольшая зона техногенной трансформации для обоих типов загрязнения характерна для эпицентра. По мере продвижения к контуру распространения загрязнения (импактная зона, граница) их содержание снижается. Во всех изученных почвах отмечается различный уровень засоления.

Хемоземы по подзолистой почве (Р–3) отличаются сильной степенью засоления (рис. 3). В почвенном профиле отмечается вынос ионов Cl^- и Na^+ при слабой миграции других солей в профиле (Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^-). Установлено, что в корнеобитаемых горизонтах почв (0–10 см) отношение хлоридов к сульфатам (1,96/1,77 ммоль(экв)/100 г почвы) выше по сравнению с таковым нижней части профиля (12,4/4,56 ммоль(экв)/100 г почвы), что свидетельствует об остаточном засолении, обусловленном эпизодическим выносом ионов хлора и натрия из верхних горизонтов профиля.

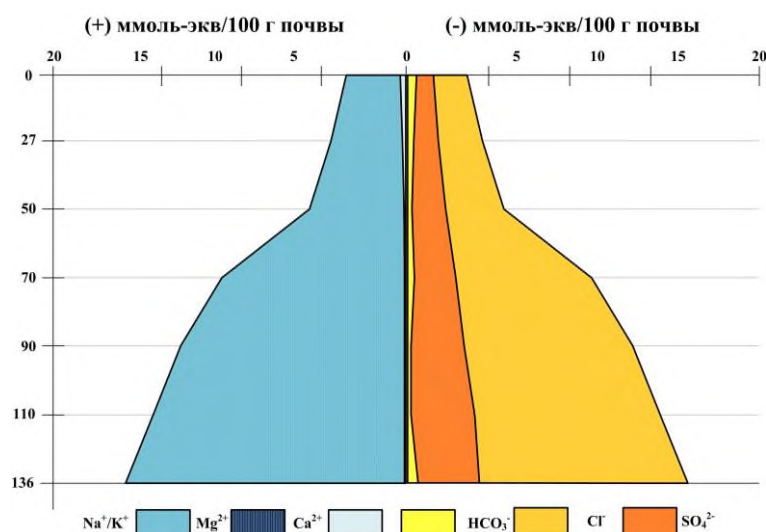


Рисунок 3. Солевой профиль загрязнённой минерализованными (сеноманскими) водами подзолистой почвы (эпицентр загрязнения, Р–3).

В солевом профиле выражены две зоны: от 0 до 70 см (гор. Os,x, OTs,x, ELs,x, BELFe,s,x, BT1Fe,s,x, BT2Fe,s,x, BT3Fe,s,x), откуда происходит активный вынос ионов, и нижележащие горизонты от 70 до 136 см (BCFe,s,x), где аккумулируются продукты выноса. Тип химизма в техногенно-засоленной почве – сульфатно-хлоридный натриевый, что характерно для загрязнения минерализованными сеноманскими водами. Концентрация Cl^- и Na^+ возрастает с глубиной и снижается от эпицентра разлива к его периферии. Хлорид-ион занимает доминирующее положение среди прочих анионов: его доля в миграционных потоках составляет около 80%. Доля катионов натрия – практически 95%.

Опасность техногенного засоления связана не только с общим содержанием солей в корнеобитаемых горизонтах почв, но и с их токсичностью для высших растений. В хемоземах по подзолистой почве токсичные техногенные соли представлены NaHCO_3 и Na_2SO_4 . Их сумма ($\Sigma_{\text{токс}}$) в профиле возрастает с глубиной и достигает 1,2% в нижних горизонтах. Это может свидетельствовать о вымывании солей из почвенного профиля с понижением уровня грунтовых вод. Данный солевой профиль характерен для сульфатно-хлоридного типа засоления, что подтверждает техногенное происхождение солей в почвенном профиле.

Хемоземы по аллювиальной почве (P-1, P-2) характеризуются средней степенью засоления в эпицентре и слабой в импактной зоне при сульфатно-натриевом типе засоления, обусловленном сернистостью нефти и составом подтоварных вод. По результатам корреляционного анализа выявлена статистически значимая положительная связь между содержанием легкорастворимых солей и УВН ($R_p = 0,89$ на глубине 0–10 см и 0,85 на глубине 10–30 см, $p < 0,05$).

В отличие от хемоземов по подзолистой почве, в хемоземах по аллювиальной почве концентрация солей достигает максимума в поверхностном корнеобитаемом слое, затем постепенно снижается с глубиной (импактная зона загрязнения) или остаётся постоянной (эпицентр) (рис. 4). Такой характер распределения солей может быть связан с сезонным подъёмом грунтовых вод и миграцией солей по профилю почв.

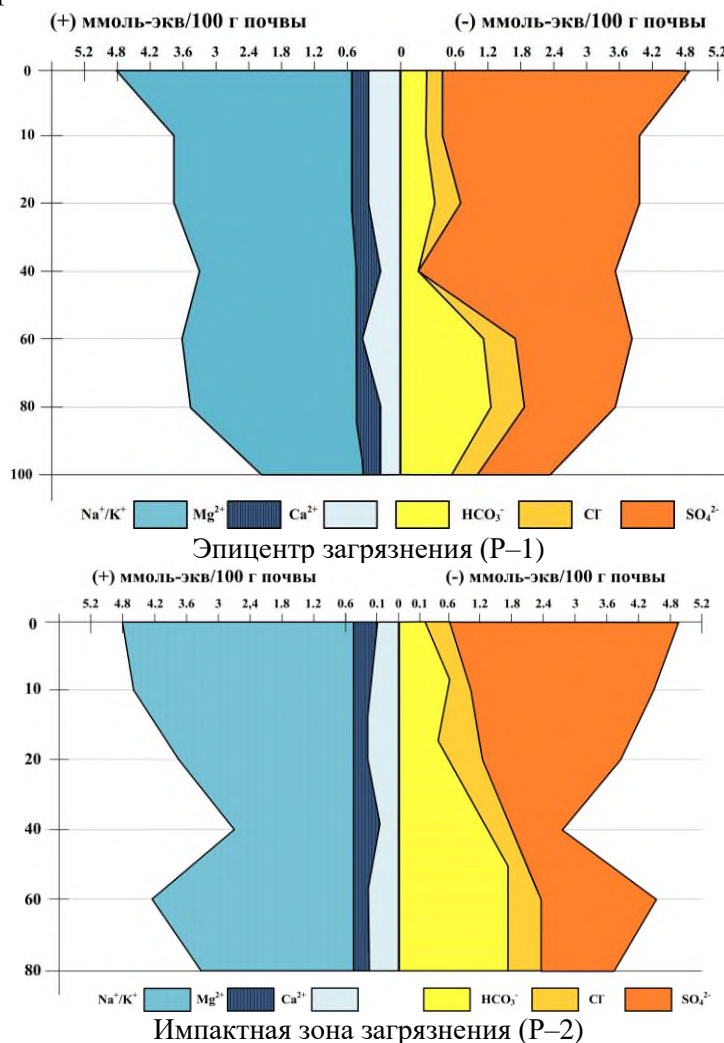


Рисунок 4. Солевой профиль нефтезагрязнённых аллювиальных почв.

В хемоземе по аллювиальной почве токсичные техногенные соли представлены NaCl , Na_2SO_4 и MgCl_2 . Почвенные растворы с высокой концентрацией токсичных солей в нижележащих горизонтах почв, поступая в корнеобитаемые слои, могут способствовать вторичному засолению. Такой эффект возможен в тех случаях, когда грунтовые воды, характерные для территории Западной Сибири (ультракислые или нейтральные), не обеспечивают достаточного разбавления этих солей. Следует отметить, что наибольшую опасность техногенное засоление представляет для почв пойменных экосистем. Ландшафтные особенности аллювиальных почв – близкий подпор грунтовых вод, механическая суффозия, сезонная пульсация, эрозионно-аккумулятивные процессы и, как следствие, накопление поллютантов, привнесённых с почв автономных позиций, создают токсичную среду для роста и развития растений. Таким образом, особенности нефтесолевого загрязнения создают возможность развития сопутствующего солончакового процесса наряду с основными процессами, формирующими профиль аллювиальных почв (пойменного, аллювиального, дернового). Анализируя полученные данные, можно расположить преобладающие ионы в почвах, загрязнённых сырой нефтью, в следующий ряд: $\text{HCO}_3^- < \text{Mg}^{2+} < \text{Cl}^- < \text{Ca}^{2+} < \text{Na}^+ + \text{K}^+ < \text{SO}_4^{2-}$. Для почв, загрязнённых минерализованными жидкостями (сеноманскими водами), характерно следующее распределение: $\text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{HCO}_3^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{Cl}^- < \text{Na}^+ + \text{K}^+$.

Для нефтезагрязнённых почвенных прикопок характерно преобладание ионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и SO_4^{2-} при $\text{pH} < 8,5$, а также постепенное снижение содержания солей в поверхностном горизонте почв при движении от эпицентра к границе загрязнения (рис. 5). Доминирующее положение в почвах, загрязнённых минерализованными жидкостями, занимают ионы натрия и хлора. Концентрации солей данных ионов снижаются при продвижении от эпицентра разлива к его периферии.

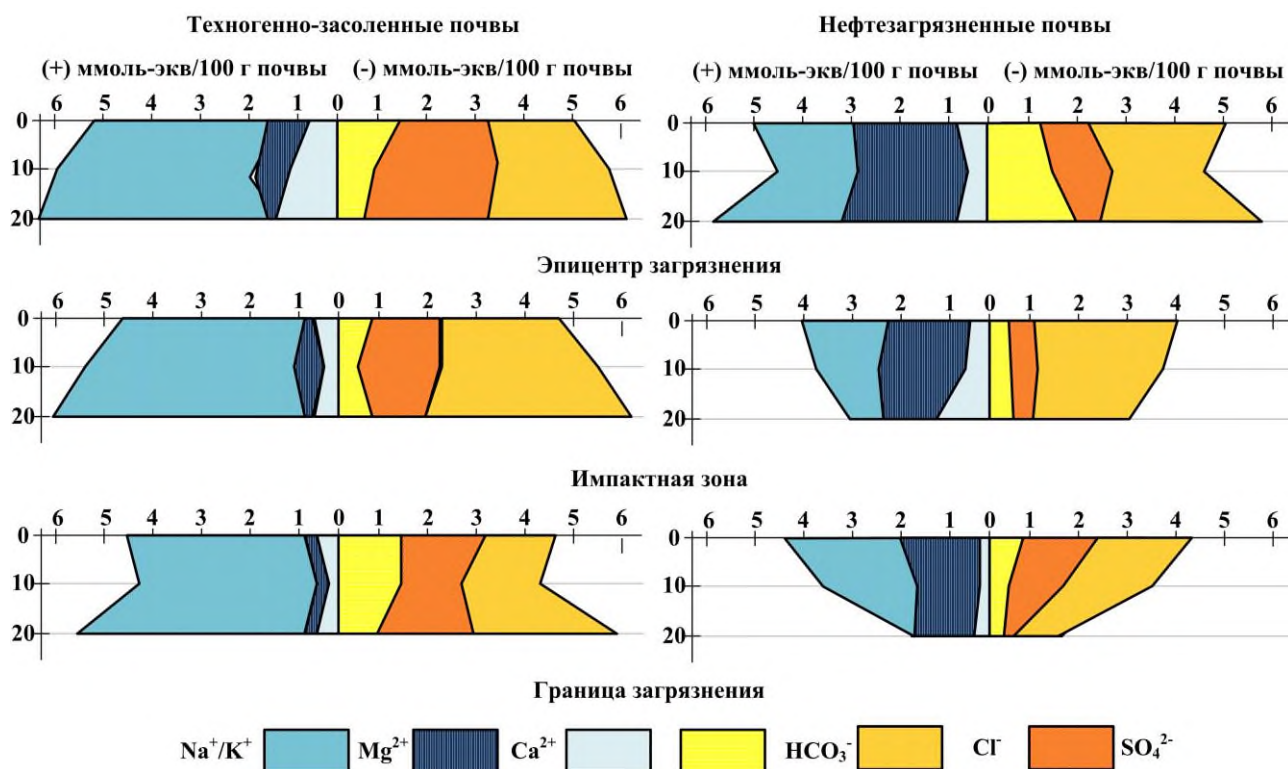


Рисунок 5. Распределение солей в нефтезагрязненной аллювиальной почве и техногенно-засоленной подзолистой почве.

В таёжных районах нефтедобычи в силу биоклиматических условий создаются условия для промывного водного режима. В связи с этим, можно предположить, что техногенно привнесенные в почвы соли, обладающие высокой миграционной способностью, например, хлориды, будут довольно быстро выноситься из профиля почв, вследствие чего их содержание с глубиной будет возрастать. Данная тенденция наблюдается относительно всех ионов, которые входят в состав водной вытяжки загрязнённых почв, кроме ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Сравнивая два типа загрязнения почв – обводненной сырой нефтью и минерализованными жидкостями (сеноманскими водами) можно выявить следующие особенности. На разливах сырой

нефти максимальное содержание солей приурочено только к верхним корнеобитаемым горизонтам, в нижележащих горизонтах их концентрации невелики. Ведущую роль в процессе фракционирования солей играют ионы SO_4^{2-} и Na^+ . В целом, распределение солей в пределах почвенного профиля равномерное. В почвах, загрязнённых минерализованными жидкостями (сеноманскими водами), процесс распределения солей менее равномерен. Максимум солей смещён до глубины 130 см, формируя за счёт интенсивного выноса Cl^- и Na^+ горизонт соленакопления.

Процесс техногенного засоления сопровождается ответными реакциями, обусловленными техногенным осолонцеванием. В верхних горизонтах почв обоих типов загрязнения содержание обменного натрия в ППК и его доля от ЕКО позволяют судить о различном уровне солонцеватости (рис. 6). В техногенно-засоленных почвах с глубиной профиля содержание водорастворимых солей и насыщенность ППК натрием постепенно снижаются. При нефтяном загрязнении насыщенность почв поглощённым катионом натрия возрастает с увеличением степени нефтезагрязнения. При перемещении к периферии при обоих типах загрязнения содержание обменного Na^+ уменьшается. Состав обменных оснований почв обоих типов загрязнения представлен ионами Na^+ , Ca^{2+} и Mg^{2+} при полном отсутствии катионов H^+ и Al^{3+} , характерных для почвенного поглощающего комплекса фоновых почв. Степень проявления солонцового процесса в нефтезагрязнённых почвах в различных зонах загрязнения изменяется в следующем ряду: солонцеватые (эпицентр) > слабосолонцеватые (импактная зона) > не солонцеватые (граница загрязнения). Степень и характер проявления солонцеватости в верхних горизонтах техногенно-засоленных почв выражены в большей степени.

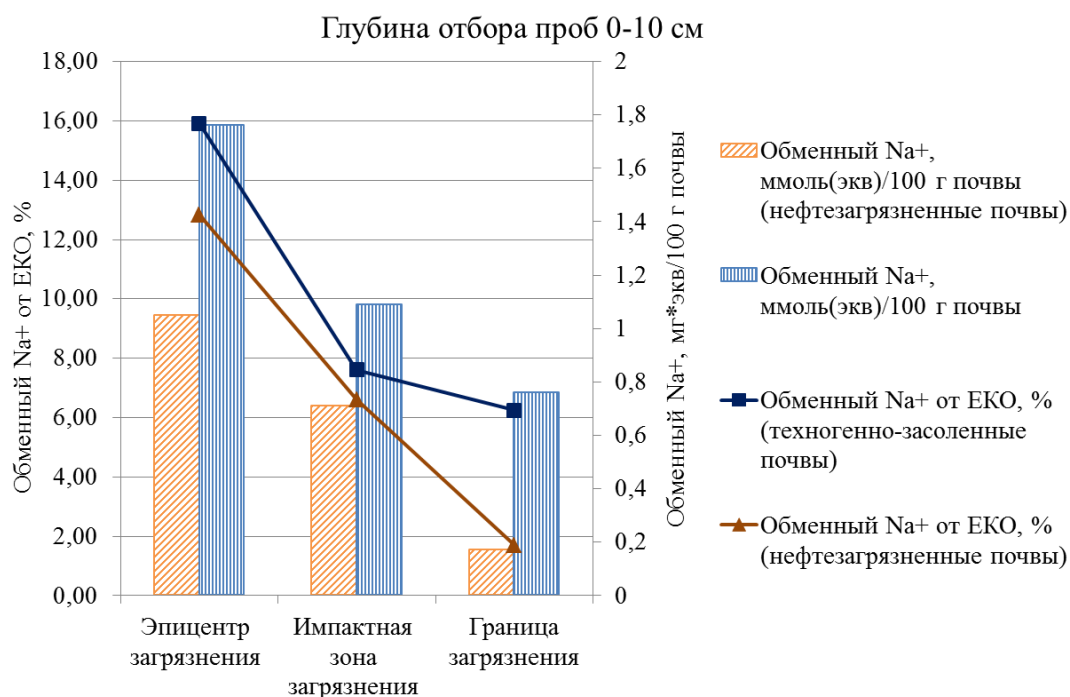


Рисунок 6. Изменение содержания обменного натрия и его доли от емкости катионного обмена (ЕКО) в поверхностном горизонте почв (0–10 см) различных зон загрязнения.

В условиях гумидного почвообразования для почв характерен ирригационный водный режим, что препятствует развитию процессов техногенного засоления и осолонцевания. Однако при этом происходит трансформация состава обменных катионов поверхностных горизонтов в сторону накопления натрия за счёт вытеснения части обменного кальция. При отсутствии дренажа или неэффективной его работе промывной ирригационный режим может приводить к подъёму грунтовых вод выше критического уровня, создавая предпосылки для развития вторичного осолонцевания и засоления почв.

ВЫВОДЫ

1. Специфической особенностью почв, загрязнённых в процессе добычи нефти, является накопление легкорастворимых солей, о чем свидетельствует величина плотного остатка в пределах ореола загрязнения (0,3–1,57%), позволяющая отнести все загрязнённые почвы к категории

засоленных. На разливах обводненной подтоварными водами сырой нефти максимальное содержание солей приурочено только к верхним корнеобитаемым горизонтам. Ведущую роль в процессе фракционирования солей играют ионы SO_4^{2-} и Na^+ (сульфатно-натриевый химизм засоления). В почвах, загрязнённых минерализованными жидкостями (сеноманскими водами), максимум солей смещён до глубины 130 см, формируя за счет интенсивного выноса Cl^- и Na^+ горизонт соленакопления (хлоридно-натриевый химизм засоления). Наряду с процессами техногенного засоления, в почвах протекают процессы техногенного осолонцевания. В нефтезагрязнённых почвах данные процессы связаны с появлением обменного натрия в ППК, составляющего 0,98–12,83% от емкости катионного обмена (ЕКО). Степень проявления солонцового процесса в техногенно-засоленных почвах более выражена по сравнению с почвами, загрязнёнными сырой нефтью. Доля обменного натрия в ППК достигает практически 16% от ЕКО.

2. В хемоземе нефтезагрязнённом токсичные техногенные соли накапливаются в корнеобитаемом горизонте и представлены NaCl , Na_2SO_4 и MgCl_2 , в хемоземах по подзолистой почве – NaHCO_3 и Na_2SO_4 . С глубиной профиля их сумма ($\Sigma_{\text{токс}}$) возрастает, достигая 1,15% в нижних горизонтах, что характерно для солончакового типа засоления. Засоление в условиях гумидного климата является наложенным почвообразовательным процессом, формирующим посредством пульсации восходящих потоков грунтовых вод дополнительный риск засоления почв, обычно нехарактерного для почв с промывным типом водного режима.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совокупное действие процессов техногенного засоления и техногенного осолонцевания формирует одну из главных проблем при сдаче рекультивированных участков контролирующим органам – сложность создания равномерного по густоте и площади растительного покрова. В связи с этим, накопление данных о специфике протекании процессов техногенного загрязнения почв является одной из наиболее актуальных задач. Учёт характера загрязнения, химизма засоления и положения почв в ландшафтно-геохимической катене позволит адаптировать методы рекультивации техногенно-засоленных почв для конкретного участка загрязнения, что в дальнейшем будет способствовать оптимизации процессов восстановления почв в ходе рекультивационных работ.

В настоящее время рекультивация загрязнённых пластовой жидкостью земель официально не проводится. Локальные попытки восстановить техногенно-засоленные почвы, как правило, проводятся без достаточного научного обоснования и без учёта комплексной оценки загрязнённой территории. Описанные в литературе методы борьбы с осолонцеванием почв по большей части встречаются в работах сельскохозяйственного направления.

Ликвидация последствий аварийных разливов пластовых вод на почвенный покров проводится зачастую такими способами, в результате которых происходит необратимое уничтожение и без того уже «угнетённого» (в результате проникновения солевых растворов в глубь горизонтов) плодородного слоя почвы, частичная деградация, а то и полная гибель биогеоценоза. Возникшая проблема формирует представление о необходимости составления чёткого структурированного плана экологических мероприятий, направленных на снижение концентраций солей физическими методами, а также внесением определенных компонентов, способных катализировать процесс рассоления почвы в связи с аварийными выбросами пластовых вод.

ЛИТЕРАТУРА

- Геннадиев А.Н. Нефть и окружающая среда // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2009. № 6. С. 30–39.
- Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв. Учебник. 4-е изд. испр. и доп. Москва: КДУ, 2017. 290 с.
- Ковда В.А. Генезис и география подзолистых почв Западной Сибири // Почвоведение. 1963. № 7. С. 25–37.
- Роде А.А. Почвы Западной Сибири. Москва: Издательство Академии наук СССР, 1957. 320 с.
- Середина В.П., Андреева Т.А., Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Терещенко Н.Н. Нефтезагрязнённые почвы: свойства и рекультивация. Томск: НИ ТПУ, 2006. 270 с.
- Середина В.П., Колесникова Е.В., Кондыков В.А., Непотребный А.И., Огнев С.А. Особенности влияния нефтяного загрязнения на почвы средней тайги Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. 2017. № 5. С. 108–112. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2017-5-108-112>
- Солнцева Н.П. Эволюционные тренды почв в зоне техногенеза // Почвоведение. 2002. № 1. С. 9–16.

Фоминых Д.Е. Техногенное засоление почв как геоэкологический фактор при разработке нефтяных месторождений Среднего Приобья. Диссертация ... канд. геол.-минерал. наук. Томск, 2013. 165 с.

Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Capra G.F., Ganga A., Grilli E., Vacca S., Buondonno A. A review on anthropogenic soils from a worldwide perspective // Journal of Soils and Sediments. 2015. Vol. 15. P. 1602–1618. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1110-x>

Nosova M.V., Seredina V.P., Rybin A.S., 2020. Ecological State of Technogeneous Saline Soil of Oil-Contaminated Alluvial Ecosystems and Their Remediation Techniques // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020. Vol. 921. 012018. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/921/1/012018>

Nosova M.V., Seredina V.P., Fedorchuk I.M. Transformation features of the main physicochemical and physical parameters of oil-contaminated alluvial soils in humid soil formation environment (Western Siberia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 723. 052029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/5/052029>

Wiens J.A. Oil in the environment: legacies and lessons of the Exxon Valdez oil spill. United Kingdom: Press Cambridge University, 2013. 482 p.

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. 236 p.

Поступила в редакцию 14.10.2024

Принята 27.11.2024

Опубликована 04.12.2024

Сведения об авторах:

Носова Мария Владимировна – кандидат биологических наук, ведущий инженер отдела оценки воздействия на окружающую среду АО «ТомскНИПИнефть» (г. Томск, Россия); NosovaMV@tomsknipi.ru

Середина Валентина Петровна – доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения и экологии почв ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (г. Томск, Россия); seredina_v@mail.ru

Стовбуник Сергей Анатольевич – главный специалист Управления экологии АО «ТомскНИПИнефть» (г. Томск, Россия); NosovaMV@tomsknipi.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/)

Technogenic salinization of podzolic and alluvial soils of the middle taiga subzone of West Siberia

© 2024 M. V. Nosova ¹, V. P. Seredina ², S. A. Stovbunik¹

¹Joint Stock Company «TomskNIPIneft», Mira Ave., 72, Tomsk, 634027, Russia. E-mail: NosovaMV@tomsknipi.ru

²National Research Tomsk State University, Lenin Ave., 36, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: seredina_v@mail.ru

The aim of the study was to identify the main trends and patterns of migration and accumulation of oil pollutants (petroleum products, easily soluble salts) in soils of the middle taiga subzone of West Siberia.

Location and time of the study. Soil geography and genesis were studied in 2019 and 2023 in the middle taiga subzone of West Siberia in the middle part of the Ob River in various elementary landscapes.

Methods. Oil compounds were determined in hexane extracts from soil using Fluorat-2 apparatus. The qualitative composition of salts was assessed in water extracts.

Results. Highly mineralized waters were found to have a more significant impact on the properties of podzolic and alluvial soils in West Siberia than the crude oil. Combined oil and salt pollution was accompanied by a high content of toxic salts in the root-inhabited horizons. The discharge of mineralized water during emergency spills under the conditions of waterlogged taiga landscapes in West Siberia led to the formation of technogenically salinized soils in areas where the natural development of salinization is impossible. Therefore, soil salinization in a humid climate can be considered a superimposed soil-forming process.

Conclusions. *The results allow assessing the ecological state of soils (their chemistry, degree of salinity, reserve of toxic salts) and develop proposals for the remediation of oil and salt contaminated soils. The combined effect of halogenesis and alkalization processes is not typical for humid soil formation zones, where natural processes of salinization and halogenesis are not developed due to excess moisture and flushing water regime. Technogenic salinization associated with oil production is often found in such regions and does not depend on climatic conditions. Due to the lack of industrial reclamation of soils subjected to technogenic salinization in the middle taiga subzone of West Siberia, the studies of soil ecology in the contaminated areas are one of the urgent tasks of soil science and ecology. At the same time, taking into account the nature of pollution, the chemistry of salinization and soils catenary positions in the landscape will allow adapting the reclamation methods of technogenically saline soils for a specific contaminated area, which will subsequently allow completing soil restoration during reclamation activities.*

Keywords: soils; combined oil and salt pollution; mineralized water; easily soluble salts; technogenic salinization; technogenic alkalization; salinity chemistry.

How to cite: Nosova M.V., Seredina V.P., Stovbunik S.A. Technogenic salinization of podzolic and alluvial soils of the middle taiga subzone in West Siberia. *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(4). e284. DOI: [10.31251/pos.v7i4.284](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.284) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

- Gennadiev A.N. Oil and the environment. *Lomonosov Geography Journal*. 2009. No. 6. P. 30–39. (in Russian).
- Zaidelman F.R. Soil reclamation. Textbook. 4th ed. corr. and additional. Moscow: KDU, 2017. 290 p. (in Russian).
- Kovda V.A. Genesis and geography of podzolic soils of Western Siberia. *Pochvovedenie*. 1963. No. 7. P. 25–37. (in Russian).
- Rode A.A. Soils of Western Siberia. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1957. 320 p. (in Russian).
- Seredina V.P., Andreeva T.A., Alekseeva T.P., Burmistrova T.I., Tereshchenko N.N. Oil-contaminated soils: properties and remediation. Tomsk: NI TPU, 2006. 270 p. (in Russian).
- Seredina V.P., Kolesnikova E.V., Kondykov V.A., Nepotrebny A.I., Ognev S.A. Peculiarities of oil pollution influence on soils of middle taiga in Western Siberia. *Oil Industry*. 2017. No. 5. P. 108–112. (in Russian). <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2017-5-108-112>
- Solntseva N.P. Evolutionary trends of soils in the zone of technogenesis. *Pochvovedenie*. 2002. No. 1. P. 9–16. (in Russian).
- Fominykh D.E. Technogenic soil salinization as a geo-ecological factor in the development of oil fields in the Middle Ob region. Dissertation ... Cand. of Geological and Mineralogical Sci. Tomsk, 2013. 165 p. (in Russian).
- Classification and diagnostics of soils of Russian / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian).
- Capra G.F., Ganga A., Grilli E., Vacca S., Buondonno A. A review on anthropogenic soils from a worldwide perspective. *Journal of Soils and Sediments*. 2015. Vol. 15. P. 1602–1618. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1110-x>
- Nosova M.V., Seredina V.P., Rybin A.S., 2020. Ecological State of Technogeneous Saline Soil of Oil-Contaminated Alluvial Ecosystems and Their Remediation Techniques. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020. Vol. 921. 012018. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/921/1/012018>
- Nosova M.V., Seredina V.P., Fedorchuk I.M. Transformation features of the main physicochemical and physical parameters of oil-contaminated alluvial soils in humid soil formation environment (Western Siberia). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 723. 052029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/5/052029>
- Wiens J.A. Oil in the environment: legacies and lessons of the Exxon Valdez oil spill. United Kingdom: Press Cambridge University, 2013. 482 p.
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. 236 p.

Received 14 October 2024
Accepted 27 November 2024
Published 04 December 2024

About the authors:

Maria V. Nosova – Candidate of Biological Sciences, Leading Engineer of the Environmental Impact Assessment Department of TomskNIPIneft (Tomsk, Russia); NosovaMV@tomsknipi.ru

Valentina P. Seredina – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Soil Science and Soil Ecology of the National Research Tomsk State University (Tomsk, Russia); seredina_v@mail.ru

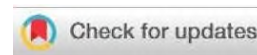
Sergey A. Stovbunik – Chief Specialist of the Ecology Department of TomskNIPIneft (Tomsk, Russia); NosovaMV@tomsknipi.ru

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/)

УДК 553.97+547.45+630(571.1)
<https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.286>



Характеристика торфов южной тайги юго-востока Западной Сибири как основа оценки запасов углерода, депонированного в торфяных залежах

© 2024 Ю. И. Прейс , Е. А. Головацкая , М. М. Кабанов 

ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, пр. Академический, 10/3,
г. Томск, Россия, 634050. E-mail: preisyui@rambler.ru

Цель исследования. Выявить региональные и зональные особенности свойств торфов и степень влияния на них палеокриогенных процессов как основу корректных палеореконструкций функционального состояния болот и оценки запасов углерода, депонированного в торфяных отложениях района исследования.

Место и время проведения. Подзона южной тайга в пределах Томской области.

Методы. На основе базы данных, созданной по кадастру «Торфяные месторождения Томской области», и фондовых материалов геологической разведки проведен выбор типичных для района исследования торфяных месторождений и видов торфов, рассчитаны показатели их встречаемости, усредненные значения влажности, зольности и степени разложения. Для выявления региональных и зональных особенностей свойств торфов проведено их сравнение с аналогичными характеристиками торфов европейской части России. При обосновании криогенеза этих особенностей использованы литературные данные о влиянии многолетней мерзлоты на динамику и свойства торфов болот криолитозоны и ранее полученные результаты реконструкций палеокриогенных процессов в детально изученных и датированных торфяных разрезах района исследования.

Основные результаты. В выявленных видах типичных торфов установлены или подтверждены известные региональные и зональные особенности их свойств. Обосновано определяющее влияние сезонной мерзлоты и палеокриогенных процессов на особенности ботанического состава и встречаемости видов торфа, значительное варьирование показателей их свойств, необычно высокую зольность верховых и переходных торфов, низкие усредненные показатели степени разложения сфагновых и высокие – других видов торфов, вторичные изменения свойств и специфику залегания в торфяных залежах. Обоснован видовой состав рабочей коллекции образцов торфа района исследования для определения в них содержания углерода.

Заключение. В связи со значительным влиянием палеокриогенных процессов на свойства торфов, необходимо учитывать эти процессы для повышения корректности интерпретации данных, полученных при исследовании болот, решения различных научных и прикладных задач, в том числе оценке баланса и запасов углерода в болотных экосистемах. Данные по встречаемости и свойствам торфов, полученные для торфяных залежей разного типа, позволяют объективно подойти к созданию рабочей коллекции образцов при определении содержания углерода в торфах района исследования.

Ключевые слова: вид торфа; встречаемость; свойства; криогенез; южная тайга; Западная Сибирь.

Цитирование: Прейс Ю.И., Головацкая Е.А., Кабанов М.М. Характеристика торфов южной тайги юго-востока Западной Сибири как основа оценки запасов углерода, депонированного в торфяных залежах // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 4. e286. DOI: [10.31251/pos.v7i4.286](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.286)

ВВЕДЕНИЕ

Оценка запасов углерода, депонированного в болотных экосистемах Западной Сибири, проводилась многими авторами (Вомперский, 1994; Ефремов и др., 1994; Ваганов и др., 2005; Инишева и др., 2012; Sheng et al., 2004), в том числе с использованием справочников по торфяным ресурсам и областным кадастрам торфяных месторождений (ТМ). Однако в настоящее время актуально получение более точных оценок запасов углерода. Нами (Прейс и др., 2023) предложена методика расчета запасов углерода в торфяных месторождениях с максимальным использованием информации по запасам и свойствам торфов, содержащейся в фондовых материалах геологической разведки ТМ. Для ее реализации необходим лишь пересчет имеющихся в кадастровых справочниках запасов торфа 40% влажности на запасы органического вещества абсолютно сухого торфа и получение усредненных показателей содержания Сорг для разных типов торфяных залежей (ТЗ). Расчет последних для исследуемой территории проводится с учетом участия каждого вида торфа в сложении ТЗ разного типа и содержания в них Сорг. Для территории южной тайги юго-востока таежной зоны Западной Сибири (в пределах Томской области) на основании аналитического обзора выявлено отсутствие или существенный недостаток подобной информации. Поэтому актуально создание базы данных свойств торфов типичных торфяных месторождений этой территории и

расчета встречаемости видов торфа в каждом типе торфяных залежей. Актуально также создание рабочей коллекции образцов типичных видов торфа исследуемого региона для определения в них Сорг единым методом.

Все исследователи ТМ (Торфяные месторождения ..., 1957; Логинов, Хорошев, 1972; Архипов, Маслов, 1998; Матухин и др., 2000; и др.) и болотных экосистем (Лисс, Березина, 1981; Лисс и др., 2001) Западной Сибири отмечали значительное разнообразие и особенности стратиграфии ТЗ и свойств торфов Западной Сибири. Однако вопрос о факторах, обуславливающих их региональные и зональные особенности, недостаточно изучен и остается актуальным до настоящего времени. Знания об этих факторах необходимы для интерпретации данных разных научных исследований, использующих торфяные отложения в качестве базовых объектов, в том числе для понимания процессов депонирования в ТЗ углерода, эмиссии метана и углекислого газа из болотных экосистем.

Согласно ранее полученным нами данным, развитие болот южной тайги в голоцене неоднократно нарушалось криогенными процессами в периоды глобальных похолоданий (Прейс, 2015; 2016; 2024; Preis et al., 2020). Эти процессы были широко распространены и влияли на стратиграфию ТЗ, свойства торфов и торфонакопление, что необходимо учитывать. Однако рядом авторов, изучающих болота зоны сезонного промерзания пород Западной Сибири, влияние криогенных процессов до настоящего времени не учитывалось при палеореконструкциях изменений как функционального состояния болот, так и климата голоцена (Бляхарчук и др., 2019), а также при расчетах скорости аккумуляции торфа и оценке запасов углерода, депонированного в торфяных отложениях. Поэтому актуально обобщить полученные нами данные и оценить степень влияния криогенных процессов на региональные и зональные особенности свойств торфов района исследования.

Цель данного исследования – выявить виды торфа типичные для района исследования, их особенности и генезис, оценить участие и средние показатели свойств торфов, встречающихся в торфяных залежах каждого типа, для определения их видового состава и свойств при создании рабочей коллекции на определение содержания в них Сорг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленных целей прежде всего был проведен выбор типичных торфяных месторождений по созданной нами базе кадастровых данных ТМ Томской области. При выборе предпочтение отдавалось не только крупным, глубокозалежным ТМ, на которых сосредоточены основные запасы торфа, но и небольшим, свойства торфов которых обладают своеобразием.

Для определения региональных и зональных особенностей свойств торфов, формирующихся в условиях континентального климата, была использована база данных, созданная нами по ведомостям лабораторного анализа проб торфа из фондовых отчетов геологической разведки типичных для района исследования ТМ. Эта база содержит данные по 47 776 пробам торфов и включает следующие характеристики: вид торфа, степень разложения (R, %), зольность (A, %) и естественная влажность (West, %). Внутри каждого типа торфа проведен расчет встречаемости каждого его вида, выявлены типичные (встречаемость не менее 3%) для района исследования и рассчитаны усредненные показатели их свойств. Для определения региональных и зональных особенностей свойств торфов выполнено сравнение полученных данных с характеристиками аналогичных видов торфов европейской части России (Король, 1969).

Для определения видового состава и свойств проб торфа рабочей коллекции из этой же базы данных сначала были исключены пункты отбора (п. о.), находящиеся вне границ промышленной глубины залежи (Сорокин и др., 1976), поскольку именно в этих границах даются запасы торфа в кадастровом справочнике. Затем был определен тип ТЗ каждого п. о., согласно (Матухин и др., 2000), и выполнено распределение п. о. по 4 блокам: верховой, смешанный, переходный и низинный тип ТЗ. По каждому блоку проведен расчет встречаемости всех видов торфа, отобраны виды торфа, встречаемость которых не менее 0,4%, и рассчитана их $R_{ср.}$, от которой также как и от видовой принадлежности зависит содержание Сорг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Характеристика типичных торфяных месторождений. Всего было выбрано 27 типичных ТМ или их участков (уч-к), разведанных детально, с категориями запасов А и В, и, предварительно, с категориями запасов С1, расположенных в Томской области (табл. 1). Эти ТМ находятся в подзоне южной тайги и на ее границах с подтайгой и средней тайгой. Практически все ТМ залегают на водоразделах рек или их террасах, иногда частично в поймах (ТМ № 657, 948, 954).

Таблица 1

Характеристика типичных торфяных месторождений южной тайги юго-восточной части Западной Сибири

№ ТМ	Наименование торфяного месторождения	Стадия, год разведки	S в границах промысл. глубины, га	h _{ср} ТЗ, м	Общие Q торфа 40% W, тыс. т.	Тип и качественная характеристика торфяной залежи (средние показатели, %)
1000	Тузейга (ЮЗ уч-к)* ¹	Д., 1990	2064	3,5	9184	ВСПН; R – 18; A – 4; W – 91,5
957	Поротниковское* ²	Д., 1988	1028	2,8	5548	Н; R – 32; A – 15; W – 87,5
948	Сухое-Вавиловское* ²	Д., 1987	1571	2,8	9386	Н; R – 33; A – 21; W – 86,2
954	Чаинское* ²	Д., 1988	825	2,5	4394	Н; R – 33; A – 21; W – 85,6
959	Потеряевское* ²	Д., 1988	475	2,3	2400	Н; R – 35; A – 18; W – 85,2
780	Центральное (уч-к 37)* ³	Д., 1992	8903	2,7	32555	ВСПН; R – 21; A – 5; W – 91,2
837	Суйгинское (уч-к 53)* ³	Пр., 1991	3655	2,9	18351	Н; R – 30; A – 9; W – 89,9
630	Колпашевское (уч-к 7 и 8)* ⁴	Д., 1987	5376	2,1	15725	ВСПН; R – 19–27; A – 4–5; W – 89,5–91,6
603	Комаровка (уч-к 177)* ⁴	Д., 1984	4825	2,8	21018	ВСПН; R – 24; A – 5; W – 90,2
617	Карасевое (уч-к 42)* ⁴	Д., 1988	7467	2,9	32398	ВПСН; R – 23–27; A – 6–15; W – 89,0–90,9
977	Чангарское I* ⁵	Пр., 1984	18854	2,4	82126	ВПН; R – 29; A – 9; W – 89,1
874	Семиозёрье* ⁶	Д., 1986	4252	2,7	14427	ВПНС; R – 11–28; A – 2–4; W – 88,5–92,3
460	Васюганское (уч-к Югинское)* ⁷	Пр., 1992	10100	4,1	63418	ВПН; R – 23; A – 12; W – 90,2
1074	Сайга (уч-к 74)* ⁸	Пр., 1991	1487	2	3902	ВП; R – 20; A – 3; W – 91,8
1204	Лучай* ⁹	Д., Пр., 1992	4666	2,2	16923	НПС; R – 23; A – 9; W – 89,9
1244	Рыжиково* ¹⁰	Д., 1988	266	1,7	784	В; R – 35; A – 3; W – 89,6
1245	Брагино* ¹⁰	Д., 1988	193	1,8	596	ВП; R – 21; A – 4; W – 87,6
1247	Кулигино* ¹⁰	Д., 1989	260	2	652	В; R – 21; A – 4; W – 92,4
1262	Шумилово* ¹⁰	Д., 1992	213	2,9	708	В; R – 15; A – 3; W – 92,4
1264	Глыбино* ¹⁰	Д., 1992	255	3	936	В; R – 18; A – 3; W – 92,0
1272	Чистое (ЮЗ уч-к)* ¹⁰	Д., 1987	1901	3,5	8315	ВПН; R – 16; A – 3; W – 91,6
1274	Клюквенное* ¹⁰	Д., 1986	4494	3,3	25322	Н; R – 27; A – 10; W – 89,5
1274	Темное* ¹⁰	Д., 1986	1510	2,5	6484	ВН; R – 27; A – 9; W – 89,3
460	Васюганское (уч-к 22)* ¹¹	Д., 1990	12215	2,8	51411	ВСПН; R – 23; A – 5; W – 90,6
460	Васюганское (уч-к 5 у с. Плотниково)* ¹²	Д., 1988	18210	2,5	53316	ВСПН; R – 16; A – 4; W – 92,4
460	Васюганское (уч-к 6 у с. Плотниково)* ¹²	Пр., 1991	57070	2,3	159689	ВСПН; R – 16; A – 4; W – 91,3
1221	Кайтас I* ¹²	Д., 1990	2708	1,5	5951	ВСПН; R – 19; A – 5; W – 90,5

Примечание.

*Номера административных районов Томской области: 1 – Асиновский, 2 – Бакчарский, 3 – Верхне-Кетский, 4 – Колпашевский, 5 – Кривошеинский, 6 – Молчановский, 7 – Первомайский, 8 – Парабельский, 9 – Тегульдетский, 10 – Томский, 11 – Чаинский, 12 – Шегарский. S – площадь ТМ, h_{ср} ТЗ – глубина торфяной залежи, Q – запасы. Представлены: стадии разведки: Д. – детальная и Пр. – предварительная; типы ТЗ: В – верховая, С – смешанная, П – переходная, Н – низинная; свойства ТЗ: R – степень разложения, A – зольность, W – естественная влажность.

Характеристика типичных видов торфа района исследования. В южной тайге в пределах Томской области выявлен 71 вид торфа. Встречаемость верховых видов торфа составляет 47,0%, переходных – 23,3%, низинных – 29,7%. В пределах каждого типа торфа установлены следующие типичные виды: 7 из выявленных 19-ти верховых – фускус, комплексный верховой, магелланикум, ангустифолиум, сфагновый мочажинный, пушицево-сфагновый и шейхериево-сфагновый; 9 из 28-

ми переходных – осоковый, осоково-сфагновый, древесно-осоковый, сфагновый, шейхцериевый, древесно-сфагновый, шейхцериево-сфагновый, древесно-травяной, травяно-сфагновый; 5 из 24-х низинных – осоковый, древесно-осоковый, древесный, гипновый, осоково-гипновый (рис. 1).

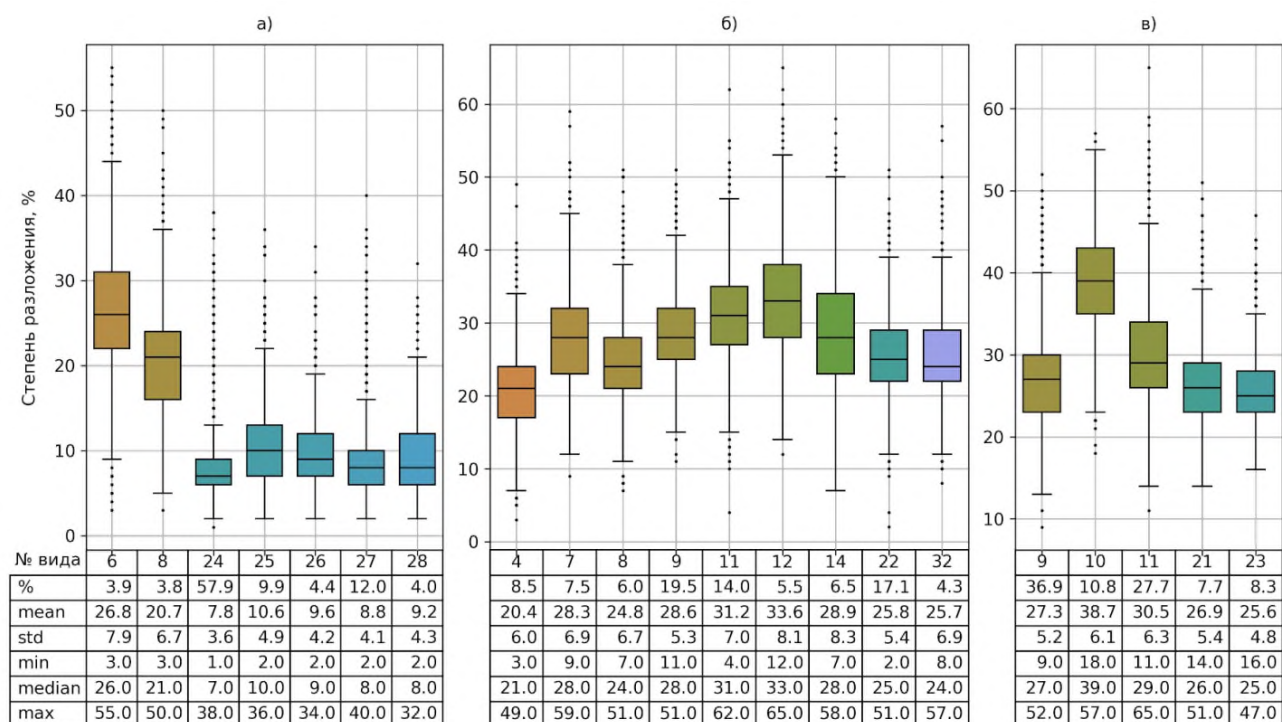


Рисунок 1. Показатели встречаемости и средней степени разложения типичных для района исследования видов торфа в пределах верхового (а), переходного (б) и низинного (в) типов. Виды торфа: 4 – сфагновый, 6 – пушицево-сфагновый, 7 – шейхцериевый, 8 – шейхцериево-сфагновый, 9 – осоковый, 10 – древесный, 11 – древесно-осоковый, 12 – древесно-травяной, 14 – древесно-сфагновый, 21 – осоково-гипновый, 22 – осоково-сфагновый, 23 – гипновый, 24 – фускум, 25 – магелланикум, 26 – ангустифолиум, 27 – комплексный, 28 – сфагновый мочажинный, 32 – травяно-сфагновый.

Максимальную встречаемость в пределах верхового типа имеют фускум, магелланикум и комплексный виды; для переходного типа – осоковый, осоково-сфагновый, древесно-осоковый; для низинного – осоковый, древесно-осоковый, древесный (см. рис. 1). Встречаемость еще трех переходных видов торфа составляет: по 2,8% у древесного и травяного, 1,7% – пушицево-сфагнового; четырех верховых видов: шейхцериевого – 1,7%, сосново-сфагнового и сосново-пушицевого – по 2,8%, пушицевого – 0,6%; низинных видов: шейхцериевого – 2,2%, древесно-травяного – 2,0%, травяного – 1,5%, осоково-сфагнового – 0,8%.

В дополнение к ранее определенным (Архипов, Маслов, 1998) типичным видам торфа для четырех торфо-болотных провинций, занимающих южно-таежную подзону Западной Сибири (Лисс, Березина, 1981) в пределах Томской области, нами выявлено три верховых вида: ангустифолиум, сфагновый мочажинный, шейхцериево-сфагновый и четыре переходных вида: осоково-сфагновый, древесно-осоковый, древесно-сфагновый, травяно-сфагновый. Это, вероятнее всего, связано как с нашим расчетом в целом по этой территории, так и с некоторым различием ТМ, выбранных в качестве типичных. Так, установление в качестве типичных верховых ангустифолиум, сфагнового мочажинного и шейхцериево-сфагнового видов, вероятно, обусловлено использованием данных по участку № 6 ТМ Васюганское, имеющего чрезвычайно высокую обводненность и заозеренность. Вновь выявленные в качестве типичных переходные виды – древесно-осоковый и древесно-сфагновый – связаны с более широким распространением у выбранных нами ТМ суходольного типа заболачивания, а также использованием данных и по небольшим по площади ТМ.

Средняя степень разложения (Rcp) всех верховых видов торфа варьирует от 39,5 (сосновый) до 7,8% (фускум). Rcp всех типичных видов (см. рис. 1а) не превышают 26,8%. Минимальные значения

R_{cp} имеют виды моховой группы, более высокие – у шейхцерицево-сфагнового и пушицево-сфагнового. У реже встречающихся пушицевого и сосново-пушицевого видов R_{cp} – 32–38%.

R_{cp} переходных видов торфа варьирует от 20,4 до 38,8% (сосново-пушицевый). Среди типичных видов (см. рис. 1б) наиболее низкие значения R_{cp} имеют сфагновый, шейхцерицево-, осоково- и травяно-сфагновый, более высокие – шейхцерицевый, осоковый и древесно-сфагновый, максимальные – древесно-осоковый и древесно-травяной. R_{cp} низинных видов торфа варьирует от 18,9 (сфагновый) до 38,8%. Среди типичных видов (см. рис. 1в) наиболее низкую R_{cp} имеют гипновый, осоково-гипновый и осоковый, более высокую – древесно-осоковый, максимальную – древесный. Для менее распространенных (1,5–2,2%) шейхцерицевого, травяного и древесно-травяного видов R_{cp} варьирует от 28,6 до 31,0%.

Средняя зольность (A_{cp}) верховых видов торфа колеблется от 2,0 (фускум) до 9,1% (сосновый). A_{cp} типичных видов (рис. 2а) не превышают 3,4%. Минимальные значения A_{cp} имеют виды моховой группы, более высокие – у шейхцерицево-сфагнового и пушицево-сфагнового. Лишь у реже встречающихся видов, залегающих преимущественно в придонных слоях залежей A_{cp} варьирует от 4,2 до 9,1%.

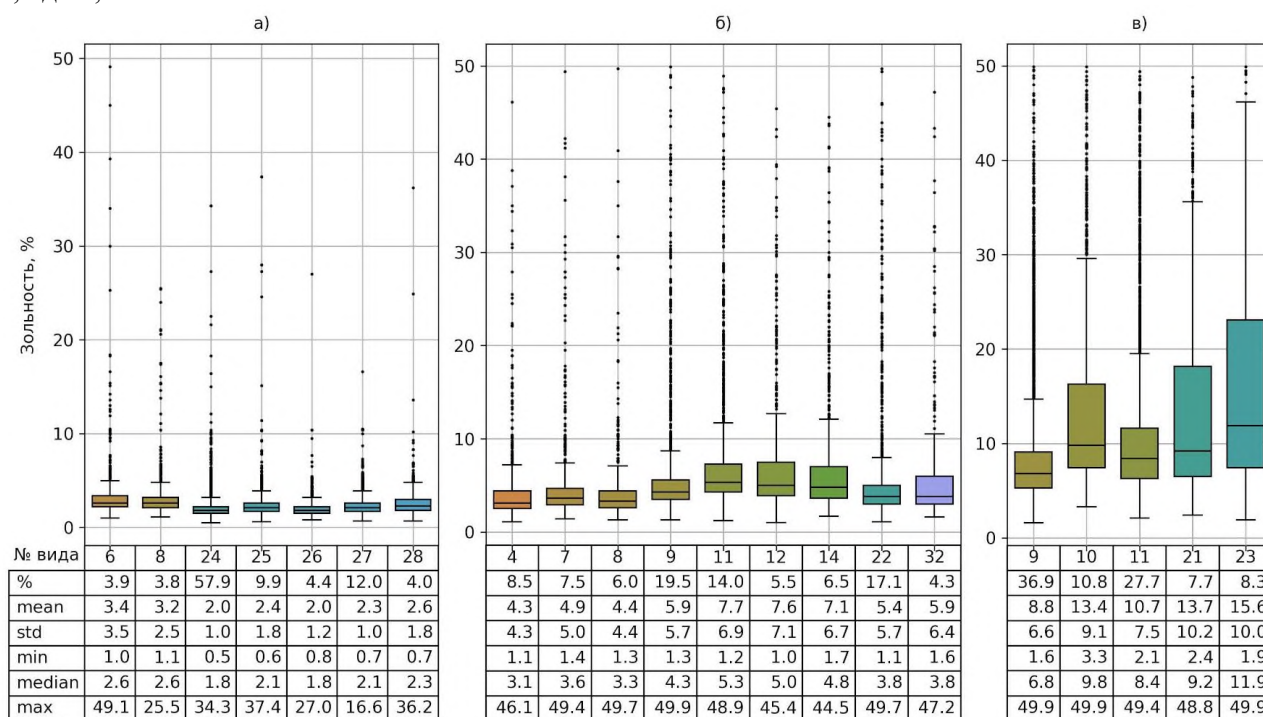


Рисунок 2. Показатели средней зольности типичных видов торфа в пределах верхового (а), переходного (б) и низинного (в) типов. Виды торфа приведены на рис. 1.

A_{cp} переходных видов торфов составляет от 4,2 до 12,2%. A_{cp} типичных видов (рис. 2б) не превышают 7,6%, минимальные A_{cp} характерны для сфагнового и шейхцерицево-сфагнового, более высокие – для шейхцерицевого, осокового, осоково- и травяно-сфагнового, еще выше – для древесно-сфагнового, древесно-травяного и древесно-осокового. У реже встречающихся (2,8–1,7%) древесного, травяного и пушицево-сфагнового видов A_{cp} равна 9,4, 7,4 и 5,2%, соответственно, а у видов придонного залегания – сосново-пушицевого и древесно-гипнового достигает 10,2 и 12,2%.

A_{cp} всех низинных видов торфа варьирует от 5,9 (шейхцерицевый) до 15,6% (гипновый). A_{cp} типичных видов (рис. 2в) не ниже 8,8%, минимальная характерна для осокового, более высокая – для древесно-осокового, древесного и осоково-гипнового, максимальная – для гипнового. У реже встречающихся (2,2–0,8%) травяного, древесно-травяного, осоково-сфагнового и шейхцерицевого видов A_{cp} равна 12,3, 11,4, 6,3 и 5,9%, соответственно.

Влажность (W_{cp}) верховых видов торфа варьирует от 84,8 (сосновый) до 94,5% (сфагновый мочажинный). W_{cp} типичных видов (рис. 3а) не ниже 90,5% (пушицево-сфагновый), более высокая – у шейхцерицево-сфагнового, максимальная – у видов моховой группы. У реже встречающихся (1,7–0,6%) шейхцерицевого, сосново-сфагнового, сосново-пушицевого и пушицевого видов W_{cp} равна 90,3–87,5%.

W_{cp} переходных видов торфа составляет от 86,1 до 91,4%. Среди типичных видов (рис. 3б) W_{cp} не ниже 87,4% (древесно-травяной), максимальная (91,4%) – у сфагнового. У реже встречающихся (2,8–1,7 %) древесного, травяного и пушицево-сфагнового видов W_{cp} варьирует от 86,1 до 89,0%. W_{cp} низинных видов торфа находится в пределах от 86,1 до 93,4% (сфагновый).

W_{cp} типичных видов (рис. 3в) не ниже 86,1% (древесный), более высокая – у осоково-гипнового и древесно-осокового, максимальная (88,9–89,8%) – у гипнового и осокового. У реже встречающихся (2,2 – 0,8%) травяного, древесно-травяного, осоково-сфагнового и шейхцериевого видов W_{cp} варьирует от 87,2 до 92,1%.

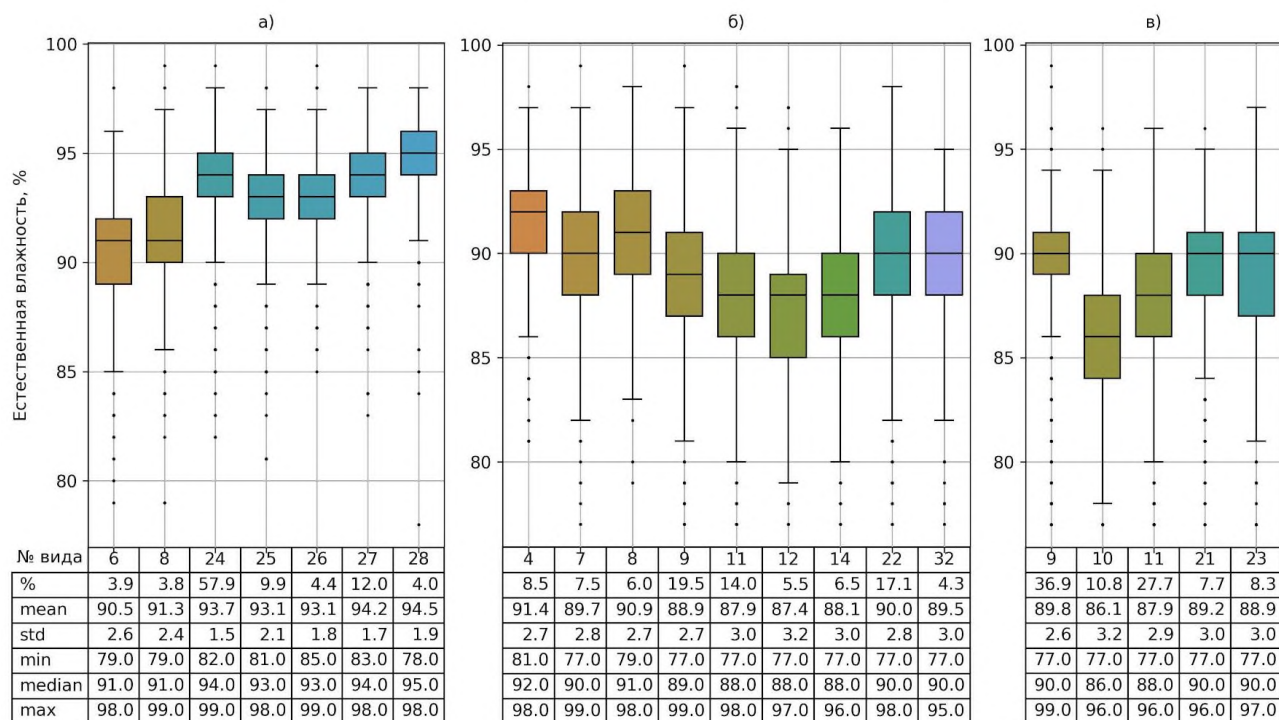


Рисунок 3. Показатели средней естественной влажности типичных видов торфа в пределах их верхового (а), переходного (б) и низинного (в) типов. Виды торфа приведены на рис. 1.

Минимальные значения влажности (77–79%) характерны не только для торфов, отлагающихся в хорошо дренированных экотопах, но и в исходно высоко обводненных (верховые мочажинный, шейхцериево-сфагновый, переходные шейхцериевый и шейхцериево-сфагновый, низинные гипновый и осоково-гипновый), что свидетельствует о вторичном изменении естественной влажности этих торфов. Необходимо отметить, что, несмотря на относительно низкую W_{cp} торфов всех типов, максимальная влажность у всех типов торфа достигает 96–99%.

ОБСУЖДЕНИЕ

Региональные и зональные особенности свойств торфов района исследования. Анализ ботанического состава торфов подтвердил факт постоянного присутствия остатков олиготрофных сфагновых мхов, в т.ч в торфах низинного типа, в связи с чем в новой классификации торфов для Западной Сибири (Матухин и др., 2000) было предложено увеличить предел их содержания до 10% в торфах низинного типа. Чем же обусловлена эта особенность, позволяющая поселяться олиготрофным мхам в условиях питания богатыми водами на эвтрофной стадии развития болот? Согласно (Лисс и др., 2001), эта региональная особенность ботанического состава торфов связана с поздним оттаиванием сезонной мерзлоты, частично изолирующей богатые грунтовые воды. Длительно оттаивающий тип сезонного промерзания тяжелых почвогрунтов, согласно (Каравасва, 1982), в настоящее время характерен для среднетаежной подзоны. Поэтому, вполне вероятно, что в периоды похолодания голоцена такой тип оттаивания был широко распространен и в южной тайге.

Зональной особенностью является залегание переходных и даже верховых торфов непосредственно на почвогрунтах богатых карбонатами. Согласно анализу данных геологической разведки ТМ, в южной тайге было широко распространено мезо- и олиготрофное заболачивание. При этом оно происходило не только на окрайках выпуклых олиготрофных болотных массивов, где

возможно раскисление почв болотными водами, стекающими с выпуклых вершин и склонов этих болот, но и в их генетических центрах (Прейс, 2002). По данным (Любимова, Симакова, 1977) процесс заболачивания протекал здесь катастрофически, многие поверхности не успели претерпеть изменений гидроморфного типа, почвы уходили под торф с тем запасом питательных веществ, который был накоплен в их профиле до начала заболачивания, что типично для многолетнемерзлых (ММ) грунтов северной тайги (Караваева, 1982). Сравнение наших данных радиоуглеродного датирования торфяных разрезов (т.р.) южной тайги с данными по палеоклимату таежной зоны (Волкова и др., 2002) показало, что возраст мезотрофного и олиготрофного типов заболачивания, приуроченных преимущественно к положительным элементам мезо- и микрорельефа, совпадает с началом глобальных похолоданий голоцена или с началом последующих потеплений (Прейс, 2015; 2016; 2024; Preis et al., 2020). Это дает нам основание утверждать, что они были обусловлены, так же как и в зоне ММ, криогенными процессами. Активной трансгрессии олиготрофных сфагновых мхов, в первом случае, способствует формирование многолетнемерзлого водоупора, изолирующего богатые воды почвогрунтов, а во втором – формирование слабоминерализованной верховодки из атмосферных осадков и деградирующего при потеплении климата слоя ММ. Криогенный генезис этих типов заболачивания косвенно подтверждается и данными, свидетельствующими о том, что в эти же периоды в отрицательных элементах мезо- и микрорельефа, которым присущи более мягкие микроклиматические условия в связи с отепляющим влиянием мощного снежного покрова, заболачивание протекало по эвтрофному типу (Прейс, 2016).

Зональной особенностью является значительное варьирование показателей А и R практически всех торфов, а также наличие высокой зольности переходных и верховых торфов (см. рис. 2, 3). Так, R видов моховой группы верхового и переходного типов изменяется от 1 до 49%; R пушицево- и шейхцериево-сфагновых видов – от 3 до 60%. Максимальные значения R (R_{max}) всех типичных верховых видов варьируют от 31 до 55%, переходных и низинных – от 47 до 65% (см. рис. 1, 2). Несмотря на то, что A_{ср} всех типичных видов верховых, переходных и низинных торфов укладывается в границы зольности принятые для торфов разных типов (Ниценко, 1961): менее 4, от 4 до 6–7 и от 6–7 до 18%, соответственно, максимальные значения А (А_{max}) типичных верховых видов достигают 16,6–37,4% и даже 49,1% у пушицево-сфагнового торфа, а у переходных и низинных – 44–49,9%. Высокие А_{max} характерны и для многих реже встречающихся видов.

По данным (Бахнов, 1986) эвтрофный тип заболачивания в южной тайге обусловлен высоким содержанием в почвах биофильных элементов питания, карбонатным составом почвенных грунтовых вод и характерен даже для самых высоких положительных элементов рельефа; способность Са вытеснять биофильные элементы приводит к длительному опосредованному влиянию богатых почв на минеральное питание болот и зольность торфов. По нашим данным (Прейс и др., 2010) это замедляет переход болот на омбротрофное (исключительно атмосферное) питание и обуславливает некоторое повышение зольности верховых торфов района исследования. Так, в т.р. Бакчарского болота перенос биофильных элементов продолжался при уже отложившемся 1,5 м слое верховых торфов, несмотря на катастрофический характер олиготрофизации на данном участке болота и предшествующее ей криогенное прекращение торфонакопления.

Особенно высока А_{max} придонных слоев верховых и переходных торфов мощностью 5–50 см, подвергавшихся, как уже отмечалось выше, влиянию криогенных процессов. Естественно, что при деградации ММ роль ее как водоупора исчезает и повышается уровень болотных вод в связи с выбросом талых из ММ. Это приводило к вторичному зазолению уже отложенных торфов. Минеральные компоненты при этом поступали как из подстилающих почвогрунтов, так и из богатых грунтовых вод. Однако после полной деградации ММ на участках криогенного заболачивания ранее хорошо дренированных элементов рельефа закономерно понижение уровня грунтовых и болотных вод. Это вызывало вторичное разложение отложенных торфов и прекращение аккумуляции, что способствовало повышению их степени разложения и зольности, в последнем случае и за счет золотого привноса с прилегающих суходолов (Прейс и др., 2010; Прейс, 2015).

Такие торфа с вторично измененными свойствами широко распространены в районе исследования, что является их зональной особенностью. О вторичном изменении свойств свидетельствуют высокие значения R_{max} (50–59%) торфов, отлагавшихся, судя по их принадлежности к шейхцериевому, шейхцериево-сфагновому и осоково-гипновому видам, в исходно высоко обводненных экотопах (рис. 1), а также высокие значения W_{max} (96–98%) торфов, которые судя по их принадлежности к древесному, древесно-осковому, древесно-травяному и древесно-сфагновому видам и высоким значениям R_{max} (51–65%), наоборот, отлагались в исходно хорошо

дренированных условиях. Это подтверждают и полученные нами по т.р. южной тайги данные (Антипина и др., 2019) об отсутствии корреляций между парами показателей R, West, плотности (P) торфов и индексом влажности болотных палеоэкоотопов, рассчитанном по (Елина, Юрковская, 1992). Эти нарушения особенно характерны для нижних слоев пограничных горизонтов, формирование которых сопровождалось прекращением торфонакопления (Прейс, 2015; 2016; Preis et al., 2020). Сравнение с данными по палеоклимату (Волкова и др., 2002) периодов отложения этих слоев торфа и данными реконструкций водных режимов и палеокриогенных процессов в торфяных залежах свидетельствуют, что вторичные изменения показателей R и West этих торфов, а также их плотности, обусловлены резкими сменами гидротермических режимов их болотных палеоэкоотопов. Частая встречаемость торфов с такими свойствами и на других глубинах ТЗ обусловлена влиянием характерных для континентального климата частых резких смен влажных и сухих периодов средних и малых климатических циклов, вызывающих изменения водных режимов болотных палеоэкоотопов.

Сравнение полученных данных по встречаемости и характеристикам типичных видов торфа южной тайги на юго-востоке Западной Сибири (ЮТ ЗС) и европейской части России (ЕЧ РФ) (Король, 1969) выявило следующие различия. Как и во всей таежной зоне Западной Сибири (Торфяные месторождения ..., 1957; Лисс и др., 2001; и др.) в районе исследования среди верховых торфов доминируют фускум (58,1%), в меньшей степени магелланикум и комплексный виды, а в ЕЧ РФ магелланикум, в меньшей степени фускум и пушицевый (рис. 4).

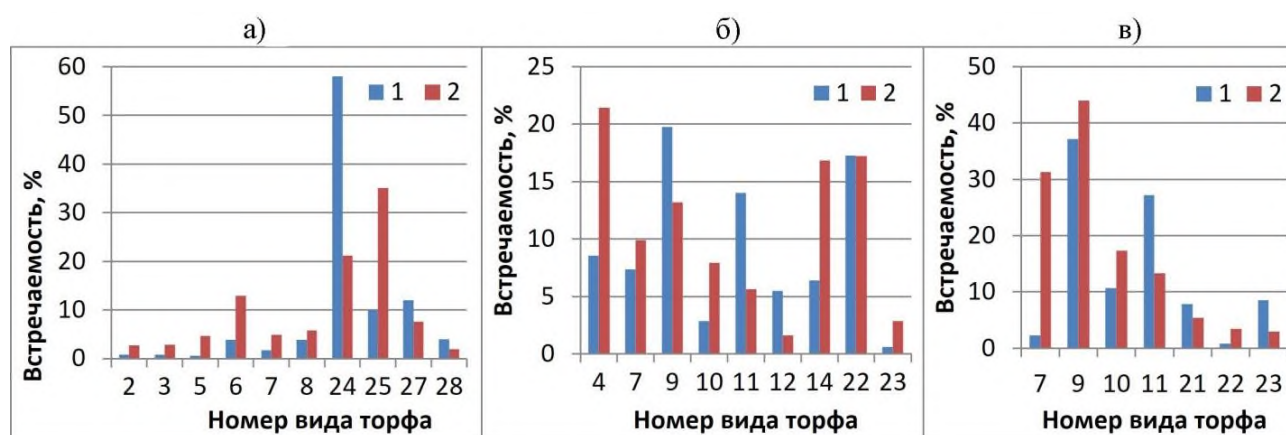


Рисунок 4. Встречаемость типичных видов торфа в пределах верхового (а), переходного (б) и низинного (в) типов в южной тайге на юго-востоке Западной Сибири (ЮТ ЗС) и в европейской части России (ЕЧ РФ). Условные обозначения: Виды торфа: 2 – сосново-сфагновый, 3 – сосново-пушицевый, 5 – пушицевый, 17 – хвощевый. Другие виды торфа приведены на рис. 1. Районы исследования: 1 – ЮТ ЗС, 2 – ЕЧ РФ.

Различие встречаемости фускум и магелланикум видов торфа климатически обусловлено. Плотные дернины сфагнума бурого (*Sphagnum fuscum*) обладают мощными механизмами саморегуляции водного режима, что позволяет этому виду мха переживать неблагоприятные засушливые периоды (Смоляницкий, 1977) и в условиях континентального климата доминировать как в растительных сообществах, так и в торфах. Более рыхлые дернины сфагнума магелланского (*Sphagnum magellanicum*) такими механизмами не обладают, поэтому он доминирует в условиях умеренно-континентального климата ЕЧ РФ, более влажного и с менее резкими сменами влажных и сухих периодов. В континентальном климате этот вид доминирует лишь под сомкнутым пологом древостоя, обеспечивающим менее суровые и более влажные микроклиматические условия, или на сплавинах и других высоко обводненных болотных экотопах, менее подверженных колебанию уровня болотных вод в засушливые периоды климата.

Значительное различие выявлено и по встречаемости верховых пушицево-сфагнового, пушицевого и сосново-пушицевого торфов, которые в сумме дают 20,3% в ЕЧ РФ, а в районе исследования – лишь 5,2%. Это связано с широким распространением и значительной мощностью (до 60–160 см) хорошо разложившегося слоя из этих торфов, так называемого пограничного горизонта, сформировавшегося в ЕЧ РФ, в основном, на границе атлантического (АТ) и суббореального (SB) периодов голоцена (Хотинский, 1977). Этот слой на Среднерусской равнине и Среднем Урале отлагался на болотах, перешедших в олиготрофную стадию развития, в АТ оптимум голоцена и в

начале его SB периода. В районе нашего исследования в это время болота находились, в основном, на эвтрофной, реже мезотрофной стадиях развития (Лисс и др., 2001), а климат был менее теплым и сухим (Волкова и др., 2002). В связи с этим толщина пограничного горизонта здесь 5–10 см и редко превышает 25 см. Эти виды в Западной Сибири широко распространены в залежах болот северных торфяных болотных областей (Матухин и др., 2000), но достаточно часто встречаются и в подзоне средней тайги (Карпенко, 2000).

Более высокая встречаемость комплексного верхового вида и вхождение ангустифолиум вида в типичные виды для ЮТ ЗС обусловлены более широким распространением здесь комплексных микроландшафтов и более высокой обводненностью болот. Согласно данным наших исследований, высокая обводненность и заозеренность болот, не только района исследования, но и всей таежной зоны Западной Сибири, сформировавшихся в континентальном климате, обусловлена неоднократно на протяжении голоцена переходами болот в многолетнемерзлое состояние в периоды глобальных похолоданий, а затем – в талое в периоды последующих потеплений, что сопровождалось активными выбросами накопленных вод из деградирующей ММ (Preis et al., 2020). Широкое распространение комплексных микроландшафтов обусловлено совместным влиянием хорошо дифференцированного микрорельефа минерального дна болот и неоднократно происходивших криогенных процессов в минеральных грунтах и торфяных отложениях (Прейс, 2015; 2016; Preis et al., 2020). Вся Западно-Сибирская равнина буквально измята термокарстовыми и суффозионными западинами (Земцов, 1976). Это обуславливает значительные различия гидротермических режимов на положительных и отрицательных элементах микрорельефа с самого начала их заболачивания и, соответственно, степени обводненности болотных экотопов и проявления криогенных процессов. В результате над разными элементами микрорельефа формируются ТЗ из разных видов и даже типов торфов, а сами ТЗ дифференцированы на мелкоконтурные блоки (Прейс, 2015; 2016). Это объясняет и неоднократно отмечаемое другими исследователями болот Западной Сибири необычайное разнообразие видов торфа и стратиграфий ТЗ.

Несмотря на значительные различия встречаемости переходных и низинных видов торфа в сравниваемых регионах, перечень доминирующих видов достаточно сходен. Следует отметить лишь отсутствие в ЕЧ РФ среди типичных видов переходных шейхцериево- и травяно-сфагнового, а также более высокую встречаемость низинного шейхцериевого. В районе нашего исследования более низкая R_{sp} , по сравнению с ЕЧ РФ, характерна не только для верховых сфагновых торфов, но и для всех других наиболее распространенных видов торфа всех типов (рис. 5).

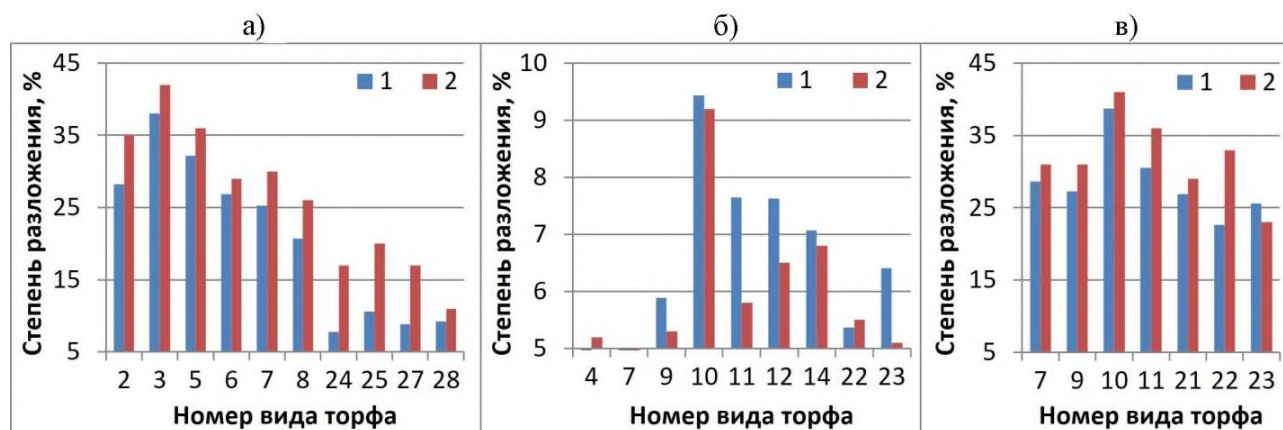


Рисунок 5. Средняя степень разложения наиболее распространенных видов торфа в пределах верхового (а), переходного (б) и низинного (в) типов в южной тайге на юго-востоке Западной Сибири (ЮТ ЗС) и в европейской части России (ЕЧ РФ). Виды торфа приведены на рис. 1 и 4. Районы исследования: 1 – ЮТ ЗС, 2 – ЕЧ РФ.

Эта региональная особенность, как и примесь олиготрофных мхов в низинных торфах, связана с более поздним оттаиванием сезонной мерзлоты и, соответственно, более коротким вегетационным периодом, в течение которого происходит наиболее активное разложение торфа. Однако на эти особенности влияла и более высокая обводненность болот, обуславливающая меньшую толщину деятельного слоя – акротелма, в котором происходит гумификация торфа.

Преобладание в южной тайге богатых почвогрунтов и преимущественно карбонатный состав грунтовых вод обуславливают и более высокую Аср большинства видов торфа всех типов по сравнению с аналогичными торфами ЕЧ РФ (рис. 6). Несколько более низкие (менее 1%) показатели Аср верховых сфагновых видов торфа ЮТ ЗС получены, вероятно, из-за включения нами в базу данных свойств торфов Участка № 5 у с. Плотниково – ТМ Васюганское, ТЗ которого имеют мощные (до 5,75 м) слои верховых сфагновых торфов с Аср 2,1%.

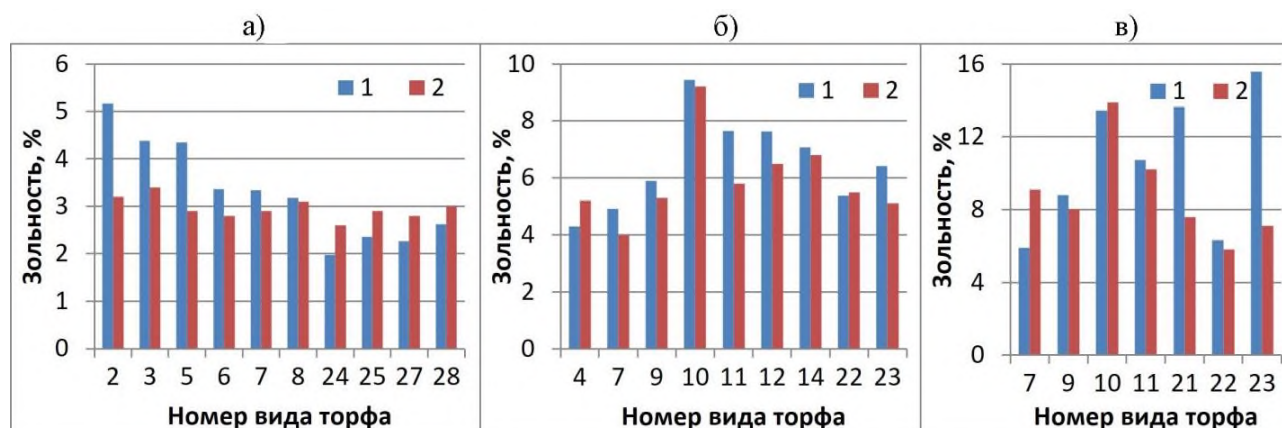


Рисунок 6. Средняя зольность наиболее распространенных видов торфа в пределах их верхового (а), переходного (б) и низинного (в) типов в южной тайге на юго-востоке Западной Сибири (ЮТ ЗС) и в европейской части России (ЕЧ РФ). Виды торфа приведены на рис. 1 и 4. Районы исследования: 1 – ЮТ ЗС, 2 – ЕЧ РФ.

Для большинства видов торфа всех типов в районе исследования характерны более низкие средние показатели естественной влажности ($W_{ср}$), чем в ЕЧ РФ (рис. 7). Это закономерно, так как в более мягком и влажном умеренно-континентальном климате отсутствует автохтонное заболачивание хорошо дренированных элементов мезо- и микрорельефа, водные режимы болот более стабильны, поэтому менее распространены торфа с вторичными изменениями свойств, в том числе – влажности. Более высокая $W_{ср}$ характерна лишь для сфагновых торфов всех типов, особенно для верховых комплексного и мочажинного, а также сфагнового низинного, что закономерно в связи с более высокой обводненностью болот, в том числе, выбранных в качестве типичных (рис. 7).

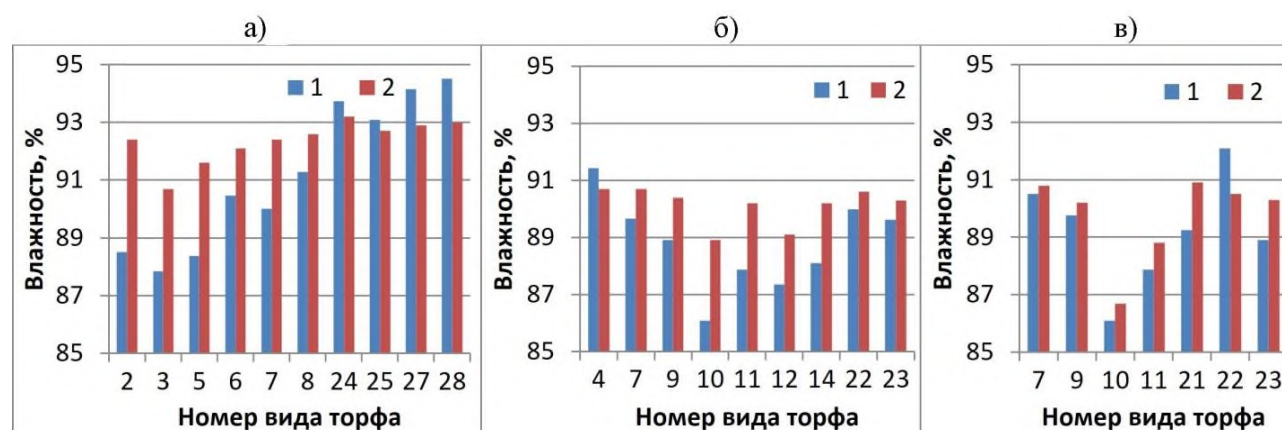


Рисунок 7. Средняя естественная влажность наиболее распространенных видов торфа в пределах их верхового (а), переходного (б) и низинного (в) типов в южной тайге на юго-востоке Западной Сибири (ЮТ ЗС) и в европейской части России (ЕЧ РФ). Виды торфа приведены на рис. 1 и 4. Районы исследования: 1 – ЮТ ЗС, 2 – ЕЧ РФ.

Таким образом, в южной тайге палеокриогенные процессы, происходившие в почвогрунтах и торфяных отложениях являются одним из основных факторов сформировавших региональные и зональные особенности свойств торфов района исследования.

Состав рабочей коллекции образцов торфа района исследования для определения содержания углерода. Согласно анализу базы данных свойств торфов типичных торфяных месторождений, в границе промышленной глубины ТЗ выявлен 71 вид. В сложении ТЗ верхового типа принимают участие 19 видов верхового типа, 26 – переходного и 16 – низинного; в ТЗ смешанного типа: 16 видов верхового, 22 – переходного и 18 – низинного; в ТЗ переходного типа: 10 видов верхового, 21 – переходного и 14 – низинного; в ТЗ низинного типа: 5 видов верхового, 14 – переходного и 22 – низинного типа. Для рабочей коллекции отобраны виды, встречаемость которых в пределах конкретного типа ТЗ не менее 0,4%. При этом суммарный процент встречаемости всех видов составил от 97,6 (для ТЗ верхового типа) до 98,7% (для ТЗ низинного типа). Всего отобрано 37 видов: 11 верховых, 15 переходных и 11 низинных (рис. 8).

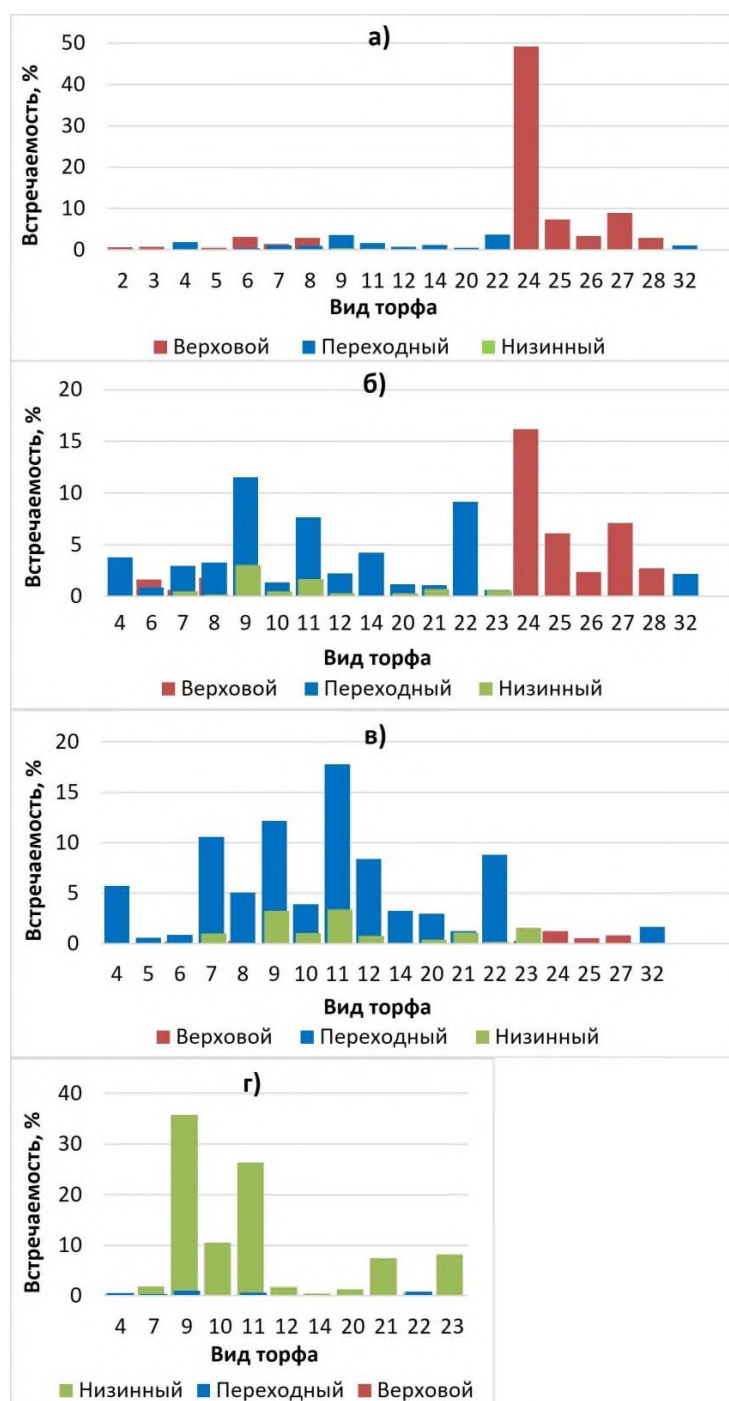


Рисунок 8. Встречаемость видов торфа в торфяных залежах верхового (а), смешанного (б), переходного (в) и низинного (г) типов, выбранных для создания рабочей коллекции образцов на определение содержания Сорг. Виды торфа: 20 – травяной. Названия других видов торфа приведены на рис. 1 и 4.

Расчет усредненных показателей степени разложения конкретных видов торфа в пределах каждого типа ТЗ выявил достаточно близкие значения с различием не более 4% (табл. 2). Это позволит в будущем использовать данные содержания Сорг, полученные для конкретных видов торфа, для расчета усредненных показателей Сорг для разных типов ТЗ (табл. 2). Исключение составили лишь некоторые виды переходного типа. С учетом этого рабочая коллекция образцов должна содержать минимум 42 вида торфа.

Таблица 2

Показатели степени разложения для видов торфа рабочей коллекции образцов и символы типов торфяных залежей (ТЗ) для которых будут использованы эти образцы

Вид торфа		Верховой тип		Переходный тип				Низинный тип	
№	Название	R, %	тип ТЗ	R, %	тип ТЗ	R, %	тип ТЗ	R, %	тип ТЗ
2	Сосново-сфагновый	28	вс						
3	Сосново-пушицевый	38	вс						
4	Сфагновый			21–22	сп	17–18	нп	19	н
5	Пушицевый	33	в	36	с	30	п		
6	Пушицево-сфагновый	26	всп	27–29	всп				
7	Шейхцериевый	25	вс	28–29	вспн			28–31	спн
8	Шейхцерицево-сфагновый	20	всп	24–25	вспн				
9	Осоковый			29	всп	25	н	27–30	вспн
10	Древесный			36–39	всп			39–41	спн
11	Древесно-осоковый			29–32	вспн			30–35	вспн
12	Древесно-травяной			34	всп			30–35	спн
14	Древесно-сфагновый			28–31	всп			26	н
20	Травяной			29–31	всп	24	н	29–32	спн
21	Осоково-гипновый			23–24	сп			25–27	спн
22	Осоково-сфагновый			25–27	всп	22	н	23	н
23	Гипновый			22	с			23–26	пн
24	Фускум	8–11	всп						
25	Магелланикум	11–13	всп						
26	Ангустифолиум	10	всп						
27	Комплексный	9	всп						
28	Сфагновый мочажинный	9–11	всп						
32	Травяно-сфагновый			25–27	всп	19	н		

Примечание.

Представлены типы ТЗ: в – верховая, с – смешанная, п – переходная, н – низинная и свойство торфа R – степень разложения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлено или подтверждено значительное влияние палеокриогенных процессов на свойства торфов, что обуславливает необходимость учитывать эти процессы для повышения корректности интерпретации данных, полученных при исследованиях болот, решения различных научных и прикладных задач, в том числе оценке баланса и запасов углерода в болотных экосистемах. Полученные для торфяных залежей разного типа данные по встречаемости и свойствам торфов позволят объективно подойти к созданию рабочей коллекции их образцов при определении содержания углерода в торфах района исследования.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

ЛИТЕРАТУРА

- Антипина Т.Г., Прейс Ю.И., Зенин В.Н. Динамика лесной растительности и климата в южной тайге Западной Сибири в позднем голоцене по данным спорово-пыльцевого анализа и AMS-датирования торфяного разреза Болтное // Экология. 2019. № 5. С. 356–364. <https://doi.org/10.1134/S0367059719050032>
- Архипов В.С., Маслов С.Г. Состав и свойства типичных видов торфа центральной части Западной Сибири // Химия растительного сырья. 1998. № 4. С. 9–16.
- Бахнов В.К. Биохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука, 1986. 193 с.
- Бляхарчук Т.А., Курьина И.В., Пологова Н.Н. Позднеголоценовая динамика растительного покрова и увлажнённости климата юго-восточного сектора Западно-Сибирской равнины по данным палинологического и ризоподного исследований торфяных отложений // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 45. С. 164–189. <https://doi.org/10.17223/19988591/45/9>
- Ваганов Е.А., Ведрова Э.Ф., Верховец С.В., Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Круглов В.Б., Онучин А.А., Сухинин А.И., Шибистова О.Б. Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Сибирский экологический журнал. 2005. Том 12. № 4. С. 631–650.
- Волкова В.С., Гнибиденко З.Н., Горячева А.А. Климатическая ритмика голоцена центральной части Западно-Сибирской равнины (палинология, магнетизм) // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Новосибирск: Издательство Института археологии и этнографии СО РАН, 2002. С. 48–57.
- Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П., Валяева Н.А., Глухова Т.В., Дубинин А.И., Глухов А.И., Маркелова Л.Г. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запасы углерода в их торфах // Почвоведение. 1994. № 12. С. 17–25.
- Елина Г.А., Юрковская Т.К. Методы определения палеогидрологического режима как основа объективизации причин сукцессий растительности болот // Ботанический журнал. 1992. Том 77. № 7. С. 120–124.
- Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Мелентьева Н.В. Запасы углерода в экосистемах болот // Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 1994. С. 128–139.
- Земцов А.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (северная и центральная части). Томск: Издательство Томского университета, 1976. 344 с.
- Инишева Л.И., Сергеева М.А., Смирнова О.Н. Депонирование и эмиссия углерода болотами Западной Сибири // Научный диалог. 2012. № 7. Естествознание и экология. С. 61–74.
- Караваева В.Н. Заболочивание и эволюция почв. Москва: Наука, 1982. 296 с.
- Карпенко Л.В. Основные закономерности развития леса и болота среднетаежной подзоны Обь-Енисейского междуречья в голоцене // Сибирский экологический журнал. 2000. № 5. С. 635–644.
- Король Н.Т. Наиболее распространённые виды торфа европейской части РСФСР, их техническая характеристика и возможные направления использования // Труды института Гипроторфразведка. Москва, 1969. Вып. 1. С. 3–98.
- Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И., Курнишкова Т.В., Слука З.А., Толпышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / В.Б. Куваев (ред.). Тула: Гриф и К°, 2001. 584 с.
- Лисс О.Л., Березина Н.А. Болота Западно-Сибирской равнины. Москва: Московский государственный университет, 1981. 205 с.
- Логинов П.Е., Хорошев П.И. Торфяные ресурсы Западно-Сибирской равнины. Москва: Геолторфразведка (ротопринт), 1972. 147 с.
- Любимова Е.Л., Симакова Л.А. Современное заболочивание лесов // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. Москва: Наука, 1977. С. 137–148.
- Матухин Л.Г., Матухина В.Г., Васильев И.П., Михантьева Л.С., Попова Г.И., Марков В.Д., Оспенникова Л.А., Скобеева Е.И. Классификация торфов и торфяных залежей Западной Сибири / Н.Н. Уланов (науч. ред.). Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 2000. 90 с.
- Ниценко А.А. Краткий курс болотоведения. Ленинград: Высшая школа, 1967. 148 с.
- Прейс Ю.И. Криогенез болотообразовательного процесса на территории Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / М.В. Кабанов (ред.). Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2002. С. 45–63.

Прейс Ю.И., Бобров В.А., Будашкина В.В., Гавшин В.М. Оценка потоков минерального вещества по свойствам торфяных отложений Бакчарского болота (южная тайга Западной Сибири) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2010. Том 316. № 1. С. 43–47.

Прейс Ю.И. Палеокриогенные процессы в торфяных отложениях юго-востока Западной Сибири // Труды Международной конференции «Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы» (г. Тюмень, 2–5 июля 2015 года) / В.П. Мельников, Д.С. Дроздов (ред.). Тюмень: Издательство «Эпоха», 2015. С. 305–308.

Прейс Ю.И. Динамика глядово-озерного комплекса Иксинского болота (Западная Сибирь) как отклик на изменения климата второй половины голоцена // География и природные ресурсы. 2016. № 2. С. 94–103.

Прейс Ю.И., Головацкая Е.А., Кабанов М.М. Разработка методического подхода к оценке запасов углерода в торфяных месторождениях Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 2. e209. <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.209>

Прейс Ю.И. Индикаторы палеокриогенных процессов, нарушающих закономерности аутогенного развития болот в зоне сезонного промерзания пород Западной Сибири // Limnology and Freshwater Biology. 2024. № 4. С. 562–567. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-4-562>

Смоляницкий Л.Я. Некоторые закономерности формирования дернины сфагновых мхов // Ботанический журнал. 1977. Том 62. № 9. С. 1262–1272.

Сорокин В.Н., Задунайский Я.Н., Стеклов И.А. Методическое руководство по разведке торфяных месторождений. Москва: Геолторфразведка, 1976. 572 с.

Торфяные месторождения Западной Сибири. Москва, 1957. 149 с.

Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. Москва: Наука, 1977. 197 с.

Preis Yu.I., Krutikov V.A., Polischuk V.Yu. Consistency of Iksinskoe bog dynamics with extreme the Holocene climate events // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 611, International Conference and Early Career Scientists School on Environmental Observations, Modeling and Information Systems (Tomsk, 7–11 September 2020). 611 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/611/1/012027>

Sheng Y., Smith L.C., MacDonald G.M., Kremenetski K.V., Frey K.E., Velichko A.A., Lee M., Beilman D.W., Dubinin P. A high-resolution GIS-based inventory of the west Siberian peat carbon pool // Global Biogeochemical Cycles. 2004. Vol. 18. No. 3. P. GB3004. <https://doi.org/10.1029/2003GB002190>

Поступила в редакцию 21.10.2024

Принята 18.11.2024

Опубликована 02.12.2024

Сведения об авторах:

Прейс Юлия Ивановна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геоинформационных технологий ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск, Россия); preisyui@rambler.ru

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

Кабанов Михаил Михайлович – младший научный сотрудник лаборатории геоинформационных технологий ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск, Россия); mike.kabanov@gmail.com

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



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

Characteristics of peats of the southern taiga in the southeast of West Siberia as a basis for carbon stocks assessment in peat deposits

© 2024 Yu. I. Preis , E. A. Golovatskaya , M. M. Kabanov 

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, pr. Akademicheskoy, 10/3, Tomsk, Russia. E-mail: preisyui@rambler.ru

The aim of the study. To identify regional and zonal features of peat properties and the degree of influence on them of paleocryogenic processes, as a basis for correct paleoreconstructions of the functional state of mires and carbon stocks assessment in peat deposits in the study area.

Location and time of the study. Subzone of the southern taiga within the Tomsk region, Russia.

Methods. Using the database developed for the "Peat deposits of Tomsk region" cadastre and the archived materials of peat deposits geological exploration, the selection of peat deposits and types of peat typical for the study area was carried out, and the indicators of their occurrence, average degree of decomposition, ash and moisture content were calculated. To identify regional and zonal peat properties, a comparison with the similar characteristics of peats in the European part of Russia was conducted. To substantiate the cryogenesis of peat properties, the literature data about the effect of permafrost on the dynamics and properties of peat mires in the cryolithozone, alongside with the previously obtained data on the reconstruction of paleocryogenic processes in the thoroughly studied and dated peat sections of the study area, were used.

Results. For 21 identified typical types of peat, the known regional and zonal features of their properties were established or confirmed. The determining influence of seasonal permafrost and paleocryogenic processes on the botanical composition and occurrence of peat types, on significant variation in their properties, unusually high ash content of fen and transitional peats, low average degrees of decomposition and high values of the studied properties in other types of peats, secondary changes in peat properties and specific peat deposition in the deposits was substantiated. The species composition of the working collection of peat samples from the study area for assessing their carbon content was chosen.

Conclusions. Due to the significant influence of paleocryogenic processes on peat properties, it is necessary to take the processes into account in order to improve the interpretation of data obtained during studies of mires for solving various scientific and applied problems, including assessing carbon balance and reserves in mire ecosystems. The data about peat occurrence and properties, obtained for peat deposits of different types, allow an objective approach to developing a working collection of peat samples to assess peat carbon content in the study area.

Keywords: type of peat; occurrence; properties; cryogenesis; southern taiga; West Siberia.

How to cite: Preys Yu.I., Golovatskaya E.A., Kabanov M.M. Characteristics of peat of the southern taiga in the southeast of West Siberia as a basis for carbon stocks assessment in peat deposits. *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(4). e286. DOI: [10.31251/pos.v7i4.286](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.286) (in Russian with English abstract).

FUNDING

The work was carried out as a part of the most important innovative project of national importance "Development of a System of Ground-based and Remote Monitoring of Carbon Pools and Greenhouse Gas Flows on the Territory of the Russian Federation, ensuring the Creation of a System for Recording Data on the Fluxes of Climate-active Substances and Carbon Budget in Forests and other Terrestrial Ecological Systems" (reg. No. 123030300031-6).

REFERENCES

- Antipina T. G., Preis Yu. I., Zenin V. N. Dynamics of Forest Vegetation and Climate in the Southern Taiga of Western Siberia in the Late Holocene According to Spore–Pollen Analysis and Ams Dating of the Peat Bog. *Russian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 50. No. 5. P. 445–452. <https://doi.org/10.1134/S1067413619050035>
- Arhipov V.S. Maslov S.G. Composition and properties of typical peat species of the central part of Western Siberia. *Khimija rastitel'nogo syr'ja*. 1998. No. 4. P. 9–16. (in Russian).
- Bakhnov V.K. Biochemical aspects of the swamp-forming process. Novosibirsk: Nauka Publ., 1986. 193 p. (in Russian).
- Blyakharchuk T.A., Kurina I.V., Pologova N.N. Late-holocene dynamics of vegetation cover and humidity of climate in the southeastern sector of the West Siberian plain according to the data of palynological and rhizopod research of peat deposits. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2019. No. 45. P. 164–189. (in Russian). <https://doi.org/10.17223/19988591/45/9>
- Vaganov E.A., Vedrova E.F., Verkhovets S.V., Efremov S.P., Efremova T.T., Kruglov V.B., Onuchin A.A., Sukhinin A.I., Shibistova O.B. Forests and swamps of Siberia in the global carbon cycle. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2005. Vol. 12. No. 4. P. 631–650. (in Russian).
- Volkova V.S., Gnibidenko Z.N., Goryacheva A.A. Holocene climatic rhythm of the central part of the West Siberian Plain (palynology, magnetism). In book: Basic regularities of global and regional changes in climate and natural environment in the late Cenozoic of Siberia. Novosibirsk: Publishing house of the Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS, 2002. P. 48–57. (in Russian).

- Vompersky S.E., Ivanov A.I., Tsyganova O.P., Valyaeva N.A., Glukhova T.V., Dubinin A.I., Glukhov A.I., Markelova L.G. Swampy organogenic soils and bogs of Russia and carbon stocks in their peats. *Pochvovedenie*. 1994. No. 12. P. 17–25. (in Russian).
- Elina G.A., Yurkovskaya T.K. Methods of paleohydrological regime determination as basis for objectivization of causes of vegetation succession of the bogs. *Botanicheskii zhurnal*. 1992. Vol. 77. No. 7. P. 120–124. (in Russian).
- Efremov S.P., Efremova T.T., Melentjeva N.V. Carbon stocks in bog ecosystems. In book: *Carbon in ecosystems of forests and bogs of Russia*. Krasnoyarsk: V.N. Sukachev Forest Institute SB RAS, 1994. P. 128–139. (in Russian).
- Zemtsov A.A. *Geomorphology of the West Siberian Plain (northern and central parts)*. Tomsk: Tomsk University Publ., 1976. 344 p. (in Russian).
- Inisheva L.I., Sergeeva M.A., Smirnova O.N. Deposition and emission of carbon by bogs of Western Siberia. *Nauchnyi dialog (Scientific Dialogue)*. 2012. No. 7. P. 61–74. (in Russian).
- Karavaeva V.N. *Paludification and evolution of soils*. Moscow: Nauka Publ., 1982. 296 p. (in Russian).
- Karpenko L.V. Main regularities of forest and bog development of the middle taiga subzone of the Ob-Yenisei interfluves in the Holocene. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2000. No. 5. P. 635–644. (in Russian).
- Korol N.T. The most common types of peat of the European part of RSFSR, their technical characteristics and possible directions of use. *Trudy instituta Giprotorfrazvedka*. Moscow, 1969. Vol. 1. P. 3–98. (in Russian).
- Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A., Berezina N.A., Inisheva L.I., Kurnishkova T.V., Sluka Z.A., Tolpysheva T.Y., Shvedchikova N.K. The mire systems of Western Siberia and their environmental meaning / V.B. Kuvaev (ed.). Tula: Grif and K° Publ., 2001. 584 p. (in Russian).
- Liss O.L., Berezina N.A. *Mires of the West Siberian Plain*. Moscow: Moscow State University Publ., 1981. 205 p. (in Russian).
- Loginov P.E., Khoroshev P.I. *Peat resources of the West Siberian Plain*. Moscow: Geoltorfrazvedka Publ. (rotoprint), 1972. 147 p. (in Russian).
- Lyubimova E.L., Simakova L.A. Modern forests paludifications. In book: *Scientific prerequisites for the mire development of Western Siberian*. Moscow: Nauka Publ., 1977. P. 137–148. (in Russian).
- Matukhin L.G., Matukhina V.G., Vasiliev I.P. Classification of peats and peat deposits of Western Siberia / Ulanov N.N. (ed.). Novosibirsk: NITs OLG, Siberian Branch of the RAS Publ., 2000. 90 p. (in Russian). Nitsenko A.A. *Short course of mire science*. Leningrad: Higher School Publ., 1967. 148 p. (in Russian).
- Preis Yu.I. Cryogenesis of the bog formation process in the territory of the Great Vasyugan bog. In book: *Great Vasyugan bog. Current status and evolution processes* / M.V. Kabanov (ed.). Tomsk: Publishing House of the Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 2002. P. 45–63. (in Russian).
- Preis Yu.I., Bobrov V.A., Budashkina V.V., Gavshin V.M. Estimation of mineral matter flows by properties of peat deposits of Bakchar bog (southern taiga of Western Siberia). *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2010. Vol. 316. No. 1. P. 43–47. (in Russian).
- Preis Yu.I. Paleocryogenic processes in peat deposits of the southeast of Western Siberia. In book: *Trudy Mezhdunarodnoy konferencii "Arktika, Subarktika: mozaichnost', kontrastnost', variativnost' kriosfery"* (Tyumen, 2–5 July 2015) / V.P. Melnikov, D.S. Drozdov (ed.). Tyumen: Epokha Publishing House, 2015. P. 305–308. (in Russian).
- Preis Yu.I. Dynamics of the ridge-lake complex of the Iksinsky bog (Western Siberia) as a response to climate change in the second half of the Holocene. *Geografia i prirodnye resursy*. 2016. No. 2. P. 94–103. (in Russian).
- Preis Yu.I., Golovatskaya E.A., Kabanov M.M. The Development of the methodical approach for the estimation of carbon stocks in peat deposits of West Siberia. *The Journal of Soils and Environment*. 2023. Vol. 6. No. 2. e209. <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.209>
- Preis Yu.I. Indicators of paleocryogenic processes that disrupt the patterns of peatland autogenic development in the zone of seasonal freezing of rocks of Western Siberia. *Limnology and Freshwater Biology*. 2024. No. 4. P. 562–567. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-4-562>
- Smolyanitsky L.Ya. Some regularities of turf formation of sphagnum mosses. *Botanicheskii zhurnal*. 1977. Vol. 62. No. 9. P. 1262–1272. (in Russian).
- Sorokin V.N., Zadunayskiy Y.N., Steklov I.A. *Methodical guide for exploration of peat deposits*. Moscow: Geoltorfrazvedka Publ., 1976. 572 p. (in Russian).
- Peat deposits of Western Siberia. Moscow, 1957. 149 p. (in Russian).
- Khotinsky N.A. *Holocene of Northern Eurasia*. Moscow: Nauka Publ., 1977. 197 p. (in Russian).

Preis Yu.I., Krutikov V.A., Polischuk V.Yu. Consistency of Iksinskoe bog dynamics with extreme the Holocene climate events. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 611, International Conference and Early Career Scientists School on Environmental Observations, Modeling and Information Systems (Tomsk, 7–11 September 2020). 611 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/611/1/012027>

Sheng Y., Smith L.C., MacDonald G.M., Kremenetski K.V., Frey K.E., Velichko A.A., Lee M., Beilman D.W., Dubinin P. A high-resolution GIS-based inventory of the west Siberian peat carbon pool. Global Biogeochemical Cycles. 2004. Vol. 18. No. 3. P. GB3004. <https://doi.org/10.1029/2003GB002190>

Received 21 October 2024

Accepted 18 November 2024

Published 02 December 2024

About the authors:

Yulia I. Preis – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Geo-information Systems in the Institute for Monitoring Climatic and Ecological Systems, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); preisyui@rambler.ru

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

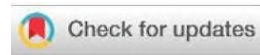
Mikhail M. Kabanov – Junior Researcher of the Laboratory of Geo-information Systems in the Institute for Monitoring Climatic and Ecological Systems, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); mike.kabanov@gmail.com

The authors read and approved the final manuscript



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

УДК 631.4

<https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.251>

История исследований лаборатории биогеоценологии ИПА СО РАН: эколого-эволюционное направление в учении о гумусе почв

© 2023 М. И. Дергачева , Н. Л. Бажина 

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

Представлен обзор исследований, проведенных в лаборатории биогеоценологии (БГЦ) ИПА СО РАН, по проблемам, связанным с теоретическими и прикладными аспектами эколого-эволюционного направления в учении о гумусе почв. Приводится анализ новых подходов, методов, приемов, использованных при изучении системы гумусовых веществ почв. Дается обзор теоретических и прикладных положений в рамках нового эколого-эволюционного направления в учении о гумусе почв. В период проведения исследований гумусовой составляющей почв, разработаны основы нового, не имеющего аналогов направления в учении о гумусе почв – эколого-эволюционного, в рамках которого выявлены основные закономерности процесса гумусообразования в меняющейся естественным и антропогенным путем природной обстановке.

Рабочая база данных по эколого-гумусовым связям, содержащая информацию о составе, структурных особенностях и свойствах более, чем десяти тысяч гуминовых кислот почв разного возраста и территориальной локализации, вместе с подробными сведениями об экологических условиях их формирования способствовала подбору рядов почв, отличающихся только по одному из факторов или их характеристик, и использованию монофакторного анализа для установления особенностей влияния каждого из них. Обобщение имеющихся данных позволило привести веские доказательства реальности существования гуминовых кислот, их пространственно-временной специфичности, а также высокой индикаторной значимости для классификации и диагностики состояния природной среды, реконструкции палеоприродной обстановки. Разработанный для этих целей, теоретически и экспериментально обоснованный педогумусовый метод дал возможность проведения многочисленных оценок состояния и изменения природной среды в условиях Антарктики (на примере почв оазиса Ширмахера) и разных регионов Евразии, а также осуществления палеоприродных реконструкций для разных отрезков плиоцен-голоценового периода на отдельных территориях.

Эколого-эволюционное направление в учении о гумусе почв способствует более рациональному и экономичному планированию теоретических и прикладных исследований почв, экосистем и биосферы в целом. В этой связи, предстоящие работы сотрудников лаборатории БГЦ д.б.н., проф. М.И. Дергачевой, к.б.н. Н.Л. Бажиной, Е.Г. Захаровой будут направлены на расширение доказательной базы сформулированных ранее положений эколого-эволюционного направления в изучении гумуса почв, детализации используемых методических подходов, оценке значимости разных приемов изучения, сжатия и интерпретации материалов, определения пределов количественных показателей для разных параметров гуминовых кислот и гумусовых веществ в целом, которые могут выступать в качестве индикаторов изменений, происходящих в биосфере на разном уровне ее организации. Аналитические и экспериментальные исследования, направленные на дальнейшую детализацию педогумусового метода для диагностики почв, определения состояния экологических условий их формирования, реконструкции палеоприродной среды позволят расширить область применения этого метода к объектам с разной историей происхождения и условий локализации.

Ключевые слова: эколого-эволюционное направление; система гумусовых веществ; гуминовые кислоты; индикаторы; гумусовая память почв и экосистем; педогумусовый метод.

Цитирование Дергачева М.И., Бажина Н.Л. История исследований лаборатории биогеоценологии ИПА СО РАН: эколого-эволюционное направление в учении о гумусе почв // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 4. e251. DOI: [10.31251/pos.v7i4.251](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.251)

В лаборатории биогеоценологии (БГЦ) эколого-эволюционное направление в учении о гумусе почв получило свое обоснование и развитие с конца 1997 года, когда в период перестройки структуры Института в нее перешла доктор биологических наук, профессор Мария Ивановна Дергачева вместе с членами своей группы – инженерами Е.Г. Коняевой (ныне младший научный сотрудник Е.Г. Захарова) и Е.А. Солодухиной (которая вскоре уволилась). В течение всего периода работы в лаборатории БГЦ М.И. Дергачевой, под ее руководством вели исследования аспиранты и молодые ученые (в том числе из Казахстана и Южной Кореи), которые успешно защитили кандидатские диссертации, а одна – докторскую. Три из них в дальнейшем в разное время пополнили

состав группы, продолжив совместные исследования в лаборатории БГЦ: И.Н. Феденева, К.О. Очур и Н.Л. Бажина. Следует отметить, что очень многие ученики М.И. Дергачевой, работающие в разных Вузах и НИИ, продолжают с ней совместные исследования, занимаясь разными аспектами эколого-эволюционного направления в изучении почв, почвенных компонентов и экологических условий их формирования.

К моменту перехода в лабораторию БГЦ М.И. Дергачева, которая с самого начала ее работы в ИПА СО РАН в 1975 г. активно решала широкий круг вопросов в рамках эволюционно-генетического направления в почвоведении, уже была автором и соавтором нескольких монографий. В них были обоснованы новые методические подходы к изучению гумуса почв в статике и динамике (Дергачева, 1984); введено концептуальное понятие гумусового профиля почв как «совокупности химически и генетически сопряженных однородных зон (слоев) почвы, каждая из которых характеризуется определенным, свойственным только этой зоне, сочетанием элементарных гумусообразовательных процессов (ЭГП) и сравнительно одинаковой степенью интенсивности их проявления» (Дергачева, 1984, с. 32); представлена комплексная система методов и принципов интерпретации результатов изучения палеопочв и одного из основных компонентов – гумусовых веществ – для диагностики и реконструкции условий их формирования (Дергачева, 1984, 1989, 1997а; Дергачева, Зыкина, 1981, 1988; Дергачева и др., 1984; и др.); впервые обосновано представление о гумусе почв как природной открытой системе гумусовых веществ и выявлены некоторые закономерности ее изменения в пространстве и во времени (Дергачева, 1989); обоснована необходимость и правомочность выделения археологического почвоведения в самостоятельный раздел науки о почве, объектом которого являются почвы местообитаний человека от древнейшего времени до исторического (включительно), а предметом – информация о природных условиях существования и деятельности человека, закодированная в почвах, ее расшифровка; показана применимость предложенных методов и принципов изучения признаков педогенеза на основе гумуса почв при решении широкого круга задач почвоведения и археологии (Дергачева, 1997а).

Позднее, в период работы в лаборатории БГЦ с 1997 г. по настоящее время, была продолжена разработка теоретических и методических вопросов пространственно-временной изменчивости системы гумусовых веществ на разных уровнях ее организации (от ландшафтного до макромолекулярного), а также функциональной роли гумусовых веществ в биосферных процессах. Особое внимание было сосредоточено на вопросах эколого-эволюционной направленности поведения почв и их компонентов в меняющейся природной обстановке. Реальность разработки разных аспектов эколого-эволюционного направления в учении о гумусе почв стала возможной в результате выполнения не только ежегодных плановых заданий, а с 2013 г. – госзаданий, в которые эколого-эволюционный блок был включен как самостоятельный раздел, но и инициативных исследований, совместных с другими организациями, а также поддерживаемых фондами РФФИ и Университеты России.

На основе материалов, полученных в период работы М.И. Дергачевой в ИПА СО РАН, как в лабораториях географии и генезиса почв, затем географии почв, так и биогеоценологии, к настоящему времени сформирована рабочая база данных для ряда регионов Евразии по эколого-гумусовым связям, то есть экологической обусловленности природных особенностей гумусовых веществ, которая содержит информацию для более, чем 10-ти тысяч единиц о доле участия и соотношении разных компонентов гумуса, составе, структурных особенностях и свойствах гуминовых кислот почв разного возраста и географической локализации, а также подробные сведения об экологических условиях их формирования. Ежегодно эта база данных пополняется новыми материалами, получаемыми членами группы и их единомышленниками с использованием идентичных методов, методик и приемов изучения системы гумусовых веществ почв и одного из ее основных компонентов – гуминовых кислот.

За период разработки эколого-эволюционного направления в лаборатории БГЦ проведены следующие исследования и установлены вытекающие из них положения.

Для пополнения базы данных по эколого-гумусовым связям продолжено выделение гуминовых кислот из почв разного возраста и условий формирования, а также изучение их состава, структурных особенностей и свойств разными аналитическими и инструментальными методами. (Тихова и др., 1998, 2000, 2001, 2002; Лаврик и др., 2000, 2004; Дергачева и др., 2012а, 2012б, 2015; Бажина и др., 2014, 2019; Бажина, 2016; Муллоев и др., 2020; Бажина, Дергачева, 2021; Dergacheva, 2000а; и др.). Применение при этом стандартизированных подходов, методов и приемов на всех этапах получения конечной информации и интерпретации ее с позиций системного подхода и теоретических

положений экологии почв позволило, в конечном итоге, доказать высокую значимость гумусовых веществ почв и, особенно, гуминовых кислот при решении широкого ряда прикладных задач: определении типового состояния почв и отклонений его под влиянием антропогенных изменений, воссоздании картины эволюции природной среды для многочисленных локальных и региональных территорий, выявлении влияния криогенеза как субфактора на состояние гумусовой составляющей почв и существенной роли гумусовых веществ в диагностике условий формирования почв и палеопочв (а также условий обитания древнего человека) в плиоцен-голоценовый период палеогеографической истории, и др. (Дергачева, 2018, 2021; Дергачева и др., 2000а, 2006; и др.).

Обобщение полученных материалов позволило сформировать серию доказательств того, что гуминовые вещества – это реально существующие природные углеродсодержащие соединения, в которых соотношение структурообразующих элементов (Н:С, О:С, С:N) в почвах разных условий почвообразования лежит в определенных статистически достоверно различающихся пределах. Оценка положения их характеристик в координатных полях соотношения основных структурообразующих элементов (Н:С–О:С) показала (рис. 1, А–Г), что границы этих полей устойчиво отличаются индивидуальностью не только при выявлении различий на уровне классификационных единиц (например, разных типов и подтипов почв, рис. 1, А), но и на уровне разных горизонтов почв одной классификационной единицы (рис. 1, В). В то же время, гуминовые кислоты почв, сформированных в аналогичных биоклиматических условиях в разных регионах (Бажина и др., 2019; рис. 1, Б) имеют идентичные величины этого показателя. Положение полей распределения этих показателей по отношению оси О:С связано с их разным гранулометрическим составом (рис. 1, Г) (Дергачева, 2018, 2021).

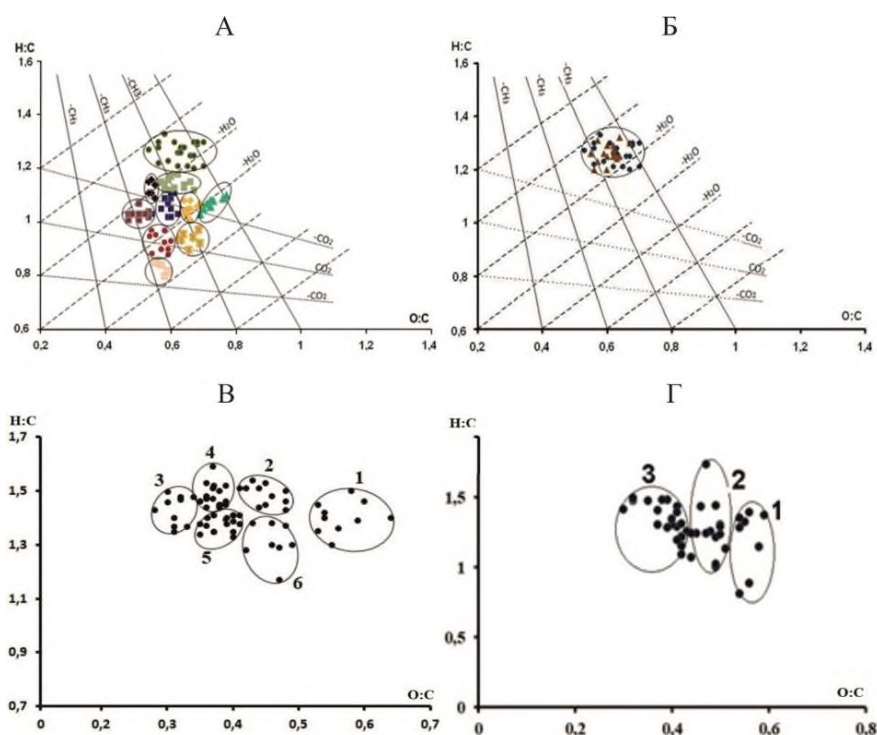


Рисунок 1. Примеры положения величины соотношения основных структурообразующих элементов гуминовых кислот почв разных условий формирования в координатных полях Н:С–О:С (Дергачева, 2018, с дополнениями): А – для почв разного генезиса. Обозначения: ● – горно-тундровые почвы; ■ – горно-тундровые дерновые почвы; ■ – горно-тундровые степные; ▲ – горно-таежные дерновые; ■ – горно-дерновые; ◆ – каштановые криоаридные почвы; ◆ – горно-каштановые почвы северной экспозиции; ■ – горно-каштановые почвы южной экспозиции; ● – каштановые почвы; ■ – боровые пески; Б – горно-тундровых почв, сформированных в одинаковых биоклиматических условиях разных регионов. Обозначения: ● – Тувы; ▲ – Горного Алтая; В – поля распределения основных показателей элементного состава для разных горизонтов одногенетичных почв п-ова Быковский. Обозначения, горизонты: 1 – органогенные; 2 – В; 3 – Вg; 4 – G1; 5 – G2; 6 – Gt (на границе с мерзлотой); Г – соотношение О:С в гуминовых кислотах тундровых почв Якутии разного гранулометрического состава: 1 – супесчаного и легкосуглинистого; 2 – среднесуглинистого; 3 – тяжелосуглинистого.

Обобщение имеющихся материалов с позиций монофакторного анализа позволило установить, что каждая гуминовая кислота, имеющая индивидуальные величины соотношений водорода и углерода (Н:С), соответствует определенному сочетанию среднегодовых многолетних температур и осадков (рис. 2), а также выявить зависимость величины отношения О:С от гранулометрического состава (см. рис. 1, Г).

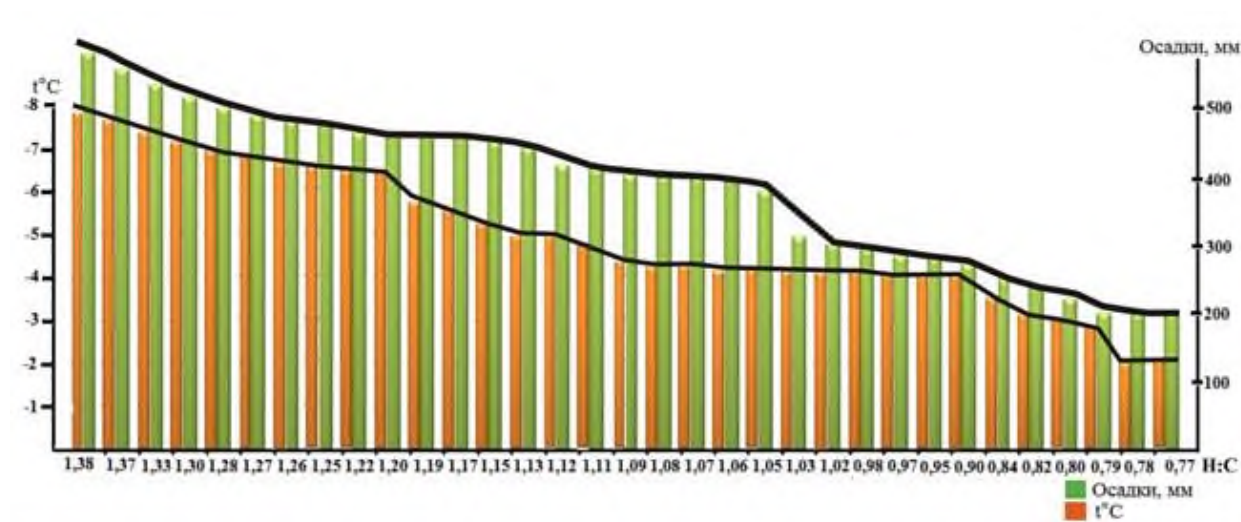


Рисунок 2. Соответствие конкретных величин Н:С гуминовых кислот сочетанию температур и осадков их формирования (на примере территории Тувы) (Дергачева, 2018, с дополнениями).

Продолжено экспериментальное обоснование и уточнение впервые изложенного в 1989 г. (Дергачева, 1989) положения о гумусе как системе гумусовых веществ почв, а его компонентах как природных открытых саморегулируемых супрамолекулярных системах разной степени организованности (Дергачева, 2018, 2021), лежащее в основе решения проблемы поведения почв в меняющейся природной обстановке (Дергачева, 2001б, 2004, 2005а, 2018, 2021; Дергачева, Потапова, 2007; и др.).

Расширено и дополнено концептуальное понятие гумусового профиля почв, предложенного ранее (Дергачева, 1984), учитывающее генезис, историю и эволюцию его формирования, показаны возможности использования его характеристик для расшифровки основных этапов гумусо- и почвообразования от плиоцена до голоцена (Дергачева, 1997б, 2018; Каллас, Дергачева, 2007, 2011а, 2011б; Дергачева и др., 2000б, 2010; Dergacheva, 2000b). В настоящее время в этом направлении проводит свои исследования младший научный сотрудник Е.Г. Захарова (Захарова и др., 2023).

Разработана и обоснована концепция гумусовой памяти почв и экосистем, суть которой заключается в признании гуминовых кислот носителем и хранителем информации о биоклиматическом состоянии природной среды (Дергачева, 1997а, 2001а, 2008, 2009а, 2009б, 2018, 2021); выделено три уровня гумусовой памяти почв (Дергачева, 2009а), описаны и обоснованы возможности и ограничения их применения при решении разных вопросов, связанных с эволюцией почв и природной среды, а также диагностикой и реконструкцией палеоэкологических условий педогенеза (Дергачева, 2008, 2018; Dergacheva, 2001b, 2003; Fedeneva, Dergacheva, 2003, 2006; Dergacheva et al., 2001, 2016а, 2016b; и др.).

На основе концепции о гумусовой памяти почв разработан, теоретически обоснован и опробован при реконструкции палеоклиматов, типов и условий почвообразования, экологических условий обитания древнего человека новый *педогумусовый метод диагностики почв и реконструкции палеоприродной среды*, который оказался приемлемым и надежным для объектов плиоцен-голоценового времени; первоначальная версия этого метода была опубликована в конце XX века (Дергачева, 1997а, 1998а, 1998б; Dergacheva, 1996, 1998). В дальнейшем он постоянно дорабатывался: уточнялся комплекс применяемых индикаторов, оценивались наборы признаков, наиболее приемлемых для решения разных прикладных задач, расширялось число объектов, сформированных в различающихся условиях природной среды, которые могут служить точкой отсчета при выявлении направленности изменений почв и окружающей среды при разных возмущающих воздействиях (Дергачева и др., 2000а; Дергачева, 2011а, 2018; Dergacheva, 2003, 2004; и др.); на его основе проведены многочисленные реконструкции природных обстановок для разных

районов Евразии, часть из которых представлена в монографических работах (Дергачева, 1997а, 2008, 2011а, 2018; Дергачева и др., 2000а, 2006; Лбова и др., 2000, 2005; Палеопочвы..., 2012; The Paleolithic archaeology..., 2006), а также в российских и зарубежных публикациях (Дергачева и др., 2002а, 2002б; Дергачева, Васильева, 2006; Дергачева, Очур, 2012; Учаев и др., 2018; Дергачева и др., 2024; Dergacheva, 2003; Fedeneva, Dergacheva, 2006; Dergacheva et al., 2001, 2016а, 2016б; Lefort et al., 2018; и др.). В таблице приводится пример проведения диагностики климатических параметров формирования, датированных по радиоуглероду почв на основе выявленных связей между величинами Н:С гуминовых кислот и климатическими показателями (см. рис. 2).

Таблица

Реконструированные среднегодовые температуры воздуха и осадки по величине Н:С гуминовых кислот датированных палеопочв и отложений (Дергачева, 2018, с дополнениями)

№	Разрез	Глубина, см	Дата по ^{14}C , л.н.	Н:С	Среднегодовые	
					t, °C	W, мм
1	Биче-Басэс	20–30	680±90 (СОАН 7141)	1,51	–7,8	870
2	Кара-Холь	18–20	2405±91 (LRMA GA11)	1,28	–6,6	450
3	Шанчы	32–42	609±198 (LRMA GA17)	1,21	–5,8	430
4	Улуг-Хондергей I	90–94	2490±45 (СОАН 7140)	1,05	–4,3	380
5	Сесерлиг	90–120	4105±80 (СОАН 7139)	1,03	–4,1	300
6	Барык	215–230	6309±305 (LRMA GA30)	1,03	–4,1	290
7	Улуг-Хондергей II	42–50	4970±105 (СОАН 9303)	1,01	–4,0	290
8	Шанчы	152–175	8430±135 (СОАН 7446)	0,89	–3,7	270
9	Ондум	24–36	605±55 (СОАН 7447)	0,88	–3,6	240
10	Сесерлиг	58–62	2695±55 (СОАН 7138)	0,83	–3,2	220
11	Улуг-Хондергей II	81–88	7745±145 (СОАН 9304)	0,70	–2,1	200

В период проведения исследований в лаборатории БГЦ обоснована необходимость выделения в учении о гумусе почв трех самостоятельных направлений, имеющих единый объект, но разный предмет, а также методологические принципы и методические основы и приемы решения вопросов в рамках каждого из них: теоретическое (гумусоведение), предметом которого является *решение вопросов методологии и практической реализации принципов познания гумусовых веществ почв и интерпретации результатов их изучения*; химическое – предмет которого состоит в *познании механизмов* формирования и обусловленности состава, структурных особенностей и свойств гумусовых веществ химическими, физико-химическими, биохимическими и другими процессами, приводящими к их образованию; а также экологическое направление с предметом, заключающимся в познании природных (экологических) *причин*, обуславливающих появление и направленность механизмов, приводящих к формированию компонентов гумусовых веществ с определенными составом, свойствами и структурными особенностями, которые определяют специфику их поведения и выполнения функций разного уровня (Дергачева, 2018, 2021).

Выявлена высокая и разносторонняя индикаторная значимость гуминовых кислот, позволяющая определять биоклиматические условия формирования почв локальных участков (по величинам Н:С и тесно коррелирующими с ними другим показателям состава, структуры и свойств гуминовых кислот), величину периода биологической активности (согласно ее пониманию по Д.С. Орлову), текстурные особенности почв, палеопочв и осадков (определяемые по соотношению О:С в ГК) и др. (Дергачева, 2018; Дергачева и др., 2012а). Особое внимание уделено флуоресцентной способности гуминовых кислот, которая зависит от их структурной организации и условий формирования. Показана высокая индикаторная значимость комплекса количественных показателей спектров флуоресценции испускания (λ_{max} , M_1 , α). Эти индикаторы имеют тесные связи с климатическими показателями и успешно используются при реконструкции природных условий разных периодов палеогеографической истории, в том числе, периода биологической активности (ПБА) (Дергачева, 2018; Дергачева и др., 2024; и др.). В настоящее время вопросами о роли флуоресценции гуминовых кислот в качестве индикатора природных процессов занимается старший научный сотрудник, кандидат биологических наук Н.Л. Бажина (Бажина, Дергачева, 2021, 2023; Бажина, 2023).

Обоснованы положения экологии почв как науки биосферного класса, главные разделы, теоретические положения и принципы которой лежат в основе анализа и интерпретации материалов исследования системы гумусовых веществ почв (Дергачева, 2002, 2005б, 2009в, 2011б, 2018; и др.); а также предложена оригинальная, отличающаяся от ранее имеющихся в литературе, систематизация экологических функций гумусовых веществ и обоснована необходимость выделения меморатной функции (или функции памяти) почв (Дергачева, 2003; Dergacheva, 2001a).

В период работы в лаборатории БГЦ разработан курс лекций по экологии почв и химии почв (Дергачева, 2012) для студентов биологических и химических специальностей, курс лекций по археологическому почвоведению и написаны учебно-методические пособия к ним (Дергачева, 2007, 2010а). Проведено десять (2010–2019 гг.) ежегодных Международных научных молодежных школ по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого», инициатором и основным организатором которых была М.И. Дергачева (Дергачева, 2010б; Дергачева, Макеев, 2012, 2019), а вдохновителями, участниками и помощниками – все члены лаборатории БГЦ и некоторых других лабораторий ИПА СО РАН. За период проведения мероприятия опубликовано девять сборников материалов молодых участников Школы (2011–2019 гг.), монография «Палеопочвы, природная среда и методы их изучения» (2012), написанная лекторами Школы, а также четыре выпуска серии лекций российских и зарубежных ученых в виде двуязычных текстов (Феденева, 2014; Седов, 2016; Пивоварова, Благодатнова, 2017; Зауэр и др., 2019).



Рисунок 3. Участники Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого» у почвенного разреза (2018 год, Алтайский край). Фото М.И. Дергачевой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В период проведения в лаборатории биогеоценологии исследований гумусовой составляющей почв разработаны основы нового, не имеющего аналогов направления в Учении гумуса почв – эколого-эволюционного, в рамках которого выявлены основные закономерности изменения процесса гумусообразования в меняющейся естественным и антропогенным путем природной обстановке.

На основе разработанной и используемой рабочей базы данных по эколого-гумусовым связям, содержащей информацию о составе, структурных особенностях и свойствах для почти десяти тысяч гуминовых кислот почв разного возраста и географической локализации, а также подробные сведения об экологических условиях их формирования (вопреки существующей параллельно точке зрения об отсутствии этих самостоятельных особых природных соединений) доказана реальность существования гуминовых кислот, выявлена их пространственно-временная специфичность, доказана классификационная, диагностическая и индикационная значимость, разработан педогумусовый метод диагностики и реконструкции палеоприродной среды, на основе чего проведены многочисленные оценки состояния и изменения природной среды в Антарктике (на примере почв оазиса Ширмахера) и в разных регионах Евразии, осуществлены реконструкции палеоприродной среды плиоцен-голоценового периода для отдельных локальных территорий.

Основные материалы, позволившие выработать перечисленные в настоящем сообщении положения эколого-эволюционного направления в учении о гумусе почв, опубликованы не только в работах, приведенных в списке литературы данной публикации, но и в большом количестве других публикаций по широкому кругу вопросов, относящихся к обсуждаемой проблеме. Библиография работ до 2010 года включительно опубликована в издании: Мария Ивановна Дергачева: биобиблиографический указатель / Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т почвоведения и агрохимии, Гос. публ. науч.-техн. б-ка; [сост.: И.Н. Феденева, И.А. Павлова]. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2011. 91 с., до 2021 года – на сайте Томского государственного университета: wiki.lib.tsu.ru/wiki/Дергачева_Мария_Ивановна или wiki.tsu.ru/wiki/index.php/Дергачева_Мария_Ивановна.

В предстоящий период работы сотрудников лаборатории БГЦ доктора биологических наук, профессора М.И. Дергачевой, кандидата биологических наук Н.Л. Бажиной, Е.Г. Захаровой, доктора химических наук В.А. Труновой будут направлены на расширение доказательной базы сформулированных до настоящего времени теоретических положений эколого-эволюционного направления в учении о гумусе почв, детализации и оценке методических подходов, разных приемов изучения, сжатия и интерпретации материалов, определения пределов количественных показателей, имеющих индикационную значимость при решении разных прикладных задач биосфероведения; будут проводиться аналитические и экспериментальные исследования, направленные на дальнейшую детализацию педогумусового метода диагностики почв, определения состояния экологических условий их формирования, реконструкции палеоприродной среды, а также на расширение области приложимости метода к объектам разных условий локализации.

БЛАГОДАРНОСТИ

Благодарим всех, кто в течение всего периода решения проблем в рамках эколого-эволюционного направления в учении о гумусе почв делился с нами образцами почв разнообразных условий их формирования и функционирования, отобранных с соблюдением используемых нами приемов отбора образцов для этих целей, а также всех сотрудников лаборатории БГЦ и других лабораторий ИПА СО РАН за активное участие в организации и проведении десяти Международных научных молодежных школ по палеопочвоведению «Палеопочвы как источник информации о природной среде прошлого».

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Публикация подготовлена в рамках государственного задания Института почвоведения и агрохимии СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 121031700309-1).

ЛИТЕРАТУРА

Бажина Н.Л. Гуминовые кислоты почв западной части Тувы. Автореферат диссертации ... канд. биол. наук. Томск, 2016. 23 с.

Бажина Н.Л. Взаимосвязь флуоресцентных свойств гуминовых кислот горно-луговых почв Тувы с экологическими условиями их формирования // Материалы Международной научной конференции II Никитинские чтения «Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии в природных и антропогенных ландшафтах», посвящ. первому проф. почвовед. на Урале, зав. каф. почвоведения (1924–1932) В.В. Никитину, а также 100-летию первой кафедры почвоведения на Урале, 140-летию науки почвоведения (Пермь, 14–17 ноября 2023 г.). Пермь: Издательство «ОТ и ДО», 2023. С. 481–486.

Бажина Н.Л., Дергачева М.И. Флуоресцентные свойства гуминовых кислот почв разных условий формирования // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 4. e167. <https://doi.org/10.31251/pos.v4i4.167>

Бажина Н.Л., Дергачева М.И. Коррелятивные связи основных параметров флуоресценции гуминовых кислот тундровых почв Тувы с условиями климата // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 700–704. <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>

Бажина Н.Л., Ондар Е.Э., Дерябина Ю.М. Специфика поглощения света в видимой и ультрафиолетовой области спектра гуминовыми кислотами почв Западной части территории Тувы // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 6. С. 189–194.

Бажина Н.Л., Захарова Е.Г., Дергачева М.И. Сравнительный анализ гумусовой составляющей тундровых почв Тувы и Горного Алтая, сформировавшихся в одинаковых экологических условиях // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2019. Том 43. № 4. С. 337–347. <https://doi.org/10.18413/2075-4671-2019-43-4-337-347>

Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика. Новосибирск: Наука, 1984. 153 с.

Дергачева М.И. Система гумусовых веществ почв: пространственные и временные аспекты. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1989. 108 с.

Дергачева М.И. Археологическое почвоведение. Новосибирск: Издательство СО РАН науч.-изд. центр ОИГГМ, 1997а. 227 с.

Дергачева М.И. Отражение эволюции природной среды в гумусовых профилях почв // Степи Евразии: сохранение природного разнообразия и мониторинг состояния экосистем: сборник трудов Международного симпозиума (Оренбург, 19–23 мая 1997 г.). Оренбург: Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, 1997б. С. 130–131.

Дергачева М.И. Педогумусовый метод реконструкции палеоклиматов // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. 1998а. С. 132–142.

Дергачева М.И. Реконструкция условий почвообразования педогумусовым методом // Экология и почвы: избранные лекции 1–7 Всероссийской школы (1991–1997 гг.). Пушкино: Отдел научно-технической информации Пушкинского научного центра РАН, 1998б. Том 1. С. 263–283.

Дергачева М.И. Гумус как память экосистем // Функции почв в биосферно-геосферных системах: материалы Международного симпозиума (Москва, 27–30 августа 2001 г.). Москва: МАКС Пресс Москва, 2001а. С. 270–271.

Дергачева М.И. Гумус почв: к вопросу поведения в меняющейся обстановке // Экология и почвы: избранные лекции X Всероссийской школы. 2001б. Том IV. С. 29–39.

Дергачева М.И. Экология почв: итоги проблемы, перспективы // Известия Уральского государственного университета. 2002. № 23. Вып. 12. С. 53–60.

Дергачева М.И. Экологические функции системы гумусовых веществ // Биолого-почвенный факультет: прошлое, настоящее и будущее: материалы научной конференции, посвященной 125-летию основания Томского государственного университета и 70-летию биолого-почвенного факультета (Томск, 23–24 апреля 2003 г.). Томск: Томский государственный университет, 2003. С. 61–67.

Дергачева М.И. Гуминовые кислоты почв: их сенсорность, рефлекторность и поведение в меняющейся обстановке // Почвы – национальное достояние России: материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов. Новосибирск: Наука-Центр, 2004. Кн. 1. С. 293–295.

Дергачева М.И. Система гумусовых веществ почв: поведение в меняющейся обстановке при антропогенных воздействиях // Методы исследований органического вещества почв: сборник трудов конференции (Владимир, 27–28 мая 2005 г.). Владимир: Российская академия сельскохозяйственных наук, 2005а. – С. 252–274.

Дергачева М.И. Экология и палеоэкология почв: некоторые актуальные проблемы // Вестник Томского государственного университета. 2005б. Приложение. № 15. С. 14–15.

Дергачева М.И. Методы почвоведения в археологических исследованиях: учебно-методическое пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2007. 96 с.

Дергачева М.И. Гумусовая память почв // Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий / Российская академия наук, Институт географии. Москва: Издательство ЛКИ, 2008. С. 530–560.

Дергачева М.И. Гумусовая память почв: уровни ее проявления и информативность при реконструкции палеоклиматов прошлого // Изменения климата, почвы и окружающая среда: материалы Международного

научного семинара (Белгород, 16–19 сентября 2009 г.). Белгород: Белгородский государственный университет, 2009а. С. 23–25.

Дергачева М.И. Концепция гумусовой памяти почв и ее значение в изучении эволюции типов и условий почвообразования // Эволюция почвенного покрова: история идей и методы, голоценовая эволюция, прогнозы: труды V Международной конференции (Пушино, 26–31 октября 2009 г.). Пушино: Государственное унитарное предприятие Московской области Серпуховская типография, 2009б. С. 14–16.

Дергачева М.И. Экология почв: становление новой науки биосферного класса // Сибирский экологический журнал. 2009в. Том 16. № 2. С. 143–150.

Дергачева М.И. Методы почвоведения в археологических исследованиях // Методы наук о Земле и человеке в археологических исследованиях: комплекс учебно-методических материалов. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2010а. С. 138–187.

Дергачева М.И. Почвы – хранители истории биосферы // Наука в Сибири. 2010б. № 41. С. 10.

Дергачева М.И. Диагностика и реконструкция палеоэкологических условий педогумусовым методом // Методические подходы к использованию биологических индикаторов в палеоэкологии. Казань: Казанский университет, 2011а. С. 193–240.

Дергачева М.И. Экология почв как наука биосферного класса // Биосфера – почвы – человечество: устойчивость и развитие: материалы Всероссийской научной конференции, посвященная 80-летию проф. А.Н. Тюрюканова (Москва, 14–16 марта 2011 г.). Москва: МГУ, 2011б. С. 114–124.

Дергачева М.И. Химия почв. Новосибирск: НГУ, 2012. 69 с.

Дергачева М.И. Система гумусовых веществ как основа диагностики палеопочв и реконструкции палеоприродной среды. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН, 2018. 291 с.
<https://doi.org/10.15372/system2018DMI>

Дергачева М.И. Традиции и новаторство в учении о гумусе почв // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 4. e172. <https://doi.org/10.31251/pos.v4i4.172>

Дергачева М.И., Васильева Д.И. Палеопочвы, культурные горизонты и природные условия их формирования в эпоху бронзы в степной зоне Самарского Заволжья // Вопросы археологии Поволжья. 2006. Вып. 4. С. 464–476.

Дергачева М.И., Зыкина В.С. Гуминовые кислоты верхнечетвертичных ископаемых почв // Верхнечетвертичные отложения и ископаемые почвы Новосибирского Приобья. Москва: Наука, 1981. С. 152–165.

Дергачева М.И., Зыкина В.С. Органическое вещество ископаемых почв. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1988. 127 с.

Дергачева М.И., Макеев А.О. Международная научная молодежная школа по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого» // Почвоведение. 2012. № 7. С. 814–816.

Дергачева М.И., Макеев А.О. Ежегодная Международная научная молодежная школа по палеопочвоведению в Сибири: «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого» (2010–2019 гг.) // Почвы и окружающая среда. 2019. Том 2. № 4. e103. <https://doi.org/10.31251/pos.v2i4.103>

Дергачева М.И., Очур К.О. Реконструкция изменений природной среды в течение голоцена педогумусовым методом на территории Центрально-Тувинской котловины // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 1. С. 5–17.

Дергачева М.И., Потапова С.С. Поведение системы гумусовых веществ торфяников низинного типа в меняющейся естественным и антропогенным путем природной обстановке // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: материалы II Международного полевого симпозиума (Ханты-Мансийск, 24 августа – 2 сентября 2007 г.). Ханты-Мансийск: Издательство научно-технической литературы, 2007. С. 93–94.

Дергачева М.И., Зыкина В.С., Волков И.А. Проблемы и методы изучения ископаемых почв: методические рекомендации. Новосибирск: ИГиГ, 1984. 79 с.

Дергачева М.И., Вашукевич Н.В., Гранина Н.И. Гумус и голоцен-плиоценовое почвообразование в Предбайкалье. Новосибирск: Издательство СО РАН, филиал "Гео", 2000а. 206 с.

Дергачева М.И., Никерова Т.В., Солодухина Е.А. Особенности гумусовых профилей почв острова Верхотурова и специфика почвообразования в зоне слабых пеплопадов // Современные проблемы почвоведения в Сибири: материалы Международной научной конференции, посвященной 70-летию образования кафедры почвоведения

в Томском государственном университете (Томск, 01–05 сентября 2000 г.). Томск: Томский государственный университет, 2000б. Том 1. С. 159–163.

Дергачева М.И., Гончарова Н.В., Феденева И.Н. Гумус современных почв Горного Алтая как основа диагностики природной среды и климатов прошлого // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири: сборник статей / Институт археологии и этнографии Сибирского отделения РАН. Новосибирск: Институт археологии и этнографии Сибирского отделения РАН, 2002а. Вып. 1. С. 122–133.

Дергачева М.И., Деревянко А.П., Феденева И.Н. Эволюция палеопедогенеза и условий природной среды в позднем плейстоцене в Западном Тянь-Шане // Археология, антропология и этнография Евразии. 2002б. № 2. С. 38–45.

Дергачева М.И., Феденева И.Н., Гончарова Н.В. Эволюция природной среды Северо-Западного и Центрального Алтая в позднем плейстоцене – голоцене // География и природные ресурсы. 2003. № 1. С. 76–83.

Дергачева М.И., Деревянко А.П., Феденева И.Н. Эволюция природной среды Горного Алтая в позднем плейстоцене и голоцене: реконструкция по признакам педогенеза. Новосибирск: Издательство Института археологии и этнографии, 2006. 143 с.

Дергачева М.И., Ондар Е.Э., Захарова Е.Г. Гумусовые профили горно-каштановых почв сложной катены (Центральная Тува) // Сибирский экологический журнал. 2010. Том 17. № 3. С. 429–436.

Дергачева М.И., Некрасова О.А., Оконешникова М.В., Васильева Д.И., Гаврилов Д.А., Очур К.О., Ондар Е.Э. Соотношение элементов в гуминовых кислотах как источник информации о природной среде формирования почв // Сибирский экологический журнал. 2012а. Тот 19. № 5. С. 667–676.

Дергачева М.И., Некрасова О.А., Васильева Д.И., Фадеева В.П. Элементный состав гуминовых кислот целинных черноземов разных условий формирования // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012б. № 10. С. 90–96.

Дергачева М.И., Бажина Н.Л., Ондар Е.Э., Очур К.О., Рябова Н.Н. Экологическая обусловленность состава и свойств гуминовых кислот почв западной части Тувы // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10. С. 162–165.

Дергачева М.И., Бажина Н.Л., Седов С.Н., Шейнкман В.С. Гумусовая составляющая педоседиментов конца сарганского криохрона в бассейне реки Надым (Западная Сибирь) // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 1. e263. <https://doi.org/10.31251/pos.v7i1.263>

Зауэр Д., Шулли-Мауэр И., Вагнер С., Скарцилья Ф., Шперштад З., Свендгард-Стокке С., Серенсен Р., Шеллманн Г. Почвообразование тысячелетнего масштаба времени – примеры из разных климатических условий // Избранные лекции Международной молодежной школы по палеопочвоведению. Новосибирск: Издательство Окарина, 2019. Выпуск 4. 22 с.

Захарова Е.Г., Дергачева М.И., Каллас Е.В., Бажина Н.Л. Специфика гумусовых профилей черноземов левобережья реки Оби в пределах Приобского плато // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 2. e214. <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.214>

Каллас Е.В., Дергачева М.И. Гумусовый профиль почв как отражение стадийности почвообразования // Сибирский экологический журнал. 2007. Том 14. № 5. С. 711–717.

Каллас Е.В., Дергачева М.И. Гумусовые профили почв экотона тайга – степь Западной Сибири. Томск: ООО Окарина, 2011а. 121 с.

Каллас Е.В., Дергачева М.И. Гумусовые профили почв Сибири разных условий почвообразования // Сибирский экологический журнал. 2011б. Том 18. № 5. С. 633–640.

Лаврик Н.Л., Дергачева М.И., Ковалева Е.И. Применение методов инфракрасной и люминесцентной спектроскопии для изучения структурных свойств гуминовых кислот, выделенных из хроноряда орошаемых каштановых почв Кулундинской степи // Химия в интересах устойчивого развития. 2000. Том 8. № 6. С. 815–821.

Лаврик Н.Л., Сагдиев А.М., Дергачева М.И. Изучение особенностей структуры гуминовых кислот, выделенных из почв в пределах горизонта А, методами флуоресценции и электронного поглощения // Химия в интересах устойчивого развития. 2004. Том 12. № 4. С. 451–457.

Лбова Л.В., Резанов И.Н., Коломиец В.Л., Савинова В.В., Дергачева М.И., Вашукевич Н.В., Первалов А.В., Резанова В.П., Калмыков Н.П. Изменение природной среды и климата в позднем плейстоцене и голоцене в центральной зоне Западного Забайкалья: по данным изучения геoarхеологических объектов Онинского комплекса // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири: сборник

статей / Институт археологии и этнографии СО РАН; редколлегия: Е.А. Ваганов, А.П. Дервянко, В.С. Зыкин. Новосибирск: Институт археологии и этнографии Сибирского отделения РАН, 2000. Вып. 2. С. 288–301.

Лбова Л.В., Коломиец В.Л., Дергачева М.И., Феденева И.Н., Клементьев А.М. Природные обстановки и климат верхнего неоплейстоцена западного Забайкалья: по данным геоархеологических объектов // Археология, антропология и этнография Евразии. 2005. № 2. С. 2–17.

Муллоев Н.У., Лутфилоев Н.А., Одинаев С., Дергачева М.И., Лаврик Н.Л. Сравнительный анализ спектральных характеристик гуминовых кислот различного генезиса // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2020. Том 63. № 1–2. С. 78–84.

Палеопочвы, природная среда и методы их диагностики / Г.В. Добровольский, М.И. Дергачева. (отв. ред.). Новосибирск: Офсет, 2012. 264 с.

Пивоварова Ж.Ф., Благодатнова А.Г. Водоросли как неотъемлемый компонент почв и возможности применения альгодиагностики в палеопочвоведении // Избранные лекции Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению. Новосибирск: Издательство Окarina, 2017. Вып. 3. 30 с.

Седов С.Н. Лёссовые палеопочвы: летопись изменений природной среды четвертичного периода (педогенетический анализ, интерпретация, использование в глобальных реконструкциях) // Избранные лекции Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению. Новосибирск: Издательство Окarina, 2016. Вып. 2. 19 с.

Тихова В.Д., Фадеева В.П., Шакиров М.М., Дергачева М.И. Различия гуминовых кислот почв по данным термического анализа и спектроскопии ЯМР¹³C // Журнал прикладной химии. 1998. Том 71. № 7. С. 1173–1176.

Тихова В.Д., Шакиров М.М., Фадеева В.П., Дергачева М.И. Применение метода спектроскопии ЯМР ³¹P для исследования почвенных гуминовых кислот // Журнал прикладной химии. 2000. Том 73. № 7. С. 1206–1209.

Тихова В.Д., Шакиров М.М., Фадеева В.П., Дергачева М.И., Каллас Е.В., Орлова Л.А. Исследование гуминовых кислот ископаемых почв разного возраста аналитическими методами // Журнал прикладной химии. 2001. Том 74. № 8. С. 1343–1347.

Тихова В.Д., Шакиров М.М., Фадеева В.П., Дергачева М.И., Самутенко Л.В., Федорова Л.В. Исследование методом спектроскопии ЯМР структурных изменений в гуминовых кислотах лугово-дерновой почвы // Журнал прикладной химии. 2002. Том 75. № 5. С. 847–851.

Учаев А.П., Некрасова О.А., Дергачева М.И. Диагностика палеоприродной среды лесостепной зоны Южного Урала на границе Брюнес-Матуяма // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Том 42. № 2. С. 142–151. <https://doi.org/10.18413/2075-4671-2018-42-2-142-151>

Феденева И.Н. Классификация палеопочв: проблемы и возможные решения // Избранные лекции Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению. Новосибирск: Издательство Окarina, 2014. Вып. 1. 25 с.

Dergacheva M.I. The pedohumic method of paleoecological reconstruction // VII Nordic Conference on the Application of Scientific Methods in Archaeology (Savonlinna, Finland, 7–11 September, 1996). Savonlinna, 1996. P. 15. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00162-3](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00162-3)

Dergacheva M. New approaches to the reconstruction of environment of ancient men's inhabitation // Палеоэкология плейстоцена и культуры каменного века Северной Азии и сопредельных территорий. Новосибирск: Издательство Института археологии и этнографии СО РАН, 1998. Том 1. С. 78–82.

Dergacheva M.I. Humic acids of soils of different age and genesis // 10th International meeting of the international humic substances society (Toulouse, France, 24–28 July, 2000). Toulouse, 2000a. P. 267–270.

Dergacheva M.I. Humus profiles of soils: their diversity as a reflection of environment and its evolution // Biodiversity and dynamics of ecosystems in North Eurasia: abstr. of IC&G Intern. conf. Novosibirsk, 2000b. P. 10.

Dergacheva M.I. Ecological Functions of Soil Humus // Eurasian Soil Science. 2001a. Vol. 34. Suppl. 1. P. S100–S105.

Dergacheva M.I. Humus as memory of ecosystem // Functions of Soils in the Geosphere-Biosphere Systems: materials of the International Symposium (Moscow, 27–30 August, 2001). Moscow, 2001b. P. 257.

Dergacheva M. Pedohumic method in paleoenvironmental reconstructions: an example from Middle Siberia // Quaternary International. 2003. Vol. 106–107. P. 73–78. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00162-3](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00162-3)

Dergacheva M. Humic acids of Eurasian paleosols, their diagenetic changes and significance for reconstructions of paleopedogenesis direction // Paleosols: memory of ancient landscapes and living bodies of present ecosystems: abstr. of Intern. conf. a. field (Trip, 7–11 June, 2004). Florence, 2004. P. 86–87.

Dergacheva M.I., Fedeneva I.N., Laukhin S.A. Paleocological Reconstructions of the Chulym-Enyceysk Depression in Late Pleistocene // Scientific bulletin Institute of Management and Economics. Series of Technical Sciences. 2001. No. 3. P. 164–177.

Dergacheva M., Fedeneva I., Bazhina N., Nekrasova O., Zenin V. Shestakovo site of Western Siberia (Russia): Pedogenic features, humic substances and paleoenvironment reconstructions for last 20–25 ka // Quaternary International. 2016a. Vol. 420. P. 199–207. <https://doi.org/10.1016/J.QUAINT.2015.10.087>

Dergacheva M., Nekrasova O., Uchaev A., Bazhina N. Sarykul paleosol in Southern Urals sediments (Russia) // Quaternary International. 2016b. Vol. 420. P. 90–100. <https://doi.org/10.1016/J.QUAINT.2015.10.075>

Fedeneva I.N., Dergacheva M.I. Paleosoils as the basis of environmental reconstruction in Altai mountainous areas // Quaternary International. 2003. Vol. 106–107. P. 89–101. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00164-7](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00164-7)

Fedeneva I.N., Dergacheva M.I. Soilscape evolution of West Tien Shan during the Late Pleistocene based on humus properties of the Obi-Rakhmat archaeological site // Quaternary International. 2006. Vol. 156–157. P. 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.05.004>

Lefort J.P., Danukalova G., Ansart A., Charrier M., Dergacheva M., Eynaud F., Monnier J.L. Migrations néandertaliennes et variations climatiques pendant le Saalien supérieur. Journée du “CReAAH” // Archeologie, Archeosciences, Histoire. Rennes, 21 avril 2018. Résumés des communications. Rennes University, France, 2018. P. 23–24.

The Paleolithic archaeology and quaternary geology in Yongsan River region / Lee H.-J., Derevianko A.P., Dergacheva M.I., Bolikchovskaya N.S. et al. Seoul: Mokpo University, 2006. 320 p.

Поступила в редакцию 01.12.2024

Принята 02.12.2024

Опубликована 12.12.2024

Сведения об авторах:

Дергачева Мария Ивановна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); dergacheva@issa-siberia.ru

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

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



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

History of research in the laboratory of biogeocenology (ISSA SB RAS): ecologo-evolutionary direction in the soil humus doctrina

© 2024 M. I. Dergacheva ¹, N. L. Bazhina 

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

This article provides an overview of the research conducted in the laboratory of the Biogeocenology (BGC) about the problems related to theoretical and applied aspects of the environmental-evolutionary direction in soil humus studies. New approaches, methods, and techniques used for studying the system of soil humic substances were analyzed. An overview of theoretical and applied provisions within the framework of the new environmental-evolutionary direction in soil humus studies is given. During the period of research, performed by the BGC laboratory on the soil humus component, the foundations of a new, unparalleled environmental-evolutionary direction in the soil humus studies were developed, within the framework of which the main patterns of change in the humus formation process in a changing natural and anthropogenic environment were revealed.

The working database on environmental-humus relationships, containing information on the composition, structural features and properties for more than 10 thousand humic acids of soils of different ages and territorial localities, together with detailed information on the environmental conditions of their formation,

contributed to the selection of soil series that differ only in one of the factors or their characteristics, and their use to establish the features of the influence of each of them using monofactorial analysis. Generalization of the available data made it possible to provide strong evidence of the reality of the humic acids existence, their spatiotemporal specificity, as well as their high indicator significance for classification, diagnostics of the natural environment status, and paleoenvironment reconstruction. The theoretically and experimentally substantiated pedohumus method developed for these purposes made it possible to conduct numerous assessments of the status and changes in the natural environment in Antarctica (using the Schirmacher Oasis soils as an example) and different regions of Eurasia, as well as to carry out paleoenvironment reconstructions for different deposits of the Pliocene-Holocene period in some local areas.

The environmental-evolutionary direction in soil humus studies contributes to a more rational and economic planning of theoretical and applied research on soils, ecosystems and the biosphere as a whole. In this regard, the further work of the BGC laboratory staff, namely Professor M.I. Dergacheva, cand.biol.sci. N.L. Bazhina, E.G. Zakharova will be aimed at expanding the evidence base of the provisions of the environmental-evolutionary direction in soil humus studies formulated to date, detailing the methodological approaches used, assessing the significance of different methods of studying, compressing and interpreting materials, determining the limits of quantitative indicators for different parameters of humic acids and humus substances in general, which can act as indicators of changes occurring at different levels of biosphere organization. Analytical and experimental studies aimed at further detailing the pedohumus method for soil diagnostics, determining the state of the ecological conditions of their formation, reconstructing the paleoenvironment, will expand the scope of application of this method to objects with different origin histories and localization conditions.

Keywords: *environmental-evolutionary direction; humus substances system; humic acids; indicators; humus memory of soils and ecosystems; pedohumus method.*

How to cite: *Dergacheva M.I., Bazhina N.L. History of research in the laboratory of biogeocenology (ISSA SB RAS): environmental-evolutionary direction in the soil humus doctrina. The Journal of Soils and Environment. 2024. 7(4). e251. DOI: [10.31251/pos.v7i4.251](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.251) (in Russian with English abstract).*

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank everyone who, during the entire period of solving problems within the framework of the ecological-evolutionary direction in the study of soil humus, shared with us soil samples of various conditions of their formation and functioning, selected in compliance with the sampling techniques we use for these purposes, as well as all employees of the BGC laboratory and other laboratories of the IAP SB RAS for their active participation in organizing and holding ten International Scientific Schools on Paleopedology for Young researchers: "Paleosols as source of Information about Past Environment".

FUNDING

The study was carried out according to the state assignment of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS with the financial support by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 121031700309-1).

REFERENCES

- Bazhina N.L. Humic acids of soils of the western part of Tuva. Abstract of Dissertation ... Cand. Boil. Sci. Tomsk, 2016. 23 p. (in Russian).
- Bazhina N.L. The relationship of the fluorescent properties of humic acids in mountain meadow soils of Tuva with the environmental conditions of their formation. Materials of the International Scientific Conference of the II Nikitin Readings "Current problems of soil science, agrochemistry and ecology in natural and anthropogenic landscapes" (Perm, 14–17, 2023). Perm: Publishing House "OT and DO", 2023. P. 481–486. (in Russian).
- Bazhina N.L., Dergacheva M.I. Fluorescent properties of soil humic acids of different formation conditions. The Journal of Soils and Environment. 2021. Vol. 4. No. 4. e167. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v4i4.167>
- Bazhina N.L., Dergacheva M.I. Correlative connections of the main parameters of fluorescence of humic acids in tundra soils of Tuva with climate conditions. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: ISSA SB RAS, 2023. P. 700–704. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>
- Bazhina N.L., Ondar E.E., Deryabina Yu.M. Specificity of light absorption in the visible and ultraviolet region of the spectrum by humic acids in soils of the Western part of the territory of Tuva. Vestnik of the Orenburg State University. 2014. No. 6. P. 189–194. (in Russian).

- Bazhina N.L., Zakharova E.G., Dergacheva M.I. Comparative analysis of tundra soil humus component of Tuva and Mountain Altai formed in the same environmental conditions. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences*. 2019. Vol. 43. No. 4. P. 337–347. (in Russian). <https://doi.org/10.18413/2075-4671-2019-43-4-337-347>
- Dergacheva M.I. *Soil Organic Matter: statics and dynamics*. Novosibirsk: Nauka Publ., 1984. 153 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I. *The system of humic substances in soils: spatial and temporal aspects*. Novosibirsk: Nauka Publ, Siberian Branch, 1989. 108 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I. *Archaeological pedology*. Novosibirsk: SB RAS Publ., 1997a. 227 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Reflection of the evolution of the natural environment in humus profiles of soils. In book: *Steppes of Eurasia: conservation of natural diversity and monitoring of the state of ecosystems: collection of proceedings of the International Symposium (Orenburg, 19–23 May, 1997)*. Orenburg: Steppe Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1997b. P. 130–131. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Pedogumus method for reconstruction of paleoclimates. *Problems of reconstruction of climate and natural environment of the Holocene and Pleistocene of Siberia*. 1998a. P. 132–142. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Reconstruction of soil formation conditions using the pedogumus method. In book: *Ecology and soils: selected lectures 1–7 of the All-Russian School (1991–1997)*. Pushchino: Department of Scientific and Technical Information of the Pushchino Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 1998b. Vol. 1. P. 263–283. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Humus as a memory of ecosystems. In book: *Functions of soils in biosphere-geosphere systems the International Symposium (Moscow, 27–30 August, 2001)*. Moscow: MAKS Press Moscow, 2001a. P. 270–271. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Soil humus: on the issue of behavior in a changing environment. In book: *Ecology and soils: selected lectures of the X All-Russian School*. 2001b. Vol. IV. P. 29–39. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Soil Ecology: results of problems, prospects. *Izvestia. Ural Federal University Journal*. 2002. No. 23. Iss. 12. P. 53–60. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Ecological functions of the system of humic substances. In book: *Faculty of Biology and Soil Sciences: past, present and future the scientific conference dedicated to the 125th anniversary of the founding of Tomsk State University and the 70th anniversary of the Faculty of Biology and Soil Sciences (Tomsk, 23–24 April, 2003)*. Tomsk: Tomsk State University, 2003. P. 61–67. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Humic acids of soils: their sensitivity, reflexivity and behavior in a changing environment. In book: *Soils - the national heritage of Russia the IV Congress of Dokuchaevsky Island of Soil Scientists*. Novosibirsk: Science-Center, 2004. Book. 1. P. 293–295. (in Russian).
- Dergacheva M.I. The system of humic substances in soils: behavior in a changing environment under anthropogenic influences. In book: *Methods for studying soil organic matter (Vladimir, 27–28 May, 2005)*. Vladimir: Russian Academy of Agricultural Sciences, 2005a. P. 252–274. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Ecology and paleoecology of soils: some current problems. *Tomsk State University Journal*. 2005b. Appendix. No. 15. P. 14–15. (in Russian).
- Dergacheva M.I. *Methods of Soil Science in archaeological research: educational and methodological manual*. Novosibirsk: Novosibirsk State University Publishing House, 2007. 96 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Humus memory of soils. In book: *Memory of soils: soil as a memory of biosphere-geosphere-anthroposphere interactions*. Moscow: LKI Publishers, 2008. P. 530–560. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Humus memory of soils: levels of its manifestation and information content in the reconstruction of paleoclimates of the past. In book: *Climate changes, soils and the environment the International Scientific Seminar (Belgorod, 16–19 September, 2009)*. Belgorod: Belgorod State University Publishing House, 2009a. P. 23–25. (in Russian).
- Dergacheva M.I. The concept of humus memory of soils and its significance in the study of the evolution of types and conditions of soil formation. In book: *Evolution of soil cover: history of ideas and methods, Holocene evolution, forecasts the V International Conference (Pushchino, 26–31 October, 2009)*. Pushchino: State Unitary Enterprise of the Moscow Region Serpukhov Printing House, 2009b. P. 14–16. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Ecology of soils: formation of a new science of the biosphere class. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2009c. Vol. 16. No. 2. P. 143–150. (in Russian).

- Dergacheva M.I. Methods of Soil Science in archaeological research. In book: *Methods of Earth and human sciences in archaeological research: a set of educational and methodological materials*. Novosibirsk: Novosibirsk State University Publishing House, 2010a. P. 138–187. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Soils are the guardians of the history of the biosphere. *Science in Siberia*. 2010b. No. 41. P. 10. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Diagnostics and reconstruction of paleoecological conditions by the pedogumus method. In book: *Methodological approaches to the use of biological indicators in paleoecology*. Kazan: Kazan University Publ., 2011a. P. 193–240. (in Russian).
- Dergacheva M.I. Soil Ecology as a Science of the biosphere class. In book: *Biosphere – soils – humanity: sustainability and development: materials of the All-Russian scientific conference dedicated to the 80th anniversary of prof. A.N. Tyuryukanov* (Moscow, 14–16 March, 2011). Moscow: MSU, 2011b. P. 114–124. (in Russian).
- Dergacheva M.I. *Soil Chemistry*. Novosibirsk: NSU, 2012. 69 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I. System of humic substances as a basis for the paleosol diagnosis and paleoenvironment reconstruction. Novosibirsk: Publ. House SB RAS, 2018. 291 p. (in Russian). <https://doi.org/10.15372/system2018DMI>
- Dergacheva M.I. Traditions and innovations in the study of soil humus. *The Journal of Soils and Environment*. 2021. Vol. 4. No. 4. e172. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v4i4.172>
- Dergacheva M.I., Vasilyeva D.I. Paleosols, cultural horizons and natural conditions of their formation during the Bronze Age in the steppe zone of the Samara Trans-Volga region. *Issues of the Volga region archaeology*. 2006. Iss. 4. P. 464–476. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Zykina V.S. Humic acids of Upper Quaternary fossil soils. Upper Quaternary sediments and fossil soils of the Novosibirsk Ob region. Moscow: Nauka Publ., 1981. P. 152–165. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Zykina V.S. Organic matter in fossil soils. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1988. 127 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Makeev A.O. International scientific youth school on paleosol science “Palaeosols are keepers of information about the natural environment of the past”. *Pochvovedenie*. 2012. No. 7. P. 814–816. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Makeev A.O. Annual International Scientific Youth School on Paleosol Science in Siberia: “Palaeosols are keepers of information about the natural environment of the past” (2010–2019). *The Journal of Soils and Environment*. 2019. Vol. 2. No. 4. e103. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v2i4.103>
- Dergacheva M.I., Ochur K.O. Reconstruction of changes in the natural environment during the Holocene using the pedogumus method on the territory of the Central Tuva Basin. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2012. No. 1. P. 5–17. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Potapova S.S. Behavior of the system of humic substances in lowland peatlands in a changing natural and anthropogenic environment. In book: *Peatlands of Western Siberia and the carbon cycle: past and present: materials of the II International Field Symposium* (Khanty-Mansiysk, August 24 – September 2, 2007). Khanty-Mansiysk: Publishing house of scientific and technical literature, 2007. P. 93–94. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Zykina V.S., Volkov I.A. Problems and methods of studying fossil soils: methodological recommendations. Novosibirsk: IGI, 1984. 79 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Vashukevich N.V., Granina N.I. Humus and Holocene-Pliocene soil formation in the Cis-Baikal region. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, branch "Geo", 2000a. 206 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Nikerova T.V., Solodukhina E.A. Features of humus profiles of soils of Verkhoturova Island and the specificity of soil formation in the zone of weak ashfalls. In book: *Modern problems of soil science in Siberia. Proceedings of the International scientific conference dedicated to the 70th anniversary of the formation of the Department of Soil Science of Tomsk State University* (Tomsk, 01–05 September, 2000). Tomsk: TSU, 2000b. Vol. 1. P. 159–163. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Goncharova N.V., Fedeneva I.N. Humus of modern soils of the Altai Mountains as a basis for diagnosing the natural environment and climates of the past. In book: *Basic patterns of global and regional changes in climate and natural environment in the late Cenozoic of Siberia. collection of articles / Institute of Archaeology and Ethnography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*. Novosibirsk: Institute of Archaeology and Ethnography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002a. Iss. 1. P. 122–133. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Derevyanko A.P., Fedeneva I.N. Evolution of paleopedogenesis and the environment during the Late Pleistocene in Western Tien Shan. *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*. 2002b. No. 2. P. 38–45.

- Dergacheva M.I., Fedeneva I.N., Goncharova N.V. Evolution of the natural environment of Northwestern and Central Altai in the Late Pleistocene – Holocene. *Geografia i prirodnye resursy*. 2003. No. 1. P. 76–83. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Derevyanko A.P., Fedeneva I.N. Evolution of the natural environment of the Altai Mountains in the Late Pleistocene and Holocene: reconstruction based on the characteristics of pedogenesis. Novosibirsk: Publishing House of the Institute of Archeology and Ethnography, 2006. 143 p. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Ondar E.E., Zakharova E.G. Humus profiles of Mountain-Chestnut Soils of a complex catena in Central Tyva. *Contemporary Problems of Ecology*. 2010. Vol. 3. No. 3. P. 299–304. <https://doi.org/10.1134/S1995425510030070>
- Dergacheva M.I., Nekrasova O.A., Okoneshnikova M.V., Vasilyeva D.I., Gavrilov D.A., Ochur K.O., Ondar E.E. The ratio of elements in humic acids as a source of information about the natural environment of soil formation. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2012a. Vol. 19. No. 5. P. 667–676. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Nekrasova O.A., Vasilyeva D.I., Fadeeva V.P. Elemental composition of humic acids in virgin chernozems under different formation conditions. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2012b. No. 10. P. 90–96. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Bazhina N.L., Ondar E.E., Ochur K.O., Ryabova N.N. Ecological dependence of the composition and properties of humic acids in soils in the western part of Tuva. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2015. No. 10. P. 162–165. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Bazhina N.L., Sedov S.N., Sheinkman V.S. Humus component of pedosediments at the end of the Sartan cryochron in the Nadym River basin (West Siberia). *The Journal of Soils and Environment*. Vol. 7. No. 1. e263. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v7i1.263>
- Sauer D., Schulli-Mauer I., Wagner S., Scarziglia F., Sperstad Z., Svendgard-Stokke S., Sørensen R., Schellmann G. Soil formation on a millennial time scale - examples from different climatic conditions. Selected lectures of the International youth school on paleosoil science. Novosibirsk: Okarina Publishing House, 2019. Iss. 4. 22 p. (in English and Russian)
- Zakharova E.G., Dergacheva M.I., Kallas E.V., Bazhina N.L. Humus profile specificity of chernozems of the Ob river left bank within the Priob Plateau. *The Journal of Soils and Environment*. 2023. Vol. 6. No. 2. e214. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.214>
- Kallas E.V., Dergacheva M.I. Humus profile of soils as a reflection of the stages of soil formation. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2007. Vol. 14. No. 5. P. 711–717. (in Russian).
- Kallas E.V., Dergacheva M.I. Humus profiles of soils in the taiga-steppe ecotone of Western Siberia. Tomsk: Okarina LLC, 2011a. 121 p. (in Russian).
- Kallas E.V., Dergacheva M.I. Humus profiles of soils in Siberia under different soil formation conditions. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2011b. Vol. 18. No. 5. P. 633–640. (in Russian).
- Lavrik N.L., Dergacheva M.I., Kovaleva E.I. Application of infrared and luminescent spectroscopy methods to study the structural properties of humic acids isolated from a chronosequence of irrigated chestnut soils of the Kulunda steppe. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya*. 2000. Vol. 8. No. 6. P. 815–821. (in Russian).
- Lavrik N.L., Sagdiev A.M., Dergacheva M.I. Fluorescence and electron absorption studies of the structure of humic acids extracted from the A horizon of soils. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya*. 2004. Vol. 12. No. 4. P. 451–457. (in Russian).
- Lbova L.V., Rezanov I.N., Kolomiets V.L., Savinova V.V., Dergacheva M.I., Vashukevich N.V., Perevalov A.V., Rezanova V.P., Kalmykov N.P. Changes in the natural environment and climate in the late Pleistocene and Holocene in the central zone of Western Transbaikalia: according to the study of geoarchaeological objects of the Onin complex. In book: *Problems of reconstruction of climate and natural environment of the Holocene and Pleistocene of Siberia*. Collection of articles / Institute of Archeology and Ethnography of the SB RAS; editorial board: E.A. Vaganov, A.P. Derevyanko, V.S. Zykina. Novosibirsk: Institute of Archeology and Ethnography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2000. Vol. 2. P. 288–301. (in Russian).
- Lbova L.V., Kolomiets V.I., Dergacheva M.I., Fedeneva I.N., Klementiev A.M. Environment and Climate during the Late Upper Pleistocene in the Western Trans-Baikal Region: based on data from geo-archaeological sites. *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*. 2005. No. 2. P. 2–17. (in Russian).
- Mulloev N.U., Lutfiloev N.A., Odinaev S., Dergacheva M.I., Lavrik N.L. Comparative analysis of the spectral characteristics of humic acids of various genesis. *Doklady Akademii nauk Respubliki Tadjikistan*. 2020. Vol. 63. No. 1–2. P. 78–84. (in Russian).

Paleosoils, natural environment and methods of their diagnostics / G.V. Dobrovolsky, M.I. Dergacheva (resp. ed.). Novosibirsk: Ofset, 2012. 264 p. (in Russian).

Pivovarova Zh.F., Blagodatnova A.G. Algae as an integral component of soils and the possibility of using algodiagnosics in paleosoil science. Selected lectures of the International Scientific Youth School on Paleosoil Science. Novosibirsk: Okarina Publishing House, 2017. Iss. 3. 30 p. (in Russian and English).

Sedov S.N. Loess paleosols: a chronicle of changes in the natural environment of the Quaternary period (pedogenetic analysis, interpretation, use in global reconstructions). Selected lectures of the International Scientific Youth School on Paleosoil Science. Novosibirsk: Okarina Publishing House, 2016. Iss. 2. 19 p. (in English and Russian).

Tikhova V.D., Fadeeva V.P., Shakirov M.M., Dergacheva M.I. Specific features of humic acids from various soils as studied by thermal analysis and C-13 NMR. Russian Journal of Applied Chemistry. 1998. Vol. 71. No. 7. P. 1229–1233.

Tikhova V.D., Shakirov M.M., Fadeeva V.P., Dergacheva M.I. Application of the ³¹P NMR study of soil humic acids. Russian Journal of Applied Chemistry. 2000. Vol. 73. No. 7. P. 1278–1281.

Tikhova V.D., Shakirov M.M., Fadeeva V.P., Dergacheva M.I., Kallas E.V., Orlova L.A. Elemental Content and Functional Group Analysis of Humic Acids in Fossilized Soils of Different Ages. Russian Journal of Applied Chemistry. 2001. Vol. 74. No. 8. P. 1380–1384. <https://doi.org/10.1023/A:1013783002596>

Tikhova V.D., Shakirov M.M., Fadeeva V.P., Dergacheva M.I., Samutenko L.V., Fedorova L.V. NMR study of structural changes in humic acids of meadow soddy soils. Russian Journal of Applied Chemistry. 2002. Vol. 75. No. 5. P. 829–833. <https://doi.org/10.1023/A:1020335301848>

Uchaev A.P., Nekrasova O.A., Dergacheva M.I. Diagnostics of the paleonatural environment of the forest-steppe zone of the Southern Urals on the Brunhes-Matuyama border. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences. 2018. Vol. 42. No. 2. P. 142–151. (in Russian). <https://doi.org/10.18413/2075-4671-2018-42-2-142-151>

Fedeneva I.N. Classification of paleosols: problems and possible solutions. Selected lectures of the International Scientific Youth School on Paleosoil Science. Novosibirsk: Okarina Publishing House, 2014. Iss. 1. 25 p. (in Russian and English).

Dergacheva M.I. The pedohumic method of paleoecological reconstruction. VII Nordic Conference on the Application of Scientific Methods in Archaeology (Savonlinna, Finland, 7–11 September, 1996). Savonlinna, 1996. P. 15. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00162-3](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00162-3)

Dergacheva M. New approaches to the reconstruction of environment of ancient men's inhabitation. In book: Paleocology of the Pleistocene and Stone Age Cultures of Northern Asia and Adjacent Territories. Novosibirsk: Publishing House of the Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS, 1998. Vol. 1. P. 78–82.

Dergacheva M.I. Humic acids of soils of different age and genesis. 10th International meeting of the international humic substances society (Toulouse, France, 24–28 July, 2000). Toulouse, 2000a. P. 267–270.

Dergacheva M.I. Humus profiles of soils: their diversity as a reflection of environment and its evolution. Biodiversity and dynamics of ecosystems in North Eurasia: abstr. of IC&G Intern. conf. Novosibirsk, 2000b. P. 10.

Dergacheva M.I. Ecological Functions of Soil Humus. Eurasian Soil Science. 2001a. Vol. 34. Suppl. 1. P. S100–S105.

Dergacheva M.I. Humus as memory of ecosystem. Functions of Soils in the Geosphere-Biosphere Systems: materials of the International Symposium (Moscow, 27–30 August, 2001). Moscow, 2001b. P. 257.

Dergacheva M. Pedohumic method in paleoenvironmental reconstructions: an example from Middle Siberia. Quaternary International. 2003. Vol. 106–107. P. 73–78. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00162-3](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00162-3)

Dergacheva M. Humic acids of Eurasian paleosols, their diagenetic changes and significance for reconstructions of paleopedogenesis direction. Paleosoils: memory of ancient landscapes and living bodies of present ecosystems: abstr. of Intern. conf. a. field (Trip, 7–11 June, 2004). Florence, 2004. P. 86–87.

Dergacheva M.I., Fedeneva I.N., Laukhin S.A. Paleoecological Reconstructions of the Chulym-Enyceysk Depression in Late Pleistocene. Scientific bulletin Institute of Management and Economics. Series of Technical Sciences. 2001. No. 3. P. 164–177.

Dergacheva M., Fedeneva I., Bazhina N., Nekrasova O., Zenin V. Shestakovo site of Western Siberia (Russia): Pedogenic features, humic substances and paleoenvironment reconstructions for last 20–25 ka. Quaternary International. 2016a. Vol. 420. P. 199–207. <https://doi.org/10.1016/J.QUAINT.2015.10.087>

Dergacheva M., Nekrasova O., Uchaev A., Bazhina N. Sarykul paleosol in Southern Urals sediments (Russia). Quaternary International. 2016b. Vol. 420. P. 90–100. <https://doi.org/10.1016/J.QUAINT.2015.10.075>

Fedeneva I.N., Dergacheva M.I. Paleosoils as the basis of environmental reconstruction in Altai mountainous areas. Quaternary International. 2003. Vol. 106-107. P. 89–101. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00164-7](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00164-7)

Fedeneva I.N., Dergacheva M.I. Soilscape evolution of West Tien Shan during the Late Pleistocene based on humus properties of the Obi-Rakhmat archaeological site. Quaternary International. 2006. Vol. 156–157. P. 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.05.004>

Lefort J.P., Danukalova G., Ansart A., Charrier M., Dergacheva M., Eynaud F., Monnier J.L. Migrations néandertaliennes et variations climatiques pendant le Saalien supérieur. Journée du “CReAAH” // Archeologie, Archeosciences, Histoire. Rennes, 21 avril 2018. Résumés des communications. Rennes University, France, 2018. P. 23–24.

The Paleolithic archaeology and quaternary geology in Yongsan River region / Lee H.-J., Derevianko A.P., Dergacheva M.I., Bolikchovskaya N.S. et al. Seoul: Mokpo University, 2006. 320 p.

Received 01 December 2024

Accepted 02 December 2024

Published 12 December 2024

About the authors:

Maria I. Dergacheva – Doctor of Biological Sciences, Professor, Principal Researcher of the Laboratory of Biogeocenology of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); mid555@yandex.ru; dergacheva@issa-siberia.ru

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

The authors read and approved the final manuscript



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