

ISSN 2410-8553

2026

Том 12, № 1



ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

PERM STATE UNIVERSITY

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF NATURE

Volume 12, Issue 1

ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Антропогенная трансформация природной среды

Рецензируемый научный журнал

**Том 12, № 1
2026**

PERM STATE UNIVERSITY

Anthropogenic Transformation of Nature

Peer reviewed scientific journal

**Volume 12, Issue 1
2026**

Пермский государственный национальный исследовательский университет

Антропогенная трансформация природной среды

Рецензируемый научный журнал

В журнале рассматриваются геоэкологические проблемы, научные результаты исследований взаимодействия человека и природы.

Журнал включен в национальную информационно-аналитическую систему «Российский индекс научного цитирования»

Миссия журнала – распространение результатов исследовательской деятельности российских и зарубежных ученых в области изучения антропогенной трансформации природной среды, геоэкологии.

В журнале публикуются работы по трем тематическим разделам: Трансформация природной среды; Сохранение природной среды; Палеоэкология и палеогеография

Журнал принимает к публикации: оригинальные и обзорные статьи, а также краткие сообщения.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Сергей Алексеевич Бузмаков, д-р геогр. наук,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

Павел Юрьевич Санников, канд. геогр. наук,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕКРЕТАРЬ

Юлия Владимировна Хотяновская, канд. геогр. наук,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет

КОМПЬЮТЕРНАЯ ВЕРСТКА

Светлана Денисовна Мельникова,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет

ДИЗАЙН

Павел Юрьевич Санников, канд. геогр. наук,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Валентина Сергеевна Артамонова, д-р биол. наук
Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Александр Николаевич Бармин, д-р геогр. наук,
Астраханский государственный университет

Елена Ильинична Голубева, д-р биол. наук,
Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова

Дарья Олеговна Егорова, д-р биол. наук,
Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН

Маргарита Михайловна Редина, д-р эконом. Наук,
Российский университет дружбы народов
имени Патриса Лумумбы

Андрей Владимирович Соромотин, д-р биол. наук,
Тюменский государственный университет

Юрий Александрович Федоров, д-р геогр. наук,
Южный федеральный университет,

Александр Петрович Хаустов, д-р геол.-мин. наук,
Российский университет дружбы народов
имени Патриса Лумумбы

Вера Павловна Чижова, канд. геогр. наук,
Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова

Андрей Николаевич Шихов, д-р геогр. наук,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет

Людмила Сергеевна Шумиловских, канд. биол. наук,
Гёттингенский университет имени Георга-Августа

ISSN	2410-8553
Периодичность	2 раза в год
Учредитель и издатель	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
Адрес учредителя, издателя и редакционной коллегии	614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15
Сайт	https://press.psu.ru/index.php/atps/
Email	ant.tr.nat@gmail.com
Типография	Типография ПГНИУ
Адрес типографии	614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15. Тел: +7 (342) 239 65 47
Распространение	Распространяется бесплатно
Тираж	100 экз.
Заказ	73
Подписано в печать	18.06.2026
Дата выхода в свет	23.06.2026

Perm State University

Anthropogenic Transformation of Nature

Peer reviewed scientific journal

Addressed to geoecological problems, scientific questions of interaction of Man and Nature. Articles on a geoecological, geographical, ecosystem, biogeochemical, biological and palaeoecological basis are preferred.

The Journal is included in the Russian Index of Scientific Citation

The Journal's mission is to disseminate the newest scientific knowledges of Russian and foreign scientists in the study of anthropogenic transformation of nature and geoecology.

The Journal publishes papers in three thematic sections: Nature and Landscape Conservation; Pollution; Earth-Surface Processes

The Journal publishes: original papers, review papers and short communications articles.

EDITOR-IN-CHIEF

Sergei A. Buzmakov, Doctor of Sciences in Geography,
Perm State University

EXECUTIVE EDITOR

Pavel Yu. Sannikov, PhD in Geography,
Perm State University,

TECHNICAL SECRETARY

Yulia V. Khotyanovskaya, PhD in Geography,
Perm State University

COMPUTER LAYOUT

Svetlana D. Melnikova, Perm State University

DESIGN

Pavel Yu. Sannikov, PhD in Geography,
Perm State University

EDITORIAL BOARD

Valentina S. Artamonova, Doctor of Sciences in Biology,
Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS

Alexander N. Barmin, Doctor of Sciences in Geography,
Astrakhan State University

Elena I. Golubeva, Doctor of Sciences in Biology,
Lomonosov Moscow State University

Darya O. Egorova, Doctor of Sciences in Biology,
Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms
UB RAS

Margarita M. Redina, Doctor of Economic Sciences,
Patrice Lumumba People's Friendship University

Andrey V. Soromotin, Doctor of Sciences in Biology,
University of Tyumen

Yuri A. Fedorov,
Doctor of Sciences in Geography,
Southern Federal University

Alexander P. Khaustov, Doctor of Sciences in Geology,
Patrice Lumumba People's Friendship University

Vera P. Chizhova, PhD in Geography,
Lomonosov Moscow State University

Andrey N. Shikhov, Doctor of Sciences in Geography,
Perm State University

Lyudmila S. Shumilovskikh, PhD in Biology,
Georg-August-University of Göttingen

ISSN	2410-8553
Publication Frequency	Semiannually
Founder and Publisher	Perm State University
Postal address	15, Bukireva street, Perm, 614068, Russia
Website	https://press.psu.ru/index.php/atps/
Email	ant.tr.nat@gmail.com
Printing House	Printing house of PSU
Postal address of Printing House	15, Bukireva str., Perm, 614068, Russia. Phone: +7 (342) 239 65 47
Subscription	Free distribution
Circulation	100 copies
Order	73
Signed to press date	18.06.2026
Release date	23.06.2026



Содержание

Раздел 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

Плакхina Е.В., Зиновьев Е.В. Набор данных «Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia)».....7

ОРИГИНАЛЬНАЯ (ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ) СТАТЬЯ

Кадетова А.А., Мельникова Ю.А. Изменения в структуре населения мышевидных грызунов от луга до леса: история другой залежи на юго-востоке Амурской области.....24

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

Манаков Ю.А., Куприянов О.А. Стратегия сохранения растений в горнодобывающем регионе.....36

Раздел 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

Андроханов В.А. Теория и практика рекультивации нарушенных земель.....49

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

Артамонова В.С. О биоремедиации почв на территории складирования отходов добычи антрацита в Сибири57

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

Мусихина Т.А., Ушакова Ю.Н., Погудина Я.П. Влияние использованного при строительстве дороги в дер. Сунцы Кировской области промышленного отхода на прилегающие почвы73

ОРИГИНАЛЬНАЯ (ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ) СТАТЬЯ

Guliyev I.A. Changes in the land cover of Absheron and southeastern Gobustan under the influence of desertification processes79

Contents

Section 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

REVIEW PAPER

- Plakkhina E.V., Zinovyev E.V.** Dataset ‘Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU’s Botanical Garden (Perm, Russia)’7

ORIGINAL PAPER

- Kadetova A.A., Melnikova Yu.A.** The changes of small rodents’ population structure from a meadow to a forest: a history of another fallow in the South-East of the Amur region.....24

REVIEW PAPER

- Manakov Yu.A., Kupriyanov O.A.** Plant conservation strategy in the mining region36

Section 2. POLLUTION

REVIEW PAPER

- Androkhanov V.A.** Theory and practice of reclamation of disturbed lands.....49

REVIEW PAPER

- Artamonova V.S.** About bioremediation of soils in the territory of storage of anthracite mining waste in Siberia57

SHORT COMMUNICATIONS ARTICLE

- Musikhina T.A., Ushakova Yu.N., Pogudina Ya.P.** The impact of industrial waste used in the construction of a road in the village of Suntsy, Kirov Region, on the surrounding soils73

ORIGINAL PAPER

- Guliyev I.A.** Changes in the land cover of Absheron and southeastern Gobustan under the influence of desertification processes79

Сегодня нейросети пишут обзоры литературы, генерируют гипотезы, обрабатывают массивы данных за минуты. ИИ пишет тезисы конференций, рецензии на статьи и даже грантовые заявки. Исследователь становится проблемой: он медленно читает, предвзято мыслит и требует зарплату. Алгоритм работает круглосуточно, бесплатно и без интеллектуальной собственности.

Завтра диссертации перестанут быть свидетельством мысли. Они станут отчетами о корректной настройке модели. Университеты будут учить не думать, а формулировать запросы для нейросети.

Но пока завтра не наступило, мы подготовили интересный номер журнала с помощью естественного интеллекта. Все представленные в номере исследования объединены общей экологической проблематикой по антропогенной трансформации природной среды. Исследования сфокусированы на последствиях хозяйственной деятельности: от промышленной добычи полезных ископаемых и складирования отходов до строительства дорог и урбанизации.

Е.В. Плакхina и Е.В. Зиновьев изучают жужелиц в городском ботаническом саду как рефугиуме, что редкость для урбоэкологии. А.А. Кадетова и Ю.А. Мельникова фокусируются на динамике: трансформация населения мелких млекопитающих во время сукцессии. Ю.А. Манаков и О.А. Куприянов ставят не просто экологическую, а управленческую задачу – разработку стратегии сохранения редких растений в условиях активной горнодобывающей деятельности, что предполагает разрешение конфликта между экстенсивным природопользованием и сохранением природы.

В.А. Андроханов предлагает теорию рекультивации нарушенных земель. В.С. Артамонова испытывает методы биоремедиации. Т.А. Мусихина исследует источники загрязнения: автотранспорт, дорожное полотно, построенное из промышленных отходов. Азербайджанский исследователь И.А. Гулиев выделяется и географически (Апшерон) и методически – за счет использования ДЗЗ.

Антропогенная трансформация изучается широким спектром способов: от жуков и мелких млекопитающих до космических снимков и теории рекультивации.



Главный редактор С.А. Бузмаков

Раздел 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Обзорная статья

 УДК 595.762.12:[591.55:598.006](470.53)
<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-7-23>
<https://elibrary.ru/iybcaa>

Набор данных «Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia)»

Евгения Валерьевна Плакхина¹, Евгений Витальевич Зиновьев²¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия² Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия plakhinaevg@gmail.com

Аннотация. В статье представлен обзор набора данных «Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia)», опубликованного на глобальном агрегаторе данных о биологическом разнообразии GBIF. Набор данных является результатом четырёхлетнего мониторинга (2021-2024 гг.) фауны жуков на территории Ботанического сада Пермского государственного национального исследовательского университета – особо охраняемой природной территории, интегрированной в городскую среду. Сбор материала проводился методом почвенных ловушек на 11 участках открытого грунта и в 10 секциях оранжерейного комплекса. Набор данных содержит 2 316 записей о находках (9 752 особи жуков, 66 видов из 25 родов). Данные структурированы в соответствии со стандартом Darwin Core и относятся к типу «sampling-event» (содержит информацию не только о видовом составе, но и даты отлова, географические координаты, характеристику местообитаний, метод, интенсивность и продолжительность сборов). Набор данных может быть полезен для будущих экологических исследований, таких как анализ сезонной динамики, распределения жуков по биотопам и реакции на антропогенное воздействие. Набор данных может послужить моделью для создания аналогичных стандартизированных наборов данных по другим таксономическим группам и территориям.

Ключевые слова: жуки, биологическое разнообразие, урбанизированные территории, долгосрочный мониторинг

Для цитирования: Плакхина Е.В., Зиновьев Е.В. Набор данных «Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia)» // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2026. Т. 12. № 1. С. 7–23. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-7-23>. EDN IYBCAA.

Section 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

Review paper

Dataset 'Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia)'

Evgeniya V. Plakhina¹, Evgeny V. Zinovyev²¹ Perm State University, Perm, Russia² Institute of Plant and Animal Ecology UB RAS, Yekaterinburg, Russia plakhinaevg@gmail.com

Abstract. The paper provides an overview of the dataset «Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia)» published on GBIF, global biodiversity data aggregator. The dataset is the result of four years of monitoring (2021-2024) of the ground beetle fauna on the territory of the Botanical Garden of Perm State University – protected area integrated to the urban environment. The material was collected using pitfall traps at 11 open-air plots and 10 plots inside the greenhouse complex. The dataset includes 2316 occurrences of ground beetles, 9 752 individuals were recorded representing 66 species from 25 genera. All records are respond to the Darwin Core data standard, «sampling-event» type (contains information not only about the species composition, but also the dates of events, geographical coordinates, habitat characteristics, sample method, protocols and sampling effort). The dataset may be useful for future ecological studies, such as analysis of seasonal dynamics, distribution of ground beetles across different biotopes, and their response to human impact. The dataset can serve as a model for creating standardized datasets for other taxonomic groups and territories of the Perm Region.

Key words: ground beetles, biodiversity, urban areas, long-term monitoring

For citation: Plakhina E.V., Zinovyev E.V. Dataset 'Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia)'. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2026. Vol. 12. Iss. 1. P. 7-23. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-7-23>. EDN IYBCAA. (in Russian)



Введение

Семейство Carabidae – одно из самых разнообразных семейств жесткокрылых насекомых, оно содержит более 40 тыс. описанных видов (Lövei, Sunderland, 1996). Его ареал охватывает практически всю сушу, за исключением арктических пустынь (Крыжановский, 1983). Присутствие жуков практически в каждой наземной экосистеме, легкость сбора и относительная простота идентификации наиболее распространенных видов делает их популярным объектом в экологических исследованиях, в том числе при оценке техногенной нагрузки (Бельская и др., 2025; Serap, Luff, 2010; Šerić Jelaska et al., 2007) и факторов урбанизации (Magura, Lövei, 2021; Hartley et al., 2007; Niemelä et al., 2002), а также влияние фрагментации биотопов на население жуков (Fujita et al., 2008; Teofilova, 2022).

Жуки являются одной из наиболее хорошо изученных групп беспозвоночных на Урале. Наиболее полная на сегодняшний день сводка о жуках Урала представлена в многотомной работе Козьминых «Каталог жуков (Coleoptera) Урала и прилегающих территорий (к 200-летию исследований в Уральском регионе)» (Козьминых, 2024). Автор приводит данные не только по Уральской горной стране, но по всему Уральскому физико-географическому региону в рамках существующих административных территорий, и включает в каталог не только сведения о распространении, но часто и данные по экологии отдельных видов (баллы обилия, места обитания, экологические группы и жизненные формы) (Козьминых, 2024 (2)). Несмотря на обширную библиографию, охватывающую более 800 источников, сведения об экологии жуков в городах Урала остаются отрывочными¹ (Воронин, 2005; Зиновьев, Пархачёв, 2017), что типично для России в целом: если видовые списки еще публикуются² (Семёнова, 1998; Черкасова, 2006), то сведения экологического характера крайне фрагментарны (Михайлов, 2022; Чердинцева, Чердинцев, 2015; Семёнова, 2008).

В городах, участки растительности, критически важные для жизнедеятельности беспозвоночных, отличаются высокой степенью изолированности друг от друга: исследование элементарных фаун таких «островов» позволяет ответить на вопрос, как формируется население в пределах города при отсутствии связи с аналогичными территориями (Зиновьев, Пархачёв, 2017). В ботанических садах по сравнению с озелененными участками городов резко возрастает и мозаичность местообитаний за счет небольших по площади, но различающихся по растительности грядок и коллекционных участков (Плакшина и др., 2024).

Несмотря на свой официальный статус ООПТ, Ботанический сад ПГНИУ (далее БС ПГНИУ) интегрирован в урбанизированную среду и выполняет важные рекреационные и просветительские функции для горожан, что делает его интересной площадкой для долгосрочного мониторинга состояния фауны беспозвоночных животных в городской черте. Однако с момента его основания подобных исследований не проводилось, за исключением отдельных случаев обследования теплиц на предмет вредителей закрытого грунта³.

За период долгосрочного изучения герпетобиотных беспозвоночных в БС ПГНИУ были опубликованы отдельные материалы по фауне жуков оранжерейного комплекса и участков некультивируемой растительности открытого грунта (Плакшина, 2021; Плакшина, Есюнин, 2024; Плакшина и др., 2024).

В последние годы широкую популярность в научной среде приобретают наборы первичных данных, которые могут послужить основой для анализа не только таксономии, но и экологии сообществ и отдельных видов. Глобальный портал GBIF⁴ является крупнейшим источником открытых научных данных о биоразнообразии (Иванова, Шашков, 2021) – на сентябрь 2025 г. здесь можно найти почти 120 тыс. наборов данных, в которых содержится информация о 3,5 млрд находок почти 8 млн видов живых организмов. В этом крупнейшем агрегаторе существует 583 набора данных о жуках, в которых содержится около 4,5 млн. находок по всему миру. Самой продуктивной в этом отношении является Швейцария – 497 наборов, но только 2 из них от Swiss National Biodiversity Data and Information Centres⁵, остальные – предоставлены проектом Plazi, некоммерческой ассоциацией, которая занимается созданием и поддержкой открытого и свободного доступа к научным таксономическим данным через обработку литературных источников⁶.

На сентябрь 2025 г. Россия занимает третье место по количеству предоставленных наборов данных о сем. Carabidae. С территории нашей страны выгружено 15 наборов, в которых содержится около 50 тыс. находок жуков. Самыми крупными из них являются «The ground beetles (Caraboidea) of Southern Sikhote-Alin» (12 852 находки) (Sundukov, Makarov, 2022), «Carabid beetles of the environs of the Elton Lake: fauna, population dynamics, demography» (7 507 находок) (Makarov, Matalin, 2021), «Carabidae of South Kuriles» (5 806 находок) (Makarov, Sundukov, 2022), «Fauna of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of the Republic of Mordovia (Russia)» (4 576 находок) (Egorov et al., 2023). Большое количество наборов посвящено фауне охраняемых при-

¹ Семёнова О.В. Структура и динамика населения жуков парковой зоны крупного промышленного города на примере Нижнего Тагила: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2008. 24 с.

² Козьминых В.О. Биоразнообразие жуков (Insecta: Coleoptera, Carabidae) охраняемого природного ландшафта «Закамский бор» в городе Перми // *Инновации в науке*. 2014. Вып. 30(1). С. 62-70.

³ Чашухина О.Е. Вредители закрытого грунта Ботанического сада ПГУ // *Материалы регион. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых 2006 и 2007 гг.* Пермь, 2007. С. 175-178.

⁴ GBIF. The Global Biodiversity Information Facility [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gbif.org/> (дата обращения: 24.09.2025).

⁵ InfoSpecies [Электронный ресурс]. URL: <https://www.infospecies.ch/de/> (дата обращения: 15.09.2025).

⁶ Plazi. TreatmentBank [Электронный ресурс]. URL: <https://plazi.org/> (дата обращения: 15.09.2025).

родных территорий: «Carabidae of Mordovia State Nature Reserve» (Alekseev et al., 2021), «Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of "Volzhskiy Prostory" reserve» (Vavilov, 2020), «Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of Volga-Kama Nature Reserve» (Vavilov, 2020), «Carabidae surveys from the Chronicle of Nature of the Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve» (Osipova, Buyvolov, 2020). Фауна жуков урбанизированных территорий представлена только для Калуги (Aleksanov, Alekseev, 2021; Shashkov et al., 2021). К территории Урала можно отнести лишь считанное количество наборов данных (Konakova, Kolesnikova, 2020, Zinovyev, 2022). Наборы данных, относящиеся к типу «sampling-events», в которых содержатся сведения о методах проведения исследований и оценке обилия видов, обнаруженных на учетных площадях также крайне редки (Aleksanov, Alekseev, 2021; Vorobeichik, 2022).

В работе описывается набор данных «Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU's Botanical Garden» (Plakkhina, Zynoviev, 2025), опубликованы на портале GBIF. Набор данных отражает результаты многолетнего мониторинга фауны жуков и содержит не только видовые списки, но также детализацию мест обитаний, данные о сезонной динамике и обилии видов, что формирует основу для дальнейших экологических исследований карабидокомплекса БС ПГНИУ. Исследования на территории ботанического сада продолжаются, и содержание набора будет актуализироваться.

Материал и методика

Физико-географическая характеристика района исследований. Город Пермь вытянулся на 65 км по обоим берегам Камы в зоне Предуралья краевого прогиба⁷, на восточной окраине Восточно-Европейской платформы⁸. Город занимает полого-волнистую возвышенную равнину, прорезанную р. Камой и ее притоками и занимает площадь, превышающую 80 тыс. га. Помимо р. Камы в городе протекает более 30 рек и речек, встречаются озера, пруды, родники⁷. Основное питание реки получают в период снеготаяния и весенне-летних дождей⁷.

Климат Перми умеренно-континентальный⁹. Средняя годовая температура воздуха составляет +2,0°C, самый холодный месяц – январь со среднемесячной температурой -14,7°C, самый теплый – июль (+17,9°C) (Шкляев, Шкляева, 2006). Годовое количество осадков составляет 627 мм (Шкляев, Шкляева, 2006), наибольшее их количество приходится на июнь и июль, наименьшее – на январь, февраль⁸. Устойчивый снежный покров устанавливается в конце октября – начале ноября, снег лежит в 161-192 дня⁸, при средней высоте снежного покрова 45-57 см (Шкляев, Шкляева, 2006).

Для Перми наиболее характерны дерново-средне- и слабоподзолистые почвы⁷. По механическому составу преобладают тяжелосуглинистые и глинистые⁷. Зимой почвы промерзают до глубины 80 см⁷.

Территория города представлена двумя ботанико-географическими районами: районом широколиственно-елово-пихтовых лесов и районом южнотаёжных елово-пихтовых лесов⁸.

Пермь – крупный промышленный центр с высокой антропогенной нагрузкой⁸. Ведущими межотраслевыми комплексами являются машиностроительный, химический, топливно-энергетический и лесоперерабатывающий⁸.

В городе выделены особо охраняемые природные территории⁷. БС ПГНИУ является ООПТ регионального значения с категорией «ботанический природный резерват»⁸. Сад был основан по инициативе профессора А.Г. Генкеля в 1922 г. для преподавания ботанических дисциплин и научных исследований¹⁰. Ботанический сад – учебно-научное структурное подразделение ПГНИУ, обеспечивающее базу для образовательной, научной, просветительской и инновационной деятельности⁸. Ботанический сад расположен в черте города, на территории кампуса ПГНИУ (рис. 1 / fig. 1). Он занимает площадь около 1,97 гектара¹⁰ и с трех сторон окружен городскими районами, а с четвертой – Транссибирской железнодорожной магистралью. Ботанический сад расположен в непосредственной близости (около 800 м по прямой) от р. Камы. Здесь выращивается более 5 тыс. различных видов растений, в том числе 47 видов, занесенных в Красную книгу Пермского края⁸.

Описание участков исследования. Мониторинг сообществ жуков проводился на 11 участках открытого грунта и в 10 секциях оранжерейного комплекса БС ПГНИУ на протяжении четырех полевых сезонов (2021–2024 гг.).

Расположение обследованных участков на территории сада показано на рис. 2 / fig. 2.

Для участков открытого грунта (рис. 3 / fig. 3) приведены следующие характеристики: наличие/отсутствие деревьев, густота насаждений, упрощенное описание субстрата, уровень освещенности и особенности хозяйственной деятельности. Ключевые параметры окружающей среды на каждом участке отбора проб, включая освещенность, тип субстрата и плотность травяного покрова, проводили путем визуальной оценки (освещенность оценивали по наблюдаемой открытости полого и структуре теней, тип субстрата – с помощью ручного анализа текстуры). Этот подход не дает количественных показателей, но позволяет получить описание условий участка, достаточное для целей исследования.

ВГ-3 – Газон за фондовой оранжерей. Газон шириной около 1,5 м между фондовой оранжереей и клумбами, на которых выращиваются саженцы кустарников и деревьев. На газоне растет несколько взрослых лип. Травостой на участке образован густой газонной травой с незначительным количеством рудеральных видов. Субстрат представляет собой смесь песка и

⁷ Воронов Г.А. Животные города Перми. Позвоночные. Пермь: Форвард-С, 2009. 296 с.

⁸ Бузмаков С.А., Воронов Г.А., Кулакова С.А., Андреев Д.Н., Гатина Е.Л., Зайцев А.А., Санников П.Ю., Шумихин С.А. Особо охраняемые природные территории г. Перми. Пермь: Перм. гос. ун-т, 2012. 204 с.

⁹ Воронов Г.А. Эколого-географические очерки наземных позвоночных животных города Перми. Пермь: ПГНИУ, 2016. 155 с.

¹⁰ Шумихин С.А. Ботанические экскурсии по коллекциям и экспозициям Ботанического сада им. А.Г. Генкеля Пермского университета: путеводитель. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Санкт-Петербург: Маматов, 2015. 208 с.

торфа. Плотность субстрата средняя. Освещенность высокая. Траву регулярно скашивают и поливают с помощью автоматических разбрызгивателей.

BG-4 – Рудеральная растительность. Участок расположен за мемориальной оранжереей. На участке нет деревьев. Трава густая, но невысокая. Субстрат на участке плотный, каменистый, с погребенным строительным мусором. На участке много солнца. Траву скашивают в конце мая, середине июля и в последней декаде августа.

BG-5 – Посадки елей. Участок расположен среди зрелых еловых насаждений с густыми кронами. Травяной покров разреженный, состоящий в основном из рудеральных видов, заходящих с газонов кампуса. Субстрат – смесь песка и торфа. Плотность субстрата средняя. Освещенность средняя. Хозяйственная деятельность на участке отсутствует.

BG-6 – Посадки флоксов. Возделываемый участок, расположенный вдоль основной линии системы теплоснабжения кампуса. Деревьев на участке нет, но растет несколько молодых кустов сирени. Растительный покров представлен посадками флоксов, довольно высокими, но разреженными. Субстрат песчаный. Освещенность средняя. Участок регулярно пропалывают и взрыхляют почву.

BG-7 – Дендрарий. Участок засажен различными лиственными породами деревьев. Травянистый покров плотный, достигает 85%. Субстрат торфяной. Освещенность низкая. Траву скашивают дважды за лето.

BG-8 – Посадки кустов сирени. Участок засажен различными сортами сирени. На участке также растет несколько молодых абрикосовых деревьев. Травянистый покров разреженный. Субстрат песчаный. Освещенность низкая. Хозяйственная деятельность на участке отсутствует.

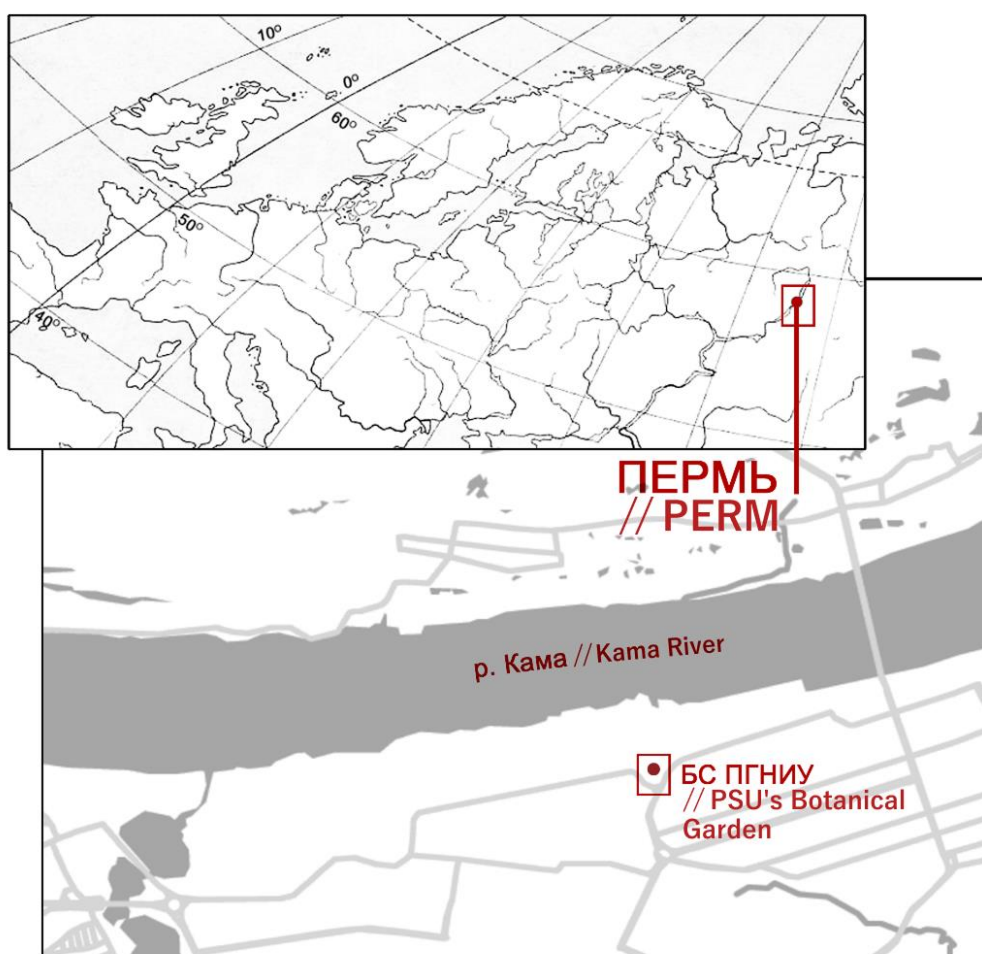


Рис. 1. Расположение БС ПГНИУ
Fig. 1. The location of PSU's Botanical Garden

BG-9 – Посадки туи. Посадки туи расположены вдоль ограды ботанического сада. Субстрат песчаный, покрыт опадом туи, достигающим 4 см. Травянистый покров почти отсутствует; даже рудеральные виды встречаются редко. Освещенность низкая. Хозяйственная деятельность на участке отсутствует.

BG-10 – Газон у забора. Газон, шириной примерно 1,5 м, расположен вдоль ограды Ботанического сада.

На участке растет несколько молодых кустов сирени. Травостой на участке образован густой газонной травой с незначительным количеством рудеральных видов. Субстрат представляет собой смесь песка и торфа. Освещенность высокая. Траву на участке регулярно скашивают и поливают с помощью автоматических разбрызгивателей.

BG-11 – Посадки малины. Участок без деревьев, с кустами малины. Субстрат торфяной. В начале лета кусты малины невысокие, но к середине лета они образуют плотный покров. Освещенность низкая. Участок регулярно пропалывают, взрыхляют и поливают.

BG-22 – Аллея фруктовых деревьев. Участок с фруктовыми деревьями (яблони и груши). В травянистом слое преобладают газонная трава и сныть обыкновенная; сорняки и рудеральные растения встречаются редко; покрытие слоя составляет около 85%. Субстрат – смесь песка и торфа. Плотность субстрата средняя. Освещенность средняя. Траву на участке регулярно скашивают и поливают с помощью автоматических разбрызгивателей.

BG-23 – Пруд. На берегах пруда разбит искусственный растительный комплекс, состоящий из деревьев (кедр и ель), кустарников (ива и можжевельник) и травянистых растений. Субстрат – торф, каменистые участки в виде альпийских горок.

Освещенность низкая. Участок регулярно пропалывают, взрыхляют и поливают.

Экспозиции закрытого грунта (рис. 4 / fig. 4) расположены в фондовой и мемориальной оранжереях общей площадью более 1400 м². Коллекции, насчитывающие более 2200 видов растений, представляют типичные природные сообщества Тропиков и Субтропиков. Участки от **BG-12**, **BG-13**, **BG-14**, **BG-15**, **BG-16** и **BG-17** расположены в фондовой оранжерее 2010 г. постройки; участки от **BG-18**, **BG-19**, **BG-20** и **BG-21** находятся в мемориальной оранжерее, заложенной в 30-х гг. XX в. Описания участков **BG-12**, **BG-13**, **BG-14**, **BG-15** и **BG-16** представлены в соответствии с монографией С.А. Шумихина⁹. Участок **BG-17**, хотя и расположен в той же фондовой оранжерее, не был описан в этой монографии, так как находился в стадии разработки или не был полностью доступен на момент публикации. Описания **BG-17**, **BG-18**, **BG-19**, **BG-20** и **BG-21** сделаны авторами самостоятельно.

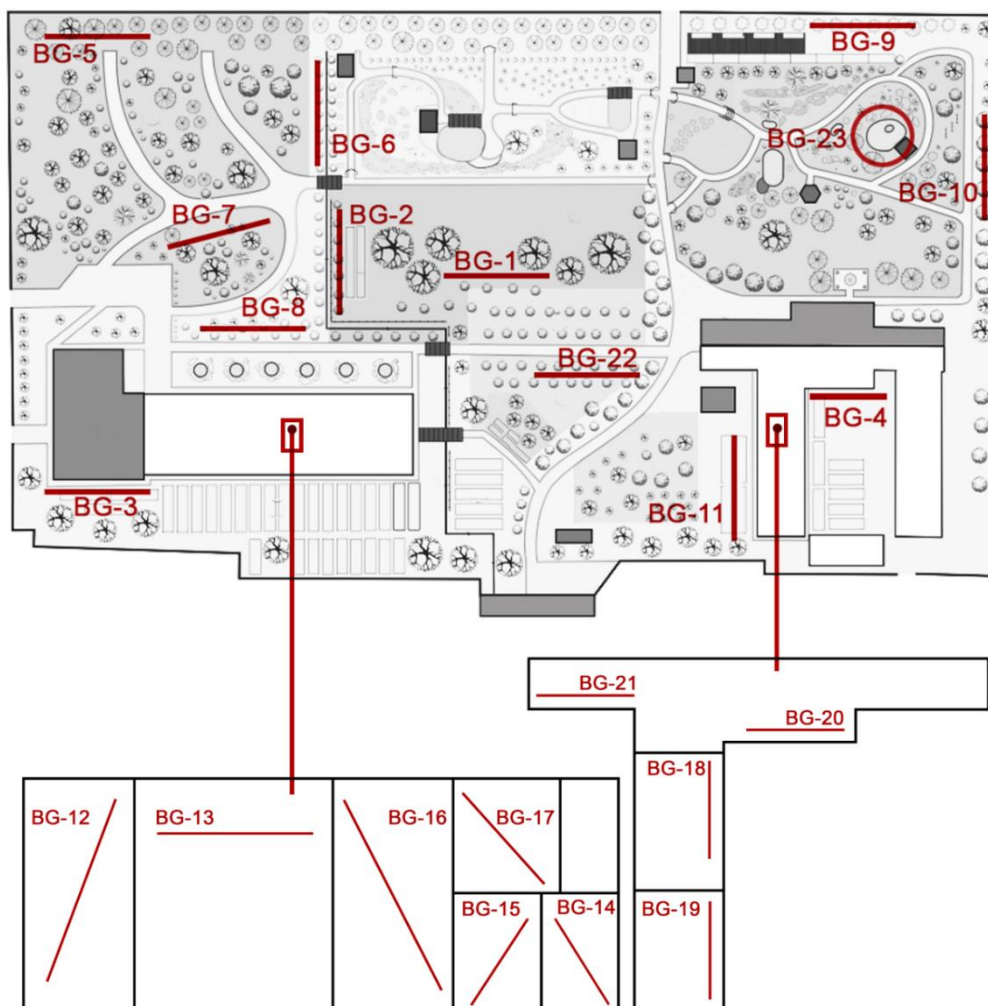


Рис. 2. Расположение участков на территории БС ПГНИУ
Fig. 2. Plot locations on the map of PSU's Botanical Garden



Рис. 3. Некоторые из обследованных участков открытого грунта БС ПГУ
 Fig. 3. Some open-air plots of PSU's Botanical Garden

BG-12 – Пермский период. Отделение оранжерей площадью 214 м². Экспозицию этого отделения составляют виды, представляющие древние таксоны, широко распространенные в течение пермского геологического периода. Экспозиция сформирована из ныне живущих образцов данных систематических групп растений. Особая роль в экспозиции отведена демонстрационному филогенетическим связям и

генезису основных современных систематических групп растений.

BG-13 – Влажные тропики. Экспозиция площадью 321 м² представляет собой имитацию влажно-тропического леса с соответствующими микроклиматическими особенностями (постоянно высокие температуры воздуха и влажность). Здесь демонстрируются характерные растения влажно-тропических лесов

палеотропического и неотропического царств, а также растения Австралии. В экспозиции представлены различные жизненные формы и основное внимание уделено демонстрации сложной ярусной структуры влажно-тропических лесов.

BG-14 – Кактусы и суккуленты. Отделение оранжереи площадью 81 м². Здесь представлено небольшое количество видов растений в сочетании с

многочисленными каменистыми включениями. Посадка разреженная, имитирующая особенности природных местообитаний. Внимание акцентируется на особенностях жизненных форм флоры пустынь и полупустынь, а также на группах адаптаций к соответствующему образу жизни. Кроме того, описываются типичные аридные биомы, а также уникальная группа приморских (туманных) пустынь.



Рис. 4. Некоторые из обследованных участков оранжерейного комплекса БС ПГНИУ
Fig. 4. Some plots inside the greenhouse complex of the PSU's Botanical Garden

BG-15 – Эпифиты. Экспозиция площадью 79 м² представлена растениями соответствующей жизненной формы из семейств Agaceae, Bromeliaceae, Orchidaceae, Piperaceae и других. Большинство растений нуждается в определенных условиях: высокой влажности и постоянно высокой температуре. Эпифиты располагаются на опорах. На грунтовой площадке высажены различные виды наземных орхидей, бромелиевых, папоротников, пеперомий. В центре расположен «лотосовый» водоем с торфяным болотцем. Особое внимание уделено демонстрации различного рода адаптаций растений к суточной и сезонной динамике водного и светового режимов, и специфике эпифитного образа жизни. Здесь же расположена экспозиция «Насекомоядные растения», демонстрирующая различные типы ловчих механизмов.

BG-16 – Сухие тропики. Отделение оранжереи площадью 213 м². Область сухих тропиков характеризуется сменой двух сезонов: дождливого и сухого, поэтому в отделении организовано два режима содержания растений: летний (влажный и жаркий) и зимний (более сухой и прохладный). Экспозиция делится на зоны палеотропиков и неотропиков. Особое внимание уделено уникальной флоре осветленных парковых лесов и саванн Австралии. Посадки растений менее плотные, чем в отделении влажных тропиков, что отражает специфику летне-зеленых тропических лесов. Акцент сделан на сезонности феноритмов и связанных с ней метаморфозах растительности.

BG-17 – Полезные растения тропиков. На экспозиции «Полезные растения тропиков» представлены виды, используемые человеком в практических целях. Эта секция отличается высокой влажностью и стабильно высокими температурами.

Участки **BG-18 – Орхидеи**, **BG-19 – Субтропики**, **BG-20 – Старая теплица (теплая часть)** и **BG-21 – Старая теплица (холодная часть)** расположены в мемориальной оранжерее и представляют собой большую экспозицию Субтропических растений, для которых характерен период вегетации летом и период покоя зимой. Температура и влажность в секциях оранжереи сходны с естественными условиями. На экспозиции представлены разнообразные растения, в том числе из семейств Rutaceae, Myrtaceae, Ericaceae, Orchidaceae и Theaceae, а также тропические фруктовые деревья и представители австралийской флоры. Ловушки участка **BG-18** были установлены среди корней орхидей, **BG-19** – под цитрусовыми деревьями, **BG-20** – вдоль линии системы теплоснабжения, в **BG-21** – в более прохладной части этой секции, недалеко от входа.

Метод отлова. Жужелицы собраны при помощи почвенных ловушек – пластиковых стаканчиков (объем 200 мл, диаметр 70 мм) на треть наполненных фиксатором (4% формалин). Для предотвращения попадания атмосферных осадков и сохранения миграционных коридоров для мезофауны, каждая ловушка оборудовалась защитным экраном, изготовленным из перфорированных пластиковых контейнеров (рис. 5 / fig. 5).



Рис.5. Модифицированные почвенные ловушки на учетных площадках БС ПГНИУ
Fig. 5. Modified pitfall traps installed open-air plots of PSU's Botanical Garden

На исследуемых участках открытого грунта устанавливалось по 10 ловушек в линию на расстоянии 2 м друг от друга, в оранжерейном комплексе – по 5 ловушек на том же расстоянии. Продолжительность экспонирования ловушек в среднем составляла 14 дней, за исключением некоторых учетов, которые оказались короче или длиннее указанного диапазона.

Временной охват. Материал собирался на протяжении четырех лет. На участках открытого грунта с 23 апреля по 12 ноября 2021 г., с 26 апреля по 11 ноября 2022 г., с 31 марта по 10 ноября 2023 г. и с 12 апреля

по 22 ноября 2024 г. В оранжерейном комплексе ловушки были установлены с 30 декабря 2020 г. по 24 декабря 2021 г.

Камеральная обработка. После завершения полевых работ собранный материал был подвергнут камеральной обработке. На этом этапе проводилась сортировка организмов, их таксономическая идентификация до вида и последующее этикетирование. Первоначальная идентификация видов была проведена Е.В. Зиновьевым с использованием коллекции Музея Института экологии растений и животных УрО РАН,

г. Екатеринбург. Все последующие идентификации проводились Е.В. Плаксиной.

Подготовка и публикация данных. Для публикации данных была выбрана и адаптирована структура Darwin Core – широко признанный в мире стандарт для обмена данными о биоразнообразии. Все полученные сведения были стандартизированы, а таксономические определения сверены с авторитетными базами. Окончательный набор данных был загружен через платформу IPT (Integrated Publishing Toolkit) Глобального портала о биоразнообразии (GBIF) в формате «учетного события» (sampling-event). Финальный этап работы включал оформление метаданных и регистрацию набора, в результате чего ему был присвоен постоянный идентификатор DOI, что обеспечивает долгосрочную сохранность данных, их удобный поиск и корректное цитирование.

Результаты

Название набора данных: Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia).

Описание: Набор данных включает 2 316 записей о находках 9 752 особей жуков (Coleoptera: Carabidae), представителей 66 видов из 25 родов и. Набор данных содержит информацию о видовом составе и численности, распределении местообитаний, сезонной и долгосрочной динамике жуков в условиях закрытого и открытого грунта. Все записи имеют географическую привязку и связаны с важными метаданными, такими как дата учета, высота над уровнем

моря, тип местообитания, информация о методе, интенсивности и продолжительности сборов.

Лицензия: работа лицензирована в соответствии с Creative Commons Attribution (CC-BY 4.0).

Ссылка на ресурс: <https://doi.org/10.15468/86n5pu>.

Альтернативные идентификаторы: http://gbif.ru:8080/ipt/resource?r=psu_botgar_carabids.

Ссылка для загрузки: http://gbif.ru:8080/ipt/archive.do?r=psu_botgar_carabids.

Формат данных: Darwin Core.

Darwin Core – это общепринятый стандарт для обмена данными о биологическом разнообразии, который представляет собой глоссарий четко определенных терминов (их также можно назвать свойствами, полями или атрибутами). Эти термины служат универсальным языком, который позволяет различным системам и организациям беспрепятственно обмениваться информацией о живых организмах¹¹. Основная сфера применения Darwin Core – описание таксонов (видов, родов, семейств и т.д.), а также документация их встречаемости в природе. Стандарт позволяет единообразно описывать данные, полученные из разных источников: наблюдения, коллекционные образцы, результаты полевых сборов и любую сопутствующую информацию (Wieczorek, 2012). Список и детальное описание всех терминов, которые могут быть использованы в рамках данного формата, отображены в кратком справочном руководстве¹². Ниже, в табл. 1 / tabl. 1 описаны термины (45), используемые в наборе данных.

Таблица 1

Описание терминов Darwin Core, использованных при формировании набора данных «Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia)»

Table 1

The description of Darwin Core Terms used in dataset «Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia)»

Название столбца // Column label	Описание столбца // Column description
parentEventID	Идентификатор более общего события, которое объединяет данное и, потенциально, другие события. Переменная. // An identifier for the broader event that groups this and potentially other events. A variable.
eventID	Уникальный идентификатор набора информации, связанной с событием – действием, произошедшим в определенном месте и время. Может быть глобальным уникальным идентификатором (GUID) или идентификатором, специфичным для набора данных. Переменная. // An identifier for the set of information associated with an event (something that occurs at a place and time). May be a global unique identifier or an identifier specific to the dataset. A variable.
eventDate	Конкретная дата и время или временной интервал, в течение которого произошло событие. Для находок (occurrences) – это дата и время регистрации события. Не применимо для геологического времени. Переменная. // The date-time or interval during which an event occurred. For occurrences, this is the date-time when the event was recorded. Not suitable for a time in a geological context. A variable.
startDayOfYear	Номер дня в году, в который началось событие. Переменная. // The earliest integer day of the year on which the event occurred. A variable.
endDayOfYear	Номер дня в году, в который закончилось событие. Переменная. // The latest integer day of the year on which the event occurred. A variable.
samplingProtocol	Названия, ссылки или описания методов или протоколов, использовавшихся во время события. Переменная. // The names or references to, or descriptions of the methods or protocols used during an event. A variable.
sampleSizeValue	Численное значение, характеризующее размер выборки (продолжительность времени, длина, площадь или объем) при проведении сбора. Переменная. // Numeric value for a measurement of the size (time duration, length, area or volume) of a sample in a sampling event. A variable.

¹¹ Darwin Core Maintenance Group. List of Darwin Core terms. Biodiversity Information Standards (TDWG). 2021. [Электронный ресурс]. URL: <http://rs.tdwg.org/dwc/doc/list/> (дата обращения: 16.09.2025).

¹² Darwin Core Maintenance Group. Darwin Core Quick Reference Guide. Biodiversity Information Standards (TDWG). 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://dwc.tdwg.org/terms/> (дата обращения: 16.09.2025).

Название столбца // Column label	Описание столбца // Column description
sampleSizeUnit	Единица измерения размера выборки. Константа (например, "ловушко-сутки" / "trap-days"). // The unit of measurement of the size (time duration, length, area, or volume) of a sample in a sampling event. A constant ("trap-days").
samplingEffort	Интенсивность и продолжительность сборов в событии. Переменная. // The amount of effort expended during an event. A variable.
habitat	Категория или описание местообитания, в котором произошло событие. Переменная. // A category or description of the habitat in which the event occurred. A variable.
locationID	Идентификатор набора информации о месте. Может быть глобальным уникальным идентификатором или идентификатором, специфичным для набора данных. Переменная. // An identifier for the set of location information. May be a global unique identifier or an identifier specific to the dataset. A variable.
higherGeography	Идентификатор географического региона, в котором находится место. Константа ("Европа Российская Федерация Пермский край Пермь"). // An identifier for the geographic region within which the location occurred. A constant ("Europe Russian Federation Perm Krai Perm").
continent	Название континента, на котором находится место. Константа ("Европа"). // The name of the continent in which the location occurs. A constant ("Europe").
country	Название страны или основной административной единицы, в которой находится место. Константа ("Российская Федерация"). // The name of the country or major administrative unit in which the location occurs. A constant ("Russian Federation").
countryCode	Стандартный код страны (по стандарту ISO) места нахождения. Константа ("RU"). // The standard code for the country in which the location occurs. A constant ("RU").
stateProvince	Название административной единицы уровня ниже страны (край, область, провинция и т.д.), в которой находится место. Константа ("Пермский край"). // The name of the next smaller administrative region than country (state, province, canton, department, region etc.) in which the location occurs. A constant ("Perm Krai").
county	Полное название административного района уровня ниже области (район, графство и т.д.), в котором находится место. Константа ("Пермский район"). // The full, unabbreviated name of the next smaller administrative region than state province (county, shire, department etc.) in which the location occurs. A constant ("Permskiy District").
municipality	Полное название населенного пункта уровня ниже района (город, муниципалитет и т.д.), в котором находится место. Не следует использовать для обозначения ближайшего населенного пункта, не содержащего саму точку. Константа ("Пермь"). // The full, unabbreviated name of the next smaller administrative region than county (city, municipality etc.) in which the location occurs. Do not use this term for a nearby named place that does not contain the actual location. A constant ("Perm").
locality	Конкретное описание места. Константа ("Ботанический сад ПГУ"). // The specific description of the place. A constant ("PSU's Botanical Garden").
minimumElevationInMeters	Нижняя граница диапазона высот (над уровнем моря) в метрах. Константа ("105"). // The lower limit of the range of elevation (altitude, usually above sea level), in metres. A constant ("105").
maximumElevationInMeters	Верхняя граница диапазона высот (над уровнем моря) в метрах. Константа ("105"). // The upper limit of the range of elevation (altitude, usually above sea level), in metres. A constant ("105").
decimalLatitude	Географическая широта (в десятичных градусах) центра географической привязки места. Положительные значения – к северу от экватора, отрицательные – к югу. Допустимые значения от -90 до 90. Переменная. // The geographic latitude (in decimal degrees, using the spatial reference system given in "geodeticDatum") of the geographic centre of a location. Positive values are north of the Equator, negative values are south of it. Legal values lie between -90 and 90, inclusive. A variable.
decimalLongitude	Географическая долгота (в десятичных градусах) центра географической привязки места. Положительные значения – к востоку от Гринвича, отрицательные – к западу. Допустимые значения от -180 до 180. Переменная. // The geographic longitude (in decimal degrees, using the spatial reference system given in "geodeticDatum") of the geographic centre of location. Positive values are east of the Greenwich Meridian, negative values are west of it. Legal values lie between -180 and 180, inclusive. A variable.
geodeticDatum	Эллипсоид, геодезическая датум-основа или система пространственной привязки (SRS), используемые для координат. Константа ("WGS84"). // The ellipsoid, geodetic datum or spatial reference system (SRS), upon which the geographic coordinates given in "decimalLatitude" and "decimalLongitude" are based. A constant ("WGS84").
coordinatePrecision	Десятичное число, указывающее точность координат. Константа ("0.00001"). // A decimal representation of the precision of the coordinates given in the "decimalLatitude" and "decimalLongitude". A constant ("0.00001").
coordinateUncertaintyInMeters	Расстояние в метрах от указанных координат, описывающее наименьший круг, содержащий всю территорию места. Оставляется пустым, если неопределенность неизвестна. Ноль не является допустимым значением. Константа ("25"). // The horizontal distance (in metres) from the given decimal latitude and decimal longitude describing the smallest circle containing the whole of the location. Leave the value empty if the uncertainty is unknown, cannot be estimated or is not applicable (because there are no coordinates). Zero is not a valid value for this term. A constant ("25").
georeferencedBy	Список имен людей, групп или организаций, выполнивших географическую привязку места. Константа ("Плакхина Евгения"). // A list (concatenated and separated) of names of people, groups or organisations who determined the georeference (spatial representation) for the location. A constant ("Plakkhina Evgeniia").
georeferencedDate	Дата выполнения географической привязки места. Константа ("2024"). // The date on which the location was georeferenced. A constant ("2024").
occurrenceID	Идентификатор самой находки, отличается от конкретной цифровой записи о ней. // An identifier for the occurrence (as opposed to a particular digital record of the occurrence).
basisOfRecord	Конкретный тип регистрируемых данных. Константа ("Наблюдение человека" / "HumanObservation"). // The specific nature of the data record. A constant ("HumanObservation").
individualCount	Количество особей, присутствовавших в момент регистрации находки. Переменная. // The number of individuals present at the time of the occurrence. A variable.
organismQuantity	Число, указывающее количество организмов. Переменная. // A number or enumeration value for the quantity of organisms. A variable.

Название столбца // Column label	Описание столбца // Column description
occurrenceStatus	Утверждение о присутствии или отсутствии таксона в данном месте. Константа ("присутствует" / "present"). // A statement about the presence or absence of a taxon at location. A constant ("present").
scientificName	Полное научное название с указанием автора и даты описания, если известно. Должно быть именем низшего из определенных таксономических рангов. Не должно содержать уточняющих идентификационных пометок. Переменная. // The full scientific name, with authorship and date information if known. When forming part of an identification, this should be the name in the lowest level taxonomic rank that can be determined. This term should not contain identification qualifications, which should instead be supplied in the "identificationQualifier" term. A variable.
kingdom	Полное научное название царства, к которому относится таксон. Константа ("Animalia"). // The full scientific name of the kingdom in which the taxon is classified. A constant ("Animalia").
phylum	Полное научное название типа (отдела), к которому относится таксон. Константа ("Arthropoda"). // The full scientific name of the phylum or division in which the taxon is classified. A constant ("Arthropoda").
class	Полное научное название класса, к которому относится таксон. Константа ("Arachnida"). // The full scientific name of the class in which the taxon is classified. A constant ("Arachnida").
order	Полное научное название отряда, к которому относится таксон. Константа ("Araneae"). // The full scientific name of the order in which the taxon is classified. A constant ("Araneae").
family	Полное научное название семейства, к которому относится таксон. Переменная. // The full scientific name of the family in which the taxon is classified. A variable.
genus	Полное научное название рода, к которому относится таксон. Переменная. // The full scientific name of the genus in which the taxon is classified. A variable.
specificEpithet	Название видового эпитета в номенклатуре. Переменная. // The name of the first or species epithet of the scientific name. A variable.
sex	Пол биологической особи (особей), представленной в находке. Переменная. // The sex of the biological individual(s) represented in the occurrence. A variable.
lifeStage	Возраст или стадия жизни организма(ов) на момент регистрации находки. Переменная. // The age class or life stage of the organism(s) at the time the occurrence was recorded. A variable.
recordedBy	Лицо, группа или организация, ответственные за первичную регистрацию находки. Константа ("Плакхина Е.В."). // A person, group or organisation responsible for recording the occurrence. A constant ("Plakkhina E.V.").
identifiedBy	Список людей, групп или организаций, ответственных за идентификацию таксона. Переменная. // A list (concatenated and separated) of the globally unique identifier for the person, people, groups or organisations responsible for assigning the taxon to the subject. A variable.

Созданный набор данных позволяет перейти от простого перечисления видов к анализу структуры населения. В качестве примера такого анализа, ставшего возможным благодаря собранному массиву стандартизированной информации, на рис. 6-7 / fig. 6-7 представлены данные о таксономическом разнообразии и распределении обилия жужелиц по участкам Ботанического сада.

Всего было отловлено 66 видов жужелиц, представленных 25 родами. Наиболее разнообразно на территории БС ПГНИУ представлены рода *Amara* (11 видов), *Bembidion* (6), *Harpalus* (8) и *Pterostichus* (7) (рис. 6А / fig. 6А). В численном отношении преобладали рода *Pterostichus* (3 045 особей), *Harpalus* (1 807), *Amara* (1 725), *Bembidion* (1 074) и *Calathus* (875) (рис. 6Б / fig. 6Б). Наибольшее количество особей отмечено на участке BG-7 («Дендрарий», 2 143 особи), участками с наименьшим количеством отловленных особей стали BG-23 («Пруд», 220 особей) и BG-9 («Туи», 163 особи) (рис. 7 / fig. 7).

Дискуссия

Публикация набора данных «Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia)» создает основу для будущих сравнительно-фаунистических и экологических исследований. В перспективе, он позволит провести детальный анализ специфики населения жужелиц ботанического сада как изолированного биотопа в урбанизированной среде в сравнении с фауной города Перми, Пермского края и

Уральского региона в целом. Это даст возможность выявить роль подобных «зеленых островов» в поддержании регионального биоразнообразия.

Проведенные исследования фауны жужелиц на территории БС ПГНИУ могут быть масштабированы на другие таксоны, участки и временные интервалы. Текущий набор данных может быть дополнен находками жужелиц на других участках БС ПГНИУ. Приоритетными группами для формирования и публикации наборов данных о фауне БС ПГНИУ являются также сенокосы (Opiliones) и многоножки (Myriapoda), но собранный за период исследования материал предполагает формирование наборов данных и по другим группам, попадающим в почвенные ловушки.

Хорошим дополнением с точки зрения изучения локальных фаун станет наблюдение за сезонной динамикой групп, населяющих травяно-кустарничковый и древесный ярусы. В 2025 г. при помощи ловчих поясов, установленных на участках с различными типами древесных насаждений, была проведена серия учетов фауны пауков-дендробионтов. Эти данные также могут послужить дополнением к существующему набору данных о пауках БС ПГНИУ (Plakkhina et al., 2025).

Интересным может оказаться исследование суточной активности почвенной мезофауны, с использованием специализированных ловушек, оборудованных датчиками, фиксирующими параметры окружающей среды, а также детальное исследование активности беспозвоночных в субнивальном пространстве.

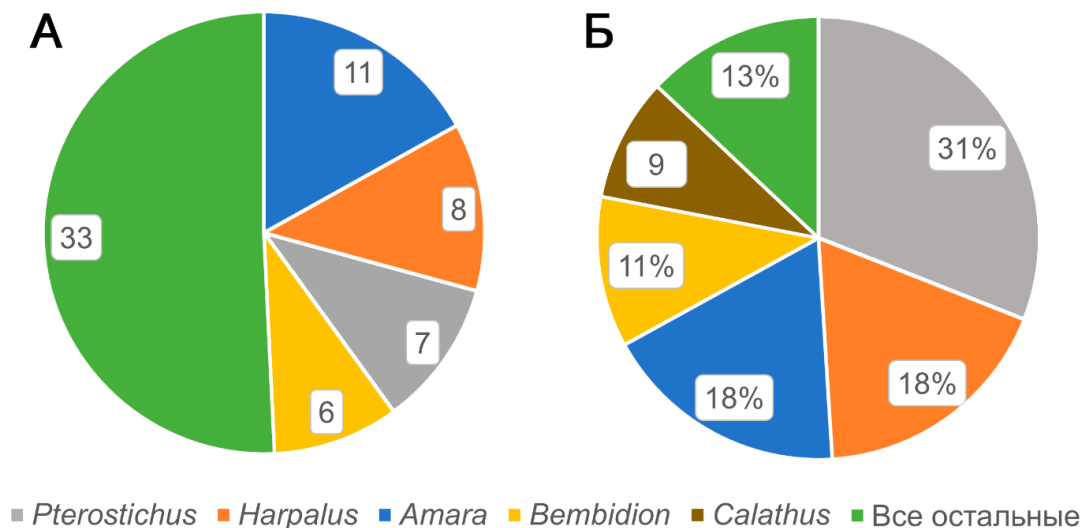


Рис. 6. Количество видов жуужелиц по родам (А) и доля особей в родах жуужелиц от общей численности семейства (Б), зарегистрированных в Ботаническом саду ПГНИУ за весь период исследования
Fig. 6. Number of carabid beetle species by genus (A) and the proportion of individuals in the genera (B) recorded in the PSU's Botanical garden over the entire study period

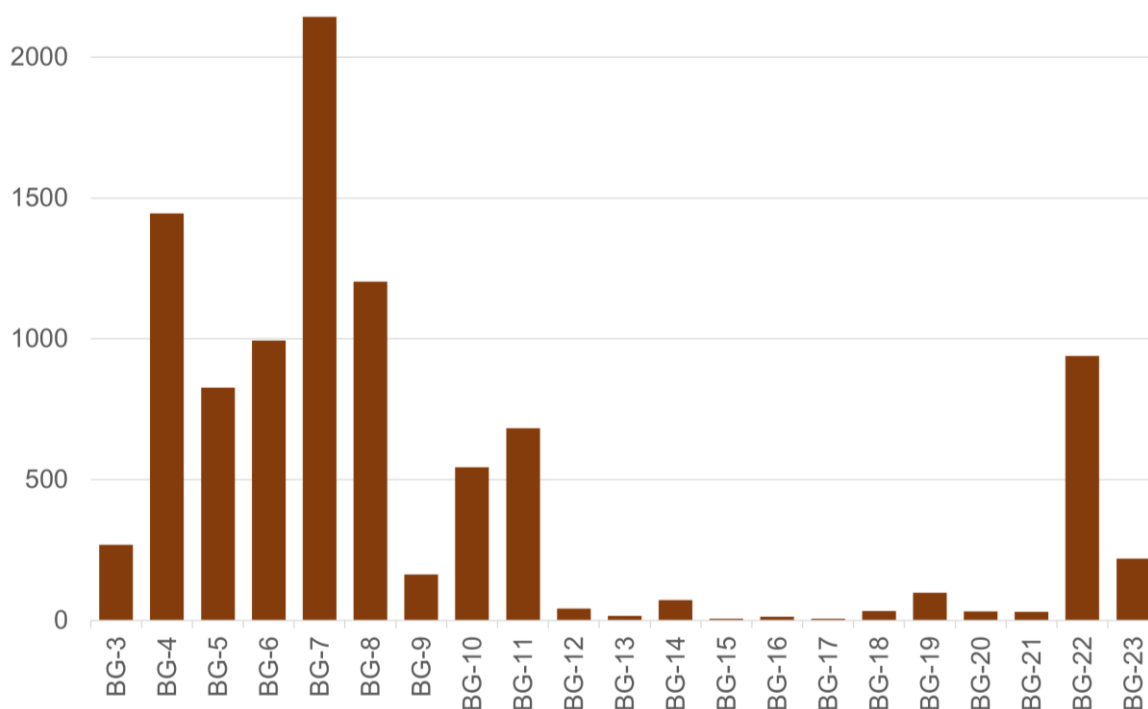


Рис. 7. Число отловленных особей жуужелиц по участкам БС ПГНИУ
Fig. 7. The number of ground beetle specimens captured at sites of the PSU's Botanical Garden

За все время работы Пермского университета (с 1916 г.) сформирован значительный корпус научных публикаций, содержащих информацию о регистрируемых на территории региона живых организмах. Эта информация так или иначе анализируется отдельными учеными при написании работ, однако эти данные остаются рассредоточенными, что ограничивает их потенциал для комплексного анализа. Их извлечение из «черных публикационных дыр» и формирование открытых источников о биоразнообразии могло бы послужить основой для ретроспективного анализа изменений в структуре сообществ живых организмов.

Реализация этого подхода позволит сформировать репрезентативные наборы данных, описывающие биоразнообразие урбанизированных (г. Пермь), природных (ООПТ) и обширных административных (Пермский край) территорий. Это же касается и коллекционных экспонатов, хранящихся на кафедрах, в институтах и музеях города.

Самая обширная коллекция жуужелиц в России хранится в Зоологическом институте Российской академии наук в Санкт-Петербурге (Крыжановский, 1983), но не оцифрована даже на уровне метаданных (Shashkov et al., 2021). Ценность экологических

данных резко возрастет при фиксации не только видовой принадлежности и конкретной точки на карте, но также фенологии и привязке находок к микроместообитаниям. Такие данные открывают больше возможностей для экологического анализа. Сведения о методах проведения исследований и оценке обилия видов, обнаруженных на учетных площадях (маршрутах, трансектах), доступны только в наборах данных типа «sampling-event», содержащих первичные сведения каждого учета как единого целого (Иванова, Шашков, 2021). Формирование наборов данных на основе актуальных исследований биоразнообразия Пермского края хотя и представляет собой ресурсоемкую задачу, однако ее решение обладает значительным научным потенциалом.

Заключение

Несмотря на столетнюю историю изучения биоразнообразия Пермского края, значительная часть полученных данных остается разрозненной и малодоступной. Сведения из литературных источников, а также результаты многих современных исследований зачастую не преобразуются в стандартизированные, машиночитаемые форматы, что существенно ограничивает их потенциал для комплексного анализа.

Публикация наборов данных по жужелицам и паукам (Plakkhina et al., 2025) Ботанического сада ПГНИУ закладывает основу для решения этой проблемы. Особую важность имеет публикация данных в формате

«sampling-event», который, в отличие от простых списков видов, сохраняет информацию о методе интенсивности и продолжительности сбора, контексте находок, что является необходимым условием для глубокого экологического анализа.

Ботанические сады, с присущей им мозаичностью местообитаний и возможностью организации долгосрочного мониторинга, представляют собой идеальные модельные площадки для изучения городских комплексов беспозвоночных.

Проведенная работа и созданный набор данных позволили зафиксировать и описать фауну жужелиц Ботанического сада ПГНИУ. В результате четырехлетнего мониторинга выявлен видовой состав сообщества (66 видов из 25 родов), установлены доминирующие таксоны (рода *Pterostichus*, *Harpalus*, *Amara*) и показаны значительные различия в численности жужелиц между разными участками сада. Сравнительный анализ и выявление экологических особенностей населения жужелиц являются следующей логической ступенью исследования.

Перспективы развития направления видятся в последовательном пополнении существующих наборов данных, создании новых по другим группам беспозвоночных БС ПГНИУ и, в дальнейшем, в масштабировании этого подхода для формирования комплексных наборов данных по биоразнообразию Пермского края на основе как актуальных, так и ретроспективных данных.

Финансирование

Работа выполнена в рамках госзадания УрО РАН 122021000094-3.

Funding

The work was carried out according to the state assignment IPAE RAS 122021000094-3.

Благодарности

Авторы выражают благодарность д.б.н., профессору кафедры зоологии беспозвоночных и водной экологии ПГНИУ Сергею Леонидовичу Есюнину за всестороннюю поддержку в проведении исследовательских работ; директору Ботанического сада ПГНИУ Сергею Анатольевичу Шумихину за возможность проведения долгосрочных исследований на территории БС ПГНИУ; к.б.н. Института математических проблем биологии – филиала Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН Наталье Владимировне Ивановой за помощь в формировании и публикации набора данных.

Acknowledgments

The authors would like to express their sincere gratitude to Dr. Sergey L. Esiunin (Perm State University), for his support throughout the project; Sergey A. Shumikhin (PSU's Botanical Garden) for granting us permission to conduct long-term research in the garden; and Natalia V. Ivanova (Institute of Mathematical Problems of Biology of the Russian Academy of Sciences) for her invaluable assistance in preparing and publishing the data set.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Сведения об авторском вкладе

Е.В. Плакхина – проведение полевых учетов, сбор, идентификация и систематизация материала, сбор и публикация набора данных, подготовка текста рукописи.

Е.В. Зиновьев – идентификация материала, подготовка текста рукописи, научное редактирование, вычитка итоговой версии статьи.

Contribution of the authors

E.V. Plakkhina – conduction of the field studies, collection, identification and systematization of the material, publication of the dataset, preparation of the manuscript text.

E.V. Zinovyev – identification of the material, preparation of the manuscript text, scientific editing, proofreading of the final version of the article.

Список источников

1. Бельская Е.А., Созонтов А.Н., Золотарев М.П., Воробейчик Е.Л. Комплексы эпигейных паукообразных и жуков в загрязненных металлами лесах: есть ли признаки восстановления после снижения выбросов Среднеуральского медеплавильного завода // *Экология*. 2025. №1. С. 34-52. <https://doi.org/10.31857/S0367059725010032>
2. Воронин А.Г. Биоразнообразие жуков (Coleoptera, Carabidae) в городах Среднего Урала // *Экология фундаментальная и прикладная. Проблемы урбанизации: мат. междунар. науч.-практ. конф.* Екатеринбург, 3-4 февраля 2005 г. Екатеринбург, 2005. С. 82-84.
3. Зиновьев Е.В., Пархачёв А.А. Характеристика элементарной фауны жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) участка городской застройки Екатеринбурга // *Фауна Урала и Сибири*. 2017. № 1. С. 63-83.
4. Иванова Н.В., Шашков М.П. Возможности использования данных глобального портала о биоразнообразии GBIF в экологических исследованиях // *Экология*. 2021. № 1. С. 3–11. <https://doi.org/10.31857/S0367059721010066>
5. Козьминых В.О. Каталог жуков (Coleoptera) Урала и прилегающих территорий (к 200-летию исследований в Уральском регионе). II. Жуки (Carabidae), сообщение 1 // *Эверсмания*. 2024. № 79. С. 10-53.
6. Козьминых В.О. Каталог жуков (Coleoptera) Урала и прилегающих территорий (к 200-летию исследований в Уральском регионе). II. Жуки (Carabidae), сообщение 2 // *Эверсмания*. 2024. № 80. С. 54-96.
7. Крыжановский О.Л. Фауна СССР. Т. 1. Вып. 2. Жуки подотряда Adephaga: семейства Physodidae, Trachypachidae; семейство Carabidae (вводная часть, обзор фауны СССР). Ленинград: Наука, 1983. 341 с.
8. Михайлов Ю.Е. Биоразнообразие жуков в городских лесах Екатеринбурга: показатели для мониторинга // *Актуальные проблемы геоэкологии и природопользования: мат. I междунар. науч.-практ. конф.* Краснодар, 2022. С. 260-264.
9. Плакшина Е.В. Динамика численности и половой состав *Harpalus rufipes* (DeGeer, 1774) в зимний период в условиях закрытого грунта Ботанического сада ПГНИУ // *Фундаментальные и прикладные исследования в биологии и экологии: материалы региональной студенческой научной конференции* / отв. ред. А.Б. Крашенинников; ПГНИУ. Пермь, 2021. С. 197-200.
10. Плакшина Е.В., Есюнин С.Л. Жуки (Coleoptera, Carabidae) в оранжерейном комплексе Ботанического сада ПГНИУ (Пермь) // *Фундаментальные и прикладные исследования в биологии и экологии: материалы региональной студенческой научной конференции* / отв. ред. А.Б. Крашенинников; ПГНИУ. Пермь, 2024. С. 193-199.
11. Плакшина Е.В., Зиновьев Е.В., Есюнин С.Л. Структура населения жуков (Coleoptera, Carabidae) участков некультивируемой растительности ботанического сада ПГНИУ (г. Пермь) // *Сибирский Экологический Журнал*. 2024. Т. 31. № 5. С. 802-814. <https://doi.org/10.15372/SEJ20240511>
12. Семёнова О.В. К фауне жуков (Coleoptera, Carabidae) городских парков г. Нижнего Тагила // *Актуальные проблемы биологии: тез. докл. V молодеж. науч. конф.* Сыктывкар, 1998. С. 173-174.
13. Семёнова О.В. Экология жуков в промышленном городе // *Экология*. 2008. Вып. 6. С. 468-474.
14. Чердинцева Т.М., Чердинцев А.А. Фауна жуков (Coleoptera, Carabidae) эколого-функциональных зон города Оренбурга // *Вестник Оренбург. педагог. ун-та*. 2015. Вып. 3(15). С. 33-38.
15. Черкасова О.Н. К составу населения жуков районов городской застройки г. Оренбурга // *Тр. Ин-та биоресурсов и прикладной экологии*. 2006. Вып. 6. С. 56.
16. Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Климатические ресурсы Уральского Прикамья // *Географический вестник*. 2006. № 2(4). С. 97-110.
17. Aleksanov V.V., Alekseev S.K. 2021. Ground beetles (Carabidae) in urban habitats of Kaluga city (Russia). Version 1.11. State Budgetary Institution of Kaluga Region "Parks Directorate". Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/t99wkm> (дата обращения: 24.09.2025).
18. Alekseev S.K., Ruchin A., Egorov L.V., Artaev O., Semishin G.B., Esin M.N. 2021. Carabidae of Mordovia State Nature Reserve. Version 1.8. Joint Directorate of the Mordovia State Nature Reserve and National Park "Smolny". Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/9s9z7s> (дата обращения: 24.09.2025).
19. Magura T., Lövei G.L. Consequences of Urban Living: Urbanization and Ground Beetles // *Current Landscape Ecology Reports*. 2021. Vol. 6, P. 9-21 <https://doi.org/10.1007/s40823-020-00060-x>
20. Egorov L.V., Alekseev S.K., Aleksanov V.V., Ruchin A., Esin M.N., Lukiyanov S., Lobachev E.A., Artaev O., Semishin G.B. 2023. Fauna of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of the Republic of Mordovia (Russia). Joint Directorate of the Mordovia State Nature Reserve and National Park "Smolny". Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/5zvf4v> (дата обращения: 24.09.2025).
21. Fujita A., Maeto K., Kagawa Y., Ito N. Effects of forest fragmentation on species richness and composition of ground beetles (Coleoptera: Carabidae and Brachinidae) in urban landscapes // *Entomological Science*. 2008. Vol. 11. P. 39-48. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2007.00243.x>
22. Jelaska L.Š., Blanusa M., Durbešić P., Jelaska S.D. Heavy metal concentrations in ground beetles, leaf litter, and soil of a forest ecosystem // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2007. Vol. 66. P. 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.10.017>
23. Hartley D.J., Koivula M., Spence J.R., Pelletier R.T., Ball G.E. Effects of urbanization on ground beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) of grassland habitats in Western Canada // *Ecography*. 2007. Vol. 30. P. 673-684. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05199.x>

24. Konakova T., Kolesnikova A., 2020. Carabidae of the European North-East of Russia. Version 1.3. Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/zlidpp> (дата обращения: 24.09.2025).
25. Lövei G.L., Sunderland K.D. Ecology and Behavior of Ground Beetles (Coleoptera: Carabidae) // *Annual Review of Entomology*. 1996. Vol. 41. Iss. 1. P. 231-256. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.41.010196.001311>
26. Makarov K., Matalin A., 2021. Carabid beetles of the environs of the Elton Lake: fauna, population dynamics, demography. Version 1.3. Moscow Pedagogical State University (MPSU). Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/a8weeh> (дата обращения: 24.09.2025).
27. Makarov K.V., Sundukov Y. 2022. Carabidae of South Kuriles. Version 1.7. Moscow Pedagogical State University (MPSU). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/9q2cu2> (дата обращения: 24.09.2025).
28. Niemelä J., Kotze D.J., Venn S., Penev L., Stoyanov I., Spence J., Hartley D.J., Montes de Oca E. Carabid beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) across urban-rural gradients: An international comparison // *Landscape Ecology*. 2002. Vol. 17. P. 387-401.
29. Osipova A.S., Buyvolov Y., 2020. Carabidae surveys from the Chronicle of Nature of the Prioksko-Terrasnyi Biosphere Reserve. Prioksko-Terrasnyi Biosphere Reserve. Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/4yvbww> (дата обращения: 24.09.2025).
30. Plakkhina E.V., Ivanova N.V., Esyunin S.L. 2025. Spiders (Arachnida: Araneae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia). Version 1.18. Perm State University. Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/3hztr6> (дата обращения: 24.09.2025).
31. Plakkhina E.V., Zynoviev E.V., 2025. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia). Version 1.3. Perm State University. Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/86n5pu> (дата обращения: 24.09.2025).
32. Serap S.A., Luff M.L. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators of human impact // *Munis Entomology & Zoology Journal*. 2010. Vol. 5. P. 209-215.
33. Shashkov M.P., Alexeev S.K., Ivanova N.V. 2021. Communities of ground beetles (Carabidae, Coleoptera) in broad-leaved forests of protected and urban areas of the Kaluga Oblast (European Russia). Version 1.3. Kaluga State University. Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/3d5fh4> (дата обращения: 24.09.2025).
34. Sundukov Y., Makarov K.V. 2022. The ground beetles (Caraboidea) of Southern Sikhote-Alin. Version 1.6. Moscow Pedagogical State University (MPSU). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/ebx56x> (дата обращения: 24.09.2025).
35. Teofilova T.M. Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) communities and microhabitat diversity in a mountain village house yard – a case study from the Western Rhodope Mountains in Bulgaria // *Zoology and Ecology*. 2022. Vol. 32. P. 153-164. <https://doi.org/10.35513/21658005.2022.2.8>
36. Vorobeichik E.L., Nesterkov A.V., Ermakov A., Zolotarev M., Grebennikov M. 2022. Diversity and abundance of soil macroinvertebrates along a contamination gradient in the Central Urals, Russia. Version 1.5. Institute of Plant and Animal Ecology (IPAE). Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/7unb96> (дата обращения: 24.09.2025).
37. Vavilov D.N. 2020. Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of Volga-Kama Nature Reserve. Version 1.1. Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/ctwlpp> (дата обращения: 24.09.2025).
38. Vavilov D.N. 2020. Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of «Volzhskiy Prostory» reserve. Version 1.1. Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/7lxvvc> (дата обращения: 24.09.2025).
39. Wiczorek J.R., Bloom D., Guralnick R.P., Blum S., Döring M., Giovanni R., Robertson T., Vieglaiss D. Darwin Core: An Evolving Community-Developed Biodiversity Data Standard // *PLoS ONE*. 2012. Vol. 7. Iss. 1. e29715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029715>
40. Zinovyev E.V., Erokhin N., Vorobiev A., Nesterkov A.V. 2022. Red Data Book Carabidae species of the Urals and Western Siberia in the collection of the Museum of IPAE UB RAS. Version 1.2. Institute of Plant and Animal Ecology (IPAE). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/vmnytq> (дата обращения: 24.09.2025).

References

1. Belskaya E.A., Sozontov A.N., Zolotarev M.P., Vorobeichik E.L. Assemblages of Ground-Dwelling Arachnids and Carabids in Metal-Polluted Forests: Are There Any Signs of Recovery after Reductions of the Middle Ural Copper Smelter Emission? *Russian Journal of Ecology*. 2025. Vol. 56. P. 60-77. <https://doi.org/10.1134/S1067413624602628> (in Russian)
2. Voronin A.G. Biodiversity of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in the cities of the Middle Urals. In: *Fundamental and Applied Ecology. Problems of Urbanization: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference*, 3-4 February 2005, Yekaterinburg, Russia. Yekaterinburg, 2005. P. 82-84. (in Russian)
3. Zinovyev E.V., Parkhachyov A.A. Characteristic of the elementary fauna of beetles (Insecta: Coleoptera) of an urban development site in Yekaterinburg. *Fauna Urala i Sibir*. 2017. Iss. 1. P. 63-83. (in Russian)
4. Ivanova N.V., Shashkov M.P. The Possibilities of GBIF Data Use in Ecological Research. *Russian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 52. Iss. 1. <https://doi.org/10.1134/S1067413621010069> (in Russian)

5. Kozminykh V.O. Catalogue of beetles (Coleoptera) of the Urals and adjacent territories (to the 200th anniversary of research in the Ural region). II. Ground beetles (Carabidae), communication 1. *Eversmannia*. 2024. Iss. 79. P. 10-53. (in Russian)
6. Kozminykh V.O. Catalogue of beetles (Coleoptera) of the Urals and adjacent territories (to the 200th anniversary of research in the Ural region). II. Ground beetles (Carabidae), communication 2. *Eversmannia*. 2024. Iss. 80. P. 54-96. (in Russian)
7. Kryzhanovskij O.L. Fauna of the USSR. Volume 1, Issue 2. Beetles of the suborder Adephaga: families Rhysodidae, Trachypachidae; family Carabidae (introduction, review of the fauna of the USSR). Leningrad: Nauka publ., 1983. 341 p. (in Russian)
8. Mikhaylov Y.E. Biodiversity of ground beetles in urban forests of Yekaterinburg: indicators for monitoring. In: Current Problems of Geoecology and Environmental Management: Proceedings of the I International Scientific-Practical Conference, 31 October – 1 November 2022, Krasnodar, Russia. Krasnodar, 2022. P. 260-264. (in Russian)
9. Plakkhina E.V. Dynamics of abundance and sex ratio of *Harpalus rufipes* (DeGeer, 1774) in winter under closed ground conditions of the PSU's Botanical Garden. In: *Fundamental and Applied Research in Biology and Ecology*. Perm: Perm State University, 2021. P. 197-200. (in Russian)
10. Plakkhina E.V., Esyunin S.L. Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in the greenhouse complex of the PSNRU Botanical Garden (Perm). In: *Fundamental and Applied Research in Biology and Ecology: Proceedings of the Regional Scientific Conference, 15-19 April 2024, Perm, Russia*. Perm: Perm State University, 2024. P. 193-199. (in Russian)
11. Plakkhina E.V., Zynoviev E.V., Esyunin S.L. Population Structure of Ground Beetles (Coleoptera, Carabidae) Inhabiting Uncultivated Areas within the Botanic Garden of Perm State University. *Contemporary Problems of Ecology*. 2024. Vol. 17. P. 699-710. <https://doi.org/10.1134/S1995425524700471> (in Russian)
12. Semenova O.V. On the fauna of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of city parks in Nizhny Tagil. In: Aktual'nye Current Problems of Biology: Abstracts of the V Youth Scientific Conference. Syktyvkar, 1998. P. 173-174. (in Russian)
13. Semenova O.V. Ecology of ground beetles in an industrial city. *Ekologiya*. 2008. Iss. 6. P. 468-474. (in Russian)
14. Cherdintseva T.M., Cherdintsev A.A. Fauna of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in the ecological-functional zones of Orenburg city. *Vestnik Orenburgskogo pedagogicheskogo universiteta*. 2015. Vol. 3. Iss. 15. P. 33-38. (in Russian)
15. Cherkasova O.N. On the composition of ground beetle communities in urban development districts of Orenburg city. *Trudy Instituta bioresursov i prikladnoy ekologii*. 2006. Iss. 6. P. 56-61. (in Russian)
16. Shklyayev V.A., Shklyayeva L.S. Climatic resources of the Ural Kama region. *Geographical Bulletin*. 2006. Vol. 2. Iss. 4. P. 97-110. (in Russian)
17. Aleksanov V.V., Alekseev S.K. 2021. Ground beetles (Carabidae) in urban habitats of Kaluga city (Russia). Version 1.11. State Budgetary Institution of Kaluga Region "Parks Directorate". Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/t99wkm> (accessed: 24.09.2025).
18. Alekseev S.K., Ruchin A., Egorov L.V., Artaev O., Semishin G.B., Esin M.N. 2021. Carabidae of Mordovia State Nature Reserve. Version 1.8. Joint Directorate of the Mordovia State Nature Reserve and National Park "Smolny". Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/9s9z7s> (accessed: 24.09.2025).
19. Magura T., Lövei G.L. Consequences of Urban Living: Urbanization and Ground Beetles. *Current Landscape Ecology Reports*. 2021. Vol. 6. P. 9-21 <https://doi.org/10.1007/s40823-020-00060-x>
20. Egorov L.V., Alekseev S.K., Aleksanov V.V., Ruchin A., Esin M.N., Lukyanov S., Lobachev E.A., Artaev O., Semishin G.B. 2023. Fauna of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of the Republic of Mordovia (Russia). Joint Directorate of the Mordovia State Nature Reserve and National Park "Smolny". Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/5zvf4v> (accessed: 24.09.2025).
21. Fujita A., Maeto K., Kagawa Y., Ito N. Effects of forest fragmentation on species richness and composition of ground beetles (Coleoptera: Carabidae and Brachinidae) in urban landscapes. *Entomological Science*. 2008. Vol. 11. P. 39-48. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2007.00243.x>
22. Jelaska L.Š., Blanusa M., Durbešić P., Jelaska S.D. Heavy metal concentrations in ground beetles, leaf litter, and soil of a forest ecosystem. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2007. Vol. 66. P. 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.10.017>
23. Hartley D.J., Koivula M., Spence J.R., Pelletier R.T., Ball G.E. Effects of urbanization on ground beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) of grassland habitats in Western Canada. *Ecography*. 2007. Vol. 30. P. 673-684. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05199.x>
24. Konakova T., Kolesnikova A. 2020. Carabidae of the European North-East of Russia. Version 1.3. Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/zlidpp> (accessed: 24.09.2025).
25. Lövei G.L., Sunderland K.D. Ecology and Behavior of Ground Beetles (Coleoptera: Carabidae). *Annual Review of Entomology*. 1996. Vol. 41. Iss. 1. P. 231-256. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.41.010196.001311>
26. Makarov K., Matalin A., 2021. Carabid beetles of the environs of the Elton Lake: fauna, population dynamics, demography. Version 1.3. Moscow Pedagogical State University (MPSU). Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/a8weeh> (accessed: 24.09.2025).

27. Makarov K.V., Sundukov Y. 2022. Carabidae of South Kuriles. Version 1.7. Moscow Pedagogical State University (MPSU). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/9q2cu2> (accessed: 24.09.2025).
28. Niemelä J., Kotze D.J., Venn S., Penev L., Stoyanov I., Spence J., Hartley D.J., Montes de Oca E. Carabid beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) across urban-rural gradients: an international comparison. *Landscape Ecology*. 2002. Vol. 17. P. 387-401. <https://doi.org/10.1023/A:1021270121630>
29. Osipova A.S., Buyvolov Y. 2020. Carabidae surveys from the Chronicle of Nature of the Prioksko-Terrasnyi Biosphere Reserve. Prioksko-Terrasnyi Biosphere Reserve. Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/4yvvbbw> (accessed: 24.09.2025).
30. Plakkhina E.V., Ivanova N.V., Esyunin S.L. 2025. Spiders (Arachnida: Araneae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia). Version 1.18. Perm State University. Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/3hztr6> (accessed: 24.09.2025).
31. Plakkhina, E.V., Zynoviev E.V. 2025. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of PSU's Botanical Garden (Perm, Russia). Version 1.3. Perm State University. Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/86n5pu> (accessed: 24.09.2025).
32. Serap S.A., Luff M.L. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators of human impact. *Munis Entomology & Zoology Journal*. 2010. Vol. 5. P. 209-215.
33. Shashkov M.P., Alexeev S.K., Ivanova N.V. 2021. Communities of ground beetles (Carabidae, Coleoptera) in broad-leaved forests of protected and urban areas of the Kaluga Oblast (European Russia). Version 1.3. Kaluga State University. Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/3d5fh4> (accessed: 24.09.2025).
34. Sundukov Y., Makarov K.V. 2022. The ground beetles (Caraboidea) of Southern Sikhote-Alin. Version 1.6. Moscow Pedagogical State University (MPSU). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/ebx56x> (accessed: 24.09.2025).
35. Teofilova T.M. 2022. Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) communities and microhabitat diversity in a mountain village house yard – a case study from the Western Rhodope Mountains in Bulgaria. *Zoology and Ecology*. Vol. 32. P. 153-164. <https://doi.org/10.35513/21658005.2022.2.8>
36. Vorobeichik E.L., Nesterkov A.V., Ermakov A., Zolotarev M., Grebennikov M. 2022. Diversity and abundance of soil macroinvertebrates along a contamination gradient in the Central Urals, Russia. Version 1.5. Institute of Plant and Animal Ecology (IPAE). Sampling event dataset <https://doi.org/10.15468/7unb96> (accessed: 24.09.2025).
37. Vavilov D.N. 2020. Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of Volga-Kama Nature Reserve. Version 1.1. Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/ctwlpp> (accessed: 24.09.2025).
38. Vavilov D.N. 2020. Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of «Volzhskiy Prostory» reserve. Version 1.1. Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/7lxvvc> (accessed: 24.09.2025).
39. Wieczorek J.R., Bloom D., Guralnick R.P., Blum S., Döring M., Giovanni R., Robertson T., Vieglaiss D. Darwin Core: An Evolving Community-Developed Biodiversity Data Standard. *PLoS ONE*. 2012. Vol. 7. Iss. 1. e29715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029715>
40. Zinovyev E.V., Erokhin N., Vorobiev A., Nesterkov A.V. 2022. Red Data Book Carabidae species of the Urals and Western Siberia in the collection of the Museum of IPAE UB RAS. Version 1.2. Institute of Plant and Animal Ecology (IPAE). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/vmnytq> (accessed: 24.09.2025).

Поступила в редакцию / Received: 29.09.2025

Поступила после рецензирования / Revised: 18.11.2025

Принята к публикации / Accepted: 15.01.2026

Оригинальная (исследовательская) статья

 УДК 599.323.5 (571.61)

 <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-24-35>

 <https://elibrary.ru/fhalrt>

Изменения в структуре населения мышевидных грызунов от луга до леса: история другой залежи на юго-востоке Амурской области

Анастасия Александровна Кадетова¹, Юлия Анатольевна Мельникова²

¹ ГАУ «Московский зоопарк», Москва, Россия

² Государственный природный биосферный заповедник «Даурский», с. Нижний Цасучей, Забайкальский край, Россия

 asfedlynxx@mail.ru

Аннотация. Исследовано население мелких млекопитающих на двух соседних залежах на юго-востоке Амурской области на границе Хинганского заповедника. Первая залежь сохраняла свой статус несколько лет, но в 2016 г. была повторно распаханна и засеяна соей, а затем вновь заброшена. На второй в начале 2000-х были высажены хвойные деревья, которые к 2024–2025 гг. достигли высоты 12–14 м и местами образовали сомкнутые насаждения. Материал и методика. Для отслеживания изменений структуры животного населения обеих залежей в 2010–2025 гг. проведена серия параллельных учётов численности мышевидных грызунов на двух ловушко-линиях стандартным методом. Общий объём наблюдений на этих ловушко-линиях за все время составил 1065 ловушко-ночей, в заповеднике и его окрестностях – более 11,3 тыс. ловушко-ночей. Установлено, что основу населения залежного луга составляют полевая мышь и серые полёвки (большая и Максимовича), реже встречаются другие виды грызунов – барабинский хомячок, мышь-малютка, красная полёвка, единично отмечена серая крыса. После введения залежи в сельскохозяйственный оборот отмечены лишь самые массовые виды (полевая мышь и серые полёвки), а более редкие перестали выявляться. Для зарастающей хвойными деревьями залежи закономерно отмечается постепенное снижение доли полевой мыши и возрастание роли лесных видов (восточноазиатской мыши, красной полёвки). При схожести общей динамики соседних залежей, отмечается заметно более низкая относительная численность мышевидных грызунов на участке с лесными культурами. Заметные отличия имеются и в половозрастном составе массовых видов. У полевой мыши для посадок характерно преобладание молодых особей, в то время как на залежи доли взрослых и молодых зверьков одинаковые. При этом для красной полёвки половозрастное распределение обратное.

Ключевые слова: мышевидные грызуны, динамика, залежь, сукцессии, Амурская область, Хинганский заповедник

Для цитирования: Кадетова А.А., Мельникова Ю.А. Изменения в структуре населения мышевидных грызунов от луга до леса: история другой залежи на юго-востоке Амурской области // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2026. Т. 12. № 1. С. 24–35. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-24-35>. EDN FHALRT.

Original Paper

The changes of small rodents' population structure from a meadow to a forest: a history of another fallow in the South-East of the Amur region

Anastasia A. Kadetova¹, Yulia A. Melnikova²

¹ «Moscow Zoo», Moscow, Russia

² State Nature Biosphere Reserve «Dauria», Nizhniy Tzasuchey, Zabaykalsky Krai, Russia

 asfedlynxx@mail.ru

Abstract. The population structure of small mammals was studied in two neighboring fallow meadows in the south-east of the Amur region on the border of the Khingansky State Nature Reserve in 2006–2025. One fallow kept its status of an abandoned field for several years, in 2016 it was plowed and sown with soybeans, then it was abandoned again. On the second fallow coniferous trees were planted in the early 2000s, reaching 12–14 m high by 2024–2025 and forming dense thickets with shrinking meadow windows between them. Material and methods. The change in the structure of the animal population was traced as the trees grew, and the meadow turned into a young forest. To explore this, two standard trap-lines were put simultaneously on both fallows in 2010–2025, totally 1065 trap-nights (of more than 11.3 thousand trap-nights done in the whole Reserve and the adjacent territories). Results and discussion. The core of rodent population in the fallow meadow consists of the three species (*Apodemus agrarius*, *Alexandromys maximowiczii*, *A. fortis* – common dominant species for different meadows in this part of Far East), less often and with low abundance *Cricetulus barabensis*, *Micromys minutus*, *Myodes rutilus* are met, once a male of *Rattus norvegicus* was caught. After plowing, only the three

© Кадетова А.А., Мельникова Ю.А., 2026



most common species were found, others (if stayed) were not revealed. For the meadow with planted trees, along with its overgrowth, the share of previously dominant *A. agrarius* is gradually falling down while the role of forest species (*Apodemus peninsulae*, *M. rutilus*) strengthens. The abundance dynamics in the fallow meadow and growing forest goes mostly synchronized, although the total rodents' abundance in the «forest» is always 1.3-2 (up to 6) times smaller than in the neighboring meadow. Also, sex-and-age ratio differs significantly for the most abundant species. *A. agrarius* in the meadow shows balanced structure with equal shares of adult (breeding) and young (non-breeding) mice of both sexes; in the «forest» young mice prevail, adults are rare. *Myodes rutilus* demonstrates opposite distribution.

Keywords: small rodents, dynamics, Amur region, Khingansky State Nature Reserve, fallow, foresting on fallows

For citation: Kadetova A.A., Melnikova Yu.A. The changes of small rodents' population structure from a meadow to a forest: a history of another fallow in the South-East of the Amur region. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2026. Vol. 12. Iss. 1. P. 24-35. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-24-35>. EDN FHALRT. (in Russian)

Введение

В формировании населения мелких млекопитающих Среднего Приамурья участвуют виды различных фаунистических комплексов, от таёжного до степного (Кулик, 1972; Кучерук, 1959). Этому способствует мозаичная структура растительного покрова рассматриваемой территории, что связано как с природными, так и с антропогенными факторами. В ходе изучения разнообразия населения различных местообитаний Хинганского заповедника исследованы также антропогенно нарушенные местообитания на сопредельной территории (Кадетова, 2019). В 2006-2025 гг. учёты проведены на двух соседних залежах, находящихся у южной границы Антоновского лесничества Хинганского заповедника и претерпевших различные антропогенные воздействия.

Хинганский заповедник расположен на юго-востоке Амурской области, занимает площадь 97,8 тыс. га и состоит из трёх лесничеств. Широколиственные и хвойно-широколиственные леса с кедром корейским (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.), пихтой белокорой (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.), елями аянской и сибирской (*Picea ajanensis* Fisch. ex Carrière, *P. obovata* Ledeb.) распространены в Хинганском лесничестве с низкорельефом (высоты до 500 м над у.м.). Антоновское лесничество расположено на поймах и надпойменных террасах Амура и Буреи, растительность преимущественно луговая и болотная. По площади преобладают луга различной степени увлажнения (в основном – влажные и переувлажнённые), доля сухих остепнённых лугов крайне мала, они представлены небольшими островками среди более влажных лугов. Сухие луга более распространены на прилегающих территориях и в основном заняты сельскохозяйственными угодьями, либо залежами. В последние 10 лет многие залежи вновь распаханы, чаще всего, под посевы сои; некоторые снова заброшены после 3-5 лет попыток возделывания. На рёлках – вытянутых повышениях среди лугов – произрастают дубовые (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.) леса с лещиной (*Corylus heterophylla* Fisch. ex Trautv.) и/или леспедецей (*Lespedeza bicolor* Turcz.), а также белоберёзовые (*Betula platyphylla* Sukaczew) и черноберёзовые леса (*B. dauurica* Pall.).

Материалы и методы

Учёты численности мелких млекопитающих методом ловушко-линий проводятся в Хинганском заповеднике регулярно с 1982 г. Учёты проводят стандартным методом – ловушки Геро с приманкой из хлеба,

смоченного нерафинированным подсолнечным маслом, устанавливаются с шагом в 5 м между ловушками. Постоянные учётные линии охватывают наиболее распространённые местообитания. В 2006-2018 гг. проводились дополнительные исследования для наиболее полной характеристики населения мелких млекопитающих различных местообитаний – как фоновых, так и второстепенных, и редких. Суммарный объём учётов составил более 10,1 тыс. ловушко-ночей (Кадетова, 2019). На некоторых участках исследования продолжены в последующие годы. У южной границы Антоновского лесничества в окрестностях кордона «Южный» заложено две ловушко-линии на залежных землях (рис. 1 / fig. 1), с 2010 г. учёты на них проводили параллельно.

Ловушко-линия 14а. С 2006 г. наблюдения проводили на старой залежи, на момент начала исследований представлявшей собой злаково-полевой луг с ястребинкой зонтичной, репешком, отдельными куртинами клевера. Из злаков наиболее обильны тимopheвка луговая (*Phleum pratense* L.) и пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski). Залесь соседствует с рёлочным берёзовым лесом, на самой залежи представлены отдельно стоящие деревья и куртины ивы козьей (*Salix caprea* L.), находящиеся в небольшом понижении – во влажные годы здесь скапливается вода, развивается высокотравье. В 2016 г. залежь снова распахана, в 2018-2020 гг. здесь выращивали сою, затем снова забросили этот участок (рис. 2 / fig. 2).

Ловушко-линия 14б заложена в 2007 г., регулярные учёты проводятся с 2010 г. Участок отделён от соседней залежи (14а) грунтовой дорогой. В начале 2000-х на старой залежи были высажены деревья, преимущественно хвойные – в посадках преобладают пихта и ели, единичны кедр корейский, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), дуб монгольский. На момент первых учётов большинство саженцев по высоте были заметно ниже 1 м и не сильно возвышались над травостоем, по составу мало отличавшимся от близлежащей залежи. На момент учётов в 2024-2025 гг. отдельные хвойные деревья достигали 12-14 м, местами образовались сомкнутые насаждения (рис. 3 / fig. 3).

Учёты проводились авторами преимущественно в августе, за исключением 2016 г. (учёты в июне), а также 2022 г. и 2023 г., когда учёты не проводились. Объём учётов и обнаруженные виды представлены в табл. 1 / tabl. 1. Названия видов приведены по Павлинову, Хляп, (2012). Математическая обработка результатов и диаграммы выполнены в MS Excel.

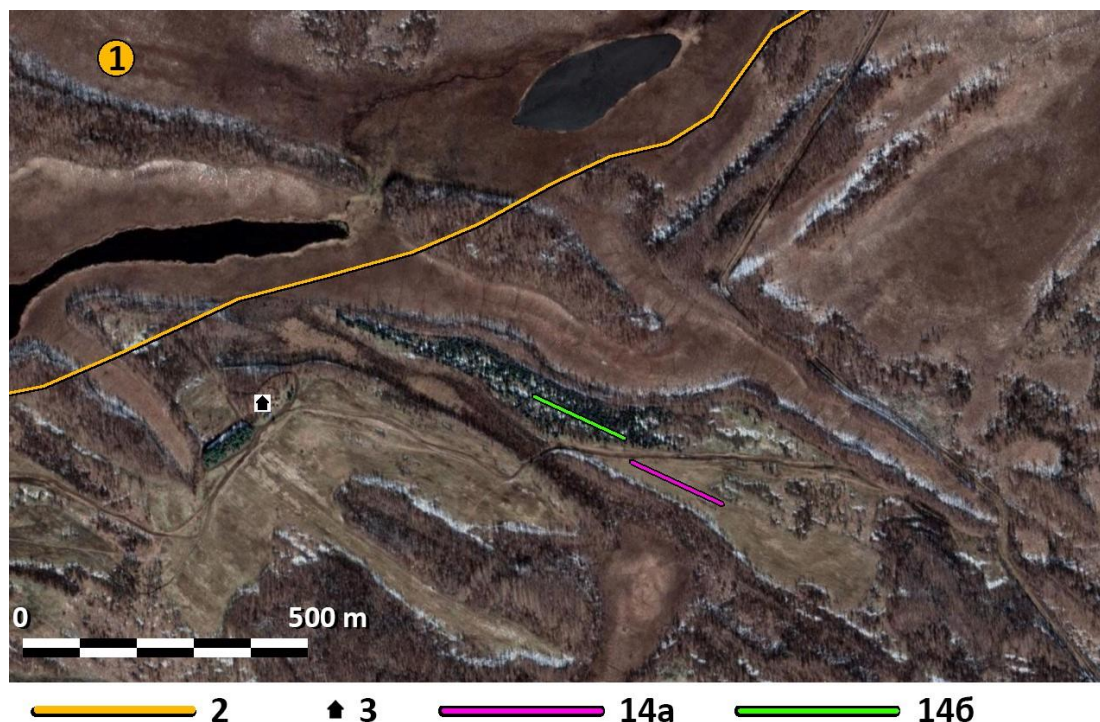


Рис. 1. Расположение ловушко-линий: 14а (залежь) и 146 (посадки хвойных). Снимок Google Maps, 2025*

*Примечание. 1 – Хинганский заповедник (Антоновское лесничество), 2 – граница заповедника, 3 – кордон «Южный».

Fig. 1. Trap-lines position: 14a (fallow meadow) and 146 (planted coniferous trees). Google Maps satellite image, 2025*

*Note. 1 – Khingansky State Nature Reserve (Antonovskoe forestry), 2 – border of the State Nature Reserve, 3 – «Yuzhny» ranger station.

Результаты и их обсуждение

Основу населения мелких млекопитающих лесных местообитаний Хинганского заповедника и его окрестностей составляет восточноазиатская мышь (*Apodemus peninsulae*) – неморальный вид, достигающий максимальной численности в широколиственных лесах (в том числе дубовых), в горных широколиственно-хвойных лесах значительно участие красно-серой полёвки (*Craseomys rufocanus*), значительно реже встречающейся в равнинных рёлочных лесах (Дарман, 1990; Кадетова, 2019). Красная полёвка (*Myodes rutilus*) – типичный доминант таёжных лесов (Кулик, 1972) – на исследуемой территории находится на южном пределе распространения и встречается в самых разных местообитаниях, включая луга, но всегда в небольших количествах, чаще всего – в рёлочных берёзовых и дубово-берёзовых лесах (Емельянова, Кадетова, 2019). Из землероек чаще всего встречается средняя бурозубка (*Sorex caecutiens*).

В открытых (луговых) местообитаниях основу населения формируют три вида – полевая мышь (*Apodemus agrarius*) и два морфологически и экологически сходных вида крупных серых полёвок – большая и Максимовича (*Alexandromys fortis*, *A. maximowiczii*). На рассматриваемых в данной работе залежах отмечены оба вида серых полёвок, однако часть особей не была идентифицирована (в связи со сложностью определения, особенно молодых особей), далее они рассмотрены совместно. В зависимости от увлажнения в населении преобладает либо полевая мышь, предпочитающая более сухие луга, либо серые полёвки, тяготеющие к более влажным и сырым лугам. Единично отлавливается мышь-малютка (*Micromys minutus*) – этот вид чаще попадает в стаканы, чем в ловушки Геро. На наиболее сухих лугах встречается представитель степ-

ного фаунистического комплекса – барабинский хомячок (*Cricetulus barabensis*) (Кадетова, Мельникова, 2016). Из землероек при отловах стаканами чаще всего встречаются тундрная и крупнозубая бурозубки (*Sorex tundrensis*, *S. daphaenodon*), изредка попадающие в ловушки.

Население залежи (14а) типично для луговых местообитаний Среднего Приамурья (Беляева, 1965; Волков, Черных, 1978; Черемкин, 1989): из 18 лет наблюдений в 10 случаях доминировала полевая мышь (табл. 1 / tabl. 1, рис. 4 / fig. 4), в качестве содоминантов, реже – доминантов (5 лет) выступали серые полёвки. Единично отмечены мышь-малютка и тундрная бурозубка – виды, которые плохо учитываются ловушками Геро.

В 2008–2010 гг. отлавливались единичные особи барабинского хомячка – в основном молодые самцы (вероятно, расселяющиеся) и одна взрослая самка. В 2011 г. отловлен взрослый, активно участвующий в размножении самец серой крысы (*Rattus norvegicus*); в том же году молодые особи разного возраста отловлены на сыром войничковом лугу на берегу оз. Клёшенское (около 1,5 км от линии 14а). Ранее показано (Хамаганов, 1965), что на юге Дальнего Востока часть серых крыс постоянно живёт в помещениях человека, часть – постоянно в природных местообитаниях (по крайней мере, на юге Приморья), а часть проводит тёплый период в природе, на зиму заселяясь в постройки. Серые крысы изредка отлавливаются в природных местообитаниях Хинганского заповедника, однако являются ли они постоянными жителями или их появление связано с эпизодическими случайными завозами – установить точно не представляется возможным. Всего на этой залежи за годы наблюдений отмечено присутствие 6 видов грызунов и 1 вида землероек.



Рис. 2. Залежь в окрестностях кордона «Южный» (ловушко-линия 14а) в 2009–2025 гг.: злаково-полынный и полынно-злаковый луг с ястребинкой зонтичной, репешком, клевером; вновь распахан в 2016 г.; соевое поле (2017–2020 гг.), снова залежь (с 2021 г.).

Fig. 2. The fallow land near «Yuzhny» ranger station (trap-line 14a) in 2009–2025: dry meadows with *Artemisia* species, different grains, *Hieracium umbellatum*, *Agrimonia* sp, and leguminose plants; after plowing (2016) and planting soybeans (2017–2020), and fallows on their place in 2021–2025.

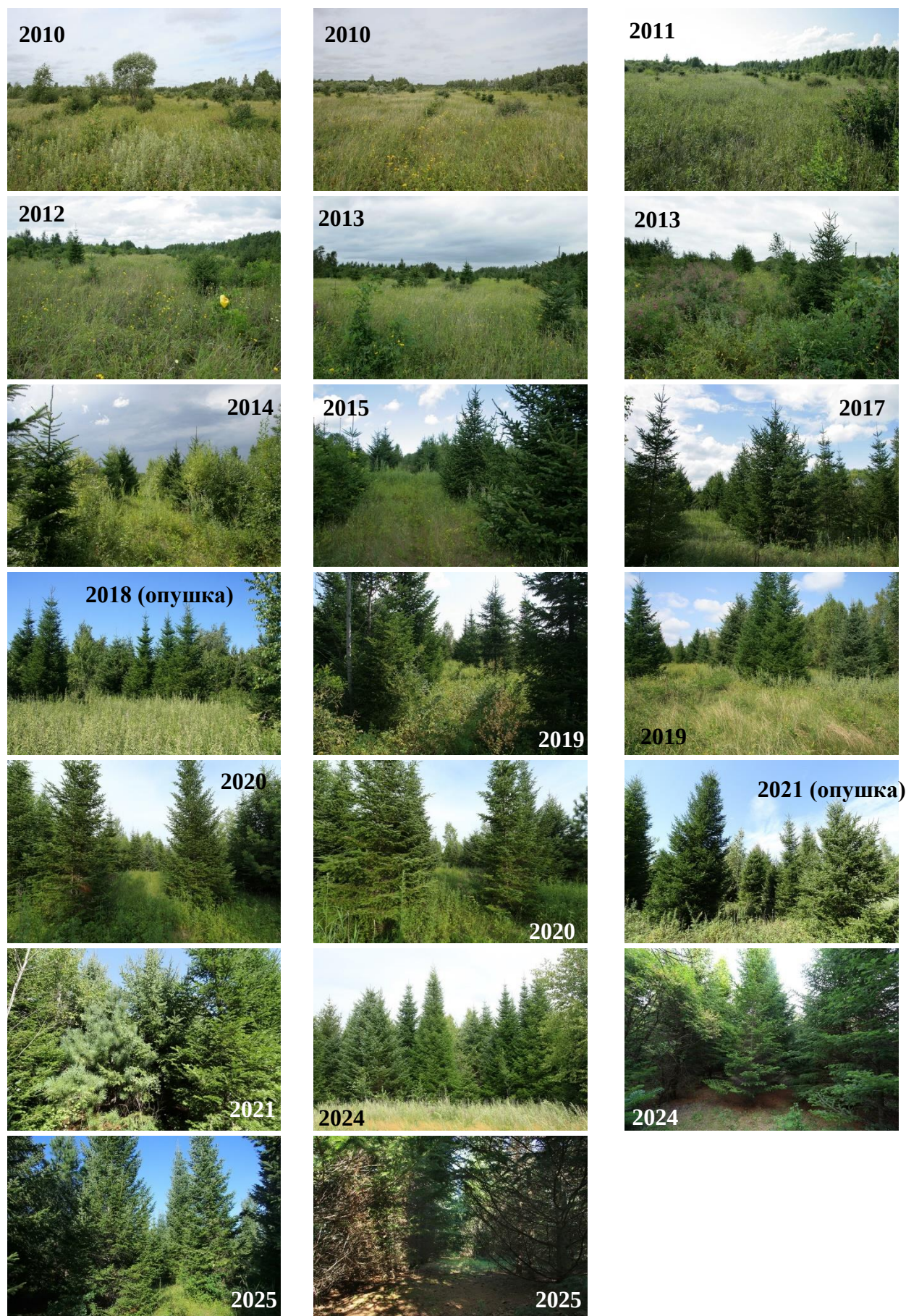


Рис. 3. Залежь с посадками хвойных пород в 2010–2025 гг. (ловушко-линия 146)*

*Примечание: за отдельные годы даны пары фотографий для отражения неравномерности зарастания.

Fig. 3. The fallow with planted coniferous trees in 2010–2025 (biotope 14b)*

*Note: For some years pairs of photographs are given. It shows the unevenness of the overgrowth.

Таблица 1

Результаты учётов на ловушко-линиях 14а и 14б в 2006–2025 гг.

Table 1

Results of counts on trap-lines 14a and 14b in 2006-2025

№ ловушко-линии // trap-lines	14а (залежь // fallow)			14б (посадки // planted coniferous trees)			Всего // Total
Годы учётов // Years of counts	2006-2009	2010-2025	Всё // All	2007	2010-2025	Всё // All	
Объём учётов, ловушко-ночей // Volume of trapping, trap-nights	148	424	572	50	443	493	1065
<i>Apodemus peninsulae</i>				1	6	7	7
<i>Apodemus agrarius</i>	7	72	79	1	36	37	116
<i>Myodes rutilus</i>	3	2	5		16	16	21
<i>Alexandromys maximowiczii</i> + <i>fortis</i>	10	36	46		12	12	58
<i>Cricetulus barabensis</i>	2	1	3		2	2	5
<i>Micromys minutus</i>		1	1				1
<i>Rattus norvegicus</i>		1	1				1
<i>Sorex tundrensis</i>	4		4		1	1	5
Всего особей // Total number of individuals	26	113	139	2	73	75	214
Всего видов // Total number of species	5	6	7	2	6	6	8

В первые годы наблюдений в растительном покрове преобладали злаки (тимофеевка луговая, пырей ползучий и другие виды), полыни, репешок, ястребинка зонтичная, встречался пятнами клевер. В 2016 г. часть залежей вдоль южной границы Антоновского лесничества была распахана для возделывания сои, летом учёты не проводили. На залежи 14а летом 2017 г. соя в травостое не отмечена, это был полынно-злаковый с репешком и ястребинкой зонтичной луг по вспаханному грунту, при этом вспашка уничтожила накопившийся за несколько лет «войлок» сухой травы. Ранее войлок уничтожали раз в несколько лет пожары либо противопожарные отжиги, проводившиеся сотрудниками заповедника по границе лесничества до запрета их проведения.

За время наблюдений отмечены пики численности грызунов. Наиболее высокая относительная численность (100,0 особей / 100 ловушко-ночей (далее – ос./100 л.-н.)) впервые отмечена в исследованном местообитании в 2014 г. Тогда пиковая численность наблюдалась по всей территории заповедника, отмечено интенсивное размножение, в первую очередь, полевой мыши – после наводнения на р. Амур в августе-сентябре 2013 г. зверьки летом 2014 г. заселили территории, испытывавшие затопление (в том числе, луга Лебединского и Антоновского лесничеств) (Кадетова, Мельникова, 2016). Затем высокая численность наблюдалась в 2017, 2019 и 2021 гг., в основном за счёт полевой мыши (рис. 4 /fig. 4). В 2017 г. высокая численность полевой мыши отмечена на всех луговых местообитаниях Антоновского лесничества и прилегающих территорий, но максимальные показатели наблюдались именно на вспаханных залежах (51,5-72,2 ос./100 л.-н.), в природных местообитаниях не превышая 30 ос./100 л.-н. Вероятно, это связано не только с распахкой, но и с увлажнением: природные луга – сырые войниковые и влажные / с нормальным увлажнением злаково-разнотравные, а наиболее высокие и сухие позиции занимают как раз залежи и поля.

В 2018–2020 гг. в травостое преобладала соя. В 2018 и 2019 гг. в населении доминировала полевая мышь, в 2020 г. – серые полёвки. С 2021 г. поле вновь заброшено, на полынно-злаковом (*Setaria* sp.) лугу вновь отмечена максимальная численность грызунов – преобладала полевая мышь (71,4 ос./100 л.-н.), на втором месте серые полёвки (28,6 ос./100 л.-н.). В 2024 г. в заповеднике наблюдалась вспышка численности серых полёвок на фоне низкой численности полевой мыши, на полынно-злаковом лугу отмечены только серые полёвки. В августе 2025 г. не поймано ни одного зверька, отмечен довольно плотный войлок прошлых лет.

Залежь с посадками хвойных пород (14б) в первые годы наблюдений внешне мало отличалась от соседней залежи, ряды саженцев слабо выступали из окружающей травы, важное отличие – накопление растительного войлока, так как здесь профилактические отжиги не проводили, территория была защищена от прогорания. Наиболее крупные деревья – отдельно стоящие экземпляры ивы козьей высотой до 4-5 м, с обширной кроной. С ростом саженцев (рис. 5 / fig. 5), характеризовавшимся неравномерным смыканием крон растущих деревьев (рис. 6 / fig. 6), происходило постепенное зарастание бывшей залежи (рис. 3 / fig. 3). Долгое время в междурядьях сохранялись луговые полосы с преобладанием злаков, полыней, репешка. Перемычки между полосами саженцев образовывали кусты леспедецы и ивы козьей, самосев берёзы плосколистной. К 2024–2025 гг., то есть в возрасте около 25 лет, посадки образовали сомкнутые насаждения на большей части площади. Единичные ели начали плодоносить, ива козья – выпадать из древостоя. Под елями – мёртвопокровник с хвойным опадом и зелёными мхами (около 50% всей ловушко-линии). Между рядами местами сохранились луговые «окна» с репешком и злаками, их площадь сокращается.

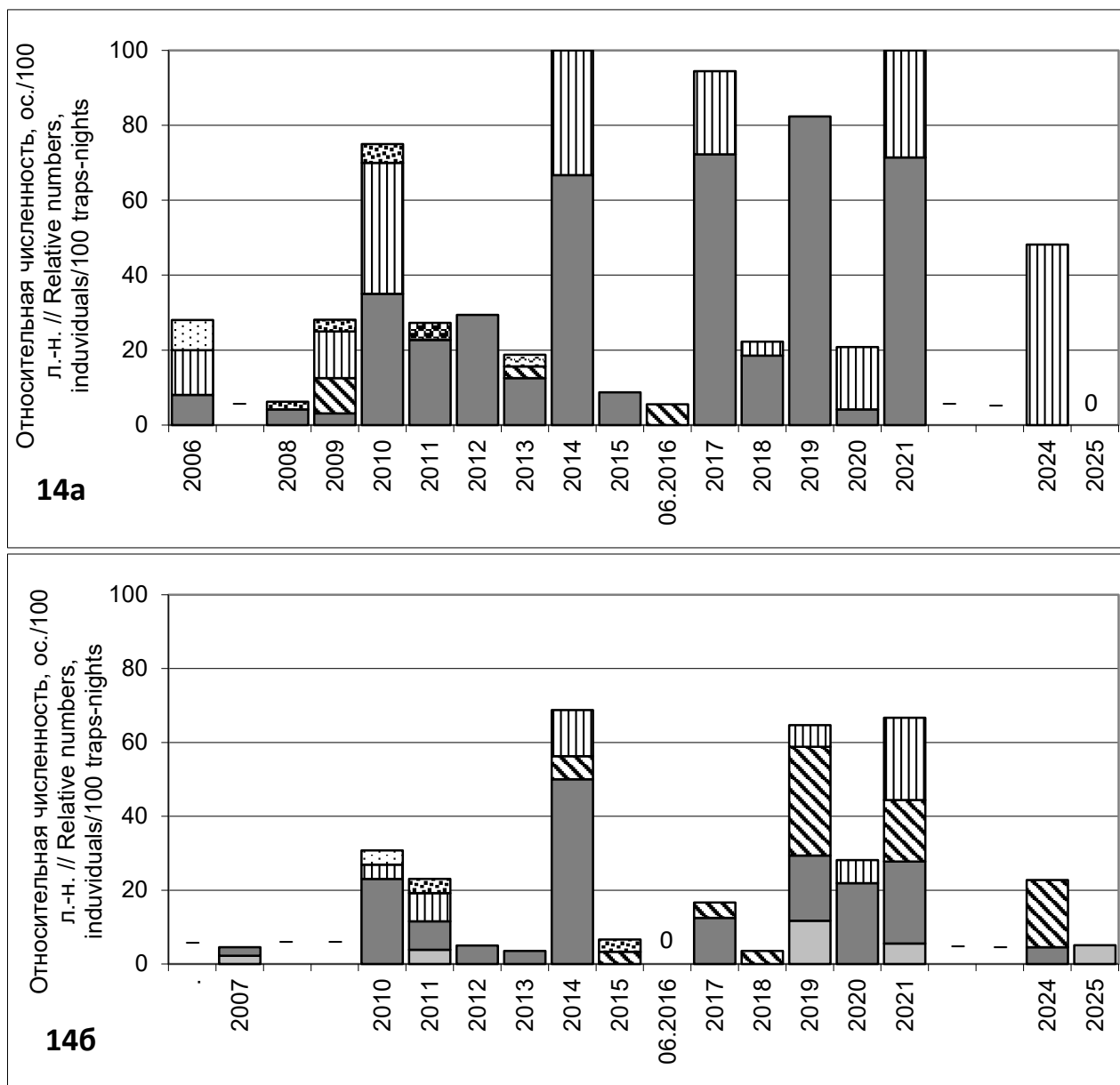


Рис. 4. Численность мелких млекопитающих в 2006-2025 гг.:

14a – на залежном лугу / соевом поле (ловушко-линия № 14a),

14b – на залежи с посадками хвойных (ловушко-линия № 14b)*

***Примечание.** Виды: 1 – восточноазиатская мышь (*Apodemus peninsulae*), 2 – полевая мышь (*Apodemus agrarius*), 3 – красная полёвка (*Myodes rutilus*), 4 – полёвки большая и Максимовича (*Alexandromys maximowiczii* + *A. fortis*), 5 – мышь-малютка (*Micromys minutus*), 6 – барабинский хомячок (*Cricetulus barabensis*), 7 – серая крыса (*Rattus norvegicus*), 8 – тундрная бурозубка (*Sorex tundrensis*).

Fig. 4. Small mammals's abundance in 2006-2025:

14a – on the fallow field / soybean field (trap-line 14a),

14b – on the fallow with planted coniferous trees (trap-line 14b)*

***Note.** Species: 1 – *Apodemus peninsulae*, 2 – *Apodemus agrarius*, 3 – *Myodes rutilus*, 4 – *Alexandromys maximowiczii* + *A. fortis*, 5 – *Micromys minutus*, 6 – *Cricetulus barabensis*, 7 – *Rattus norvegicus*, 8 – *Sorex tundrensis*.

Всего за время наблюдений здесь отмечено 5 видов грызунов и 1 вид землероек. По сравнению с залежью, здесь не обнаружены мышь-малютка и серая крыса. В то же время, только здесь встречается восточноазиатская мышь – лесной вид. В последние годы восточноазиатская мышь в посадках отмечается чаще и с более высокой численностью, чем ранее (рис. 4 / fig. 4), хотя максимальная численность вида здесь – 11,8 ос./100 л.-н. в 2019 г. Для сравнения – на постоянной учётной линии в

дубовом лесополосном лесу у оз. Клёшенское численность вида в 2019 г. составила 24,1 ос./100 л.-н., а в широколиственно-хвойных лесах Хинганского лесничества достигала 50-70 ос./100 л.-н. В 2019 и 2025 гг. отловлены, в том числе, и размножающиеся самки. Хотя поимки отдельных особей восточноазиатской мыши на лугах (особенно молодых зверьков), соседствующих с рёлочными лесами, довольно обычны, на линии 14a за всё время наблюдений вид не отмечен.

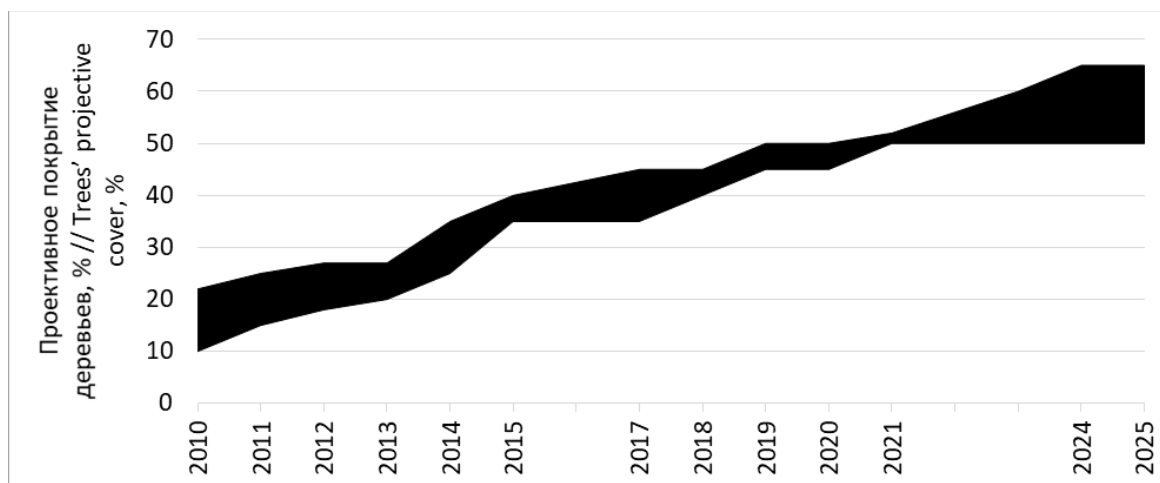


Рис. 5. Проективное покрытие деревьев в посадках (линия 14б) в 2010–2025 гг. (диапазон значений)
Fig. 5. The planted trees' projective cover (trap-line 14b) in 2010–2025 (range of values)

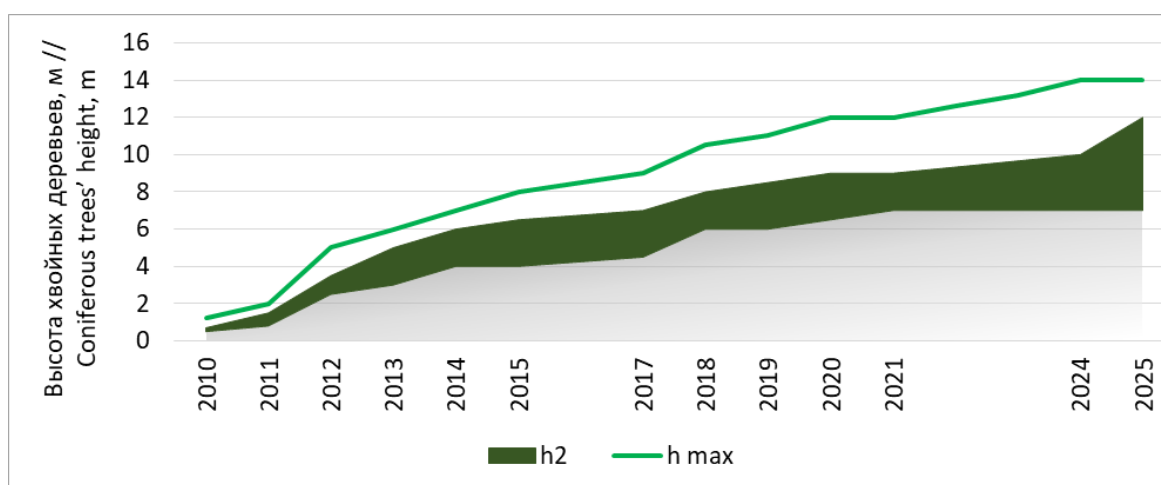


Рис. 6. Высота хвойных деревьев в посадках (линия 14б) в 2010–2025 гг.*

*Примечание: h max – высота самых высоких деревьев, h – высота большинства деревьев (диапазон значений)

Fig. 6. The coniferous trees' height (trap-line 14b) in 2010–2025*

*Note: h max – the height of the tallest trees, h – the prevailing height of trees (range of values)

Помимо восточноазиатской мыши, в населении рассматриваемых местообитаний участвует ещё один лесной вид – красная полёвка. Несмотря на встречи вида в самых разнообразных местообитаниях на южной периферии ареала, с наибольшей численностью в заповеднике красную полёвку отмечали всё-таки в лесах – рёлочных дубово-берёзовых и прирусловых берёзово-осиновых и тополёвых (Емельянова, Кадетова, 2012). Можно отметить увеличение численности и доли красной полёвки в населении посадок по мере их загущения, вплоть до доминирования в 2019 и 2024 гг. (рис. 4 / fig. 4), относительная численность при этом составила 29,4 и 18,2 ос./100 л.-н. На соседней залежи за всё время наблюдений красную полёвку отмечали трижды, все отловленные зверьки – самцы, преимущественно молодые (табл. 2 / tabl. 2). В посадках отловлены представители всех возрастных категорий обоего пола, включая размножающихся самок (все в 2019–2024 гг., ранее отмечали только молодых самок) – следовательно, хотя бы

часть особей теперь обитают здесь постоянно, а не являются транзитными. При сравнении половозрастного состава отличия между залежью и посадками обнаружены и для полевой мыши (табл. 2 / tabl. 2): при сходном соотношении самцов и самок выявлено значительно отличающееся распределение по возрасту: на залежи соотношение взрослых и молодых близко к 50:50, в посадках абсолютно преобладают молодые зверьки (73%).

В целом, динамика численности мелких млекопитающих в обоих местообитаниях сходна (коэффициент корреляции 0,81), пики численности наблюдаются синхронно, однако почти во все годы численность в посадках ниже, чем на прилегающей залежи (рис. 4 / fig. 4). Для оценки сходства населения обоих местообитаний рассчитаны коэффициенты сходства для каждого года (табл. 3 / tabl. 3) – коэффициент Жаккара (КЖ), учитывающий только видовой состав, и индекс Чекановского-Серенсена (ИЧС), учитывающий показатели относительной численности.

Таблица 2

Половозрастной состав грызунов* залежи (14а) и посадок хвойных (14б) в 2006–2025 гг.

Table 2

Sex and age composition of rodents * in the fallow meadow (14a) and planted coniferous trees (14b) in 2006-2025

Вид // Species		♂♂			♀♀			%		%	
		ad	s/ad	juv	ad	s/ad	juv	♂♂	♀♀	ad	s/ad+juv
<i>Apodemus peninsulae</i>	14a										
	14б	2	1		2	1	1	42,9	57,1	57,1	42,9
<i>Apodemus agrarius</i>	14a	18	17	11	20	6	7	58,2	41,8	48,1	51,9
	14б	5	12	6	5	3	6	62,2	37,8	27,0	73,0
<i>Myodes rutilus</i>	14a	1	2	2				100,0	0,0	20,0	80,0
	14б	3	4	3	4	1	1	62,5	37,5	43,8	56,3
<i>Alexandromys maximowiczii</i> + <i>fortis</i>	14a	6	5	13	12	1	5	57,1	42,9	42,9	57,1
	14б	2		4	3		2	54,5	45,5	45,5	54,5
<i>Cricetulus barabensis</i>	14a		1	1	1			66,7	33,3	33,3	66,7
	14б		1					100,0	0,0	0,0	100,0

***Примечание:** отличие по сумме от данных таблицы 1 связано с тем, что пол и возраст некоторых сильно повреждённых зверьков определены не были.

***Note:** Total numbers differ from table 1 because several specimens had been damaged by other animals, that made it impossible to determine their sex and age.

Таблица 3

Сходство населения залежи (14а) и посадок хвойных (14б) в 2010-2025 гг.

Table 3

Population similarity of fallow meadow (14a) and planted coniferous trees (14b) in 2010-2025

Год // Year	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022-2023	2024	2025
Коэффициент сходства Жаккара // Jaccard similarity coefficient	0,40	0,20	1,0	0,33	0,67	0,0	0,0	0,33	0,0	0,25	1,0	0,5	н.д.	0,0	0,0
Индекс Чекановского-Серенсена // Chekanovsky-Sørensen index	0,51	0,31	0,29	0,32	0,74	0,0	0,0	0,23	0,0	0,24	0,43	0,53	н.д.	0,0	0,0

Поскольку в населении участвует небольшое количество видов, иногда КЖ регистрирует полное фаунистическое сходство (1,0 в 2012 и 2020 гг.), однако численность видов заметно отличается, поэтому сходство структуры населения в те же годы слабое (ИЧС 0,29 в 2012 г.) или ниже среднего (0,43 в 2020 г.). Максимальное сходство отмечено в 2014 г. (КЖ 0,67; ИЧС 0,74). Сходство обеспечивает в основном полевая мышь, в годы крайне высокой численности в открытых местообитаниях заселявшая и посадки. Однако в последние годы полевые мыши обычно отлавливались на

сохранившихся «полянах» среди разросшихся деревьев, в 2024 г. единственный зверёк пойман на краю линии, ближнем к залежи 14а. По мере зарастания участие полевой мыши в населении посадок снижается (рис. 7 / fig. 7). В 2024-2025 гг. оба коэффициента равны нулю. Возможно, это говорит о завершении перехода посадок от «луга» к «лесу», однако нулевое сходство наблюдалось и ранее (2015, 2016, 2018 гг.) при низкой численности полевой мыши. Следует отметить, что в 2024 г., при высокой численности серых полёвок на лугах и залежах, в посадках не было поймано ни одной особи.

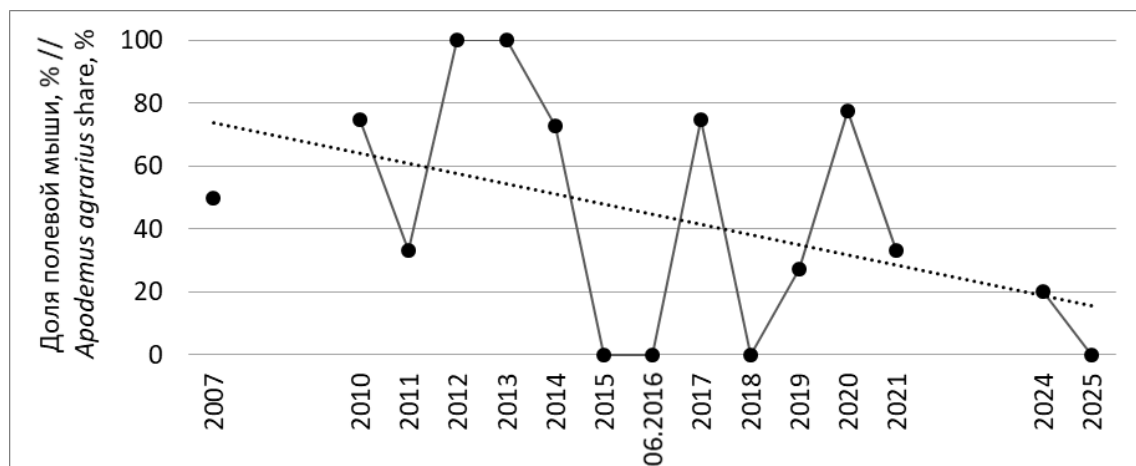


Рис. 7. Доля полевой мыши (%) в населении залежи с посадками хвойных (14б)
Fig. 7. The share of *Apodemus agrarius* in the total small mammals' population on the fallow with planted coniferous trees (trap-line 14b)



Рис. 8. Соотношение численности лесных (*Apodemus peninsulae*, *Myodes rutilus*) и луговых (*A. agrarius*, *Alexandromys maximowiczii*, *Al. fortis*, *Cricetulus barabensis*, *Micromys minutus*, *Sorex tundrensis*) видов в населении залежи (14а) и посадок хвойных (14б) в 2006–2025 гг.

Fig. 8. The share of forest (*Apodemus peninsulae*, *Myodes rutilus*) and grassland species (*A. agrarius*, *Alexandromys maximowiczii*, *Al. fortis*, *Cricetulus barabensis*, *Micromys minutus*, *Sorex tundrensis*) in the structure of small mammals' population on the fallow (14a) and the fallow with planted coniferous trees (14b) in 2006–2025

Дополнительной иллюстрацией к смене структуры населения в ходе сукцессии в посадках служит соотношение лесных и «луговых» видов (рис. 8 / fig. 8).

«Луговыми» на диаграмме для краткости названы виды, предпочитающие безлесные местообитания – луга, поля, болота. К лесным отнесены восточноазиатская мышь и красная полёвка, к «луговым» – все остальные (серую крысу в этом анализе не учитывали). Видно, что в населении залежей лесные виды встречаются редко, в населении посадок – гораздо чаще. С 2015 г., когда среднее проективное покрытие подроста хвойных достигло 40% и начали появляться отдельные загущения с мертвопокровными пятнами под смыкающимися кронами, отмечается постепенное увеличение доли лесных видов. Исключением стал 2020 г., когда численность восточноазиатской мыши была низкой в целом по заповеднику, а красная полёвка в отловах и вовсе отсутствовала.

Заключение

Население залежного луга типично для сухих лугов Среднего Приамурья, основу населения составляют полевая мышь и серые полёвки (большая и Максимовича), реже встречаются другие виды грызунов – барабинский хомячок, мышь-малютка, красная полёвка, единично отмечена серая крыса. После распахивания и засевания соей отмечены только полевая мышь и серые полёвки – если другие виды и присутствуют, то с крайне низкой численностью и не выявляются во время учётов на фоне высокой численности полевой мыши.

Для залежи с посадками хвойных прослежена смена в структуре населения по мере зарастания: сокращается участие полевой мыши, роль лесных видов (восточноазиатской мыши, красной полёвки) увеличивается, особенно после достижения проективного покрытия подроста хвойных примерно 40%. Всплесков численности восточноазиатской мыши, характерных для дубовых и широколиственно-хвойных лесов Приамурья, в посадках пока не отмечено. Вероятно, появление таких пиков будет означать «признание лесом» этой территории с точки зрения мышевидных грызунов. Динамика численности грызунов весьма сходна с соседней залежью, однако почти всегда показатели относительной численности в посадках заметно ниже. Половозрастной состав самого массового вида – полевой мыши – значительно отличается на залежи и в посадках. На залежи взрослые и молодые (не размножающиеся) зверьки представлены в равном соотношении, в посадках абсолютно преобладают молодые особи. Обратное соотношение наблюдается для красной полёвки: на залежи отмечены только самцы, преимущественно молодые, в посадках представлены все возрастные категории и самцов, и самок.

Многие сельскохозяйственные земли на юго-востоке Амурской области неоднократно забрасывались и распахивались заново, посадки хвойного леса – более редкое явление. Наши наблюдения позволили установить, каким образом население мелких млекопитающих реагирует на подобные антропогенные изменения местообитаний.

Благодарности

За помощь в проведении полевых исследований авторы выражают благодарность сотрудникам Хинганского заповедника, а также студентам и волонтерам, принимавшим участие в полевых исследованиях в разные годы.

Acknowledgments

The authors would like to thank the staff of the Khingansky State Nature Reserve, as well as students and volunteers for the support in the field surveys in different years.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Сведения об авторском вкладе

А.А. Кадетова – проведение учётов с 2006 г. (в 2012-2024 – совместно с соавтором), подготовка текста рукописи.

Ю.А. Мельникова – проведение учётов в 2012-2024 гг.

Contribution of the authors

A.A. Kadetova – trapping since 2006 (in 2012-2024 – together with a co-author), manuscript preparation.

Yu.A. Melnikova – trapping in 2012-2024.

Список источников

1. Беляева Н.С. Мышевидные грызуны южной части Хабаровского края и динамика их численности // *Вопросы географии Дальнего Востока*. 1965. Сб. 7. С. 252-267.
2. Волков В.И., Черных П.А. Эколого-фаунистический очерк грызунов Приамурья // *Зоологический журнал*. 1978. Т. 57. Вып. 3. С. 432-441.
3. Дарман Ю.А. Млекопитающие Хинганского заповедника. Благовещенск: АмурКНИИ ДВО РАН СССР, 1990. 164 с.
4. Емельянова Л.Г., Кадетова А.А. Биотопический спектр красной полёвки (*Clethrionomys rutilus* Pallas, 1779) в периферических частях ареала // Актуальные проблемы современной териологии: тезисы докладов. Новосибирск, 18-22 сентября 2012 г. Новосибирск: ООО «Сибрегион Инфо», 2012. С. 98.
5. Кадетова А.А. Разнообразие населения мелких млекопитающих Хинганского заповедника и прилегающих территорий // *Географический вестник*. 2019. № 4(51). С. 129-143. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2019-4-129-143>
6. Кадетова А.А., Мельникова Ю.А. Возвращение хомячка (*Cricetulus barabensis* Pallas, 1773): история одной залежи на юго-востоке Амурской области // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2025. Т. 11. № 1. С. 6–13. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-6-13>
7. Кадетова А.А., Мельникова Ю.А. Мелкие млекопитающие Среднего Приамурья в условиях наводнения на Амуре (на примере Хинганского заповедника) // Териофауна России и сопредельных территорий. Международное совещание (X Съезд Териологического общества при РАН). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. С. 151.
8. Кулик И.Л. Таёжный фаунистический комплекс млекопитающих Евразии // *Бюллетень МОИП, отд. Биологии*. 1972. Т. 77. Вып. 4. С. 11-24.
9. Кучерук В.В. Степной фаунистический комплекс млекопитающих и его место в фауне Палеарктики // География населения наземных животных и методы его изучения / под ред. А.Н. Формозова. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 45-87.
10. Павлинов И.Я., Хляп Л.А. Отряд Rodentia // Млекопитающие России: систематико-географический справочник / под ред. И.Я. Павлинова, А.А. Лисовского. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2012. С. 142–312.
11. Хамаганов С.А. Серые крысы в природных биотопах Хабаровского края // *Вопросы географии Дальнего Востока*. Сб. 7. Хабаровск. 1965. С. 268–271.
12. Черемкин И.М. Особенности распределения мышевидных грызунов на культурных пастбищах Зейско-Буреинской равнины // Териологические исследования на юге Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 72–76.

References

1. Belyayeva N.S. Mouse-like rodents of the southern part of Khabarovsk Krai and the dynamics of their numbers. *Geography of the Far East*. Collection 7. Khabarovsk. 1965. P. 252-267. (in Russian)
2. Volkov V.I., Chernykh P.A. Ecological and faunal sketch of rodents of the Amur River basin. *Zoological Journal*. 1978. Vol. 57. Iss. 3. P. 432-441. (in Russian)
3. Darman Yu.A. Mammals of the Khingansky Reserve. Blagoveshchensk: AmurKNII FEB RAS USSR, 1990. 164 p. (in Russian)
4. Emelyanova L.G., Kadetova A.A. Biotopical distribution of the red-backed vole (*Clethrionomys rutilus* Pallas, 1779) in the peripheral parts of its range. In: Actual problems of modern theriology: Abstracts, 18-22 September 2012, Novosibirsk, Russia. Novosibirsk, 2012. P. 98. (in Russian)

5. Kadetova A.A. The diversity of small mammal population of The Khingansky state nature reserve and the adjacent territories. *Geographical bulletin*. 2019. Vol. 4. Iss. 51. P. 129-143. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2019-4-129-143> (in Russian)
6. Kadetova A.A., Melnikova Yu.A. The Return of the Hamster (*Cricetulus barabensis* Pallas, 1773): a history of one fallow in the South-East of the Amur region. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2025. Vol. 11. Iss. 1. P. 6–13. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-6-13> (in Russian)
7. Kadetova A.A., Melnikova Yu.A. Small mammals of the Middle Amur River region in Amur flood (the experience of the Khingansky Nature Reserve). In: Theriofauna of Russia and adjacent territories. International Meeting (X Congress of the Theriological Society at the Russian Academy of Sciences). Moscow, 2016. P. 151. (in Russian)
8. Kulik I.L. Taiga faunistic complex of mammals of Eurasia. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*. 1972. Vol. 77. Iss. 4. P. 11-24. (in Russian)
9. Kucheruk V.V. Steppe faunistic complex of mammals and its place in the fauna of the Palearctic. In: Formozov A.N. (ed.) *Geography of the population of terrestrial animals and methods of its study*. Moscow: AN SSSR press., 1959. P. 45-87. (in Russian)
10. Pavlinov I.Ya., Khlyap L.A. Order Rodentia. In: Pavlinov I. Ya., Lisovsky A.A. (ed.) *The Mammals of Russia: A Taxonomic and Geographic Reference*. Moscow: KMK Sci. press., 2012. P. 142-312. (in Russian)
11. Khamaganov S.A. The brown rat *Rattus norvegicus* in natural habitats of the Khabarovsk Krai. *Geography of the Far East*. 1965. Collection 7. Khabarovsk. P. 268-271. (in Russian)
12. Cheremkin I.M. Features of the distribution of small rodents in the cultivated pastures of the Zeysko-Bureinskaya plain. In: *Theriological research in the South of the Far East*. Vladivostok: Far Eastern Branch of the USSR Academy of Sciences, 1989. P. 72-76. (in Russian)

Поступила в редакцию / Received: 31.10.2025

Поступила после рецензирования / Revised: 12.12.2025

Принята к публикации / Accepted: 10.02.2026

Обзорная статья

 УДК 581.52 <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-36-48> <https://elibrary.ru/knlntl>

Стратегия сохранения растений в горнодобывающем регионе

Юрий Александрович Манаков¹, **Олег Андреевич Куприянов²**¹ Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия² Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Кемерово, Россия labrek@yandex.ru

Аннотация. Сохранение биологического разнообразия является одной из целей развития ООН. С 1992 г. это понятие закреплено во международных и национальных документах. Наиболее остро проблема сохранения природных объектов стоит в горнодобывающих регионах. На примере опыта разработки и реализации стратегии сохранения растений Кемеровской области показано, что она является механизмом для создания перспективной сети особо охраняемых природных территорий, сохранения биоразнообразия, разработки природоподобных технологий восстановления нарушенных земель. С 2012 г. по 2023 г. в Кемеровской области создана наиболее эффективная система ООПТ, включающая на текущий момент 34 уникальных природных объекта, среди которых 4 федеральных, 25 региональных и 5 местных ООПТ. Девять ключевых ботанических территорий получили статус государственных заказников и памятников природы. Доля ООПТ в Кемеровской области достигла 15,8%, что определяет второе место среди 10 регионов Сибирского федерального округа. Наряду с успехами сохранения растений *in situ*, в Кузбассе разработаны природоподобные технологии восстановления степных, луговых и лесных фитоценозов на отвалах горных пород, что демонстрирует смену парадигмы рекультивации. Данные технологии прошли длительный период наблюдений за динамикой основных показателей растительных сообществ. Производственные эксперименты показали высокую эффективность в темпах восстановления флористического разнообразия и экосистемных функций. Эти технологии соответствуют требованиям наилучших доступных технологий и утверждены в нескольких государственных стандартах. Отмечено, что сохранение экологического каркаса в регионах с высокой техногенной нагрузкой возможно при содействии региональных органов власти, вовлечения промышленных компаний и участия научных и общественных организаций. Для этого необходимо разработать и принять региональную программу сохранения биологического разнообразия и экологического благополучия населения региона. Отсутствие всесторонне проработанных природоохранных программ, утвержденных на региональном уровне, является главной причиной утраты биоразнообразия, деградации экосистем и ухудшения состояния окружающей среды.

Ключевые слова: биоразнообразие, сохранение растений, ключевые ботанические территории, особо охраняемые природные территории, природоподобные технологии

Для цитирования: Манаков Ю.А., Куприянов О.А. Стратегия сохранения растений в горнодобывающем регионе // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2026. Т. 12. № 1. С. 36–48. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-36-48>. EDN KNLNLWL.

Review Paper

Plant conservation strategy in the mining region

Yuri A. Manakov¹, **Oleg A. Kupriyanov²**¹ Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia² Federal Research Center for Information and Computational Technologies, Kemerovo, Russia labrek@yandex.ru

Abstract. Conservation of biological diversity is one of the UN Development Goals. Since 1992, this concept has been fixed in international and national documents. The problem of preserving natural sites is especially actual in mining regions. The Kemerovo Region Plant Conservation Strategy provides a mechanism for creating a promising network of protected natural areas, preserving biodiversity, and developing nature-based technologies for restoring disturbed lands. From 2012 to 2023, the Kemerovo Region created the most effective system of protected natural areas, currently encompassing 34 unique natural sites, including 4 federal, 25 regional, and 5 local protected areas. 9 important botanical areas have been designated state natural preserves and monuments. The share of protected areas in the Kemerovo Region has reached 15.8%, placing it second among 10 regions of the Siberian Federal District. Along with successful *in situ* plant conservation, Kuzbass has developed nature-based technologies for restoring steppe, meadow, and forest phytocenoses on the rock dumps, demonstrating a new paradigm in reclamation of degraded lands. These technologies have undergone extensive observation of the dynamics of plant community indicators. Industrial experiments have demonstrated high efficiency in restoring floristic diversity and ecosystem functions. These technologies comply with best available technologies and have been approved in several Russian state standards. It has been noted that preserving

© Манаков Ю.А., Куприянов О.А., 2026



the ecological framework in regions with high anthropogenic loads is possible with the assistance of regional bodies of the government, the involvement of industrial companies, and the participation of scientific and public organizations. To achieve this, it is necessary to develop and adopt a regional program for the conservation of biological diversity and the environment. The lack of comprehensive environmental programs approved at the regional level is the main cause of biodiversity loss, ecosystem degradation, and environmental deterioration.

Keywords: biodiversity, plant conservation, important botanical territories, protected areas, nature-based technologies

For citation: Manakov Yu.A., Kupriyanov O.A. Plant conservation strategy in the mining region. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2026. Vol. 12. Iss. 1. P. 36-48. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-36-48>. EDN KNLNWL. (in Russian)

Введение

Конец XX века ознаменовался новыми инициативами и международными соглашениями в области охраны окружающей среды, когда одной из глобальных проблем была определена угроза утраты биологического разнообразия – основы устойчивости биосферы. В Конвенции о биологическом разнообразии (КБР) ответственность за сохранение видов была возложена на национальные правительства и промышленные компании, которые должны были выработать законодательные и корпоративные документы в области сохранения биоразнообразия. За два десятилетия за рубежом были созданы механизмы привлечения компаний к решению этих вопросов: разработаны корпоративные и отраслевые справочники для бизнеса по наилучшим практикам, проводится сертификация организаций по соответствию экологическим критериям, при выдаче кредитов финансовые организации обязуют компании выполнять природоохранные мероприятия, общественные организации составляют экологические рейтинги компаний и следят за цепочками поставок продукции на зеленые рынки. Российская Федерация, ратифицировав КБР (1995), впервые приняла ряд федеральных природоохранных законов («О животном мире», «Об охране окружающей среды», «Об особо охраняемых природных территориях», «Об экологической экспертизе»). Однако для отечественного промышленного сектора биоразнообразие до сих пор выступает категорией незначительных рисков и слабых возможностей для развития бизнеса. Разработка корпоративных стратегий, программ и планов действий в отношении биоразнообразия все еще не является распространенной практикой и выражается чаще всего в форме пиар-акции той или иной компании (Манак, Куприянов, 2019).

Особенно остро стоят вопросы сохранения биологического разнообразия в ресурсных регионах, где горнодобывающая и перерабатывающая промышленность является главным вектором экономического развития, вследствие чего обширные территории подвергаются техногенному разрушению и загрязнению. В техногенных ландшафтах происходят процессы деградации экосистем или формирование примитивного сукцессионного растительного покрова, который начинает новую историю развития в неблагоприятных экологических

условиях на длительный период (вероятнее всего, на сотни лет) (Куприянов, 2013).

Наиболее яркие противоречия между охраной природы и экономикой добычи подземных полезных ископаемых наблюдаются в Кемеровской области – Кузбассе, где на протяжении последних 100 лет с нарастающей силой происходит нарушение почвенного и растительного покрова, вынос огромной массы горных пород на земную поверхность и уничтожение местного биоразнообразия (Роткина Е.Б., Шереметова, 2011). В районах сосредоточения угольных предприятий, местах размещения, погрузки и транспортировки угля условия жизни малопривлекательны.

Для сохранения экологического баланса территории, удовлетворения потребностей населения в здоровой окружающей среде, сбережения биологических ресурсов и генофонда растений и животных, включая редкие виды, требовалось разработать стратегию сохранения оставшейся уникальной природы в условиях высоких темпов развития угольной промышленности.

Кемеровская область – Кузбасс регион с глобально значимым биологическим разнообразием

Системная работа по сохранению биоразнообразия Кузбасса началась с 1999 г., благодаря включению Алтае-Саянской горной страны в список двухсот глобально значимых экологических регионов с высокой долей девственных или мало измененных ландшафтных комплексов и самым высоким уровнем биоразнообразия в азиатской части планеты (Global 200). Он входит в число 4-х центров биологического разнообразия в Российской Федерации, где Саяно-Алтайский отмечен наряду с Северо-Кавказским, Приморским и Крымским¹ (Schletterer et al., 2021). Флора Алтае-Саянского экорегиона (АСЭР) насчитывала 3726 видов сосудистых растений, 76 видов было включено в Красную книгу РФ. Уровень эндемизма флоры – 12%. Животный мир включал 691 вид и подвид позвоночных животных – 2% от общего числа видов всей планеты. Это трансграничная территория пересекает границы четырех государств – России (62%), Монголии (29%), Казахстана (5%) и Китая (4%) и занимает площадь 1 065 тыс. км² (Биоразнообразие Алтае-Саянского экорегиона, 2003). Кемеровская область была включена в состав АСЭР в 2000 г. чему способствовала заявка с полным описанием природных условий

¹ Проект Стратегии сохранения и устойчивого использования биологического разнообразия Российской Федерации на период до 2036 года. Минприроды РФ. [Электронный ресурс]. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/strategii_i_doktriny/strategii_sokhraneniya_i_ustoychivogo_ispolzovaniya_biologicheskogo_raznoobraziya_rossiyskoy_federatsii/ysclid=mmg6sfxl9s43258094 (дата обращения 07.03.2026).

² Куприянов А.Н. Стратегия сохранения растений Кемеровской области // ИнЭКА, 2008. № 6(131). С. 29–32. <https://ineca.ru/?dr=library&library=bulletin/2008/0131/007>

и перечнем действующих ООПТ². С этого момента впервые продекларировано, что сохранение биоразнообразия экорегиона является глобальной услугой всему человечеству. Это было закреплено в тексте документа «Алтае-Саянская Инициатива к следующему тысячелетию», подписанная в том числе шестью сибирскими губернаторами. В ходе выполнения проекта «Обеспечение долгосрочного сохранения биоразнообразия АСЭР» решалась стратегическая задача – организация целостной сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ), федерального и регионального значения, как каркас экологической сети трансграничной и транснациональной территории. Всего на данной территории было представлено 308 ООПТ (Система особо охраняемых..., 2001).

Первое издание Красной книги Кемеровской области вышло в свет в 2000 г. (Красная книга Кемеровской..., 2000). Обновление списков редких и исчезающих растений и животных происходило дважды с перерывом примерно десять лет (Красная книга Кемеровской..., 2012; Красная книга Кузбасса, 2021). В 2002 г. Постановлением Коллегии Администрации Кемеровской области (от 30 апреля 2002 г. № 58 «О реализации проекта по сохранению биоразнообразия в Кемеровской области с участием международных организаций») впервые была утверждена региональная система ООПТ, состоящая из 4-х природных зон, включающих 17 объектов. Общая площадь ООПТ составила 1 324 530 га, или 13,9% от территории области. Таким образом, этот этап можно считать точкой отсчета по реализации стратегического плана сохранения биоразнообразия Кемеровской области.

Разработка стратегии сохранения растений Кемеровской области

В апреле 2002 г. в Гааге состоялось конференция сторон по КБР, на которой была принята Глобальная стратегия сохранения растений, ставшей основой для применения экспериментального подхода в реализации 16 целевых задач до 2010 г. и направленная на замедление темпов вымирания растений во всем мире. Одна из задач данной Стратегии предполагала сохранение *in situ* 60% существующих видов растений, находящихся под угрозой исчезновения. Основным механизмом для осуществления этой задачи является выявление ключевых ботанических территорий (КБТ) по определенным критериям, которые можно применять в зависимости от особенностей местообитаний административного или географического района исследований (Андерсон, 2003). Основные три критерия выбора КБТ включают: – наличие видов, находящихся под угрозой уничтожения; – выдающееся флористическое разнообразие с участием уникальных растений; – наличие нетипичных местообитаний, находящихся под угрозой уничтожения. Территориями большого ботанического значения для находящихся под угрозой исчезновения видов, мест их обитания и растительного разнообразия стали КБТ, на основе которых должны создаваться научно-обоснованные стратегии территориального природопользования и природоохранные

мероприятия, в том числе региональные сети ООПТ. Первой региональной стратегией стала Общеввропейская под управлением организации Planta Europa, на основе которой были разработаны несколько государственных Стратегий стран Евросоюза, а также в Республике Беларусь³.

Обширность территории России, ее евразийское пространственное размещение, соизмеримость площади некоторых сибирских регионов с европейскими государствами – все это значительно затрудняло выделение КБТ по европейскому образцу. Поэтому в 2006 г. был инициирован пилотный проект «Стратегия сохранения растений АСЭР», при выполнении которого критерии КБТ, а также классификация типов местообитаний, относящихся ко второму уровню «EUNIS» в европейской информационной системе о природе, были адаптированы под сибирские условия (Ключевые ботанические территории..., 2009).

Кемеровская область стала первым российским регионом, где в период с 2006 г. по 2008 г. были проведены масштабные полевые исследования флоры и растительности для выявления КБТ. В ходе реализации проекта специалистами Кузбасского ботанического сада ИЭЧ СО РАН была разработана Стратегия сохранения растений Кемеровской области (ССР КО), которая была представлена в 2008 г. на заседании Общественной Палаты Кемеровской области⁴.

Целью Стратегии стало сохранение экологической емкости территорий Кузбасса в условиях наращивания объемов производства угля. Стратегия включала три блока задач. *Научный*: 1) инвентаризация флоры и растительности; 2) мониторинг состояния разнообразия растений, тенденций его изменения, а также факторов, угрожающих разнообразию; 3) разработка цифровой информационно-вычислительной системы для управления территориями с высоким биоразнообразием. *Природоохранный*: 4) охрана растений *in situ*, выделение ключевых ботанических территорий, оптимизация системы особо охраняемых территорий, учет ботанического разнообразия в планировании природопользования; 5) сохранение растений *ex situ*. Развитие коллекций Кузбасского ботанического сада и других арборетумов и ботанических садов; 6) совершенствование правовой базы и практического обеспечения охраны видов растений, внесенных в списки Красных книг всех уровней, включая районные; 7) укрепление мер контроля за использованием растительных ресурсов и поиск новых полезных растений. *Формирование экологического мировоззрения*: 8) усиление работы по экологическому образованию и воспитанию; 9) создание регионального образовательного компонента с использованием знаний по флоре, фауне и охране окружающей среды Кемеровской области².

Одной из реализованных задач стала разработанная схема размещения 21-й КБТ, которая охватывает всю территорию Кемеровской области и является достаточно репрезентативной, так как включает лесостепные, степные, болотные, таежные, высокогорные природные районы. По сути, данный перечень уникальных

³ Пронькина Г.А. Стратегия сохранения растений – путь к сохранению растительного мира // ИнЭКА. 2008. № 6(131). С. 23–25.

⁴ Кузбасский ботанический сад / под ред. А.Н. Куприянова. Кемерово, 2021. С. 79–83.

ботанических объектов и эталонных участков различных природных зон и высотных поясов представляет собой каркас биологического разнообразия в угледобывающем регионе (Ключевые ботанические территории..., 2009). На два десятилетия этот список стал планом для развития региональной системы ООПТ с приоритетом на степень техногенной угрозы уничтожения природных территорий и обеспечения компенсационных мероприятий бизнеса в натуральной форме. Однако следует отметить, что стратегия сохранения растений не стала частью региональной программы сохранения биологического разнообразия и экологического благополучия, поэтому реализация планов природопользования в регионе определялась в основном экономическими приоритетами в ущерб экологическим, что неминуемо влекло к уничтожению уникальных ландшафтов, деградации экосистем и снижению уровня биоразнообразия, а следовательно – ухудшению экологического состояния региона (Зиновьева и др., 2020; Разовский и др., 2019).

Существенную и во многом определяющую роль в развитии социальной и экологической ответственности бизнеса в России сыграл Проект Программы развития ООН и Глобального экологического фонда при кураторстве Минприроды России «Задачи сохранения биоразнообразия в политике и программах развития энергетического сектора России», который охватывал угольную, нефтегазовую отрасли и гидроэнергетику (Розенберг и др., 2012; Сборник инновационных решений..., 2015; Сборник инновационных решений по сохранению биоразнообразия для гидроэнергетического..., 2017). Пилотными площадками Проекта в угольном секторе стали Кемеровская область и Республика Хакасия. Шесть угольных компаний были определены официальными партнерами Проекта, при непосредственном участии которых было реализовано за пять лет 28 проектов, направленных на сохранение биоразнообразия при добыче угля (Манаков, Шейнфельд, 2017).

Эта работа определила вектор дальнейшего добровольного участия горнодобывающих компаний в разработке инновационных технологий сохранения и восстановления биоразнообразия⁵.

Современная система ООПТ Кемеровской области – Кузбасса

КБР предписывает сохранение биологических видов и экосистем в условиях *in situ*, то есть в природной среде обитания. Другой метод *ex situ* предполагает изъятие популяции вида и перенос в искусственно созданные условия содержания или культивирования⁶. Метод *in situ* является предпочтительным, поскольку сохранение популяций видов и экосистем происходит в естественном состоянии в тех условиях, в которых они просуществовали длительное время и наиболее к ним адаптированы. Данный метод считается не только более эффективным, но и менее затратным, в сравнении с *ex situ*, однако по мнению некоторых исследователей,

он не подходит для районов с высоким уровнем антропогенного воздействия (Zegeye, 2017).

В рамках темы сохранения биоразнообразия в регионе с горнодобывающей промышленностью, пожалуй, главная роль принадлежит региональной системе ООПТ, так как надежность долгосрочного сохранения биологических видов на той или иной площади обеспечивается государственным статусом особо охраняемой природной территории (ООПТ). Согласно федеральному закону 14.03.1995 № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» на территориях государственных ООПТ «постоянно или временно запрещается, или ограничивается любая деятельность, если она противоречит целям создания или причиняет вред природным комплексам и их компонентам». По сути, ООПТ является единственным способом предотвращения техногенного или антропогенного нарушения целостности природного участка. Поэтому развитие сети ООПТ на национальных и региональных уровнях является трендом в многих странах, так как создание и управление охраняемыми территориями способствуют целям сохранения биоразнообразия. Например, в Индии насчитывается 605 охраняемых территорий, занимающих 4,74% от общей географической площади страны (Chandrakar, Yadav, Kumar, Gupta, 1987).

На рубеже веков региональная система ООПТ в Кемеровской области, несмотря на довольно значительную площадь и количество ООПТ, тем не менее была несовершенна с точки зрения целостности сохранения биологического разнообразия (Буко и др., 2009; Система особо охраняемых..., 2001). Охрана высокогорных и низкогорных природных комплексов, большей частью занятых лесными формациями, осуществлялась в федеральных ООПТ – ГПЗ «Кузнецкий Алатау», ГПНП «Шорский» и на территории федерального памятника природы «Липовый остров». Остальные 9 региональных заказников имели статус зоологических и оберегали поголовье промысловых видов зверей (лося, бобра, соболя), поэтому для сохранения флоры и растительности не годились, к тому же на их территории разрешалась хозяйственная деятельность. Так, в заказнике «Салаирском» до сих пор ведутся лесозаготовки в редких для региона сосновых лесах.

С 1989 по 2000 г. в Кемеровской области было ликвидировано 7 ботанических и зоологических заказников. Негативная тенденция продолжилась в последующие несколько лет (Егоров и др., 2009). Например, «в связи с интенсификацией недропользования» были ликвидированы заказники: в 2001 г. «Нарынский» (35,5 тыс. га), в 2006 г. «Таштагольский» (10,2 тыс. га) и в 2008 г. «Сары-Чумышский» (54,7 тыс. га). Степные экосистемы оказались под угрозой уничтожения в связи перемещением эпицентра угледобычи из южных районов области в центральные, которые были традиционно сельскохозяйственными. На тот момент в Кемеровской области не было ни одной ООПТ для сохранения степных экосистем, поэтому степным участкам,

⁵ Манаков Ю.А. Сохранение биологического разнообразия в России // Растения в муссонном климате: антропогенная и климатогенная трансформация флоры и растительности: материалы VIII науч. конф. Благовещенск: Изд-во Дальневост. гос. агр. ун-та, 2018. С. 137-142.

⁶ United Nations Convention on biological diversity [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-ru.pdf> (дата обращения 07.03.2026).

которые уцелели после распашки, грозило уничтожение в результате карьерной добычи угля⁷ (Буко, Шереметова, 2005; Егоров, 2010).

В Кузбассе первый прецедент сохранения природного комплекса с хорошо сохранившимся степным биоразнообразием произошел в 2012 г. В центре общественного внимания оказалась КБТ «Караканский хребет», где планировалось начать разработку базальта с последующим размещением вскрышных горных пород. Научные работы об уникальном и чрезвычайно богатом растительном мире Караканского хребта стали доказательством его биологической ценности (Растительный мир Караканского..., 2011; Куприянов и др., 2018). В результате частная «Кузбасская топливная компания» на основе соглашения с органами власти, научными и общественными организациями дала согласие на организацию комплексного природного заказника на собственном земельном участке, отведенном под промышленное производство. Это событие открыло первую страницу в недропользовании российских компаний, когда впервые был продемонстрирован ответственный подход бизнеса к разработке месторождения с учетом поддержания уровня биоразнообразия⁸ (Сборник инновационных решений по сохранению биоразнообразия для угледобывающего..., 2015).

В последующий период с 2012 по 2023 гг. в Кемеровской области было создано 16 ООПТ (12 регионального и 4 местного значения). В настоящий момент общее количество их составляет 34, что на 17 территорий больше предыдущего количества до 2002 г. Общая площадь всех ООПТ достигла свыше 1,5 млн га, то есть прирост за 20 лет (с учетом трех ликвидированных заказников) составил 178 567 га, что позволило довести долю площади региона, находящейся под государственной охраной, до 15,8%, а сама Кемеровская область – Кузбасс теперь по доли ООПТ занимает 2-е место в СФО после Республики Алтай (табл. 1 / tabl. 1). Региональная система ООПТ включает в себя ГПЗ «Кузнецкий Алатау», ГНП «Шорский», ГПП «Липовый остров», Кузбасский ботанический сад ФИЦ УУХ СО РАН; 25 ООПТ регионального значения (20 государственных природных заказников и 5 памятников природы); 5 ООПТ местного значения (рис. 1 / fig. 1). Заповедник и национальный парк занимают 49,9% от общей площади ООПТ региона, региональные заказники – 48,9%, памятники природы и природные комплексы – 0,34%. Примечательно, что площадь региональных заказников практически сравнялась с площадью двух самых крупных федеральных ООПТ в Кемеровской области и вероятно скоро сможет ее превысить (табл. 1 / tabl. 1).

Таблица 1

**Особо охраняемые природные территории Кемеровской области – Кузбасса
(по состоянию на 01.01.2026 г.)**

Table 1

Protected areas of Kemerovo Oblast – Kuzbass (by state on 01.01.2026)		
Категория ООПТ	Число	Площадь, га
<i>Федерального значения</i>		
Заповедники	1	412 900
Национальные парки	1	338 000
Памятники природы	1	11 486
Ботанические сады	1	186
Всего	4	762 572
<i>Регионального значения</i>		
Природные заказники	20	735 400,7
Памятники природы	5	409,2
<i>Местного значения</i>		
Природные комплексы	5	4 715,29
Всего	30	740 525,18
ИТОГО	34	1 503 097,2
ООПТ для упреждения воздействия	9	248 441
ООПТ для компенсации ущерба биоразнообразию	5	3 643,6
КБТ в статусе ООПТ	9	220 812,5

Работа по включению КБТ в региональную сеть ООПТ проводилась по принципам репрезентативности экосистем и степени техногенной угрозы биологически ценным территориям. Это относится прежде всего к фрагментам степных экосистем, которые сохранились в Кузнецкой котловине на изолированных друг от друга участках. На середину XX в. общая площадь степей в Кемеровской области составляла примерно 300 тыс. га, однако в результате вовлечения Кузнецкой

котловины в активное строительство городской и дорожной инфраструктуры, развитие сельского хозяйства и угледобывающей промышленности к настоящему времени осталось всего 3,5 тыс. га (Копытов и др., 2017; Манаков, 2005). Благодаря целенаправленным действиям в регионе создано 9 ООПТ для сохранения лугово-степных экосистем, в котором сосредоточен основной генофонд степных видов растений и животных, включая краснокнижных.

⁷ Куприянов А.Н., Манаков Ю.А. Степные участки Кузнецкой котловины в опасности // Степной бюллетень. 2006. № 20. С. 40–41.

⁸ Стрельникова Т.О., Манаков Ю.А., Куприянов А.Н., Уфимцев В.И., Куприянов О.А. Растительный покров Караканского хребта и его изучение // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: материалы XIV международной научно-практической конференции. Барнаул, 25–29 мая 2015 г. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2015. С. 110–114.

При этом 9 КБТ получили государственный природоохранный статус в форме региональных заказников и памятников природы. Можно выделить две основных группы ООПТ: 1) созданных для упреждения воздействия горнодобывающих и строительных предприятий – Караканский, Бачатские сопки (КБТ «Байатские сопки»), Реликтовый (КБТ «Липовый остров» и «Подкатунская Грива»), Арчекасский кряж, Тишинский, Петровский, Петро-Андреевский, Нарыкский, Черновой Нарык, Бухаровский – общей площадью 248 441 га; 2) созданных в качестве натуральной компенсации ущерба биоразнообразию горнодобывающими компаниями области – Костенковские скалы, Кокуйское болото, Артышта (КБТ «Гора Крутая»), «Увалы с. Лучшево» – общей площадью 3 643,6 га. Всего на территории региональных ООПТ произрастает 1095 видов растений, что составляет 63,3% от флоры Кузбасса.

Характерной особенностью развития природоохранной сети в Кемеровской области является участие бизнеса – 7 ООПТ были организованы совместно с компаниями-недропользователями: ПАО «Кузбасская топливная компания», АО ХК «СДС-Уголь», ООО «Газпром добыча Кузнецк», АО СУЭК-Кузбасс, АО УК «Кузбассразрезуголь (Сборник инновационных решений по сохранению биоразнообразия для угледобывающего..., 2017), которые финансировали затраты на проведение экологического обследования, подготовку проектной документации, организацию общественных обсуждений и экологическую экспертизу, а кроме того, на обустройство экологических троп для экологического просвещения населения⁹. Таким образом, была существенно решена одна из задач ССР КО по сохранению растений *in situ*. Работа по включению ООПТ продолжается в соответствии с перечнем природных территорий для исключения из хозяйственной деятельности (Манаков, Куприянов, 2019).

Природоподобные технологии реконструкции растительных сообществ и популяций редких видов на отвалах

Площадь нарушенных земель в Кузбассе составляет около 109 507 га, которые сосредоточены большей частью в лесостепной зоне Кузнецкой котловины¹⁰. Рекультивация отвалов проводится по упрощенным технологиям с посадкой сосны обыкновенной без нанесения насыпного слоя на поверхность отвалов. Посев кормовых трав используется в качестве дополнения к лесной рекультивации. Качество работ по восстановлению нарушенных земель не удовлетворяет экологическим и хозяйственным требованиям. Структура создаваемых «агроресурсоценозов» и биомасса остаются на уровне растительных группировок, которые образуются на первых стадиях естественного зарастания отвалов (Манаков, Куприянов, 2009). Исследования показывают, что на участках рекультивации восстановления фитоценозов зонального типа не происходит на

протяжении десятков лет (Формирование растительного покрова..., 2011). Повышение эффективности рекультивации нарушенных земель возможно только на основе нового экосистемного подхода. А именно восстановления биологического разнообразия и создание новых экосистем на отвалах по типу естественных и вовлечения их в биогеохимический круговорот веществ природы (Bradshaw, 1987; Singh, Jha, 1992).

В период с 2014 по 2019 гг. в Кемеровской области – Кузбассе в сотрудничестве с несколькими угольными компаниями были созданы на отвалах горных пород экспериментальные полигоны для разработки технологий восстановления степных, луговых, лесных фитоценозов с высокими показателями природного флористического разнообразия, проективного покрытия, биомассы, устойчивых к неблагоприятным факторам, саморегулирующихся и самовоспроизводящихся с быстрыми темпами восстановления экологических функций (Schletterer et al., 2021). Многолетние наблюдения на опытных площадках показали, что развитие регенерационных фитоценозов происходит за период от 1 года до 4 лет, флористическое разнообразие соответствует маточному естественному участку, уменьшается доля сорных растений, усложняются структурные показатели, надземная биомасса выше или равна зональным фитоценозам. Важно отметить, что однажды проведенная процедура не требует повторных операций и созданные растительные сообщества по своим структурным показателям соответствуют третьей стадии сукцессии (сложный фитоценоз) и не деградируют по прошествии десяти и более лет. При определенных условиях происходит расселение степных растений на другие участки отвала. Таким образом они начинают принимать участие на пионерных стадиях растительной сукцессии. Среди таких видов отмечены качим Патрэна (*Gypsophila patrinii* Ser.), ковыль перистый (*Stipa pennata* L.), остролодочник волосистый (*Oxytropis pilosa* (L.) DC. В результате разработаны и апробированы природородобные технологии восстановления растительных сообществ, которые можно с успехом применять на отвалах горных пород в условиях Западной Сибири) (Копытов и др., 2021; Куприянов и др., 2022).

Для восстановления лугово-степных фитоценозов на отвалах в условиях недостатка атмосферных осадков применяется технология нанесения на поверхность отвала травяно-семенной массы, заготовленной на маточных участках со степной растительностью¹¹. С помощью данной технологии удалось успешно провести производственный эксперимент механизированным способом и восстановить ковыльную степь на отвале. Это первый случай оффсетной компенсации с локальным восстановлением флористического разнообразия, которое было уничтожено в начале сельскохозяйственного освоения этой территории (Реконструкция лугово-степных фитоценозов..., 2025).

⁹ Пономарев А.А. Болото – под охрану // *Уголь Кузбасса*. 2020. Т. 76. № 3. С. 62–63.

¹⁰ Доклад о состоянии окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2024 году. Кемерово, 2025. 124 с.

¹¹ Куприянов А.Н., Уфимцев В.И., Манаков Ю.А., Стрельникова Т.О., Куприянов О.А. Методические рекомендации по реставрации лугово-степной растительности на отвалах угольной промышленности в Кузбассе / под общ. ред. Ю.А. Манакова. Кемерово: КРЭО «Ирбис», 2017. 28 с.

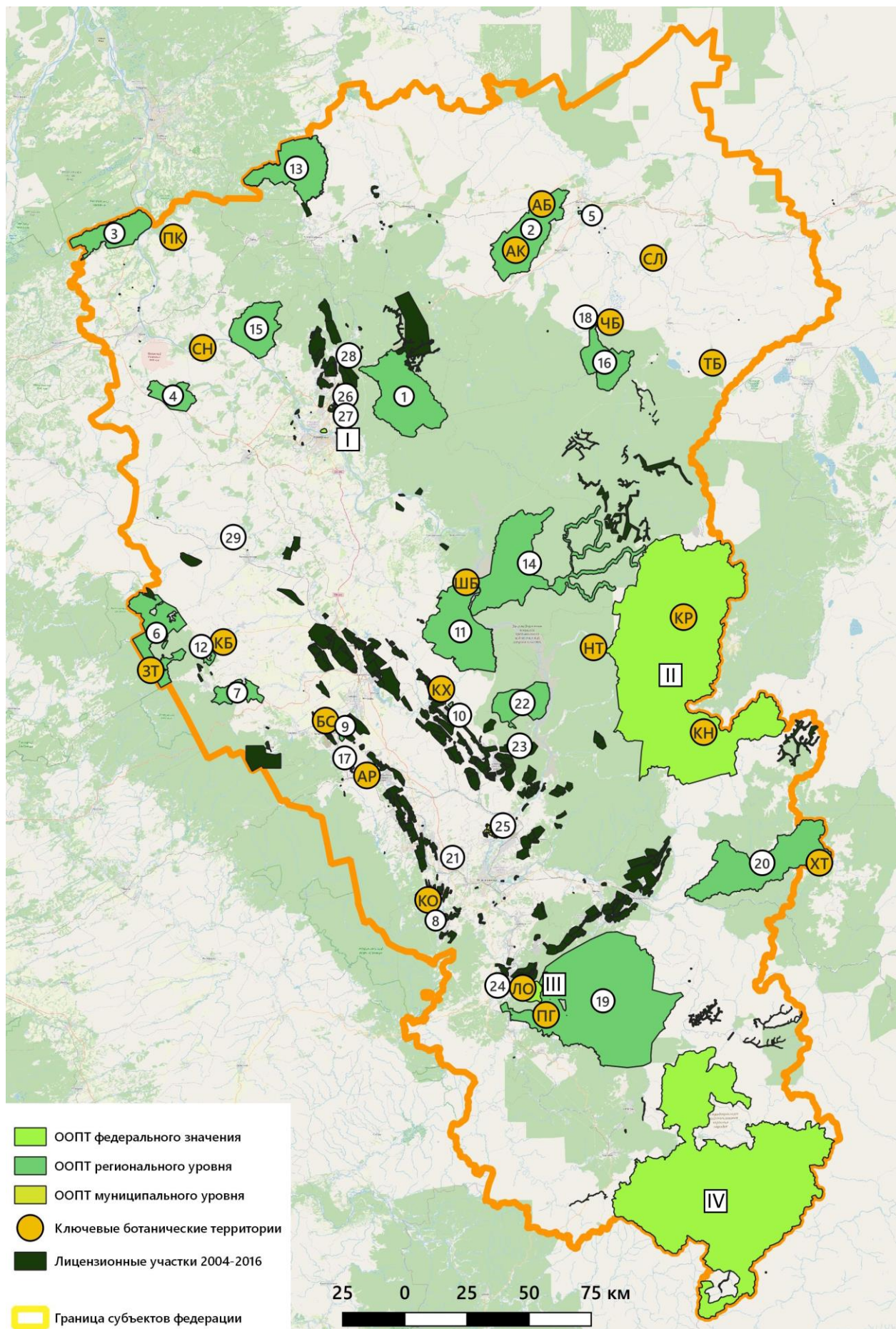


Рис. 1. Система ООПТ Кемеровской области – Кузбасса*
 Fig. 1. Protected areas system of Kemerovo Oblast – Kuzbass*

* **Примечания.** Подписями на рисунке обозначены:

Ключевые ботанические территории: АР – Артышта (гора Крутая), БС – Байатские сопки, КХ – Караканский хребет, КБ – Кокуйское болото, ШБ – ландшафтный комплекс «Шестаковские болота», СБ – Сергинская лесостепь, СН – Скалы у с. Новороманово, ТБ – Тамбарские болота, ЧБ – Чумайские бухтаи, АБ – Антибесские болота, АК – Арчекаский кряж, ПК – Припоселковые кедрачи, КР – Крестовские болота, КН – гора Большой Каным, НТ – скалы по реке Нижняя Терсь, ХТ – Хребет Тигир-Тиш, ЗТ – Золотая тайга, КО – скалы у с. Костенково, ЛО – Липовый остров, ПГ – Подкатунская грива, МС – Скальные выходы по реке Мрас-Су.

Федеральные ООПТ: I. Кузбасский ботанический сад госучреждение, II. Кузнецкий Алатау – заповедник, III. Липовый остров – памятник природы, IV. Горная Шория – национальный парк.

Региональные ООПТ: 1. Барзасский – государственный природный заказник, 2. Антибесский – государственный природный заказник, 3. Нижне-Томский – государственный природный заказник, 4. Раздольный – государственный природный заказник, 5. Арчекаский кряж – государственный природный заказник, 6. Салаирский – государственный природный заказник, 7. Горский – государственный природный заказник, 8. Костенковские скалы – памятник природы, 9. Бачатские сопки – государственный ботанический заказник, 10. Караканский – государственный природный заказник, 11. Бунгарапско-Ажандаровский – государственный природный заказник, 12. Кокуйское болото – государственный ботанический заказник, 13. Китатский государственный природный заказник, 14. Салтымаковский – государственный природный заказник, 15. Писаный – государственный природный заказник, 16. Чумайско-Иркутяновский – государственный природный заказник, 17. Артышта – памятник природы, 18. Чумайский бухтай – памятник природы, 19. Реликтовый – государственный природный заказник, 20. Бельсинский государственный природный заказник, 21. Увалы села Лучшее – государственный природный заказник, 22. Нарынский – заказник государственный природный заказник, 23. Черновой Нарык – заказник государственный природный заказник, 24. Кузедеевский – памятник природы/

Муниципальные ООПТ: 25. Тишинский природный комплекс, 26. Петровско-Андреевский – природный комплекс, 27. Петровский – природный комплекс, 28. Рудничный бор – природный комплекс, 29. Бухаровский – природный комплекс.

Технология реконструкции геологической основы и лугового почвенно-растительного слоя основана на транслокации жизнеспособного слоя почвы (без стадии буртования) из естественного местообитания на поверхность отвала с нанесенным потенциально-плодородным слоем (лессовидный суглинок)¹⁴. Эксперимент наглядно демонстрирует эффективность такого метода, когда уже на первый год происходит не только быстрое восстановление структурных и функциональных показателей регенерационного фитоценоза, но и активизация процессов почвообразования за счет сохранившихся запасов черноземного гумуса и сравнительно ненарушенного комплекса почвенной биоты (Данилова и др., 2023; Куприянов и др., 2021).

Для восстановления лесных сообществ с применением всего разнообразия деревьев и кустарников из состава местной флоры, прошедших испытания в условиях дефицита ресурсов техногенных местообитаний¹². Особенностью современных технологии лесной рекультивации является применение исключительно саженцев с закрытой корневой системой и применение гидропосева травосмесей. Всего предлагается семь вариантов посадок лесных пород деревьев и кустарников на поверхности отвала с насыпным плодородным или потенциально-плодородным слоем: 1) таежные лесные культуры; 2) лиственные лесные культуры с посадкой кедра сибирского; 3) многоярусные лесные сообщества; 4) плантационно-обсеменительные культуры сосны обыкновенной с посевом низовых злаковых трав; 5) лесные культуры сосны обыкновенной товарного назначения; 6) широколиственные лесные культуры; 7) Лесные культуры, созданные методом прямого посева семян¹³.

Сравнение показателей эффективности традиционных и природоподобных технологий показывает значительное преимущество экосистемного подхода (табл. 2 / tabl. 2).

Успешное испытание новых природоподобных технологий экосистемной направленности с выраженным эффектом восстановленного биоразнообразия позволяет говорить о смене парадигмы рекультивации нарушенных земель – переход от технологий создания растительных монокультур к технологиям восстановления экосистем (Копытов и др., 2024). Все технологии по восстановлению биоразнообразия были включены в новые государственные стандарты по теме «Охрана окружающей среды. Биологическое разнообразие»: ГОСТ Р 72035-2025 «Реставрация лугово-степной растительности на отвалах горных пород. Основные положения», ГОСТ Р 72033-2025 «Реставрация лесной растительности на отвалах горных пород. Основные положения», ГОСТ Р 72032-2025 «Реконструкция геологической среды и жизнеспособного почвенно-растительного слоя на отвалах горных пород. Основные положения». С учетом совершенствования природоохранного законодательства РФ и внедрения наилучших доступных технологий в нормативное поле разработана новая технология, открывающая новые возможности для бизнеса в реализации корпоративных экологических стратегий и программ. Также данные технологии полностью соответствуют целям устойчивого развития и плану мероприятий, посвященных 10-летию ООН по восстановлению экосистем, которое проводится с 2021 г. по 2030 г.¹⁵

¹² Уфимцев В.И., Манаков Ю.А., Куприянов А.Н. Методические рекомендации по лесной рекультивации нарушенных земель на предприятиях угольной промышленности в Кузбассе / под общ. ред. Ю.А. Манакова. Кемерово: КРЭО «Ирбис», 2017. 44 с.

¹³ Уфимцев В.И., Куприянов А.Н., Манаков Ю.А., Легощина О.М. Методические рекомендации по созданию природоподобных лесных экосистем на отвалах угольной промышленности в Кузбассе / под общ. ред. Ю.А. Манакова. Кемерово: КРЭО «Ирбис», 2023. 36 с.

¹⁴ Куприянов А.Н., Манаков Ю.А., Куприянов О.А. Методические рекомендации по реконструкции геологической основы и жизнеспособного почвенно-растительного слоя на отвалах горных пород / под общ. ред. Ю.А. Манакова. Кемерово: КРЭО «Ирбис», 2022. 24 с.

¹⁵ Десятилетие Организации Объединенных Наций по восстановлению экосистем (2021-2030 годы). Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 1 марта 2019 года. [Электронный ресурс]. URL: <https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n19/060/19/pdf/n1906019.pdf> (дата обращения 07.03.2026).

Таблица 2

Сравнение показателей традиционных и природоподобных технологий рекультивации нарушенных земель

Table 2

Parameters comparison of traditional and nature-based technologies for the reclamation of disturbed lands

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛИ	Традиционные технологии рекультивации	Природоподобные технологии восстановления биоразнообразия
Цель проведения	Возвращение нарушенных земель в хозяйственный оборот	Возвращение нарушенных земель в биосферный процесс
Биоразнообразие	Не учитывается	Придается первостепенное значение
Количество видов	Монокультура (1–3 вида)	Многовидовое сообщество (от 10 до 30 видов и выше)
Участие сорных (инвазивных) растений	Доминирующее	Минимальное
Соответствие сукцессионным стадиям	Пионерная (I) или простой фитоценоз (II) с доминантой сорных и инвазивных видов	Сложный фитоценоз (III) с ярусной структурой и доминантой видов растений зональной флоры
Темп почвообразования	Низкий	Нормальный
Экологическая ценность	Низкая (только виды полезные для хозяйства)	Высокая (виды, наиболее активно обеспечивающие круговорот веществ и энергии)
Устойчивость к внешним факторам	Низкая	Высокая
Время восстановления	3–5 лет	От 1 года до 5 лет
Нанесение рекультивационного слоя (ППС, ПРС)*	В исключительных и редких случаях	Всегда
Использование земель после рекультивации	Не эффективное, редко возникает целесообразность	Эффективное в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием

* **Примечание.** ППС – потенциально-плодородный слой; ПРС – почвенно-растительный слой.

Заключение

Ресурсные регионы с развитой горнодобывающей промышленностью и высокой освоенностью территорий нуждаются в соблюдении баланса между развитием промышленного производства и сохранением природных участков, образующих экологический каркас территории. Это достигается, с одной стороны, созданием репрезентативной системы особо охраняемых природных территорий и, с другой, восстановлением биоразнообразия и экосистем на нарушенных территориях. Основой территориального развития являются региональные социально-экономические программы, поэтому стратегия сохранения растений должна быть неотъемлемой частью региональной программы сохра-

нения биоразнообразия и экологического благополучия. Одним из эффективных способов определения биологически значимых экосистем являются ключевые ботанические территории, отвечающих критериям видовой ценности и классификации типов местообитаний. Это позволяет создать план развития региональной сети ООПТ в соответствии с принципами предотвращения угроз биоразнообразию и компенсации уже нанесенного ущерба. Крайне важным аспектом индустриально развитых регионов является восстановление природоподобных экосистем на нарушенных землях, восстановления целостности растительного покрова и возвращение нарушенных территорий в биосферный процесс.

Финансирование

Работа выполнена по теме государственного задания ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН № 1021052103985-7-1.6.23, № 1021053106773-4-1.6.23.

Работа выполнена по теме государственного задания для Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий. Регистрационный номер ЕГИСУ НИОКТР – 125051305954-6.

Funding

The work was carried out on the topic of the state assignment for Institute of Soil and Agrochemistry Siberian Branch Russian Academy of Sciences № 1021052103985-7-1.6.23, № 1021053106773-4-1.6.23.

The work was carried out on the topic of the state assignment for Federal Research Center for Information and Computational Technologies. Registration number ЕГИСУ НИОКТР – 125051305954-6.

Благодарности

Авторы выражают благодарность за консультации и дополнительные сведения доктору биологических наук, профессору А.Н. Куприянову – идеологу и автору стратегии сохранения растений Кемеровской области и Е.С. Шарниной (Тимченко) – директору государственного казенного учреждения «Дирекция особо охраняемых природных территорий Кузбасса» с 20.03.2015 по 21.01.2025.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Doctor of Biological Sciences, Professor A.N. Kupriyanov, the ideologist and author of the Kemerovo Region plant conservation strategy, and E.S. Sharnina (Timchenko), the director of the state government department «Directorate of Protected Natural Areas of Kuzbass» from 03/20/2015 to 01/21/2025, for their consultations and additional information.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Сведения об авторском вкладе

Ю.А. Манаков – идея статьи, выстраивание хронологии событий, первоначальный вариант рукописи.

О.А. Куприянов – выполнение графических работ, проверка расчетов, вычитка финального варианта рукописи.

Contribution of the authors

Yu.A. Manakov – concept development, chronology of events, first draft of the manuscript.

O.A. Kupriyanov – graphic design, calculation compliance checks, proofreading of the final manuscript.

Список источников

1. Андерсон Ш. Идентификация ключевых ботанических территорий: Руководство по выбору участков в Европе и основа развития этих правил для всего мира. М.: Изд-во Представительства Всемирного Союза Охраны природы (IUCN) для России и стран СНГ, 2003. 39 с.
2. Биоразнообразие Алтае-Саянского экорегиона / науч. ред. А.Н. Куприянов. Кемерово: Изд-во КРЭОО «Ирбис», 2003. 156 с.
3. Буко Т.Е., Вашлаев М.М., Егоров А.Г., Шереметова С.А., Яковлева Г.И. Роль региональных ООПТ в сохранении разнообразия растений Кемеровской области // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2009. Т. 11. № 1(3). С. 414-416.
4. Буко Т.Е., Шереметова С.А. Уникальный Ботанический объект и перспективы его охраны на территории Кемеровской области // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, 2005 № 4.2. С. 36-42.
5. Данилова А.А., Манаков Ю.А., Шатилов Д.А. *Hemerocallis minor* как индикатор успешности реставрации естественной растительности на отвалах после добычи угля // *Проблемы агрохимии и экологии*, 2023. № 3. С. 53-60. <https://doi.org/10.26178/AE.2023.62.86.006>
6. Егоров А.Г., Ильяшенко В.Б., Онищенко С.С., Скалон Н.В., Вашлаев М.М. Охрана редких и исчезающих видов животных в системе ООПТ Кемеровской области // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2009. № 1(3). С. 422-424.
7. Егоров А.Г. Репрезентативность региональной системы особо охраняемых природных территорий Кемеровской области // *Перспективы науки*. 2010. № 4(06). С. 86-90.
8. Зиновьева О.М., Колесникова Л.А., Меркулова А.М., Смирнова Н.А. Анализ экологических проблем в угледобывающих регионах. *Уголь*. 2020. № 10(1135). С. 62-67. <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2020-10-62-67>
9. Ключевые ботанические территории Алтае-Саянского экорегиона: опыт выделения / И.А. Артемов, А.Ю. Королук, Н.Н. Лашинский и др.; под общ. ред. И.Э. Смелянского, Г.А. Пронькиной. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 272 с.
10. Ключевые ботанические территории Кемеровской области / под редакцией А.Н. Куприянова. Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2009. 112 с.
11. Копытов А.И., Куприянов О.А. Манаков Ю.А., Куприянов А.Н. Добыча угля в Кузбассе и новые экотехнологии // *Журнал «ЭКО»*. 2021. Т. 51. № 6. С. 67-76. <https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2021-6-67-76>
12. Копытов А.И., Манаков Ю.А., Куприянов А.Н. Развитие угледобычи и проблемы сохранения экосистем в Кузбассе // *Уголь*. 2017. № 3, С. 72-77.
13. Копытов А.И., Новоселов С.В., Куприянов О.А., Куприянов А.Н. Тенденции развития угольной промышленности Кузбасса и перспективы восстановления природных экосистем в аспекте энергетического перехода до 2050 г. // *Уголь*. 2024. № 3. С. 87-93. <http://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-3-87-93>
14. Красная книга Кемеровской области. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов / под ред. И.М. Красноборова. Кемерово: Кемер. книжн изд-во, 2000. 243 с.
15. Красная книга Кемеровской области. Том I. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов // отв. ред. А. Н. Куприянов. Кемерово: Азия Принт, 2012. 206 с.
16. Красная книга Кузбасса. Том I. Кемерово: «Вектор-Принт», 2021. 240 с.
17. Куприянов А.Н. Охрана растений: учебное пособие. Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2013. 106 с.
18. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А. Закономерности восстановления растительного покрова на отвалах Кузбасса // *Сибирский лесной журнал*. 2016. № 1. С. 51-58. <https://doi.org/10.15372/SJFS20160205>
19. Куприянов А.Н., Казмина С.С., Зверев А.А. Изменение флористического состава растительных сообществ Караканского хребта вблизи угольных разрезов // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2018. № 43. С. 66-88. <http://doi.org/10.17223/19988591/43/4>
20. Куприянов А.Н., Куприянов О.А., Манаков Ю.А., Шатилов Д.А. Изменение продуктивности отвалов угольных предприятий Кузбасса при реконструкции растительного покрова // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2022. № 9(123). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.123.33>
21. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А., Куприянов О.А., Шатилов Д.А. Реконструкция почвенно-растительного слоя на поверхности отвалов в Кузбассе // *Уголь*. 2021. № 2. С. 46-52. <http://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-46-52>

22. Манаков Ю.А. Биологическое разнообразие и горнодобывающая промышленность в Кемеровской области // *Рекультивация нарушенных земель в Сибири*. 2005. Вып. 1. С. 39–48.
23. Манаков Ю.А., Куприянов А.Н. Критерии сингенетических сукцессии на отвалах Кузбасса // *Экология урбанизированных территорий*. 2009. № 2. С. 82–85.
24. Манаков Ю.А., Куприянов О.А. Система ООПТ Кемеровской области как фактор смягчения воздействия угледобычи на биоразнообразие // *Уголь*. 2019. № 7. С. 89–94. <http://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-7-89-94>
25. Манаков Ю.А., Шейнфельд С.А. Итоги проекта ПРООН/ГЭФ по сохранению биоразнообразия при добыче угля // *Стандарт Качества*. 2017. № 5. С. 74–77.
26. Разовский Ю.В., Киселева С.П., Артемьев Н.В., Вишняков Я.Д., Сухина Е.Н. Типизация источников воздействия добычи угля на экосистемы // *Уголь*. 2019. № 6(1119). С. 64–66. <http://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-4-58-61>
27. Растительный мир Караканского хребта / Лашинский Н.Н., Шереметова С.А., Макунина Н.И., Буко Т.Е., Писаренко О.Ю. Новосибирск: Изд-во «Гео», 2011. 120 с.
28. Реконструкция лугово-степных фитоценозов на отвалах / О.А. Куприянов, А.Н. Куприянов, Ю.А. Манаков, В.И. Уфимцев; науч. ред. Е.Л. Счастливцев; Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2025. 168 с.
29. Розенберг Г.С., Кудинова Г.Э., Васильев А.В., Хамидуллова Л.Р., Сажнёв В.А., Шиманчик И.П. Социальная ответственность в интересах устойчивого развития // *Экология и промышленность России*. 2012. № 4. С. 32–37.
30. Роткина Е.Б., Шереметова С.А. Последствия сельскохозяйственного освоения степных сообществ Кузнецкой котловины (современное состояние и перспективы охраны) // *Достижения науки и техники АПК*. 2011. № 12. С. 39–40.
31. Сборник инновационных решений по сохранению биоразнообразия для гидроэнергетического сектора. Вторая редакция / под ред. Н.И. Коронкевича. М.: Проект ПРООН / ГЭФ, 2017. 338 с.
32. Сборник инновационных решений по сохранению биоразнообразия для нефтедобывающего сектора / Безноздрев Е.А., Воробьев Д.С., Емельянова Л.Г. М.: Изд-во ООО «РА ИЛЬФ», 2015. 275 с.
33. Сборник инновационных решений по сохранению биоразнообразия для угледобывающего сектора / отв. ред. С.А. Шейнфельд, Ю.А. Манаков. Кемерово, Новокузнецк: ИнЭКА, 2015. 207 с.
34. Сборник инновационных решений по сохранению биоразнообразия для угледобывающего сектора / отв. ред. С.А. Шейнфельд, О.И. Литвин, Ю.А. Манаков. Кемерово, Новокузнецк: ИнЭКА, 2017. 256 с.
35. Система особо охраняемых природных территорий Алтае-Саянского экорегиона / науч. ред. А.Н. Куприянов. Кемерово: Азия, 2001. С. 23–30.
36. Скалон Н.В., Егоров А.Г. К вопросу создания региональных систем сохранения биологического разнообразия (на примере Кузбасса) // *Современные проблемы науки и образования*. 2006. № 6. С. 9–12.
37. Формирование растительного покрова в техногенных ландшафтах / Манаков Ю.А., Стрельникова Т.О., Куприянов А.Н.; Отв. ред. С.И. Миронова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. 168 с.
38. Bradshaw A.D. The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems // In: *Restoration Ecology*. Cambridge: Cambridge University press, 1987. P. 53–74.
39. Chandrakar A.K., Yadav K.K., Kumar V., Gupta N. Scenario of Biodiversity Conservation in India: An Overview. Bilaspur: Photon eBooks, 2016. 30 p.
40. Schletterer M., Shevchenko A.A., Yanygina L.V., Manakov Y.A., Reisenbüchler M., Rutschmann P. Eindrücke vom Oberlauf des Obs in Russland // *WasserWirtschaft*. 2021. Vol. 110. Iss. 9–10. P. 77–85. <https://doi.org/10.1007/s35147-021-0903-7>
41. Singh J.S., Jha A.K. Restoration of Degraded Land: an overview // In: Singh J.S. (ed.) *Restoration of Degraded Land: Concept and Strategies*. Meerut: Rastogi publications, 1992. P. 1-9.
42. Zegeye H. *In situ* and *ex situ* conservation: complementary approaches for maintaining biodiversity // *International Journal of Research in Environmental Studies*. 2017. № 4. P. 1-12.

References

1. Anderson S. Identification of Key Botanic Areas: Guidelines for Site Selection in Europe and the Basis for Developing These Guidelines for the World. Moscow: IUCN Representative Office for Russia and the CIS press., 2003. 39 p. (in Russian)
2. Kupriyanov A.N. (ed.). Biodiversity of the Altai-Sayan ecoregion. Kemerovo: KREOO "Irbis" press., 2003. 156 p. (in Russian)
3. Buko T.E., Vashlaev M.M., Egorov A.G., Sheremetova S.A., Yakovleva G.I. The role of regional protected areas in preserving plant diversity in the Kemerovo region. *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2009. Vol. 11. Iss. 1(3). P. 414–416. (in Russian)
4. Buko T.E., Sheremetova S.A. Unique botanical object and prospects for its protection in the Kemerovo region // *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2005 Iss. 4.2. P. 36–42. (in Russian)
5. Danilova A.A., Manakov Yu.A., Shatilov D.A. *Hemerocallis minor* as an indicator of the success of coal mining dumps revegetation. *Problems of agrochemistry and ecology*. 2023. Iss. 3. P. 53–60. <https://doi.org/10.26178/AE.2023.62.86.006> (in Russian)

6. Egorov A.G., Ilyashenko V.B., Onishchenko S.S., Skalon N.V., Vashlaev M.M. Protection of rare and endangered animal species in the system of protected areas of the Kemerovo region. *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2009. Vol. 1. Iss. 3. P. 422-424. (in Russian)
7. Egorov A.G. Representativeness of the regional system of specially protected natural areas of the Kemerovo region. *Prospects of Science*. 2010. Vol. 4. Iss. 06. P. 86-90. (in Russian)
8. Zinovieva O.M., Kolesnikova L.A., Merkulova A.M., Smirnova N.A. Environmental analysis in coal mining regions. *Ugol' – Russian Coal Journal*. 2020. Iss. 10. P. 62-67. <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2020-10-62-67> (in Russian)
9. Artemov I.A., Korolyuk A.Yu., Lashchinsky N.N. et al. Key botanical areas of the Altai-Sayan ecoregion: an attempt to identify them. I.E. Smelyansky, G.A. Pronkina (ed.). Novosibirsk: «Geo» press., 2009. 272 p. (in Russian)
10. Kupriyanov A.N. (ed.). Key botanical territories of Kemerovo region. Kemerovo: KREOO "Irbis", 2009. 112 p. (in Russian)
11. Kopytov A.I., Kupriyanov O.A., Manakov Yu.A., Kupriyanov A.N. Coal Mining in Kuzbass and New Ecotechnologies. *ECO*. 2021. Vol. 51. Iss. 6. P. 67-76. <https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2021-6-67-76> (in Russian)
12. Kopytov A.I., Manakov Yu.A., Kupriyanov A.N. Coal mining and issued of ecosystem preservation in Kuzbass. *Ugol' – Russian Coal Journal*. 2017. Iss. 3. P. 72-77. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2017-3-72-77> (in Russian)
13. Kopytov A.I., Novoselov S.V., Kupriyanov A.N., Kupriyanov O.A. Trends in the development of the Kuzbass coal industry and prospects for the restoration of natural ecosystems in the aspect of energy transition until 2050. *Ugol' – Russian Coal Journal*. 2024. Iss. 3. P. 87-93. <http://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-3-87-93> (in Russian)
14. Krasnoborov I.M. (ed.). The Red Data Book of Kemerovo Region. Rare and endangered species of plants and fungi. Kemerovo: Kemerovo Book press., 2000. 243 p. (in Russian)
15. Kupriyanov A.N. (ed.). The Red Data Book of Kemerovo Region. Volume I. Rare and endangered species of plants and fungi. Kemerovo: Asia Print, 2012. 206 p. (in Russian)
16. The Red Data Book of Kuzbass. Vol. I. Kemerovo: Vector-Print, 2021. 240 p. (in Russian)
17. Kupriyanov A.N. Plant protection: a textbook. Kemerovo: KREOO «Irbis», 2013. 106 p. (in Russian)
18. Kupriyanov A.N., Manakov Yu.A. Patterns of restoration of vegetation cover on Kuzbass waste dumps. *Siberian Forestry Journal*. 2016. Iss. 1. P. 51-58. <https://doi.org/10.15372/SJFS20160205> (in Russian)
19. Kupriyanov A.N., Kazmina S.S., Zverev A.A. Changes in the floristic composition of plant communities of the Karakan Ridge near coal mines. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2018. Iss. 43. P. 66-88. <http://doi.org/10.17223/19988591/43/4> (in Russian)
20. Kupriyanov A.N., Kupriyanov O.A., Manakov Yu.A., Shatilov D.A. Changes in the productivity of coal dumps of Kuzbass during the reconstruction of vegetation cover. *International Research Journal*. 2022. Vol. 9. Iss. 123. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.123.33> (in Russian)
21. Kupriyanov A.N., Manakov Yu.A., Kupriyanov O.A., Shatilov D.A. Reconstruction of the soil-vegetation layer on the rock-dump surface in Kuzbass. *Ugol' – Russian Coal Journal*. 2021. Iss. 2. P. 46-52. <http://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-46-52> (in Russian)
22. Manakov Yu.A. Biological diversity and mining industry in the Kemerovo region. *Reclamation of disturbed lands in Siberia*. 2005. Iss. 1. P. 39-48. (in Russian)
23. Manakov Yu.A., Kupriyanov A.N. Criteria for syngenetic succession on Kuzbass dumps. *Ecology of urbanized territories*. 2009. Iss. 2. P. 82-85. (in Russian)
24. Manakov Yu.A., Kupriyanov O.A. The system of specially protected natural areas of the Kemerovo region as a factor in mitigating the impact of coal mining on biodiversity. *Ugol' – Russian Coal Journal*. 2019. Iss. 7. P. 89-94. <http://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-7-89-94> (in Russian)
25. Manakov Yu.A., Sheinfeld S.A. Results of the UNDP/GEF project on biodiversity conservation in coal mining. *Quality Standard*. 2017. Iss. 5. P. 74-77. (in Russian)
26. Razovskiy Yu.V., 2, Kiseleva S.P., Artemiev N.V., Vishnyakov Ya.D., Suhina E.N. Classification of sources of impact of coal mining on ecosystems. *Ugol' – Russian Coal Journal*. 2019. Iss. 6. P. 64-66. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-6-64-66> (in Russian)
27. Lashchinsky N.N., Sheremetova S.A., Makunina N.I., Buko T.E., Pisarenko O.Yu. (ed.). Flora of the Karakan Range. Novosibirsk: Geo press., 2011. 120 p. (in Russian)
28. Kupriyanov O.A., Kupriyanov A.N., Manakov Yu.A., Ufimtsev V.I. Reconstruction of meadow-steppe phytocenoses on waste dumps / Schastlivtsev E.L. (ed.). Novosibirsk: NSTU press., 2025. 168 p. (in Russian)
29. Rosenberg G.S., Kudina G.E., Vasiliev A.V., Khamidullova L.R., Sazhnev V.A., Shimanchik I.P. Social responsibility in the interests of sustainable development. *Ecology and industry of Russia*. 2012. Iss. 4. P. 32-37. (in Russian)
30. Rotkina E.B., Sheremetova S.A. Consequences of agricultural development of steppe communities of the Kuznetsk Basin (current state and conservation prospects). *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2011. Iss. 12. P. 39-40. (in Russian)
31. Koronkevich N.I. (ed.). Collection of innovative solutions for biodiversity conservation for the hydropower sector. Second edition. Moscow: UNDP / GEF Project, 2017. 338 p. (in Russian)
32. Beznozdreva E.A., Vorobyov D.S., Emelyanova L.G. (ed.). Collection of innovative solutions for biodiversity conservation for the oil producing sector. Moscow: OOO RA ILF press., 2015. 275 p. (in Russian)

33. Sheinfeld S.A., Manakov Yu.A. (ed.). Collection of innovative solutions for biodiversity conservation for the coal mining sector. Kemerovo, Novokuznetsk: InEkA, 2015. 207 p. (in Russian)
34. Sheinfeld S.A., Litvin O.I., Manakov Yu.A. (ed.). Collection of innovative solutions for biodiversity conservation for the coal mining sector. Kemerovo, Novokuznetsk: InEkA, 2017. 256 p. (in Russian)
35. Kupriyanov A.N. (ed.). System of specially protected natural areas of the Altai-Sayan ecoregion. Kemerovo: Asia, 2001. pp. 23-30. (in Russian)
36. Skalon N.V., Egorov A.G. On the issue of creating regional systems for preserving biological diversity (using Kuzbass as an example). *Modern problems of science and education*. 2006. Iss. 6. P. 9-12. (in Russian)
37. Manakov Yu.A., Strelnikova T.O., Kupriyanov A.N. Formation of vegetation cover in technogenic landscapes / Mironov S.I. (ed.). Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences press., 2011. 168 p.
38. Bradshaw A.D. The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems. In: *Restoration Ecology*. Cambridge: Cambridge University press., 1987. P. 53-74.
39. Chandrakar A.K., Yadav K.K., Kumar V., Gupta N. Scenario of Biodiversity Conservation in India: An Overview. Bilaspur: Photon eBooks, 2016. 30 p.
40. Schletterer M., Shevchenko A.A., Yanygina L.V., Manakov Y.A., Reisenbüchler M., Rutschmann P. Eindrücke vom Oberlauf des Obs in Russland. *WasserWirtschaft*. 2021. Vol. 110. Iss. 9-10. P. 77-85. <https://doi.org/10.1007/s35147-021-0903-7>
41. Singh J.S., Jha A.K. Restoration of Degraded Land: an overview. In: Singh J.S. (ed.) *Restoration of Degraded Land: Concept and Strategies*. Meerut: Rastogi publications, 1992. P. 1-9.
42. Zegeye H. *In situ* and *ex situ* conservation: complementary approaches for maintaining biodiversity // *International Journal of Research in Environmental Studies*. 2017. № 4. P. 1-12.

Поступила в редакцию / Received: 11.03.2026

Поступила после рецензирования / Revised: 20.04.2026

Принята к публикации / Accepted: 01.06.2026

Раздел 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Обзорная статья

 УДК 631.47 <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-49-56> <https://elibrary.ru/lqxoор>

Теория и практика рекультивации нарушенных земель

Владимир Алексеевич Андрокханов✉

Институт почвоведения агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

✉ androkhanov@issa-siberia.ru

Аннотация. С проблемами восстановления нарушенных земель сталкиваются практически во всех промышленно развитых регионах в России и зарубежом. Это связано с тем, что антропогенное воздействие на естественные экосистемы, ландшафты достигло такого уровня, что на больших площадях образуются новые, техногенно сформированные ландшафты, которые коренным образом (рельеф, состав пород, режимы функционирования) отличаются от естественных, природных ландшафтов, ранее существовавших на этих территориях. В настоящее время накоплен определенный опыт по рекультивации нарушенных земель. В различных регионах для восстановления нарушенных земель и снижения негативных последствий от разрушения естественных ландшафтов разработаны и применяются на практике достаточно разнообразные методы, способы, технологии рекультивации, которые должны учитывать специфику природно-техногенных условий восстановления нарушенных участков. Поэтому для выявления наиболее успешных и приемлемых направлений рекультивации и расчета ее эффективности необходимо теоретическое обобщение полученного многолетнего опыта и оценка результатов выполненных рекультивационных мероприятий.

Ключевые слова: рекультивация, эффективность, ландшафты, почва, растительность, экосистемы

Для цитирования: Андрокханов В.А. Теория и практика рекультивации нарушенных земель // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2026. Т. 12. № 1. С. 49–56. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-49-56>. EDN LQXOOR.

Section 2. POLLUTION

Review Paper

Theory and practice of reclamation of disturbed lands

Vladimir A. Androkhanov✉

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

✉ androkhanov@issa-siberia.ru

Abstract. Problems with the restoration of disturbed lands are encountered in virtually all industrialized regions in Russia and abroad. This is due to the fact that anthropogenic impact on natural ecosystems and landscapes has reached such a level that new, man-made landscapes are forming over large areas, radically different in their topography, rock composition, and functioning modes from the natural landscapes that previously existed in these areas. A considerable amount of experience has now been accumulated in the reclamation of disturbed lands. A wide variety of reclamation methods, techniques, and technologies have been developed and applied in various regions to restore disturbed lands and reduce the negative consequences of the destruction of natural landscapes. These methods must take into account the specific natural and man-made conditions for the restoration of disturbed areas. Therefore, in order to identify the most successful and acceptable directions of reclamation and calculate its effectiveness, it is necessary to theoretically generalize the experience gained over many years and evaluate the results of the reclamation measures carried out.

Keywords: reclamation, efficiency, landscapes, soil, vegetation, ecosystems

For citation: Androkhanov V.A. Theory and practice of reclamation of disturbed lands. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2026. Vol. 12. Iss. 1. P. 49-56. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-49-56>. EDN LQXOOR. (in Russian)

Введение

Человечеству для комфортного существования необходимы природные ресурсы. Добыча многих полезных ископаемых вызывает разрушение естественных ландшафтов и существенное негативное воздействие на все компоненты природной среды. По некоторым данным скорость нарушения естественных земель во всем Мирове достигает нескольких миллионов гектаров в год (Чмыхалова и др., 2023; Tang et al., 2021). Нарушенные территории образуются практически на всех континентах и в разных природно-экологических условиях. Эти нарушенные участки Земли исключаются из природных круговоротов веществ и энергии и представлены техногенными ландшафтами (ТЛ) со специфическими свойствами и режимами функционирования и в большинстве случаев, не соответствующих данной природной обстановке (Андроханов, Курачев, 2010). При этом масштабы нарушения природной среды, в основном, определяются площадью, химическим составом техногенно нарушенной поверхности и степенью нарушения природных ландшафтов, от этого также во многом зависит и уровень воздействия на прилегающие территории, и возможность эффективного восстановления, и возвращение нарушенных земель в повторное использование (Boukhari et al., 2025; Dacal et al., 2019; Tang, 2017).

В настоящее время в разных странах, в разных компаниях накоплен большой опыт восстановления нарушенных земель на различных видах нарушений, расположенных в различных природно-климатических условиях, характеризующихся различными техногенными условиями восстановления (Куприянов и др., 2025; Santamarina et al., 2019; Werner et al., 2020). В тоже время, проведенные многолетние исследования на техногенно нарушенных ландшафтах показали большую теоретическую значимость работ по восстановлению различных компонентов экосистем и изучению постепенного формирования природно-техногенных ландшафтов¹ (Tang et al., 2021). Это связано с тем, что изучение процессов восстановления разрушенных ландшафтов и экосистем затрагивает интересы множества наук от горного дела, геологии и химии, до биологии, почвоведения, экологии, экономики и некоторых других наук и позволяет получать новую научную информацию по разным направлениям. Поэтому во многих отраслях науки сформировались направления связанные с исследованием специфики техногенных ландшафтов, а также с разработкой и научным обоснованием технологий рекультивации нарушенных земель (Андроханов и др., 2000; Acosta et al., 2018).

Теоретическая часть

В общеэкологическом плане нарушенные земли, техногенные ландшафты представляют собой разновидность антропогенных ландшафтов, особенности образования которых, обусловлены производственной деятельностью человека. Если обычные антропогенные ландшафты оказываются чаще всего лишь в той или иной степени преобразованными естественными

ландшафтами (например, агроландшафты, осушенные земли), то техногенные – практически полностью (рельеф, состав пород и т.д.) сформированы техническими средствами. Несмотря на многочисленные работы, посвященные исследованию техногенных ландшафтов, вопросы, связанные с теоретическим обоснованием необходимого уровня восстановления нарушенных земель и оптимизации взаимодействия нарушенных территорий с прилегающими экосистемами, остаются весьма актуальными. Это вызвано и тем, что нарушение почв и ландшафтов происходит постоянно, в разных природно-климатических условиях и в результате различного техногенного воздействия. Поэтому ТЛ характеризуются различными параметрами нарушения и разными природно-техногенными условиями восстановления нарушенных территорий, что формирует индивидуальную специфику каждого ТЛ.

Сегодня, по современным требованиям, принято рекультивационные мероприятия проводить индивидуально и комплексно, то есть по каждому объекту разрабатывается свой проект рекультивации, в котором предусмотрено восстановление отдельных компонентов ландшафта для определенного направления и предлагаются способы рекультивации, позволяющие создавать на нарушенных землях территории, местообитания с различными режимами пользования. Это связано ещё с тем, что сформировалось общее понимание, что проблема оптимизации окружающей среды и, в частности, рекультивации нарушенных земель была и остается чрезвычайно важной и одновременно сложной, особенно для промышленных регионов, так как техногенные ландшафты, образованные в результате промышленной деятельности, оказывают многоплановое, отрицательное экологическое воздействие на все компоненты окружающей среды, и вызывают цепь негативных последствий, необратимых и губительных для естественных экосистем.

Большая разнородность, специфика и индивидуальность ТЛ определяет мультидисциплинарность задач рекультивации, которые должны быть направлены на оценку и снижение последствий нарушения, комплексное восстановление основных компонентов природной среды, мониторинг и постепенное исправление экологического дисбаланса на нарушенных и прилегающих территориях. Основные теоретические задачи рекультивации нарушенных почв можно разделить на три группы (рис. 1 / fig. 1).

1. Обследование и диагностика почвенно-экологического состояния (ПЭС), выявление специфики свойств и режимов функционирования ТЛ. В этом направлении, в начале необходимо определить единый алгоритм обследования ТЛ, который предусматривал бы использование определённых методов для получения основных параметров ТЛ, значимых для обоснования направления рекультивации и разработки эффективной технологии рекультивации. При этом под ПЭС понимается способность техногенного местообитания обеспечивать определенный уровень развития

¹ Андроханов В.А. Сингенез почвенно-генетических и биологических процессов в техногенных ландшафтах Кузбасса // Вестник Томского государственного университета. 2003. Приложение № 7: статьи по материалам межрегионального экологического семинара «Комплексные экологические исследования ландшафтов Сибири» (Томск, сентябрь, 2003). С. 16–23.

биологических и почвообразовательных процессов. И этого определения становится понятным, что ПЭС – это комплексный показатель, характеризующий уровень восстановления растительности и процессов почвообразования на нарушенных землях и основывается на сингенетическом развитии биоты и почв. Чем лучше показатели растительного покрова и почвенные свойства, тем выше уровень ПЭС, тем успешнее

восстанавливается экосистема на нарушенных участках. Тем не менее большинство ТЛ рекультивированных и нерекультивированных сохраняют свою техногенную специфичность очень длительное время, а их состояние и устойчивость во многом определяется уровнем достигнутого ПЭС и направлением, режимом использования рекультивированных территорий (Андроханов, Курачев, 2010).



Рис. 1. Основные направления работ при выполнении рекультивации

Fig. 1. The main areas of work during reclamation

2. Это группа научно-практических задач, связанных с разработкой технологий рекультивации и теорией проектирования рекультивационных мероприятий. Решение этой задачи позволяет разработать спектр технологий рекультивации для различных видов нарушений с разным уровнем почвенно-экологической эффективности. При проектировании рекультивационных работ необходимо учитывать комплекс показателей, характеризующих условия выполнения рекультивационных работ и наличие ресурсов рекультивации. Поэтому перед разработкой проекта выполняется предпроектное обследование природно-техногенной обстановки в районе выполнения рекультивационных мероприятий. На основе анализа полученной информации принимается решение о цели и направлении рекультивации, и определяются контрольные показатели эффективности, которые должны быть достигнуты при выполнении рекультивационных работ. При этом могут быть предложены несколько вариантов восстановления с различной эффективностью, которая во многом определяется уровнем использования ресурсов рекультивации. Основные ресурсы рекультивации подразделяются на 3 группы: а) литогенные – это субстраты и материалы, которые используются для формирования рекультивационного слоя; б) климатические – показатели количества тепла и влаги в районе проведения рекультивации; в) материальные – наличие техники, которую можно задействовать для выполнения рекультивации и объем финансирования необходимый для выполнения работ.

В решении этой группы задач есть некоторые достижения. Разработаны рабочие документы, нормативы для крупных компаний, имеются типовые схемы,

например, для нефтедобывающих компаний по ликвидации нефтезагрязнений, ГОСТы, сборники по НДТ (наилучшие доступные технологии) по рекультивации. В целом решение задач по этому направлению позволяет комплексно оценить перспективы восстановления и предложить наиболее оптимальные варианты рекультивации нарушенных земель.

3. Формирование системы мониторинга почвенно-экологического состояния нарушенных земель, в том числе и с использованием дистанционных методов. Главное в этой задаче определение динамики восстановления основных компонентов экосистем и оценка воздействия ТЛ на прилегающие территории. Современные средства ДЗЗ позволяют достаточно оперативно и подробно получать информацию о площади нарушений, рельефе, растительном покрове и общем состоянии поверхности техногенно нарушенных участков. Получение и обработка данных ДЗЗ дает информацию об увеличении площади нарушений, о воздействии на прилегающую территорию, а после окончания техногенного воздействия о начальных этапах восстановления ТЛ² (Tang, 2017; Tang et al., 2021). При этом мониторинг развития растительного покрова на техногенно нарушенных участках дает возможность принимать решение о необходимости выполнения рекультивационных работ. При активном естественном восстановлении зональной растительности на нарушенных землях и совпадении цели рекультивации, можно принимать решение об оставлении таких участков под самовосстановление экосистем. Это бывает редко на слаборазрушенных территориях и на участках с благоприятными условиями восстановления. Также необходим мониторинг на участках после выполнения

² Соколова Н.А. Оценка почвенно-экологического состояния отвалов угольных разрезов дистанционными методами (на примере Горловского антрацитового месторождения): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2023. 27 с.

рекультивационных мероприятий. Во-первых, это позволяет оценить качество выполненных работ и достижение запрогнозированных показателей эффективности рекультивации. Во-вторых, по прошествии 3-5 лет необходимо оценить устойчивость достигнутых показателей на рекультивированных участках, так как часто на рекультивированных землях, по разным причинам, могут развиваться деградационные процессы, значительно понижающие эффективность выполненных рекультивационных работ.

В целом, решение этих задач позволяет последовательно и комплексно подходить к восстановлению нарушенных земель и в общем-то показывает тесную взаимосвязь различных научных подходов в решении проблем рекультивации техногенно нарушенных земель.

Несмотря на многочисленные исследования по теме восстановления нарушенных земель, само понятие рекультивации остается недостаточно проработанным. В начале формирования этого научного и практического направления в середине XX в. под рекультивацией, чаще всего было принято понимать *«восстановление плодородия ландшафтов до состояния пригодного для сельского и лесного хозяйства или отдыха. Также в начале считалось возможным восстановление до исходного состояния, то есть по принципу, что нарушил то и верни»* (Knabe, 1959). В настоящее время проведенные исследования показали, что при тотальном разрушении естественных экосистем и формировании ТЛ, восстановление до первоначального состояния практически невозможно, да и не всегда экологически обосновано и экономически целесообразно. С учетом накопленного опыта восстановления нарушенных земель и последующего их использования, а также с учетом современных требований к проведению рекультивационных работ и сохранению биоразнообразия, в ГОСТ Р 57446-2017 было зафиксировано новое определение рекультивации. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков: *«Комплекс мероприятий, направленных на восстановление утраченного качественного состояния земель, достаточного для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием»*. Данное определение показывает комплексный подход к рекультивации и необходимость восстановления качественного поверхностного слоя для обеспечения повторного использования рекультивированных земель, но не показывает возможность управления рекультивационными мероприятиями. Также в процессе разработки месторождений или при размещении отходов могут сложиться условия, изменяющие целевое назначение, что в последующем существенно затрудняет выполнение рекультивации под формирование участков с разрешенным назначением использования.

Анализ современного состояния проблемы рекультивации позволяет сформулировать другое определение рекультивации: *«восстановление нарушенных земель или рекультивация представляет собой процесс с набором технологических приемов для формирования устойчивого ландшафта с заданными параметрами поверхностного слоя и уровнем почвенно-экологической эффективности, позволяющий формировать*

рекультивированные участки согласно цели рекультивации». Это определение обращает внимание на то, что рекультивация – это не разовое мероприятие, а комплекс работ по созданию нового ландшафта согласно цели рекультивации, которая предполагает достижение определенных показателей, согласно выбранному направлению. Таким образом это должен быть управляемый, целенаправленный процесс, способствующий формированию устойчивых экосистем и направленный, в первую очередь, на значительное снижение негативных последствий техногенного воздействия на окружающую среду и возвращение рекультивированных земель в повторное использование.

Практическая часть

Практические работы по рекультивации нарушенных земель активно начали выполняться в 60-80-е гг. прошлого столетия. К этому времени был собран большой экспериментальный материал о негативном влиянии техногенных ландшафтов на окружающую среду и постоянно наблюдался рост площади нарушенных и загрязненных земель. В эти годы в большинстве промышленно развитых стран были разработаны и приняты законы, государственные программы и проекты, направленные на защиту окружающей среды и содержащие разделы по рекультивации земель. Нужно отметить, что в начале работы по рекультивации нарушенных территорий были направлены в основном на создание сельскохозяйственных угодий и лесных насаждений и возвращение этих земель в хозяйственный оборот (Knabe, 1959). В последующие годы большее внимание стали уделять экологической составляющей и снижению экологических рисков от образовавшихся техногенных объектов (Андроханов, Курачев, 2010; Tang, 2017).

Большое разнообразие ТЛ, различное воздействие на прилегающие территории и различные условия выполнения рекультивационных работ требуют разработку разнообразных технологий восстановления нарушенных земель. Поэтому для снижения негативных последствий от разрушения природных ландшафтов и восстановления техногенно нарушенных территорий разработаны и применяются на практике большое разнообразие способов, методов, технологий восстановления нарушенных земель. При этом условно, по основному направлению восстановления того, или иного компонента окружающей среды, все технологии восстановления можно разбить на 3 группы (рис. 2 / fig. 2).

1. Отличительной чертой первой группы технологий восстановления нарушенных земель является формирование искусственных почв с сформированным, поверхностным, корнеобитаемым слоем. Именно эти технологии на наш взгляд нужно относить к рекультивации, так как только выполнение этих работ направлено на формирование новых, продуктивных ландшафтов и позволяет наиболее эффективно и быстро восстанавливать почвы, и разнопланово использовать рекультивированные участки. При формировании рекультивационного поверхностного слоя создаются искусственные почвы, которые по разным классификациям называются: технозёмы (Андроханов и др., 2000), поверхностные почвоподобные образования, реплантозёмы (Шишов и др., 2004), техносоли (Мировая

реферативная база..., 2018). Для создания рекультивационного слоя используются различные материалы, из которых формируется благоприятный для развития растений корнеобитаемый слой согласно цели рекультивации, при этом создается возможность возвращения нарушенных земель в биологический круговорот и повторное хозяйственное использование. Эти технологии наиболее дорогостоящи и, конечно же, требуют

рационального использования ресурсов рекультивации, что иногда затруднительно и экономически обосновано. Поэтому они должны использоваться там, где есть достаточное количество и возможность активного использования ресурсов рекультивации для сокращения дефицита почвенных ресурсов и/или необходимость достижения быстрого и устойчивого эффекта.

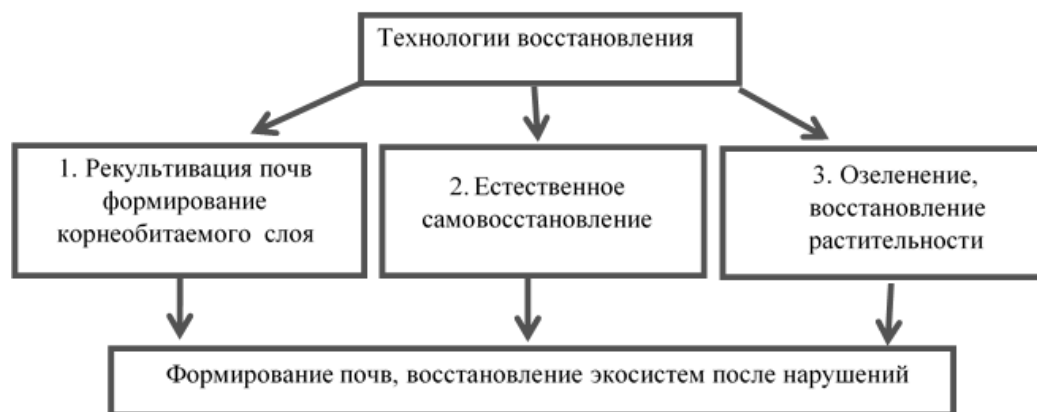


Рис. 2. Группы технологий восстановления нарушенных земель

Fig. 2. Groups of technologies for restoration of disturbed lands

2. Естественное восстановление. Это направление, к сожалению, в настоящее время применяется очень часто, даже внесено в ГОСТ Р 59057-2020 как санитарно-гигиеническое направление рекультивации, которое предполагает естественное восстановление растительности. Как было показано ранее, это возможно, когда происходят незначительные нарушения или поверхность техногенного ландшафта сложена благоприятными для растений субстратами и есть условия для естественного восстановления зональной растительности. Тем не менее эффективность такой рекультивации, часто, оказывается очень низкой и в целом, не способствует комплексному восстановлению, и не создает условия для повторного использования таких территорий.

3. Эту группу технологий можно разделить на три направления: реставрация – когда выполняются работы, направленные на восстановление ранее существовавшего зонального растительного покрова на нарушенных территориях (Куприянов и др., 2017); реабилитация – это восстановительные мероприятия, выполняемые на загрязненных нарушенных участках и направленные в основном на снижение содержания загрязняющих веществ (например, нефти) до безопасного уровня (Acosta et al., 2018); озеленение или фитомелиорация – это формирование растительного покрова на нарушенных землях (Куприянов и др., 2025). Эти технологии восстановления позволяют сформировать растительный покров и снизить негативное воздействие ТЛ на прилегающие территории. Однако без учета качества поверхностных субстратов и формирования корнеобитаемого слоя они часто бывают малоэффективными, так как высаженные растения часто оказываются неустойчивыми к неблагоприятным условиям, а те немногие виды растений, которые выживают на ТЛ не формируют полноценные экоси-

стемы, и это также ограничивает возможности восстановления биологического разнообразия и возвращения нарушенных земель в повторный оборот.

Таким образом проведенный краткий обзор существующих технологий рекультивации показал, что в настоящее время разработан набор технологий рекультивации, позволяющий восстанавливать нарушенные земли с различной эффективностью. При этом нужно понимать, что оценка эффективности восстановления проводится по различным критериям, в основном по состоянию растительного покрова, площади озеленения, и снижению загрязнения. Однако, как показывает практика выполнения рекультивационных работ эффективность восстановления во многом зависит от свойств субстратов, которые размещены в поверхностном слое и выполняют функции почвообразующих пород. Поэтому в начале XXI в. в лаборатории рекультивации почв ИПА СО РАН был разработан новый метод оценки почвенно-экологической эффективности выполненных рекультивационных мероприятий (Андроханов, Курачев, 2010).

В основе метода оценки лежат принципы бонитировки почв с некоторой модификацией. Данный метод позволяет определить коэффициенты специфичности рекультивированных почв и сравнить их качество, уровень плодородия и свойства с естественными почвами, распространенными на прилегающих территориях. При этом почвенно-экологическая эффективность рассчитывается по формуле:

$$\text{ПЭР (б.б.)} = \text{Бпк} \times \text{Кс}$$

где: ПЭР – почвенно-экологическая эффективность;

Бпк – бонитет естественной почвы;

Кс – коэффициент специфичности.

Такой расчет ПЭР позволяет выразить в почвенно-экологическую эффективность выполненной рекультивации в баллах или %, и рассчитать ее в абсолютном или относительном значении. Если мы берем бонитет лучшей почвы региона, то мы получаем абсолютное значение ПЭР, если берем бонитет той почвы, которая наиболее распространена на прилегающей к ТЛ территории, то получаем относительную ПЭР для данного района, где проводится рекультивация.

Кс почвы техногенного ландшафта является мерой насколько почвы ТЛ отличаются от естественных почв и определяется по отношению показателя почвы ТЛ к естественной почве (например, содержание гумуса и фракций физической глины в субстрате). Таким образом получается, чем больше показатели рекультивированных почв соответствуют естественным почвам, тем выше значения Кс и, тем выше ПЭР. Также необходимо отметить, что расчёт ПЭР позволяет не только оценить эффективность рекультивации, но и определить перспективы дальнейшего использования рекультивированных участков. Если ПЭР около 30%, то это очень низкие показатели эффективности и восстановление нарушенных участков ограничено, 30-50% низкая, но возможна лесная рекультивация, 50-70% можно формировать сенокосы, травянистые биоценозы, выше 70-90% возможны различные варианты использования, в том числе и возвращение рекультивированных земель сельскохозяйственному использованию.

Таким образом, решение этих основных задач способствует комплексному восстановлению техногенно нарушенных территорий по разным направлениям с различным уровнем почвенно-экологической эффективности. На данном этапе развития технологий рекультивации наиболее сложной остается ситуация с внедрением современных технологий рекультивации в практику. Сегодня необходимо разработать механизм внедрения современных технологий, который бы стабильно функционировал. А для этого требуется серьезное изменение подходов и понимание цели выполнения рекультивационных работ. Необходимо, внедрение в практику рекультивации обеспечение снижения негативных последствий и обязательное возвращение рекультивированных земель в повторное использование, а это невозможно без рационального использования ресурсов рекультивации (Сёмина, 2026). Поэтому рекультивация нарушенных земель должна представлять собой технологию замкнутого цикла, которая на всех этапах от нарушения земельных участков, до их

восстановления контролирует необходимые ресурсы и регулирует или создает условия для эффективного восстановления нарушенных ландшафтов.

Заключение

Таким образом на современном этапе развития и обобщения научно-практической информации о восстановлении нарушенных земель можно считать, что теоретические проблемы и практические задачи рекультивации нарушенных земель во многом решены. В результате многолетних исследований и практического выполнения рекультивационных работ накоплен значительный опыт восстановления нарушенных земель в различных регионах и на разных типах ТЛ. Установлено, что для успешного выполнения рекультивации необходим комплекс исследований техногенно нарушенных территорий, анализ условий выполнения рекультивации и наличие необходимых ресурсов, что позволяет определить наиболее приемлемое направление рекультивации и задать необходимый уровень почвенно-экологической эффективности для возвращения нарушенных земель в повторное использование.

Основными причинами существования долгосрочной проблемы в рекультивации промышленных земель являются недостаточное внедрение научно обоснованных, экологически эффективных и экономически целесообразных технологий, которые бы обеспечивали высокий экологический, хозяйственный и социальный эффект. Как показывает практика, возможности широкомасштабного применения технологий полной рекультивации с высоким экологическим эффектом и диагностикой почвенно-экологического состояния рекультивируемых территорий значительно ограничены дефицитом материальных ресурсов, а также возможностью как-то организационно влиять на оптимизацию рекультивационных работ.

Необходимо понимать, что в процессе рекультивации мы можем только создать благоприятные условия, для развития восстановительных процессов в дальнейшем, растительный покров, свойства почв и биоразнообразие восстанавливаются естественным образом, через восстановление биоценозов и физического, химического и биологического состояния почвенного слоя. Таким образом нужно признать, что основой любой рекультивации является полноценный комплекс работ, в ходе выполнения которых закладывается основа, фундамент будущего ландшафта, который и определяет перспективы развития почвенного покрова и восстановление новых экосистем.

Финансирование

Исследования проводились в рамках выполнения работ по базовым проектам в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН и Институте водных и экологических проблем СО РАН.

Funding

The research was carried out as part of work on basic projects at the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the SB RAS and the Institute of Water and Environmental Problems of the SB RAS.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of interest

The author declares no conflicts of interest.

Список источников

1. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: изд-во Сибирского отделения РАН, 2010. 241 с.
2. Андроханов В.А., Овсянникова С.В., Курачев В.М. Технозёмы: свойства, режимы, функционирование. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. 200 с.
3. Куприянов О.О., Куприянов А.Н., Манаков Ю.А., Уфимцев В.И. Реконструкция лугово-степных фитоценозов на отвалах. Новосибирск: изд-во НГТУ, 2025. 168 с.
4. Куприянов А.Н., Уфимцев В.И., Манаков Ю.А., Стрельникова Т.О., Куприянов О.А. Методические рекомендации по реставрации лугово-степной растительности на отвалах угольной промышленности в Кузбассе. Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2017. 28 с.
5. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. Исправленная и дополненная версия 2015. / науч. ред. М.И. Герасимова, П.В. Красильников; пер. с англ. И.А. Спиридонова. FAO UN. МГУ им. М.В. Ломоносова. Рим, 2018. 205 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/3c73d691-c4ab-4711-8afb-7b78250ba342/content> (дата обращения: 20.02.2026).
6. Семина И.С. Комплексные исследования минеральных ресурсов в горно-таежной подзоне Кемеровской области – Кузбасса, оценка их пригодности для рекультивации нарушенных земель // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2026. № 1. С. 85-110.
7. Чмыхалова С.В., Гришин В.Ю., Пыталев И.А. Рекультивация нарушенных горным производством земель с учетом особенностей отвода земель под предприятия горной промышленности // *Безопасность труда в промышленности*. 2023. № 4. С. 28-33. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-4-28-33>
8. Шишов Л.Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Сыктывкар: Ойкумена, 2004. 343 с.
9. Acosta J.A., Abbaspour A., Martínez G.R., Martínez-Martínez S., Zornoza R., Gabarrón M., Faza A. Phytoremediation of mine tailings with *Atriplex halimus* and organic/inorganic amendments: A five-year field case study // *Chemosphere*. 2018. Vol. 204. P. 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.027>
10. Boukhari S., Khalil A., Zouhri L., Adnani M. Geographic Information System-Based Database for Monitoring and Assessing Mining Impacts on Water Resources and Environmental Systems at National Scale: A Case Study of Morocco (North Africa) // *Water*. 2025. Vol. 17. Iss. 7. 924. <https://doi.org/10.3390/w17070924>
11. Dacal M., Bradford M.A., Plaza C., Maestre F.T., Garcia-Palacios P. Soil microbial respiration adapts to ambient temperature in global drylands // *Nature Ecology & Evolution*. 2019. Vol. 3. Iss. 2. P. 232–238. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0770-5>
12. Knabe W. Zur Wiederurbarmachung im Braunkohlenbergbau. Berlin, 1959. 306 p.
13. Olofsson P., Foody G., Herold M., Stehman S., Woodcock C., Wulder M. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change // *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol. 148. P. 42-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
14. Tang L. Investigation on the Mineralization of Tailings with CO₂ in the Atmosphere. Sichuan University. China. Chengdu, 2017. 160 p.
15. Tang L., Werner T.W., Heping X., Jingsong Y., Zeming S. A global-scale spatial assessment and geodatabase of mine areas Author links open overlay panel // *Global and Planetary Change*. 2021. Vol. 204. 103578. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103578>
16. Santamarina J.C., Torres-Cruz L.A., Bachus R.C. Why coal ash and tailings dam disasters occur // *Science*. 2019. Vol. 364. Iss. 6440. P. 526-528. <https://doi.org/10.1126/science.aax1927>
17. Werner T., Bach P., Yellishetty M., Amirpoorsaeed F., Walsh S., Miller A., Roach M., Schnapp A., Solly P., Wu X. A Geospatial Database for Effective Mine Rehabilitation in Australia // *Minerals*. 2020. Vol. 10. Iss. 9. 745 <https://doi.org/10.3390/min10090745>

References

1. Androkhonov V.A., Kurachev V.M. Soil and ecological state of technogenic landscapes: dynamics and assessment. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences press., 2010. 241 p. (in Russian)
2. Androkhonov V.A., Ovsyannikova S.V., Kurachev V.M. Technozems: properties, regimes, functioning. Novosibirsk: Science. Siberian Publishing Company of the Russian Academy of Sciences, 2000. 200 p. (in Russian)
3. Kupriyanov O.O., Kupriyanov A.N., Manakov Yu.A., Ufimtsev V.I. Reconstruction of meadow-steppe phytocenoses on dumps. Novosibirsk: NSTU press., 2025. 168 p. (in Russian)
4. Kupriyanov A.N., Ufimtsev V.I., Manakov Yu.A., Strelnikova T.O., Kupriyanov O.A. Methodological recommendations for the restoration of meadow-steppe vegetation on coal industry dumps in Kuzbass. Kemerovo: KREOO «Irbis», 2017. 28 p. (in Russian)
5. World Reference Database of Soil Resources 2014. International Soil Classification System for Soil Diagnostics and Creation of Soil Map Legends. Revised and Supplemented Version 2015. / Scientific Ed. M.I. Gerasimova, P.V. Krasilnikov; Transl. from English by I.A. Spiridonov. FAO UN. Lomonosov Moscow State University. Rome, 2018.

205 p. Available from: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/3c73d691-c4ab-4711-8afb-7b78250ba342/content> (accessed: 20.02.2026). (in Russian)

6. Semina I.S. Integrated research of mineral resources in the mountain taiga subzone of the Kemerovo Region–Kuzbass, and their applicability in disturbed land reclamation. *Mining informational and analytical bulletin*. 2026. Iss. 1. P. 85-110. (in Russian)

7. Chmykhalova S.V., Grishin V.Yu., Pytalev I.A. Reclamation of Lands Disturbed by the Mining Production Considering the Peculiarities of Land Allocation for the Mining Enterprises. *Occupational Safety in Industry*. 2023. Iss. 4. P. 28-33. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-4-28-33> (in Russian)

8. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. Classification and diagnostics of soils of Russia. Syktyvkar: Oikumena, 2004. 343 p. (in Russian)

9. Acosta J.A., Abbaspour A., Martínez G.R., Martínez-Martínez S., Zornoza R., Gabarron M., Faza A. Phytoremediation of mine tailings with *Atriplex halimus* and organic/inorganic amendments: A five-year field case study. *Chemosphere*. 2018. Vol. 204. P. 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.027>

10. Boukhari S., Khalil A., Zouhri L., Adnani M. Geographic Information System-Based Database for Monitoring and Assessing Mining Impacts on Water Resources and Environmental Systems at National Scale: A Case Study of Morocco (North Africa). *Water*. 2025. Vol. 17. Iss. 7. 924. <https://doi.org/10.3390/w17070924>

11. Dacal M., Bradford M.A., Plaza C., Maestre F.T., Garcia-Palacios P. Soil microbial respiration adapts to ambient temperature in global drylands. *Nature Ecology & Evolution*. 2019. Vol. 3. Iss. 2. P. 232-238. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0770-5>

12. Knabe W. Zur Wiederurbarmachung im Braunkohlenbergbau. Berlin, 1959. 306 p.

13. Olofsson P., Foody G., Herold M., Stehman S., Woodcock C., Wulder M. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol. 148. P. 42-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>

14. Tang L. Investigation on the Mineralization of Tailings with CO₂ in the Atmosphere. China. Chengdu. Sichuan University, 2017. 160 p. (in Chinese)

15. Tang L., Werner T.W., Heping X., Jingsong Y., Zeming S. A global-scale spatial assessment and geodatabase of mine areas Author links open overlay panel. *Global and Planetary Change*. 2021. Vol. 204. 103578. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103578>

16. Santamarina J.C., Torres-Cruz L.A., Bachus R.C. Why coal ash and tailings dam disasters occur. *Science*. 2019. Vol. 364. Iss. 6440. P. 526-528. <https://doi.org/10.1126/science.aax1927>

17. Werner T., Bach P., Yellishetty M., Amirpoorsaeed F., Walsh S., Miller A., Roach M., Schnapp A., Solly P., Wu X. A Geospatial Database for Effective Mine Rehabilitation in Australia. *Minerals*. 2020. Vol. 10. Iss. 9. 745 <https://doi.org/10.3390/min10090745>

Поступила в редакцию / Received: 10.03.2026

Поступила после рецензирования / Revised: 17.04.2026

Принята к публикации / Accepted: 01.06.2026

Обзорная статья

 УДК 504.75+691.4; 504.4.54 <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-57-72> <https://elibrary.ru/oxstsc>

О биоремедиации почв на территории складирования отходов добычи антрацита в Сибири

Валентина Сергеевна Артамонова✉

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

✉ artamonovavs@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются способы биоремедиации почв, развивающихся в экстремальных условиях на территории складирования отходов неселективной отсыпки в районе открытой добычи антрацита в Западной Сибири (Горловское месторождение, Новосибирская область, Россия). Приводятся аргументы и факты реабилитации корнеобитаемой толщи для ускорения почвообразования в ситуациях длительного пребывания стадии инициального эмбриоэмбриообразования. Делается акцент на выявление очагов наиболее сложных условий новообразования почв с помощью дистанционных методов. Излагаются возможности использования фито-, мико- и микробной ремедиации слаборазвитых почв, акваремедиации подотвальных вод для снижения техногенной нагрузки на прибрежные почвы. Подчеркивается необходимость предупреждения проявления рисков от применения мико- и микробной ремедиации. Делается вывод о необходимости проведения интеграционных исследований последствий биоремедиации, выявления тенденций позитивного характера в долгосрочном аспекте.

Ключевые слова: почвы, отвалы, антрацит, неселективная отсыпка отходов, биоремедиация

Для цитирования: Артамонова В.С. О биоремедиации почв на территории складирования отходов добычи антрацита в Сибири // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2026. Т. 12. № 1. С. 57–72. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-57-72>. EDN OXSTSC.

Review Paper

About bioremediation of soils in the territory of storage of anthracite mining waste in Siberia

Valentina S. Artamonova✉

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

✉ artamonovavs@yandex.ru

Abstract. The article discusses methods of bioremediation of soils developing under extreme conditions in the territory of storage of waste from non-selective dumping in the area of open-pit mining of anthracite in Western Siberia (Gorlovskoye deposit, Novosibirsk region, Russia). The arguments and facts of rehabilitation of the root-dwelling stratum to accelerate soil formation in situations of long-term stay of the stage of initial embryo formation are presented. The emphasis is on identifying the foci of the most difficult conditions of soil neoplasm using remote methods. The possibilities of using phyto-, myco- and microbial remediation of underdeveloped soils, and aquaremediation of basement waters to reduce the anthropogenic load on coastal soils are described. The need to prevent the manifestation of risks from the use of myco- and microbial remediation is emphasized. It is concluded that it is necessary to conduct integration studies of the aftereffect of bioremediation, to identify positive trends in the long term.

Keywords: soils, landfills, anthracite, non-selective waste disposal, bioremediation

For citation: Artamonova V.S. About bioremediation of soils in the territory of storage of anthracite mining waste in Siberia. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2026. Vol. 12. Iss. 1. P. 57-72. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-57-72>. EDN OXSTSC. (In Russian)

Введение

Проблема вовлечения в хозяйственный оборот техногенных скоплений минерального сырья в угледобывающих регионах Сибири чрезвычайно актуальна. Отходы открытой добычи антрацита – вскрышные и вмещающие породы (ВВП), складированные при неселективной отсыпке в отвалы, представляют собой смесь рыхлых и твёрдых пород – техногенного элювия, состоящего из углевмещающих пород, углепородных

сростков и включений, низкосортных углей, поднятых на дневную поверхность. Масштабы их накопления на земной поверхности постоянно растут, поскольку достигают 85% объема пород, извлекаемых из недр в процессе угледобычи. Отходы претерпевают физические и химические изменения, обнаруживают образование новых аутогенных и техногенных минералов, представляя собой современный феномен геологического масштаба. Наряду с этим они малопродуктивны,

© Артамонова В.С., 2026



практически биологически стерильны, обеднены легкодоступными питательными веществами, что не способствует формированию фитомикробных сообществ (фитомикробиомов), вовлечению минеральных субстратов в почвообразование.

Экологические параметры, определяющие ресурсную ценность техногенных отходов, позволяющие установить возможность их эффективного вторичного использования, включают содержание токсичных элементов (тяжелых металлов) и естественных радионуклидов. Токсичные и потенциально токсичные металлы: V, Ni, Cr, Mn, Zn, Co, Mo и Pb в крупнотоннажных скоплениях отходов могут присутствовать в значительных количествах и при определённых условиях представлять угрозу окружающей среде – приземным слоям атмосферы, почвам, поверхностным и грунтовыми водам, биоте.

Вместе с тем, ВВП относятся к разновидности отходов недропользования¹. Они не подлежат учету на государственном или территориальном балансе запасов полезных ископаемых, если последние отсутствуют в ВВП, отчего могут подлежать рекультивации². В реальности в ВВП может находиться до 10% угля, прежде всего при наличии техногенного элювия – аргиллитов, алевролитов, песчаников, углистых включений. Большинство антрацитов, как и каменных углей, содержат поллютанты, поскольку они биолиты, формировавшиеся в период извержений и подвижек земной коры, что обусловило выполнение ими в былые эпохи роль геохимического барьера. Такая функция углей отразилась на содержании в них широкого набора тяжёлых металлов и металлоидов, определивших современную геохимическую (металлогенетическую) специализацию на химические элементы. Показано (Арбузов, Ершов, 2007, С. 128-129), что все угли С-Р возраста, к которым относятся и интенсивно метаморфизированные антрациты Сибири, обладают накоплением литофильных (Sr, Be, Nb, U, также REE), халькофильных (As, Au, Se) и сидерофильных (Co, Ni) элементов. Антрациты Новосибирской области (Горловское месторождение), которые оказались в центре внимания в данной статье, обнаруживают геохимическую специализацию на золото, в них также отмечаются контрастные аномалии As и малоконтрастные – Br, Co, Sr. Высвобождение металлов из техногенного элювия, в частности из антрацита – метаморфизированного угля высокой плотности – происходит постепенно, поскольку они прочно связаны по типу металл-углерод (Me – C) (Шишов и др., 2004). В аутогенных минералах:

сульфидах, карбонатах, силикатах, фосфатах они, как и другие элементы, могут быть сорбированы на минеральном веществе, высвобождаясь при его выветривании.

В тоже время угли Сибири содержат меньше сульфидных и сульфатсодержащих соединений, нежели таковые Урала, Подмосковья и Донбасса. Так, в углях Кузнецкого угольного бассейна количество общей серы составляет 0,23-2,7%; в углях Печорского угольного бассейна – 0,4-0,8%; Южно-Якутского угольного бассейна – лишь 0,19-0,67%³. Угли Западного Урала (Кизеловский углебассейн), Подмосковья (Подмосковский угольный бассейн) и Донбасса относятся к высоко сернистым, в них присутствует 4-8% серы (максимум в Пермском крае). Сера в углях представлена органической формой – So, пиритной – Sp (FeS и FeS₂) и сульфатной – Ss (CaSO₄, FeSO₄, MgSO₄). Неорганическая сера сосредоточена в минеральной части угля, органическая – в составе меркаптанов, тиозифиров, тиофенолов, тиофенов (Алещенкова и др., 2011). В углях Кузнецкого угольного бассейна органическая сера не превышает 0,7%, Печорского угольного бассейна – 0,73%, Южно-Якутского угольного бассейна – 0,67%.

Поэтому сернистые соединения, присутствующие в ВВП, при неселективной отсыпке, могут оказывать влияние на подвижность металлов, поскольку окисление сульфидов твёрдых пород сопровождается образованием серной кислоты, способствующей миграции металлов, проявляясь локально. О присутствии таких очагов экстремального почвообразования на отвалах свидетельствуют их космические изображения⁴. Ускорению почвообразования могут способствовать разные технологии биоремедиации. Внедрение в биологическую рекультивацию отвалов отходов добычи антрацита новых современных природоподобных методов, в том числе биоремедиации, обеспечивающей снижение негативного влияния тяжёлых металлов в очагах их присутствия на фитомикробиомы, актуально.

Биоремедиация – способ восстановления средообразующей функции почв с использованием метаболического потенциала представителей биоты: высших и низших растений, макро- и микромицетов, бактерий, водорослей, червей и других представителей педонаселения. Термин «биоремедиация» (bios – «жизнь», remediatio – «лечение», «восстановление баланса») заимствован из англоязычной литературы. В прямом смысле он означает «излечение» химически загрязнённых почв, грунтов, подземных (грунтовых) вод, то есть их восстановление, в том числе очищение (Янин,

¹ Письмо Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 20 августа 2024 г. № 08-11-30/33292 «О налоге на добычу полезных ископаемых». [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_485289/185723e93bf1a560cb24d4ed67c48de807f6f036/ (дата обращения: 12.09.2025).

² Об утверждении Порядка использования отходов недропользования, в том числе вскрышных и вмещающих горных пород, пользователями недр. Приказ от 25 апреля 2023 года № 247/04. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Федеральное агентство по недропользованию. [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=467976&ysclid=mmvvd3u11z1635250370> (дата обращения: 12.09.2025).

³ Ковалев Р.Ю. Содержание серы в углях Кузнецкого, Печорского и Южно-Якутского угольных бассейнов (обзор) // Россия молодая: материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Кемерово, 16–19 апреля 2024 г. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2024. С. 73604.1-73604.7.

⁴ Соколова Н.А. Оценка почвенно-экологического состояния отвалов угольных разрезов дистанционными методами (на примере Горловского антрацитового месторождения): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 1.5.19. Томск, 27 с.

2014). Иногда толкование термина отождествляется с терминами биорекультивация, деконтаминация, что представляется не корректным. Отличие биоремедиации от биорекультивации заключается в том, что рекультивация фокусируется на восстановлении нарушенных земель в целом, а ремедиация – на восстановлении качества жизнеобитаемых сред, изменении в них валентности токсичных поливалентных металлов и неметаллов, снижении их концентрации.

В свою очередь, биоремедиация отличается от санации вовлечением в процесс очищения метаболически активных организмов, то есть жизнедеятельных.

Биомедиация зародилась в связи с необходимостью решения проблемы загрязнения территорий нефтью и её продуктами переработки. В этой связи, основная масса имеющихся в настоящее время публикаций посвящена изучению данного воздействия, способам его устранения вплоть до использования наночастиц и привлечения искусственного интеллекта (Patowary et al., 2023). Позитивное воздействие присуще индуцированной фиторемедиации рассматривается как экстенсивный метод восстановления прежнего состояния загрязнённых почв и грунтов от нефтезагрязнения (Автухович, 2010), как инновационный метод санации депрессивных территорий (Демин и др., 2022). В последние годы в разных странах мира: Индии, Китае, Пакистане, Иране, Италии, Австралии, Португалии, России наблюдается тенденция роста информации о микробно-индуцированной фиторемедиации почв, в ИЭГМ УрО РАН под руководством акад. И.Б. Ившиной создана Региональная профилированная коллекция алканотрофных бактерий, в том числе углеводородокисляющих родококков (Углеводородокисляющие родококки..., 2021). Современные представления об использовании микроорганизмов в очищении техногенных сред от загрязнения нефти, углеводородного газа, нефтепродуктов изложены в учебных и научных публикациях (Пиковский и др., 2022; Туркин, 2025; Чайкин и др., 2025).

Некоторые микроорганизмы вошли в коммерческие биопрепараты для очистки от нефтезагрязнения. Например, производителем ООО «Уралэкоресурс» разработан препарат «БИОРЕК-РА» ТУ 929-011-00495603-00 от 11.01.2016 на основе инокуляции угольных отходов после обогащения бурого угля бактериями *Azotobacter chroococcum* АИН и *Pseudomonas fluorescens* ВКГ. Он зарекомендовал себя, как биосорбент с высокой степенью очистки почв от загрязнения нефтью и тяжёлыми металлами, благодаря наличию в нём гуминовых кислот углистого происхождения (Белик, Злобина, 2016). Внесение препарата *in situ* в нефтезагрязнённую почву оказывало позитивное влияние на снижение загрязнения до уровня ПДК (Егорова, Ташкинов, 2024). Следует добавить, что обе бактерии продуцируют альгинаты (Ertesvåg, 2015; Бонарцева, 2017), которые наряду с гуминовыми кислотами, могут связывать металлы полисахаридами.

Исследования, посвященные микробной ремедиации техногенного элювия и почв, деградированных в районах угледобычи, немногочисленны. Приводятся единичные сведения об использовании микоризообразующих грибов и хелатов, снижающих биотоксичность металлов в корнеобитаемом слое растений на территории Восточного Донбасса⁵ (Ivanov et al., 2025; Siunova et al., 2025). В Сибири фиторемедиационные подходы рассмотрены для хранилищ отходов рудообогащения (Бортникова и др., 2022), отвалов клинкерного цинкового завода (Артамонова и др., 2021) с целью вовлечения сидеральных растений и бактерии р. *Azotobacter*. Поиск путей содействия естественному возобновлению почвообразования на отходах угледобычи, образованной при неселективной отсыпке в Сибири, представляется своевременным. Их применение экономит расходы на биологическую рекультивацию традиционными методами, в том числе с применением землевания (гумусовой мелиорации).

Цель настоящей работы – показать возможности реабилитации новообразуемых и загрязнённых почв на территории складирования отвалов неселективного отвалообразования отходов антрацита в Сибири (по материалам литературных и собственных данных).

Объекты и методы

Основное внимание сосредоточено на отвалах отходов неселективной отсыпки ВВП на территории Горловского месторождения (Новосибирская область), которые интенсивно увеличиваются в размерах из-за интенсивной добычи антрацита в 37 км от г. мегаполиса (г. Новосибирск). Горловский угольный бассейн расположен в правобережье Оби в административных границах Новосибирской области. Угленосная толща месторождения имеет мощность 640-940 м, вытянута полосой в северо-восточном направлении на 120 км при средней ширине 1,5-7,5 км, залегает на небольшой глубине. Прогнозные запасы антрацита до глубины 900 м оценены в 6,5 млрд т. Они отличаются высоким качеством: малозольные, малосернистые, высокоуглеродистые, высокой механической прочности и термической стойкости. Промышленное освоение бассейна началось в 30-е годы прошлого века, с 1980-1990 гг. по настоящее время идёт активная добыча антрацита, что подтверждается присутствием техногенных образований – глубоких карьеров (рис. 1 / fig. 1) и многоярусных отвалов ВВП, протянувшихся на несколько километров (рис. 2 / fig. 2).

Как показывает расшифровка космических снимков, поверхность Нагорного отвала Горловского месторождения антрацита⁶ – одного из типичных на данной территории, по прошествии 20-25 лет самозарастания, обнаруживает мозаичное присутствие почвенноподобных тел (ППТ), или биогенно-неразвитых эмбриозёмов (Герасимова и др., 2003), которым принадлежит около 50% площади, остальная часть – не подвержена первичному почвообразованию. Эмбриозёмы инициальные (ЭИ) соответствуют литостратам (группа

⁵ Иванов Ф.Д. Оценка эффективности индуцированной биоремедиации почв углеотвалов Восточного Донбасса: дис. ... канд. биол. наук: 1.5.19; 1.5.15. Ростов-на-Дону, 2025. 147 с.

⁶ Соколова Н.А. Оценка почвенно-экологического состояния отвалов угольных разрезов дистанционными методами (на примере Горловского антрацитового месторождения): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 1.5.19. Томск, 27 с.

натурфабрикатов), эмбриозёмы органо-аккумулятивные (ЭОА) и дерновые (ЭД), формирующиеся на плотных породах – литозёмам, эмбриозёмы дерновые на рыхлых породах – пелозёмам (Шишов и др., 2023). Исходные почвы, прилегающие к отвалам, – черноземы, лугово-чернозёмные и серые лесные.

Современный природно-техногенный ландшафт (ПТП) привлекает внимание всех любителей природы.

Находясь вблизи прохождения федеральной трассы Р-256 «Чуйский тракт», по которой проходит маршрут от Новосибирска до Барнаула и далее на Алтай и в Монголию, ПТП может войти в список территорий, используемых в рекреационных и туристических целях, поскольку вокруг отвалов присутствует уникальная растительность, выходы обнажённых древних пород, природный водопад.



Рис. 1. Горловское месторождение антрацита, карьер
Fig. 1. Gorlovskoye anthracite deposit, quarry

Востребованность территории предопределяет проведение биологической рекультивации отвалов отходов открытой добычи антрацита, в том числе биоремедиации в связи с её экологичностью, высокой эффективностью, экономичностью по сравнению с

другими методами (Mokrani et al., 2024). Отсутствие информации по данному вопросу в отношении отвалов угледобычи Сибири, мотивировало изучение проблемы, её анализ и изложение возможных путей её решения.



Рис. 2. Отвалы отходов добычи антрацита, Горловское месторождение
Fig. 2. Anthracite mining waste dumps, Gorlovskoye deposit

Результаты и обсуждение

Биоремедиация биогенно – неразвитых почв, формирующиеся на ВВП. Судя по визуализации поверхности со спутникового радиометрического снимка ALOS, 68% формирующихся почв приурочено к плакорным участкам, остальная часть занята склоновыми позициями (32%)⁶. На плакоре развивается преимущественно берёза, под её пологом встречаются щавель,

клубника, пырей, другие злаковые растения. В единичном представительстве присутствует сосна обыкновенная (рис. 3 / fig. 3). Также регистрируются разрастания многолетнего мха *Polytrichum commune* (кукушкин лён обыкновенный), предпочитающего места обитания с повышенной влажностью, чему способствует присутствие твёрдых пород, ослабляющих фильтрацию атмосферных вод вглубь отвала. При этом не

исключено закисление среды обитания, поскольку слабо разложившийся лиственный опад берёзы сохраняет органические кислоты.

Известно, что актуальная рН может составлять в присутствии листового опада берёзы, например, на суглинках 6,0 ед. (среда – слабокислая), песчаных и супесчаных субстратах – до 7,5 ед. (слабощелочная среда). Обильное выпадение атмосферных осадков может дополнительно защелачивать поверхность. Кукушкин лён разрастается вблизи выветренных пород, в которых содержание металлов, например, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, превышает кларк углей (табл. 1 / tabl. 1). Установлено⁷, что кукушкин лён в кислых, техногенно загрязнённых средах отходов обогащения на полигонах золотодобычи, накапливал до 2,5 мг/кг Zn, а также депонировал Cu, Hg, As. При этом берёза плосколистная оказалась менее активной к аккумуляции металлов, в частности Zn – почти в 20 раз.

В нашем случае пробы эмбриозёмов, сформировавшиеся вблизи берёзы, характеризовались высоким присутствием валового содержания Mn, что обязано, очевидно, листьям берёзы. Её лиственный опад, как известно, повышает марганценосность сибирских почв. В коре берёзы содержание элемента почти в 2 раза больше, чем в сосне и осине. Однако минимальная способность поглощать Mn присуща мхам и лишайникам, возможно, кукушкин лён оказался толерантным к присутствию Mn.

Лидерство берёзы в растительном покрове отвала обусловлено её высокой устойчивостью к тяжёлым металлам по сравнению с сосной. Берёза – это факультативный микоризообразователь, сосна же – облигатный, к тому же она, как симбионт, высокотрофна. Сосна не может нормально развиваться без микоризы, которая обеспечивает ей приток Ca, P, K в количестве, превышающем таковое у берёзы из-за большей потребности на формирование древесной ткани.

Берёза выступает в роли основного участника формирования фитоценотической среды, определяющей развитие и усложнение структуры группировок травянистых растений (Андроханов и др., 2004), способствует существенному привносу на поверхность первичного органического вещества, необходимого для образования подстилки и дернины. Согласно мнению Л.О. Карпачевского (1981), листья древесных пород и травянистые растения относятся к активной фракции органических остатков, обладающих наибольшей скоростью разложения по сравнению, с другими структурными компонентами опада – ветками, корой и т.д., что способствует быстрому высвобождению углерода, азота и других элементов, необходимых для корневого питания травянистых растений.

Наряду с разложением легко минерализуемых остатков им присуще более быстрая деструкция лигнина по сравнению с таковым сосны. Это обусловлено тем, что лигнины лиственных пород содержат кроме

ванилина сиреневый альдегид, а травянистых растений – помимо ванилина, сиреневого альдегида – п-оксибензальдегид, которые быстро распадаются до ароматических кислот и альдегидов. В лигнине хвойных пород преобладают гваяциловые (кониферилловые) структуры, преимущественно ванилина, который разрушается крайне медленно. Распад лигнина хвой происходит под воздействием синергической системы, состоящей из почвенных животных, исключительно аэробных микромицетов, действующих как последовательно, так и параллельно друг другу. Возможно, что в техногенных экосистемах их содержание недостаточно для формирования фитомикобиома.

Поэтому берёза является основным биогенным почвообразователем, обеспечивая в течение 20-25 лет не только ЭИ, но и ЭОА, а также ЭД⁶. Появление ЭД на плотных породах спланированного участка неселективной отсыпки ВВП регистрируется через 25 лет, их доля в 2,6 раза уступает по площади 15-летним участкам отсыпки рыхлых пород. Тем не менее, они формируют условия для выживания и развития гемикриптофитов – дернообразующих травянистых растений, почки возобновления у которых находятся на уровне почвы или непосредственно под её поверхностью. Это свидетельствует о тенденции участия слабо развитых почв в формировании органогенного слоя на поверхности отвала, фактически на большей его площади (рис. 4 / fig. 4).

Ускорить темпы перехода слабо развитых почв на более зрелую стадию, например, гумусово-аккумулятивную, можно достичь, вероятно, привлечением биоремедиации, например, путём средоулучшения условий для выживания микоризы на корнях сосны. Известно, что причиной ослабленного роста сосны на отвалах отходов угледобычи является повышенная влажность, отсутствие в корнеобитаемом слое лёгкого механического состава, снижение числа арбускулярных грибов, особенно на ранних стадиях укоренения. Кислотность свежего опада хвои составляет 3,2-3,8 ед., а разложённого – 5,5-6,5 ед., поэтому подкисление корнеобитаемого слоя в начальный период поступления хвои в почву обуславливает повышение подвижности тяжёлых металлов⁵, к которым симбиотрофные грибные партнёры сосны чрезвычайно чувствительны.

Тяжёлые металлы вызывают преждевременное старение эумицетных хальмофаговых эктомикориз, их повреждение и отмирание, что наблюдалось, например, на отвалах Кумертауского бурогольного разреза (Фаизова, Зайцев, 2012). При загрязнении лесов промышленными выбросами также снижалась интенсивность микоризации поглощающих корней, уменьшалась длина корней, несущих активные микоризные чехлы (Зайцев, 2009), сокращалось число плодовых тел макромицетов – агариковых грибов, являющихся эктомикоризообразователями (Переведенцева, 1998).

⁷ Леоненко А.В. Геоэкологическая оценка состояния окружающей среды в границах влияния горного предприятия россыпной золотодобычи «Кербинский прииск»: дис. ... канд. геол.-минер. наук: 1.6.21. Томск, 2026. 178 с.



Злаковые растения // Cereal plants

*Betula verrucosa**Polytrichum commune*

Макромицеты // Macromycetes

*Taraxacum officinale*

Злаковые растения // Cereal plants



Сложноцветные растения // Compound-flowered plants

Рис. 3. Растительный покров на отвалах отходов угледобычи, Горловское месторождение
 Fig. 3. Vegetation cover on coal mining waste dumps, Gorlovskoye field

Таблица 1

Максимальное содержание металлов в выветренных твёрдых породах плакора отвала угледобычи,
Горловское месторождение (мг/кг)

Table 1

Maximum content of metal in weathered hard rocks at the coal mining dump site, Gorlovskoye deposit (mg/kg)

Элемент // Elements	Кларк // Clark		Субстрат // Substrate	
	литосферы ¹ // lithospheres ¹	углей ² // coals ²	Выветренные твёрдые породы // Weathered hard rocks	
			валовое содержание металлов // gross content of metals	содержание подвижных форм // content of mobile forms
K	25 000	–	25 637	280
Na	25 000	–	3 930	63
Ca	29 600	–	2 972	1 000
Mg	18 700	–	1 480	1 344
Fe	46 500	–	8 614	10
Mn	1 000	95±16	147	5,0
Zn	83	22±2	40	5,1
Cu	47	18,5±0,2	30	6,0
Cd	0,13	0,6±0,3	0,3	0,12
Pb	16	25±3	25	4
Co	18	5,2±0,3	5	0,7
Ni	59	16±2	20	1,6

*Примечание: 1 – кларк по (Виноградов, 1962); 2 – кларк по (Юдович и др., 1985).

Жирным шрифтом выделены значения, превышающие кларк литосферы и углей.

*Notes: 1 – clarke according to Vinogradov (Vinogradov, 1962); 2 – clarke according to (Yudovich et al., 1985).

Values exceeding the clarke of the lithosphere and coals are highlighted in bold.

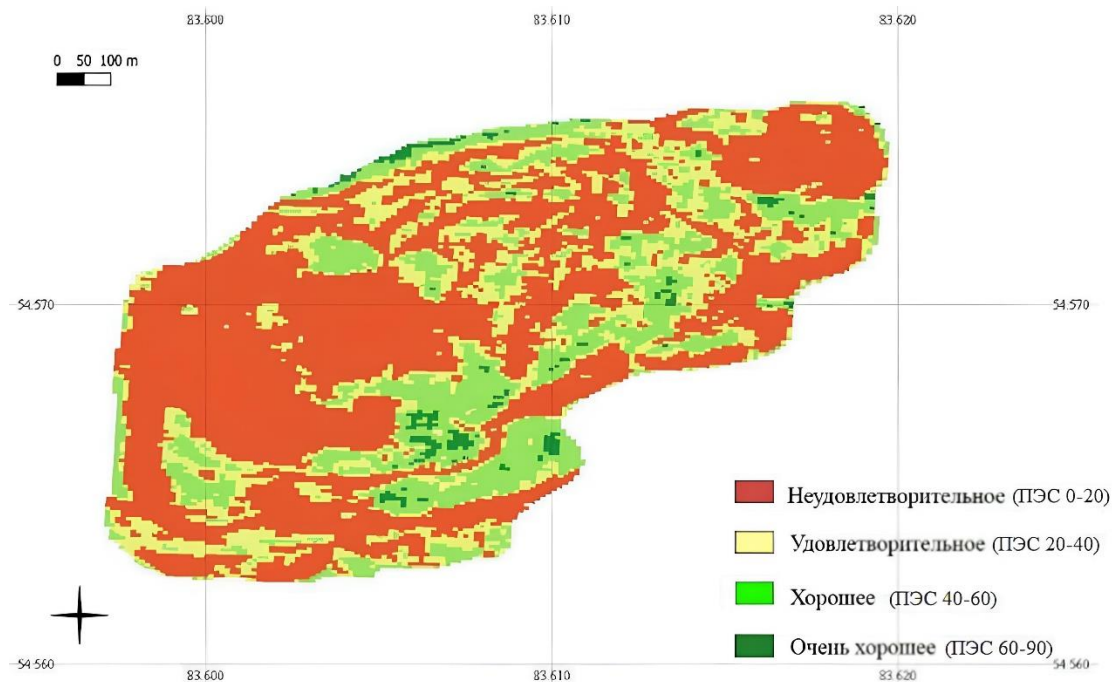


Рис. 4. Градации почвенно-экологического состояния Нагорного отвала (возраст 25-27 лет)⁶

Fig. 4. Gradations of the soil-ecological state of the Upland dump (25-27 years old)⁶

Воздействие выбросов завода синтетических моющих средств (г. Пермь) снизило в березняке разнообразие агариковых грибов со 135 видов до 39, в сосняках – с 91 вида до 26.

То есть, реакция макромицетов – микоризообразователей на техногенное загрязнение среды обитания в данном случае оказалась схожей, независимо от вида древесного растения – симбиотрофного партнёра. Микоризообразователями являются более 40% агариковых грибов, то есть их гибель нежелательна

ни для берёзы, ни тем более – для сосны. Некоторые семейства макромицетов являются 100% – микоризными, например, сыроежковые и трубчатые, они никогда не встречаются в отсутствие фитосимбионтов. Гибель плодового тела макромицетов может быть вызвана гибелью мицелия, на котором формируются базидиомы – плодовые тела (спороносящая структура) у грибов класса Basidiomycetes (базидиомицетов). Именно на базидиоме или внутри неё формируются специализированные клетки – базидии, в которых

образуются половые споры (базидиоспоры). Следовательно, загрязнение среды обитания грибов негативно влияет на гифальную сеть и базидий, благодаря которым формируются споры полового размножения. Не случайно, при выращивании сосны обыкновенной в открытых питомниках во избежание проявления кислотности, которая вызывает подвижность металлов, используют известковые удобрения для поддержания оптимальной pH.

Эктомикориза – форма симбиотических отношений, при которой грибы не проникают через клеточную стенку хозяина, а образуют полностью межклеточный интерфейс (сеть Гартига), переводя труднорастворимые соединения в доступные растениям формы. Поражение микоризных грибов при подкислении корнеобитаемого слоя древесных растений может сопровождаться анатомическими и физиологическими изменениями деревьев, что ведёт к снижению их охвоенности и облиственности, уменьшению длины и массы хвоинок и листьев, проявлению гипертрофии проводящего пучка в ассимиляционном аппарате.

Макромицеты, образующие эктотрофную микоризу на корнях деревьев и кустарников, составляют 40% от общего количества шляпочных грибов, известных в настоящее время. Доказано, что многие грибы, как высшие, так и низшие, в том числе симбиотрофные, обладают способностью к депонированию тяжёлых металлов и неметаллов: As, Cu, Zn, Fe, Pb, Ni, Hg, Al, Cg и др. Это происходит благодаря: 1) сорбции металлов на поверхности клеточных стенок грибов, в том числе хитином; 2) внутриклеточному накоплению металлов в вакуолях; 3) экстраклеточной иммобилизации металлов, например, с участием щавелевой кислоты, образующей нерастворимые соли – оксалаты, которые снижают биодоступность металлов.

Макромицеты аккумулируют металлы в ножке, шляпке, пластинках, трубчатке (Соколов, Черников, 1999). Такие виды, как вешенка, относятся к гипераккумуляторам свинца, кадмия, хрома, других металлов и востребованы в очистке от них (Kaphi, Sachdeva, 2017). Однако многие высшие макромицеты представляют пищевую и лекарственную ценность (Юй и др., 2009; Переведенцева, 2021). Из 10 тыс. базидиальных грибов 700 видов считаются съедобными, более 200 видов обладают терапевтическим действием, что обуславливает их ограничение в биоремедиации из-за потенциального интереса в гастрономических и лечебных целях, что может привести к отравлению. Поэтому привнос макромицетов для дополнительного заражения корней сосны микоризообразователем должен быть ориентирован на ассортимент съедобных малоизвестных, либо ядовитых грибов-микоризообразователей во избежание нежелательных последствий. Это можно достичь путём привноса споровой суспензии из высушенных плодовых тел базидиомицетов, в том числе длительно хранящихся. Этот подход наиболее приемлем в сочетании с подщелачивания среды в корнеобитаемом слое.

Помимо эктомикоризных грибов можно использовать эндомикоризообразующие грибы, обеспечивающих растения P и N. Известно, что угли характеризуются высокой концентрацией неорганического азота

(Перельман, 1972), но в элювии проявляется недостаток аммиачной и нитратной форм. Это вызвано: 1) дефицитом аммиака, продуцируемого аммонифицирующими микроорганизмами, в том числе из-за ослабленной фиксации азота атмосферы несимбиотическими бактериями; 2) низким содержанием нитратов из-за замедленного роста возбудителей нитрификации; 3) востребованностью нитратов денитрификаторами в качестве акцептора электронов для энергообеспечения клеток. Поэтому привнос эндомикоризных грибов в корнеобитаемый слой сосны предпочтителен, но следует иметь в виду, что они, как и эктомикоризообразователи, облигатны. К тому же имеются факты неоднозначного реагирования сосны на эндомикоризу, проявляющиеся в ограничении её роста.

Наиболее перспективной представляется арбускулярная микоризация семян сидеральных растений, например, люцерны, отзывчивой на инфицирование (Алещенкова, 2011), которую можно подсеивать на малозаселённых участках. Такой путь обеспечит одновременно повышение органического вещества и доступного азота в корнеобитаемой толще эмбриозёмов. Образование арбускулярной микоризы не сопровождается существенными изменениями корневой системы растения. Мицелий влияет на уровень pH и подвижность элементов питания в зонах обитания. Арбускулярная микориза может составлять 4-17% сухого веса корня и содержать до 1,4 м гиф на 1 см корня (Воронина, 2007), что важно для корневого питания растений.

Установлено, что микоризация люцерны в комбинации с применением органических хелатов, например, лимонной кислотой, способствует переводу труднодоступных металлов в доступные формы, снижая тем самым их фитотоксичность в почвах на территории угледобычи в Донбассе⁵. При этом наблюдалось повышение надземной и подземной биомассы. Схожая тенденция обнаружена и у пырея при совместном применении микоризации и хелатизации корней, что также свидетельствует об улучшении корнеобитаемой среды в условиях техногенного загрязнения.

Другой способ фиторемедиации, который может способствовать средоулучшению в корнеобитаемом слое и эмбриозёмообразованию на проблемных участках отвалов – это применение дернообразующих злаков. Установлено (Зуева, 2001), что на схожих объектах биорекультивации отвалов ВВП каменного угля в Кузбассе, формирование дернины происходило с сохранением высокой жизнеспособности испытанных дернообразующих злаков: овсяницы красной, овсяницы луговой, местных форм мятлика. Некоторые злаки накапливали Rb, Sb, Mn, Co (Ламанова, 2010). Семенной материал можно получить способом, апробированным в регионе (Куприянов и др., 2025). Подобный подход биоремедиации был апробирован для нефтезагрязнённых мерзлотных почв в Якутии (Ерофеевская и др., 2012). Были использованы дернообразующие злаки, обладающие активным побегообразованием, высокой семенной продуктивностью и комплексной устойчивостью в сочетании с предварительной микробной очисткой корнеобитаемой толщи. Она была предварительно обработана биопрепаратом,

содержащим аборигенные углеводородокисляющие микроорганизмы, культивированные в среде, содержащей именно ту нефть, которая присутствовала на территориях. Это обеспечило перевод аварийных участков в состояние, соответствующее безопасному уровню.

При достижении эмбриозёмами гумусово-аккумулятивной стадии можно использовать донник как регулятор содержания новообразуемых фракций гумусовых кислот (Клёнов, 2000). Для повышения содержания устойчивых фракций, а, следовательно, и бензоидных структур, можно рекомендовать привнос соломы, торфа, опилок, короминеральных отходов. Они также применяются в качестве структураторов – материалов, которые служат сорбентами загрязняющих веществ, аэраторами субстратов, что особенно важно для аэробных микромицетов – деструкторов лигнина, а также фито- и микробных продуцентов меланиновых соединений – предшественников гумуса. Такой путь биоремедиации обеспечит накопление клетчатки и лигнина в молодых почвах, обеспечит их преобразования в гумусоподобные соединения, временное закрепление углерода в них и микробной плазме.

Меланины синтезируют некоторые виды высших растений, макро- и микромицеты, особенно плесневые грибы, а также бактерии рода *Azotobacter*. Азотобактер обладает широким набором адаптаций к экстремальным местообитаниям. Он быстро колонизирует техногенные среды, в том числе отвалы отходов угледобычи. Как биоремедиант, бактерия чрезвычайно перспективна вследствие полифункциональности. Она способна метаболизировать углеводородные соединения, фиксировать азот атмосферы, синтезировать ростстимулирующие соединения, сидерофоры, альгинаты – экзополимеры. Последние важны бактерии в качестве: 1) запасного питательного вещества, 2) защитного механизма от неблагоприятных факторов, 3) детоксиканта тяжёлых металлов и металлоидов. Экзополимеры бактерий обладают наибольшей способностью к гелеобразованию, по сравнению с водорослями, и меньшей вязкостью, чем у близкородственной бактерии р. *Pseudomonas* (Бонарцева и др., 2017).

Азотобактер – микроаэрофильная бактерия. Её способность к парамагнетизму обеспечивает ей перемещение с помощью магнитосом в локусы с кислородом. При этом, бактерия синтезирует ферменты: каталазу, пероксидазу, супероксидсмутазу, чтобы нейтрализовать активные формы кислорода. В свою очередь, защите нитрогеназы обеспечивает меланин – полимерное соединение (молекулярная формула – $C_{18}H_{10}N_2O_4$) с множественными ароматическими кольцами, конденсированными с π -системами. Меланины обладают высокой термической стабильностью, что обеспечивает сохранность нитрогеназы в период перегрева поверхности отвалов. Меланины связывают Fe, Cu, Zn, U, сорбируют уран и трансурановые элементы, предохра-

няя клетки от их токсичного действия. При этом бактерия нуждается в Ni, необходимом для синтеза супероксидсмутазы, имеющемуся в достатке на отвалах. Помимо этого, меланины считаются предшественниками гумусовых веществ, что важно при формировании эмбриозёмами экологической функции почв – плодородия, а также при участии их в улучшении роста и питания растений, повышении продуктивности (Aasfar et al., 2021).

Предпосылкой для вовлечения азотобактера в ремедиацию корнеобитаемого слоя в случае с отвалами ВВП на антрацитовом разрезе является выявленная ростстимулирующая активность живых культур местных штаммов азотобактера. Установлено, что инокуляция семян аборигенными штаммами (из ВВП) увеличивала всхожесть семян горчицы до 20%, массу проростков – в 1,3 раза, длину максимального корня – в одну третью раза. Скрининг активных штаммов, отобранных из проб у разлива подотвальных вод в районе добычи антрацита, а также хвостохранилищ отходов рудообогащения, позволил выявить схожую тенденцию позитивного метаболического воздействия бактерии на некоторые морфометрические показатели проростков. Таким образом, азотобактер можно рекомендовать в качестве агента средоулучшения корнеобитаемого слоя фитопоселенцев отходов добычи антрацита.

Рассмотренные методы биоремедиации ориентированы на улучшение среды обитания растений, заселяющих техногенные отходы и выступающих в качестве фактора почвообразования в экстремальных условиях. При этом не менее важен вопрос о возможности использования акваремедиации для снижения негативного воздействия толщи отвалов на окружающие зрелые почвы вследствие транзита химических элементов и мелких минеральных частиц с фильтрующимися водоносными потоками за его пределы.

Биоремедиация загрязнённых почв подотвальными водами. Отвалы имеют большую водосборную площадь, ВВП – существенную скелетность и каменистость, что предопределяет значительный влагозапас в техногенном теле. Высокая водопроницаемость пород способствует транзиту поровых вод к основанию отвала, пополнению запаса грунтовых вод и разгрузке, что проявляется в разливе у подножья отвалов ручьёв (рис. 5 / fig. 5).

У истока ручья на поверхности пород наблюдается формирование сноттитов в виде слизистых натёков, в том числе с присутствием водорослей и цианобактерий, в водной среде – образование вторичных минералов в виде «скорлупок» белого цвета, содержащих широкий набор химических элементов. Ниже по ходу водотока присутствуют сплавнины (рис. 6 / fig. 6), в том числе минерализованные, мощностью 18-20 см, выдерживающие вес человека.



Рис. 5. Подотвальные водотоки, Горловское месторождение
Fig. 5. Sub-basement watercourses, Gorlovskoye field



Сноттиты и минерализованные образования



Формирование сплавин



Минерализованные сплавины



Заросли тростника

Рис. 6. Водоток у подножья отвала
Fig. 6. The watercourse at the foot of the dump

Почвы, находящиеся у истока подотвальных вод, содержат потенциально токсичные элементы: Ni, Zn, Cd, Co, Cu, Rb, As и другие (Артамонова и др., 2016). Кларковые значения металлов и мышьяка (Ni, Zn, Sr, Zr, As, Mo, Ca) превышают кларк земной коры, что может говорить о развитии технологической деградации (Деградация земельных ресурсов, 2025). Количество Zn и Ni выше ОДК тяжёлых металлов⁸ и ПДК⁹ фитотоксичности грунтов. В прибрежных почвах, удалённых от истока на 50 м, пул экотоксикантов ниже. Содержание валовых и подвижных форм Ni, Zn, Co имеет схожую тенденцию. Уменьшение концентрации 2-х валентных металлов, вероятно, обусловлено связыванием их низкомолекулярными

органическими соединениями. Обращает на себя внимание способность водорослей, накапливать в наибольшем количестве As, Mn, Mo, Fe; мхов – преимущественно Cu и Sr; рогоза, как и водорослей – Mo. В этой связи, для улучшения качества прибрежных почв, можно использовать акваремедиационный подход, то есть интенсифицировать депонирование химических элементов растениями сем. Рясковые – путём привноса их в водоток. Такое предложение основано на наблюдениях очистки загрязнённых вод г. Новосибирска и вокруг него (Артамонова и др., 2005). 30-дневный рост растения в загрязнённой среде обеспечивал существенное снижение содержания металлов (рис. 6 / fig. 6).

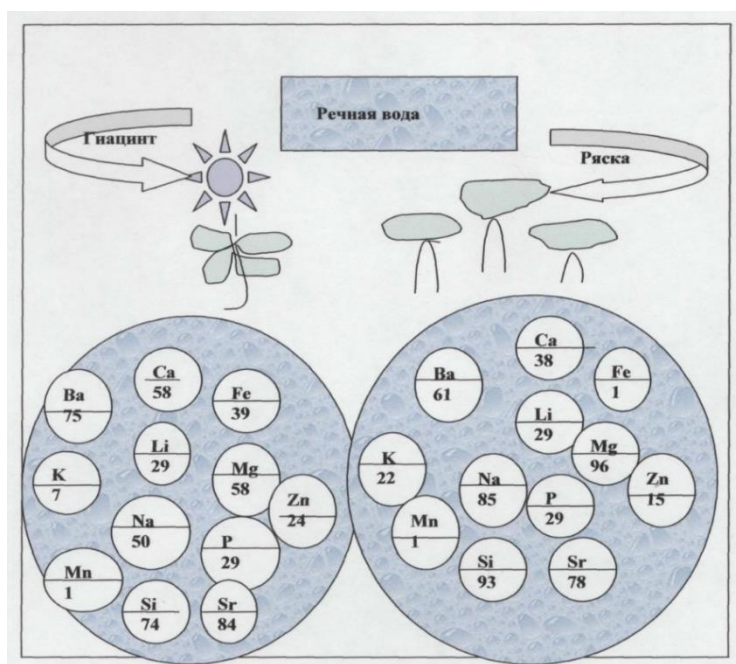


Рис. 7. Содержание химических элементов в воде после 30-дневного роста в ней гидрофитов: в числителе – химический элемент, в знаменателе – содержание, % от исходной пробы (Артамонова и др. 2005)

Fig. 7. The content of chemical elements in water after a 30-day growth of hydrophytes in it: in the numerator – the chemical element, in the denominator – the content, % of the initial sample (Artamonova et al., 2005)

Разные виды ряски поглощали экотоксиканты из вод промышленных зон Томской области¹⁰ (Барановская и др., 2025). В районах с высоким развитием нефтегазодобывающего комплекса проявлялось высокое накопление в биомассе ряски Cr, Sb, Br, As, Ta, U. Оценка данного химического состава методом факторного анализа показала, что элементы присутствуют в ассоциации редкоземельных и радиоактивных элементов совместно с Sb и Cr; ассоциации Sr, Nr, Z; ассоциация As и Au. Выявлены факты присутствия высоких концентраций Hg, Th, U и других токсикантов в биомассе ряски промышленных зон в других регионах

РФ¹⁰. Рясковые способны накапливать поллютанты не только в зрелых особях, но и внутри турионов – специализированных почках, образуемых растениями в ответ на неблагоприятные условия, например, уменьшение продолжительности светового дня, понижение температуры воды. Турионы образуются из модифицированного апекса, нередко содержат большое количество крахмала и сахаров, что обеспечивает выживание им около дна в зимний период. Весной турионы всплывают вместе с депонированными элементами, что позволяет рассматривать их в качестве внесезонного фиторемедианта.

⁸ ГН 2.1.7.020-94. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжёлых металлов и мышьяка в почвах с различными физико-химическими свойствами (валовое содержание, мг/кг). (Дополнение №1 к перечню ПДК и ОДК № 6229-91).

⁹ Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурной документации. М.: НИИПИЭГ, 1996. 35 с.

¹⁰ Барановская А.Ю. Элементный состав растений семейства рясковые (Lemnaceae) как индикатор эколого-геохимического состояния территорий: дис. ... канд. геол.-минер. наук: 1.6.21. Томск, 2025. 165 с.

Показано также, что в техногенной среде вокруг корней ряски образуются муцигельные чехлы из полисахаридов (Артамонова, Марченко, 2013) где возможно депонирование металлов и неметаллов, их преобразование. Следовательно, есть все основания полагать, что гидрофит может быть востребован в акваремедиации техногенных ручьев на территории Горловского разреза, что будет способствовать и качеству прибрежных почв сельскохозяйственного фонда, прилегающих к техногенному ручью.

Заключение

Интенсивная добыча антрацита вблизи сибирского мегаполиса неизбежно сопровождается разрушением природных ландшафтов, ростом отходов неселективного отвалообразования на дневной поверхности, появлением высоких отвалов и глубоких карьеров. Техногенные образования находятся в окружении природных экосистем, в которых сохранились редкие виды растений, выходы древних пород, природные водопады. Такой природно-техногенный ландшафт привлекателен для туристических компаний, природоохранных и научных организаций. В свою очередь, промышленный интерес к месторождению неизбежно сопровождается появлением новых отвалов, что диктует поиск современных подходов биорекультивации с трендом на ускорение почвенно-растительного экранирования их поверхности. Учитывая мозаичный характер самозарастания отвалов, долговременное пребывание

молодых почв на стадии биогенно неразвитых, целесообразно проведение локального средоулучшения корнеобитаемой толщи, прежде всего на участках замедленного почвообразования, путём вовлечения в биоремедиацию.

Для оперативного выявления очагов экстремального почвообразования предлагается привлечение данных дистанционного зондирования, источниками которых могут быть космические спутники Sentinel, Landsat, а также БПЛА. Подобная информация обеспечит своевременное выявление проблемных участков самозарастания отвалов с целью привлечения конкретного содействия развитию эмбриозёмов, в том числе для достижения ими гумусово-аккумулятивной стадии. Использование индуцированной биоремедиации (фито-, мико-, микробной) в сочетании с другими способами биорекультивации ускорит восстановление природной среды. Биоремедиационные механизмы следует рассматривать как природосберегающие (природоподобные) и, возможно, в некоторых случаях, как альтернативные мелиорации. Своевременная минимизация негативного воздействия загрязнения окружающей среды подотвальными водами с применением акваремедиации снизит экологические риски. Для выявления позитивного последствия биоремедиации в долгосрочной перспективе необходимо проведение интеграционных исследований.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания, номер госрегистрации темы: ИПА СО РАН №126032419121-2

Funding

The work was performed within the framework of the state assignment, the state registration number of the topic: IPA SB RAS №126032419121-2

Благодарности

Статья посвящается памяти профессора Пермского университета Лидии Григорьевны Переведенцевой.

Acknowledgements

The article is dedicated to the memory of Perm University professor Lidiya Grigoryevna Perevedentseva.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of interest

The author declares no conflicts of interest.

Список источников

1. Автухович И.Д. Индуцированная фиторемедиация как экстенсивный метод восстановления загрязненных почв и грунтов // *Агрохимический вестник*. 2010. № 2. С. 39–40.
2. Автушевич И.В., Броневец Т.М., Еремин И.В. Аналитическая химия и технический анализ угля. М.: Недра, 1987. 336 с.
3. Алещенкова З., Сафронова Г., Соловьева Е., Федоренчик А. Влияние арбускулярных микоризных грибов на рост и развитие растений // *Наука и инновации*. 2011. № 2 (96). С. 59–63.
4. Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачёв В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 151 с.
5. Арбузов С.И., Ершов В.В. Геохимия редких элементов в углях Сибири. Томск: Изд. Дом «Д-Принт», 2007. 468 с.
6. Артамонова В.С., Бортникова С.Б., Оплеухин А.А. Техногенное загрязнение почв подотвальными водами в районе угледобычи // *Известия Коми научного центра Уральского отделения РАН*. 2016. № 4 (28). С. 38–45.
7. Артамонова В.С., Бортникова С.Б., Черный Н.К. Проблемы и перспективы вовлечения отходов обогащения полиметаллических и железных руд в биологическую консервацию // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2021. Т. 7. № 1. С. 87–101. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-1-87-101>

8. Артамонова В.С., Марченко М.И. Фитопригодность слабобразвитых почв техногенных отвалов // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2013. Т. 1. С. 10–14.
9. Артамонова В.С., Танасиенко А.А., Бортникова С.Б. Современные аспекты ремедиации биологических свойств городских почв // *Сибирский экологический журнал*. 2005. Т. 12. № 5. С. 855–864.
10. Барановская А.Ю., Барановская Н.В., Судыко А.Ф. Элементный состав растений семейства яснотковые (*Lemnaceae*) как индикатор природно-техногенных обстановок территории Томской области // *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2024. Т. 30. № 1. С. 8–17.
11. Белик Е.С., Злобина К.А. Исследование возможности использования отходов производства в качестве биосорбента // *Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика*. 2016. № 31. С. 62–76. <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2016.03.05>
12. Бортникова С.Б., Артамонова В.С., Абросимова Н.А., Юркевич Н.В., Хвощевская А.А. Результаты экспериментов по фиторемедиации сульфидных отходов хвостохранилищ овсом посевным (*Avena sativa*) // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022. Т. 333. № 11. С. 7–23. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/11/3762>
13. Бонарцева Г.А., Акулина Е.А., Мышкина В.Л., Воинова В.В., Махина Т.К., Бонарцев А.П. Биосинтез альгинатов бактериями рода *Azotobacter* // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2017. Т. 53. № 1. С. 61–68. <https://doi.org/10.7868/S055510991701007X>
14. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // *Геохимия*. 1962. № 7. С. 555–571.
15. Воронина Е.Ю. Микоризы в наземных экосистемах: экологические, физиологические и молекулярно-генетические аспекты микоризных симбиозов // *Микология сегодня* / под ред. Ю.Т. Дьякова, Ю.В. Сергеева. Т. 1. М., 2007. С. 142–235.
16. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
17. Деградация земельных ресурсов / под ред. Л.А. Гафуровой, О.А. Макарова, С.А. Шобы: Учебное пособие. М.: Национальное информационное агентство «Природные ресурсы», 2025. 186 с.
18. Демин А.В., Рыбальченко И.В., Милькина И.В., Жандарова Ю.А. Технологии устойчивого развития территорий: фиторемедиация как инновационный метод санации депрессивных территорий // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Государственное и муниципальное управление*. 2022. Т. 9. № 2. С. 124–136. <https://doi.org/10.22363/2312-8313-2022-9-2-124-136>
19. Егорова Е.О., Ташкинов Е.В. Биоремедиация нефтезагрязнённых почв на территории Полазнинского месторождения // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2024. Т. 10. № 1. С. 51–63. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-1-51-63>
20. Ерофеевская Л.А., Глязнецова Ю.С., Чалая О.Н. Использование дернообразующих растений в биоремедиации нефтезагрязнённых мерзлотных почв // *Успехи современного естествознания*. 2012. № 11 (часть 1). С. 128–129.
21. Зайцев Г.А., Мухаметова Г.М., Веселкин Д.В. Особенности формирования микоризы сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2009. Т. 6 (100). С. 137–139.
22. Зуева Г.А. Дернообразующие злаки в условиях Сибири. Новосибирск: Наука, 2001. 150 с.
23. Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность, 1981. С. 52–56.
24. Клёнов Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000. 176 с.
25. Куприянов О.Я., Куприянов А.Н., Манаков Ю.А., Юфимцев В.И. Реконструкция лугово-степных фитоценозов на отвалах. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2025. 168 с.
26. Ламанова Т.Г., Шерemet Н.В. Агрофитоценозы на отвалах в южной части Кузнецкой котловины. Новосибирск: ЗАО ИПП «ОФСЕТ», 2010. 226 с.
27. Переведенцева Л.Г. Агариковые грибы (*Agaricales S.L.*) Пермской области (Западный Урал) // *Микология и фитопатология*. 1998. Т. 32. Вып. 1. С. 30–32.
28. Переведенцева Л.Г. Грибы лесов и зелёных насаждений города Перми. Пермь: Астер, 2021. С. 264 с.
29. Перельман А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972. 287 с.
30. Пиковский Ю.А., Исмаилов Н.М., Дорохова М.Ф. Основы нефтегазовой экологии. М.: ИНФРА-М, 2022. 414 с.
31. Соколов О.А., Черников В.А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Книга 1. Атлас распределения тяжёлых металлов в объектах окружающей среды. Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1999. 164 с.
32. Туркин К.А. Современные подходы к микробной ремедиации нефтезагрязнённых почв // *Экосистемы*. 2025. Т. 43. С. 61–69. <https://doi.org/10.29039/2413-1733-2025-43-61-69>
33. Углеводородокисляющие родококки: особенности биологической организации под воздействием эколоплантов. Атлас-монография / под ред. И.Б. Ившиной. Екатеринбург: УрО РАН, 2021. 140 с.
34. Фаизова Л.И., Зайцев Г.А. Особенности микоризообразования сосны обыкновенной на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14. С. 1–6.

35. Чайкин С.А., Бузмаков А.С., Симонов В.Э. Современное представление о техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяных месторождений и роли территорий режима особого природопользования // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2025. Т. 11. № 1. С. 71–82. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-71-82>
36. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
37. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 655 с.
38. Юдович Я.Э. Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. Л.: Наука, 1985. 239 с.
39. Юй Л., Тулигуэл, Хайин Б., Широких А.А., Широких И.Г., Егошина Т.Л., Кириллов Д.В. Лекарственные грибы в традиционной медицине и современных биотехнологиях. Киров: «О-Краткое», 2009. 320 с.
40. Янин Е.П. Ремедиация территорий, загрязненных химическими элементами: общие подходы, правовые аспекты, основные способы (зарубежный опыт) // *Проблемы окружающей среды и природных ресурсов*. 2014. № 3. С. 3-105.
41. Aasfar A., Bargaz A., Yaakoubi K., Hilali A., Bennis I., Zeroual Y., Meftah Meftah K.I. Nitrogen Fixing Azotobacter Species as Potential Soil Biological Enhancers for Crop Nutrition and Yield Stability // *Frontiers in Microbiology*. 2021. Vol. 12. 628379. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>
42. Ertesvåg H. Alginate-modifying enzymes: biological roles and biotechnological uses // *Frontiers in Microbiology*. 2015. Vol. 6. 523. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00523>
43. Ivanov F.D., Pulikova E.P., Gorovtsov A.V., Chernikova N.P., Barahov A.B., Lacynnik E.S., Mendzhieva S.S., Minkina T.M., Rajput V.D. The effect of chelators on the microbiota and phytoremediation of coal dumps soils // *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2025. Vol. 22. P. 15625-15636. <https://doi.org/10.1007/s13762-025-06675-z>.
44. Kapahi M., Sachdeva S. Mycoremediation potential of *Pleurotus* species for heavy metals: a review // *Biore-sourced and Bioprocessing*. 2017. Vol. 4. P. 32. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0162-8>
45. Mokrani S., Houali K., Chaalal M., Yadav K.K., Arabi A.I.A., Eltayeb L.B., AwjanAlreshidi M., Benguerba Y., Cabral-Pinto M.S., Nacti E.H. Bioremediation techniques for soil organic pollution: mechanisms, microorganisms and hechnologies – a comprehensive review // *Ecological engineering*. 2024. Vol. 207. 107338. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107338>
46. Patowary R., Devi A., Mukherjee A.K. Advanced bioremediation by an amalgamation of nanotechnology and modern artificial intelligence for efficient restoration of crude petroleum oil-contaminated sites: a prospective study // *Environmental science and pollution research*. 2023. Vol. 30. P. 74459-74484. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27698-4>
47. Siunova T.V., Filonov A.E., Gorovtsov A.V., Akhmetov L.I., Ivanov F.D., Rajput V.D., Minkina T.M., Sushkova S.N., Wong M.H., Biswas J.K. Potential of nickel and cobalt resistant microorganisms for effective phytoremediation of heavy metal contaminated soil // *Discover Environment*. 2025. Vol. 3. Iss. 1. 99. <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00301-y>

References

1. Avtuhovich I.D. Induced phytoremediation as an extensive method of restoration of polluted soils. *Agrochemical bulletin*. 2010. Vol. 2. P. 39-40. (in Russian)
2. Avtushevich I.V., Bronovets T.M., Eremin I.V. Chemistry and technical analysis of coal. Moscow: Nedra, 1987. 336 p. (in Russian)
3. Aleschenkova Z., Safronova G., Solovyova E., Fedorenchik A. The influence of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and development. *Science and innovation*. 2011. Vol. 2. Iss. 96. P. 59-63. (in Russian)
4. Androkhonov V.A., Kulyapina E.D., Kurachev V.M. Soils of technogenic landscapes: genesis and evolution. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2004. 151 p. (in Russian)
5. Arbuzov S.I., Yershov V.V. Geochemistry of rare elements in Siberian coals. Tomsk: Publishing House. House «D-Print», 2007. 468 p. (in Russian)
6. Artamonova V.S., Bortnikova S.B., Opleukhin A.A. Technogenic soil pollution by subsurface waters in the coal mining area. *Izvestiya Komi scientic Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2016. Vol. 4. Iss. 28. P. 38-45. (in Russian)
7. Artamonova V.S., Bortnikova S.B., Cherny N.K. Problems and prospects of involving polymetallic and iron ore processing waste in biological conservation. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2021. Vol. 7. Iss. 1. P. 87-101. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-1-87-101> (in Russian)
8. Artamonova V.S., Marchenko M.I. Phytoprime of underdeveloped soils of man-made landfills. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2013. Vol. 1. P. 10-14. (in Russian)
9. Artamonova V.S., Tanasienko A.A., Bortnikova S.B. Modern aspects of remediation of biological properties of urban soils. *Siberian Ecological Journal*. 2005. Vol. 12. Iss. 5. P. 855-864. (in Russian)
10. Baranovskaya A.Yu., Baranovskaya N.V., Sudyko A.F. Elemental composition of plants of the duckweed family (*Lemnaceae*) as an indicator of the natural and man-made conditions of the Tomsk region. *Bulletin of the Trans-Baikal State University*. 2024. Vol. 30. Iss. 1. P. 8-17. (in Russian)

11. Belik E.S., Zlobina K.A. Investigation of the possibility of using industrial waste as a biosorbent. *Bulletin of PNRPU. Applied ecology. Urbanistics*. 2016. Vol. 31. P. 62-76. <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2016.03.05> (in Russian)
12. Bortnikova S.B., Artamonova V.S., Abrosimova N.A., Yurkevich N.V., Khvashchevskaya A.A. Results of experiments on phytoremediation of sulfide waste from tailings storage facilities with oats (*Avena sativa*). *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*, 2022. Vol. 333. Iss. 11. P. 7-23. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/11/3762> (in Russian)
13. Bonartseva G.A., Akulina E.A., Myshkina V.L., Voinova V.V., Makhina T.K., Bonartsev A.P. Biosynthesis of alginates by bacteria of the genus *Azotobacter*. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2017. Vol. 53. Iss. 1. P. 61-68. <https://doi.org/10.7868/S055510991701007X> (in Russian)
14. Vinogradov A.P. Average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the soils crust. *Geochemistry*. 1962. Vol. 7. P. 555-571. (in Russian)
15. Voronina E.Yu. Mycorrhizae in terrestrial ecosystems: ecological, physiological, and molecular genetic aspects of mycorrhizal symbioses. In: Dyakov Yu.T., Sergeev Yu.V. (ed.) *Mikologiya sevodnya*. Vol. 1. Moscow, 2007. P. 142-235. (in Russian)
16. Gerasimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokofieva, T.F. Anthropogenic soils: genesis, geography, reclamation. Smolensk: Oikumena, 2003. 268 p. (in Russian)
17. Gafurova L.A., Makarov O.A., Shoby S.A. (ed.). Degradation of land resources. Moscow: National Information Agency «Natural Resources», 2025. 186 p. (in Russian)
18. Demin A.V., Rybalchenko I.V., Milkina I.V., Zhandarova Yu.A. Technologies of sustainable development of territories: phytoremediation as an innovative method of rehabilitation of depressed territories. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: State and Municipal Administration*. 2022. Vol. 9. Iss. 2. P. 124-136. <https://doi.org/10.22363/2312-8313-2022-9-2-124-136> (in Russian)
19. Egorova E.O., Tashkinov E.V. Bioremediation of oil-contaminated soils in the territory of the Polazninskoye field, 2024. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2024. Vol. 10. Iss. 1. P. 51-63. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-1-51-63> (in Russian)
20. Yerofeevskaya L.A., Glyanetsova Yu.S., Chalaya O.N. The use of sod-forming plants in bioremediation of oil-contaminated permafrost soils. *Successes of modern Natural Science*. 2012. Vol. 11. Iss. 1. P. 128-129. (in Russian)
21. Zaitsev G.A., Mukhametova G.M., Veselkin D.V. Features of the formation of mycorrhiza of scots pine in conditions of industrial pollution. *Bulletin of Orenburg State University*. 2009. Vol. 6. Iss. 100. P.137-139. (in Russian)
22. Zueva G.A. Sod-forming cereals in Siberia. Novosibirsk: Nauka Publ., 2001.150 p. (in Russian)
23. Karpachevsky L.O. Forest and forest soils. Moscow: Forest Industry, 1981. P. 52-56. (in Russian)
24. Klenov B.M. Stability of humus in automorphic soils of Western Siberia. Novosibirsk: Publishing House SB RAS, Geo branch, 2000. 176 p. (in Russian)
25. Kupriyanov O.Ya., Kupriyanov A.N., Manakov Yu.A., Yufimtsev V.I. Reconstruction of meadow-steppe phytocenoses in landfills. Novosibirsk: NSTU Publishing House, 2025. 168 p. (in Russian)
26. Lamanova T.G., Sheremet N.V. Agrophytocenoses on landfills in the southern part of the Kuznetsk basin. Novosibirsk: CJSC IPP «OFFSET», 2010. 226 p. (in Russian)
27. Perevedenceva L.G. Agaric mushrooms (*Agaricales* S.L.) Perm region (Western Urals). *Mycology and phytopathology*. 1998. Vol. 32. Iss. 1. P. 30-32. (in Russian)
28. Perevedenceva L.G. Mushrooms of forests and green spaces of the city of Perm. Perm: Aster, 2021. 264 p. (in Russian)
29. Perel'man A.I. Geochemistry of elements in the hypergenesis zone. Moscow: Nedra Publ., 1972. 287 p. (in Russian)
30. Pikovsky Yu.A., Ismailov N.M., Dorokhova M.F. Fundamentals of oil and gas ecology. Moscow: INFRA-M, 2022. 414 p. (in Russian)
31. Sokolov O.A., Chernikov V.A. Environmental safety and sustainable development. Book 1. Atlas of the distribution of heavy metals in environmental objects. Pushchino: ONTI PNTS RAS, 1999. 164 p. (in Russian)
32. Turkin K.A. Modern approaches to microbial remediation of oil-contaminated soils. *Ecosystems*. 2025. Vol. 43. P. 61-69. <https://doi.org/10.29039/2413-1733-2025-43-61-69> (in Russian)
33. Ivshina I.B. (ed.). Hydrocarbon-oxidizing rodococci: features of biological organization under the influence of environmental pollutants. Atlas-monograph. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2021. 140 p. (in Russian)
34. Faizova L.I., Zaitsev G.A. Features of mycorrhizal formation of Scots pine in the dumps of the Kumertau lignite section. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2012. Vol. 14. P. 1-6. (in Russian)
35. Chaikin S.A., Buzmakov A.S., Simonov V.E. Modern understanding of the anthropogenic transformation of the natural environment during the exploitation of oil fields and the role of territories of the special nature management regime. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2025. Vol. 11. Iss. 1. P. 71-82. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-71-82> (in Russian)
36. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. Classification and diagnostics of soils in Russia, Smolensk: Oikumena, 2004. 342 p. (in Russian)

37. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Toxic elements-impurities in fossil coals. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2005. 655 p. (in Russian)
38. Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Merts A.V. Impurity elements in fossil coals. Leningrad: Nauka, 1985. 239 p. (in Russian)
39. Yu L., Tuliguel, Hayin B., Shirokikh A.A., Shirokikh I.G., Egoshina T.L., Kirillov D.V. Medicinal mushrooms in traditional medicine and modern biotechnologies. Kirov: «O-Kratkoe», 2009. 320 p. (in Russian)
40. Yanin E.P. Remediation of territories contaminated with chemical elements: general approaches, legal aspects, basic methods (foreign experience). *Problems of the environment and natural resources*. 2014. Vol. 3. P. 3-105. (in Russian)
41. Aasfar A., Bargaz A., Yaakoubi K., Hilali A., Bennis I., Zeroual Y., Meftah K.I. Nitrogen Fixing Azotobacter Species as Potential Soil Biological Enhancers for Crop Nutrition and Yield Stability. *Frontiers in Microbiology*. 2021. Vol. 12. 628379. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>
42. Ertesvåg H. Alginate-modifying enzymes: biological roles and biotechnological uses. *Frontiers in Microbiology*. 2015. Vol. 6. 523. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00523>
43. Ivanov F.D., Pulikova E.P., Gorovtsov A.V., Chernikova N.P., Barahov A.B., Lacynnik E.S., Mendzhieva S.S., Minkina T.M., Rajput V.D. The effect of chelators on the microbiota and phytoremediation of coal dumps soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2025. Vol. 22. P. 15625-15636. <https://doi.org/10.1007/s13762-025-06675-z>
44. Kapahi M., Sachdeva S. Mycoremediation potential of *Pleurotus* species for heavy metals: a review. *Bioresources and Bioprocessing*. 2017. Vol. 4. 32. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0162-8>
45. Mokrani S., Houali K., Yadav K.K., Arabi A.I.A., Eltayeb L.B., AwjanAlreshidi M., Benguerba Y., Cabral-Pinto M.M.S., Nacti E. Bioremediation techniques for soil organic pollution: mechanisms, microorganisms and technologies – a comprehensive review. *Ecological engineering*. 2024. Vol. 207. 107338. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107338>
46. Patowary R., Devi A., Mukherjee A.K. Advanced bioremediation by an amalgamation of nanotechnology and modern artificial intelligence for efficient restoration of crude petroleum oil-contaminated sites: a prospective study. *Environmental science and pollution research*. 2023. Vol. 30. P. 74459-74484. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27698-4>
47. Siunova T.V., Filonov A.E., Gorovtsov A.V., Akhmetov L.I., Ivanov F.D., Rajput V.D., Minkina T.M., Sushkova S.N., Wong M.H., Biswas J.K. Potential of nickel and cobalt resistant microorganisms for effective phytoremediation of heavy metal contaminated soil. *Discover Environmental*. 2025. Vol. 3. Iss. 1. 99. <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00301-y>

Поступила в редакцию / Received: 30.03.2026

Поступила после рецензирования / Revised: 28.04.2026

Принята к публикации / Accepted: 25.05.2026

Краткое сообщение

 УДК 502.3 <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-73-78> <https://elibrary.ru/tbhzhq>

Влияние использованного при строительстве дороги в дер. Сунцы Кировской области промышленного отхода на прилегающие почвы

Татьяна Анатольевна Мусихина✉, Юлия Николаевна Ушакова, Ярославна Павловна Погудина

Вятский государственный университет, Киров, Россия

✉ mta_mta@mail.ru

Аннотация. В работе исследовалось качество почвы обочины проселочной автодороги по приоритетным химическим показателям с целью оценки возможного негативного влияния от используемых при строительстве дороги производственных отходов (смесь отсева известняка и шлама реагентной очистки раствора хлористого кальция известковым молоком), которые согласно их паспортам, относятся к пятому и четвертому классам опасности соответственно. Отбор проб почв для исследования произведен с обочины дороги в 70 см от дорожного полотна. Фоновая проба отобрана с не подверженного техногенному воздействию фонового участка в Куменском районе Кировской области. Используемые при строительстве дороги отходы и отобранные пробы почв исследовались методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии прибором EDX-720 на определение концентраций элементов в диапазоне от 0,0001% до 100%. Метод основан на зависимости интенсивности рентгеновской флуоресценции от концентрации элемента в образце. По результатам анализа образца отхода с полотна автодороги выявлено наличие химических элементов (Ca, Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr). Анализ количественного содержания данных элементов в мг/кг почв в исследуемых пробах с дорожного полотна и почв обочины и фонового участка показал, что наибольшее содержание Ca наблюдается в пробе отхода, что соответствует составу, используемой при строительстве дороги смеси. В пробах почвы с обочины содержание обнаруженных элементов не превышает концентраций Ca, Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr в фоновом образце. При определении возможной миграции загрязняющих веществ из полотна дороги в почвы обочины в водной вытяжке отобранных проб физико-химическими методами определялись специфические загрязняющие вещества, связанные с возможным техногенным загрязнением от используемых при строительстве отходов: SO_4^{2-} , F^- , CL^- . Показано, что концентрация CL^- в водной вытяжке из почвы с обочины автодороги в 11,9 раз превышает фоновые показатели, а также в 1,8 раз превышает норматив ПДК_{к.б.} для водных объектов. Поэтому можно говорить о миграции CL^- и негативном влиянии примененных в строительстве автодороги отходов на качество почв обочины.

Ключевые слова: отходы производства, качество почв, приоритетные химические элементы, загрязняющие вещества, крупнотоннажные отходы

Для цитирования: Мусихина Т.А., Ушакова Ю.Н., Погудина Я.П. Влияние использованного при строительстве дороги в дер. Сунцы Кировской области промышленного отхода на прилегающие почвы // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2026. Т. 12. № 1. С. 73–78. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-73-78>. EDN TBHZNQ.

Short Communications Article

The impact of industrial waste used in the construction of a road in the village of Suntsy, Kirov Region, on the surrounding soils

Tatiana A. Musikhina✉, Yulia N. Ushakova, Yaroslavna P. Pogudina

Vyatka State University, Kirov, Russia

✉ mta_mta@mail.ru

Abstract. The paper studied the quality of the soil on the side of a country road in terms of priority chemical elements in order to assess the possible negative impact of industrial waste used in the construction of the road (a mixture of limestone sift and sludge from the reagent purification of calcium chloride solution with lime milk), which, according to their certificates, are classified as fifth and fourth hazard classes, respectively. The soil samples were collected from the side of the road, 70 cm from the road surface. The background sample was taken from a non-man-made background area in the Kuma district of the Kirov region. The waste used in the construction of the road and the selected soil samples were analyzed using X-ray fluorescence spectrometry with the EDX-720 instrument to determine the concentrations of elements in the range from 0.0001% to 100%. The method is based on the dependence of the intensity of X-ray fluorescence on the concentration of an element in the sample. According to the results of the waste sample analysis, the priority

© Мусихина Т.А., Ушакова Ю.Н., Погудина Я.П., 2026



chemical elements (Ca, Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr) were identified. The analysis of the quantitative content of these elements in mg/kg of soil in the studied samples from the roadway, the roadside soil, and the background area showed that the highest content of Ca was observed in the waste sample, which corresponds to the composition of the mixture used in road construction. In soil samples from the roadside, the content of the detected elements does not exceed the concentrations of Ca, Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr in the background sample. When determining the possible chemical contamination of roadside soil, specific pollutants associated with possible technogenic contamination from construction waste were determined using physical and chemical analysis methods: SO_4^{2-} , F^- , and Cl^- . It has been shown that the concentration of Cl^- in the aqueous extract from a soil sample taken from the roadside is 11,9 times higher than the background levels, and 1.8 times higher than the MPC for water bodies. This indicates the migration and negative impact of the waste used in the construction of the highway to the roadside soil.

Keywords: industrial waste, soil quality, priority chemical elements, pollutants, large-scale waste

For citation: Musikhina T.A., Ushakova Yu.N., Pogudina Ya.P. The impact of industrial waste used in the construction of a road in the village of Suntsy, Kirov Region, on the surrounding soils. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2026. Vol. 12. Iss. 1. P. 73-78. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-73-78>. EDN TBHZZHQ. (in Russian)

Комплексную переработку материально-сырьевых ресурсов в целях уменьшения количества отходов можно отнести к основным принципам и приоритетным направлениям государственной политики в сфере обращения с отходами, которые закреплены в Федеральном законе «Об отходах производства и потребления»¹. Развитие этих принципов на практике получило в современных программных и нормативных документах, направленных на усиление работы по ликвидации накопленного вреда окружающей среде при хранении и захоронении промышленных отходов. Большое внимание уделяется также созданию экономики замкнутого цикла в России. Так, например, распоряжением Правительства РФ от 28.08.2024 № 2330-р закреплён перечень видов работ и услуг, выполнение которых осуществляется с обязательным использованием определенной доли вторичного сырья в их составе. Среди работ, указанных в документе, большое значение имеет автодорожное строительство с применением промышленных отходов^{2,3} (Ильин и др., 2016).

Вопросы полезного и безопасного для окружающей среды применения промышленных отходов требуют внимания, поскольку крупнотоннажные отходы складываются, как правило, открытым способом в отвалах, нарушая естественный ландшафт, образуя при этом загрязненный поверхностный смыв атмосферными осадками, инфильтруя химические вещества в грунтовые воды и загрязняя приземный слой атмосферы пылеватыми частицами. Так, например, в Кировской области отвал отходов бывшего химического комбината размещен на площади более 10 га и его площадь ежегодно увеличивается, поэтому утилизация этих отходов весьма актуальна (Филатов и др., 2018; Мусихина и др., 2021; Мусихина и др., 2021; Фукс и др., 2020).

По исследуемой тематике (утилизация отходов в строительстве и, в целом, влияние отходов на окружающую среду) опубликованы десятки научных работ,

что свидетельствует о востребованности новых знаний в этой сфере. Так, исследуются отходы от производств различных типов: добыча цветных металлов (Мурманцева, 2024), фосфогипса (Ильин и др., 2016; Бабенко, 2024; Скрипин и др., 2024), угледобычи (Загирова и др., 2020), калийных удобрений (Хрипович, Тиховская, 2024), кальцинированной соды (Курбанова, Вафалеев, 2024), а также твердых коммунальных отходов (Кучерова и др., 2024) и опасных ртутьсодержащих отходов (Фукс и др., 2020; Мусихина и др., 2021). Публикуются и обобщающие работы о механизмах и следствиях влияния различных антропогенных факторов при взаимодействии с почвами (Германова и др., 2023).

Цель нашего исследования заключается в оценке негативного влияния использованных при строительстве проселочной дороги без твердого покрытия промышленных отходов на химический состав почв обочины дороги, построенной в деревне Сунцы Кировской области в 2020 г. для экологического контроля и принятия решений о возможности дальнейшего применения производственных отходов подобным образом.

Задачи исследований: отбор проб отхода с дорожного полотна, почв с придорожной полосы и почв фонового участка; исследование концентраций химических элементов (Ca, Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr), составляющих основу смеси, использованной при строительстве; определение и оценка нормативного содержания загрязняющих веществ (ионов хлора, сульфат-ионов, фторид-ионов) в водной вытяжке из проб почв.

Объект исследования – образцы: отхода с дорожного полотна; почвы с обочины дороги и почвы фонового участка.

Предмет исследования – химический состав отхода, отобранного с дорожного полотна, а также почв и водной вытяжки почв с обочины дороги и фонового участка, не подверженного техногенному загрязнению.

¹ Федеральный закон №89-ФЗ от 24.06.98 «Об отходах производства и потребления» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109 (дата обращения: 09.07.2025).

² Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.08.2024 № 2330-р «Об утверждении перечней видов продукции (товаров), работ, услуг, производство, выполнение и оказание которых осуществляются с обязательным использованием определенной доли вторичного сырья в их составе» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.consultant.ru/law/hotdocs/86272.html> (дата обращения: 09.07.2025).

³ Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 N 242 (ред. от 20.12.2024) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_218071/ (дата обращения: 09.07.2025).

Обочина дороги, при этом, за весь период эксплуатации пестицидами и другими химическими веществами не обрабатывалась. Интенсивность движения автотранспорта по дороге крайне низкая.

Согласно паспортам отходов, использованные при строительстве дороги отходы, это смесь:

- отсева известняка, который образуется при фракционировании известняка, поступающего как сырье для получения хлористого кальция (согласно паспорту отхода код в соответствии с ФККО – 314 000 00 00 00 0

«Прочие твердые минеральные отходы»), состоящий из известняка на 100%, имеющий пятый класс опасности;

- шлама реагентной очистки раствора хлористого кальция известковым молоком (согласно паспорту отхода код в соответствии с ФККО – 515 000 00 00 00 0 «Отходы солей» и четвертый класс опасности для окружающей природной среды). Заявленный в паспорте отхода компонентный состав отхода в процентах представлен в табл. 1 / tabl. 1.

Таблица 1

Состав шлама реагентной очистки раствора хлористого кальция известковым молоком

Table 1

Composition of sludge from reagent purification of calcium chloride solution with lime milk

Компоненты / Components	Процентное содержание / Share (%)
H ₂ O	24,5-45,9
CaCl ₂	24,2-29
Mg(OH) ₂	9-27,1
Песок / Sand	8-12,3
CaCO ₃	5,5-7,5
CaF ₂	1,5-2,1
Fe(OH) ₂	1,1-2,3

Отбор проб почвы с придорожной полосы произведен на расстоянии 70 см от полотна дороги способом прикопки глубиной до 30 см. Фоновая проба отобрана в Куменском районе Кировской области.

Исследование проводилось относительно определения и сравнения составов отобранных проб по приоритетным химическим элементам. Также была проведена оценка возможного загрязнения прилегающих к дороге почв за счет миграции специфических веществ от использования отходов.

Наличие химических элементов в отобранных пробах проводилось на энергодисперсионном рентгеновском спектрометре EDX-720 («Shimadzu»). Метод анализа – рентгенофлуоресцентная спектрометрия (XRF, РФА, РФСА), используемый для определения концентраций элементов в диапазоне от 0,0001% до 100% в веществах различного происхождения. Метод основан на зависимости интенсивности рентгеновской флуоресценции от концентрации элемента в образце. При

облучении образца мощным потоком излучения рентгеновской трубки возникает характеристическое флуоресцентное излучение атомов, которое пропорционально их концентрации в образце. Математическая обработка спектра позволяет проводить количественный и качественный анализ. Этот метод широко используют для определения тяжёлых металлов в почвах, осадках, воде и других средах (van Sprang, 2000). Широкое применение метода для определения состава почв обуславливается способностью прибора выполнять точные измерения с высокой скоростью. Результаты показали, что в отходе, используемом при строительстве дорожного полотна, определены 7 химических элементов (Ca, Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr), которые также определены и в пробах почвы за полотном автодороги на расстоянии 70 см от него и пробах почвы фонового участка. Количественное содержание данных элементов (мг/кг) в исследуемых пробах представлено в табл. 2 / tabl. 2.

Таблица 2

Количественное содержание химических элементов, мг/кг

Table 2

Quantitative content of chemical elements in mg/kg

Приоритетные для исследования элементы / Priority elements for research	Отход, используемый в дорожном полотне / Waste used in road surfaces	Проба почвы придорожного полотна на расстоянии 70 см от дороги / Soil sample from the roadside at a distance of 70 cm from the road	Проба почвы фонового участка / Soil sample of the background area
Ca	626,3	75,1	151,7
Mg	15,2	3,0	18,2
Si	48,6	623,5	1703,9
Fe	27,1	21,32	409,0
K	12,2	58,1	133,5
Mn	1,2	10,0	84,4
Sr	0,9	2,0	2,6

Согласно данным табл. 2 / tabl. 2 наибольшее содержание Са наблюдается в пробе отхода, что соответствует составу используемой при строительстве дороги смеси. В пробах почвы с обочины содержание обнаруженных элементов (Ca, Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr) не превышает значений элементов фонового образца почвы и находится в почвенно-поглощающем комплексе в обменном состоянии и вымывается атмосферными осадками⁴ (Орлов и др., 1991).

Таким образом, можно видеть, что Са, как основной химический элемент используемого в строительстве дороги отхода, не мигрирует в почвы придорожной полосы, а его содержание в пробе почвы придорожного полотна ниже фонового значения. Остальные

элементы содержатся в почве придорожной полосы также в количествах, не превышающих фоновые значения.

В работе физико-химическими методами анализа определялось возможное загрязнение почв придорожной полосы за счет миграции приоритетных загрязняющих веществ (относительно состава смеси отходов, используемых при строительстве автодороги): ионов хлора (Cl^-); сульфат-ионов (SO_4^{2-}); фторид-ионов (F^-).

Результаты исследования водной вытяжки из проб почв по приоритетным химическим показателям, методы анализа и нормативы содержания данных загрязняющих веществ в воде водных объектов⁵ представлены в табл. 3 / tabl. 3.

Таблица 3

Содержание загрязняющих веществ в водной вытяжке из проб почв, мг/дм³

Table 3

Content of pollutants in the aqueous extract of soil samples, mg/dm³

Загрязняющие вещества / Pollutants	Метод анализа / The method of analysis	Проба придорожного полотна (обочина дороги) / Roadside soil (roadside)	Проба фонового участка / Background sample	ПДК _{к.б.} в воде водных объектов / MPC in the water of water bodies
F^-	Потенциометрический метод – прямая потенциометрия ПНД Ф 16.1.54-2008	1,47	1,33	1,5
SO_4^{2-}	Турбодиметрический метод ГОСТ 26426-85	205,81	332,06	500
Cl^-	Метод потенциометрического титрования, аргентометрический метод	632,14	53,18	350

Результаты исследования показали (табл. 3 / tabl. 3), что в водной вытяжке из почвы обочины исследуемой автодороги содержание:

– ионов F^- незначительно превышает фоновые показатели, однако, их содержание ниже значений ПДК_{к.б.} в водных объектах культурно-бытового назначения;

– ионов SO_4^{2-} не превышает ни фоновые показатели, ни значения ПДК_{к.б.} в водных объектах культурно-бытового назначения;

– ионов Cl^- в 11,9 раза превышает содержание в водной вытяжке фоновой пробы почв и в 1,8 раза превышает ПДК_{к.б.} в водных объектах культурно-бытового назначения. Значительные превышения фоновых показателей по Cl^- говорят о возможной миграции Cl^- в придорожные почвы на расстояние до 70 см от дорожного полотна, которое во многом состоит из CaCl_2 .

Таким образом, установлено, что при эксплуатации проселочной дороги без твердого покрытия, за пятилетний срок после строительства с использованием отходов отсева известняка и отходов производства хлористого кальция:

- Са, как основной химический элемент используемого в строительстве дороги отхода, не мигрирует в почвы придорожной полосы, а его содержание в пробе почвы придорожного полотна ниже фонового значения. Остальные элементы (Mg, Si, Fe, K, Mn, Sr) в почве придорожной полосы также определены в количествах, не превышающих фоновые значения;

- наблюдается миграция Cl^- из полотна дороги в почву обочины на расстоянии 70 см, приводящая к значительным превышениям фоновых показателей.

Полученные данные говорят о том, что требуется проведение дальнейших более детальных исследований о возможности использования указанных отходов в автодорожном строительстве.

⁴ Са подвижен в почве не меньше N / Итоги конференции на базе ВНИИ Агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/Y4zaIrOLk0FESTMT?ysclid=mcvmh4uyq950803343> (дата обращения: 09.07.2025).

⁵ САНПИН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс]. URL: https://nagut6.gosuslugi.ru/netcat_files/174/2801/SP123685_21.pdf (дата обращения: 09.07.2025).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Сведения об авторском вкладе

Т.А. Мусихина – подготовка первого варианта рукописи, формирование идеи, постановка задачи исследования, отбор проб.

Ю.Н. Ушакова – методическое сопровождение химических исследований, выполнение расчетов количественного содержания химических элементов.

Я.П. Погудина – выполнение анализов физико-химическими методами и систематизация данных.

Contribution of the authors

T.A. Musikhina – preparation of the first version of the manuscript, formulation of the idea, formulation of the research task, and sampling.

Yu.N. Ushakova – methodological support for chemical research, calculation of the quantitative content of chemical elements.

Ya.P. Pogudina – analysis using physical and chemical methods, data systematization.

Список источников

1. Бабенко А.А. Влияние фосфогипса и электролита травления стали на химические свойства почв рисовых чеков в условиях Ростовской области // *Мелиорация и гидротехника*. 2024. Т. 14. № 1. С. 71–78. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-71-88>
2. Германова С.Е., Фёдорова Т.А., Петухова Н.В., Рыжова Т.А., Зинченко А.В. Проблемы влияния антропогенной деятельности на экологию почв // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: естественные и технические науки*. 2023. № 1-2. С. 5–10. <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2023.01-2.04>
3. Загирова З.Б., Белов А.В., Гаджиханов А.С. Влияние загрязняющих веществ, попадающих в почву, на экологию г. Инты и г. Воркуты (Печорского угольного бассейна) // *Мониторинг. Наука и технология*. 2020. № 1(43). С. 26–32. <https://doi.org/10.25714/MNT.2020.43.004>
4. Ильин А.П., Кочетков С.П., Брыль С.В., Рухлин Г.В. Проблемы и перспективы использования вторичных продуктов переработки природных фосфатов для получения строительных материалов // *Экология и строительство*. 2016. № 4. С. 21–29.
5. Кучерова А.В., Колесников С.И., Храпай Е.С., Минникова Т.В., Кузина А.А. Оценка влияния токсического действия твёрдых коммунальных отходов на экологическое состояние почвы // *Гигиена и санитария*. 2024. Т. 103. № 1. С. 22–30. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-1-22-30>
6. Мурманцева Е.Ю. Разработка технологии утилизации оловосодержащих отходов при производстве технологического грунта // *СТИН*. 2024. № 3. С. 18–20.
7. Мусихина Т.А., Филатов В.Ю., Ганичев С.А. Переработка отходов производства фтористого водорода и хлористого кальция как фактор улучшения санитарно-гигиенической обстановки и повышения экологической безопасности // *Экология родного края: Проблемы и пути их решения. Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 1. Вятский государственный университет; Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. Киров, 2018. С. 220–223.*
8. Мусихина Т.А., Юрлов А.А., Земцова Е.А., Филатов В.Ю. Комплексная оценка токсичности речных и сточных вод, формируемых на загрязнённой промышленными отходами территории // *Теоретическая и прикладная экология*. 2021. № 4. С. 133–139. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-4-133-139>
9. Орлов Д.С., Малинина М.С., Мотузова Г.В., Садовникова Л.К. Химическое загрязнение почв и их охрана: словарь-справочник. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.
10. Скрипин Л.Н., Дюкова Н.Н., Петухова В.С., Митриковский А.Я., Ничипорук Л.С. Возможности использования промышленных отходов для химической мелиорации солонцов Сибири // *Экология и промышленность России*. 2024. Т. 28. № 2. С. 49–53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-2-49-53>
11. Филатов В.Ю., Мусихина Т.А., Шаманина Е.А. Перспективы разработки строительного материала на основе отходов производств фтористого водорода и хлористого кальция // *Общество. Наука. Инновации: сб. ст. XVIII Всерос. науч.-практ. конф., 2–28 апр. 2018 г. Т. 3. Киров: ВятГУ, 2018. С. 370–377.*
12. Фукс С.Л., Филатов В.Ю., Хитрин С.В., Девятерикова С.В. Изучение возможности снижения ртутных загрязнений почвенного слоя промзоны химического предприятия // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. № 4. С. 55–60. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-4-055-060>
13. Хрипович А.А., Тиховская Е.А. Геоэкологические факторы загрязнения почвы и подземных вод хлоридами в зоне воздействия объектов складирования галитовых отходов // *Природопользование*. 2024. № 1. С. 78–87.
14. van Sprang H.A. Fundamental parameter methods in XRF spectroscopy // *Advances in X-ray Analysis*. 2000. Vol. 42. P. 1–10.

References

1. Babenko A.A. The effect of phosphogypsum and steel pickling electrolyte on chemical characteristics of paddy soils in the conditions of the Rostov region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024. Vol. 14. Iss. 1. P. 71-78. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-71-88> (in Russian)
2. Germanova S.E., Fedorova T.A., Petukhov N.V., Ryzhova T.A., Zinchenko A.V. Problems of the impact of anthropogenic activity on soil ecology. *Contemporary Science: Current Issues in Theory and Practice. Series: Natural and Engineering Sciences*. 2023. Iss. 1-2. P. 5-10. <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2023.01-2.04> (in Russian)
3. Zagirova Z.B., Belov A.V., Gadzhikhanov A.S. Influence of the soil pollutants on the ecology of Inta and Vorkuta cities (Pechora coal basin). *Monitoring, Science and Technologies*. 2020. Iss. 1(43). P. 26-32. <https://doi.org/10.25714/MNT.2020.43.004> (in Russian)
4. Ilin A.P., Kochetkov S.P., Bryl S.V., Rukhlin G.V. Problems and prospects of usage of secondary products of processing of natural phosphates for construction materials. *Ekologiya & Stroitelstvo*. 2016. Iss. 4. P. 21-29. (in Russian)
5. Kucheroва A.V., Kolesnikov S.I., Hrapay E.S., Minnikova T.V., Kuzina A.A. Assessment of the influence of the toxic effect of municipal solid waste on the ecological state of the soil. *Hygiene and Sanitation*. 2024. Vol. 103. Iss. 1. P. 22-30. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-1-22-30> (in Russian)
6. Murmantseva E.Yu. Development of technology for the disposal of tin-containing waste in the production of man-made soil. *STIN*. 2024. Iss. 3. P. 18-20. (in Russian)
7. Musikhina T.A., Filatov V.Yu., Ganichev S.A. Recycling of hydrogen fluoride and calcium chloride production waste as a factor in improving the sanitary and hygienic situation and enhancing environmental safety. In: Ecology of the native land: Problems and ways to solve them: Proceedings of the XIII All-Russian scientific and practical conference with international participation. Book 1. Kirov: Vyatka State University; Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2018. P. 220-223. (in Russian)
8. Musikhina T.A., Iurlov A.A., Zemtsova E.A., Filatov V.Yu. Comprehensive assessment of the toxicity of river and waste waters, formed on the territory contaminated by industrial waste. *Theoretical and Applied Ecology*. 2021. Iss. 4. P. 133-139. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-4-133-139> (in Russian)
9. Orlov D.S., Malinina M.S., Motuzova G.V., Sadovnikova L.K. Chemical pollution of soils and their protection: dictionary-reference book. Moscow: Agropromizdat, 1991. 303 p. (in Russian)
10. Skipin L.N., Dyukova N.N., Petukhova V.S., Mitrikovskiy A.Ya., Nichiporuk L.S. Possibilities of Using Industrial Waste for Chemical Reclamation of Siberian Solonzes. *Ecology and Industry of Russia*. 2024. Vol. 28. Iss. 2. P. 49-53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-2-49-53> (in Russian)
11. Filatov V.Yu., Musikhina T.A., Shamanina E.A. Prospects for the development of a building material based on waste from the production of hydrogen fluoride and calcium chloride. In: Society. Science. Innovations: Collection of articles. XVIII All-Russian scientific and practical conf., 2-28 April 2018, Kirov, Russia. Vol. 3. Kirov: Vyatka State University, 2018. P. 370-377. (in Russian)
12. Fuks S.L., Filatov V.Y., Khitrin S.V., Devyaterikova S.V. Study of the possibility of reducing mercury contamination of the soil layer at the industrial zone of the chemical enterprise. *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. Iss. 4. P. 55-60. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-4-055-060> (in Russian)
13. Khripovich A.A., Tishkovskaya E.A. Geoecological factors of soil and groundwater contamination with chlorides in the zone of impact of halite waste storage facilities. *Nature Management*. 2024. Iss. 1. P. 78-87. (in Russian)
14. van Sprang H.A. Fundamental parameter methods in XRF spectroscopy. *Advances in X-ray Analysis*. 2000. Vol. 42. P. 1-10.

Поступила в редакцию / Received: 09.07.2025

Поступила после рецензирования / Revised: 26.03.2026

Принята к публикации / Accepted: 20.05.2026

Original Paper

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-79-86><https://elibrary.ru/vmraqj>

Changes in the land cover of Absheron and southeastern Gobustan under the influence of desertification processes

Ismail A. Guliyev✉

Institute of Geography PLE, Baku, Azerbaijan

✉ ismayil-guliyev@rambler.ru

Abstract. The relevance of the study is driven by the need to assess land degradation on the Absheron Peninsula and southeastern Gobustan under conditions of global climate change and intensive technogenic impact. The complex ecological background of the region, shaped by long-term oil extraction and urbanization, significantly accelerates desertification processes. The main objective of the work is to analyze the spatial-temporal dynamics of the region's land cover. The research tasks include the calculation of vegetation indices, diagnostics of the state of gray-brown soils (Calcisols), and identification of factors causing their degradation. **Material and methods.** Remote sensing data (Landsat) were used to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Field studies included semi-stationary observations at 16 plots. Laboratory analyses were conducted using the Tyurin method (organic matter) and the Kachinsky method (particle size distribution). Soil classification is based on the works of V.R. Volobuev (1966) and M.E. Salaev (1991) and is brought into line with the international WRB system. It was established that the soil cover in areas of long-term oil production has undergone severe degradation. Based on field and laboratory studies, precise quantitative parameters for four stages of gray-brown soil degradation were determined: humus content in the "A" horizon decreases from the initial 1.3-1.5% to critical values of <0.5%, absorption capacity drops from 18.5-21.5 to 15.0-17.5 meq/100g, and the soil pH shifts from weakly alkaline (7.8-8.0) to strongly alkaline (>9.0). Soil bulk density increases from 0.9-1.1 to >1.6 g/cm³, while the physical clay fraction expands from 48.0-52.5% to 76.5-78.0%. The average soil surface temperature during the 2024 growing season rises across the degradation stages from 19.4-23.1°C to 31.4-35.2°C, correlating with a decline in projective vegetation cover from 55-60% to 0-5%. The analysis showed that on the Absheron Peninsula, technogenic factors prevail over natural ones. However, sustainable anthropogenic measures (the development of almond and olive plantations) demonstrate high potential for soil fertility restoration during the initial stages.

Keywords: NDVI, remote sensing, soil degradation, technogenic impact, urboecosystems, semi-stationary observations, arid zones.

For citation: Guliyev I.A. Changes in the land cover of Absheron and southeastern Gobustan under the influence of desertification processes. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2026. Vol. 12. Iss. 1. P. 79–86. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-79-86>. EDN VMRAQJ.

Оригинальная исследовательская статья

УДК 911.52:631.459(479.24)

Изменения наземного покрова Апшерона и юго-восточного Гобустана под влиянием процессов опустынивания

Исмаил Ахлиман Гулиев✉

Институт географии ПЮЛ, г. Баку, Азербайджан

✉ ismayil-guliyev@rambler.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью оценки деградации земель Апшеронского полуострова и юго-восточного Гобустана в условиях глобального изменения климата и интенсивного техногенного воздействия. Сложный экологический фон региона, сформированный длительной нефтедобычей и урбанизацией, существенно ускоряет процессы опустынивания. Основная цель работы заключается в анализе пространственно-временной динамики наземного покрова региона. В задачи исследования входит расчет вегетационных индексов, диагностика состояния серо-коричневых почв (Calcisols) и выявление факторов их деградации. **Материал и методика.** Для расчета нормализованного относительного вегетационного индекса (NDVI) использовались данные дистанционного зондирования (Landsat). Полевые исследования включали полустационарные наблюдения на 16 площадках. Лабораторные анализы проводились с использованием метода Тюрина (органическое вещество) и метода Качинского (гранулометрический состав). Классификация почв основана на трудах В.Р. Волобуева (1966) и М.Э. Салаева (1991) и приведена в соответствие с международной системой WRB.

© Гулиев И.А., 2026



Установлено, что почвенный покров в зонах длительной нефтедобычи подвергся сильной деградации. На основе полевых и лабораторных исследований определены точные количественные параметры четырех стадий деградации серо-коричневых почв: содержание гумуса в горизонте «А» снижается от начальных 1,3-1,5% до критических значений <0,5%, емкость поглощения падает с 18,5-21,5 до 15,0-17,5 мг-экв/100г, а реакция среды смещается от слабощелочной (рН 7,8-8,0) до сильнощелочной (рН >9,0). Плотность почвы возрастает с 0,9-1,1 до >1,6 г/см³, а содержание физической глины увеличивается с 48,0-52,5% до 76,5-78,0%. Средняя температура поверхности почвы в вегетационный период 2024 г. увеличивается по стадиям деградации от 19,4-23,1°C до 31,4-35,2°C, что коррелирует с сокращением проективного покрытия вегетации с 55-60% до 0-5%. Анализ показал, что на Апшероне техногенные факторы преобладают над природными. Однако устойчивые антропогенные мероприятия (развитие плантаций миндаля и оливы) на начальных этапах демонстрируют высокий потенциал восстановления плодородия почв.

Ключевые слова: NDVI, дистанционное зондирование, деградация почв, техногенное воздействие, урбоэкосистемы, полустационарные наблюдения, аридные зоны

Для цитирования: Guliyev I.A. Changes in the land cover of Absheron and southeastern Gobustan under the influence of desertification processes // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2026. Т. 12. № 1. С. 79-86. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-79-86>. EDN VMRAQJ. (In English)

Introduction

In the XXI century, studying the desertification process in arid regions of the world and developing comprehensive measures against it are considered extremely important problems. This global concern is particularly salient in regions like Azerbaijan, where arid and semi-arid landscapes are highly susceptible to ecological degradation, with nearly 60% of pasture lands experiencing desertification (Mammadova et al., 2024; Qurbanov, Mustafayev, 2022). Currently, in regions that are experiencing desertification, a significant amount of financial resources are required to partially alleviate the effects of this process. One of the regions where the problem is relevant is the Caspian coastal region. This region is exposed to the negative effects of the arid and extra-arid regime of Central Asia along a wide front from the east. The Absheron Peninsula, which is our research region, and the adjacent southeastern Gobustan geographical area are also at the center of influence of this process. This place, having extreme conditions in terms of nature within the Republic, is also highly exposed to anthropogenic impact. The territory, almost as a whole, forms a complex urban ecosystem.

The gray, gray-brown, and partially light gray-brown soils formed in the study area have been highly degraded in the arid stage and have undergone structural and functional disruptions.

The absolute altitude in the study area and its adjacent geographical territory ranges from -28 m to 200-400 m. In terms of climate, the area is characterized by its aridity. Moving from the northwest to the southeast, towards the Caspian Sea, the altitude decreases while aridity increases; consequently, automorphic soil-forming conditions are replaced by semi-hydromorphic and hydromorphic conditions. The average annual temperature fluctuates between 13°C and 14.5°C. The average temperature of the coldest month (January) ranges from 0.2°C to 2.1°C, while the hottest month (July) ranges from +20°C to +27°C. The sum of active temperatures above 10°C is between 4200°C and 4800°C. In the areas where gray and gray-brown soils are formed, the annual precipitation varies between 110 mm and

232 mm. The vegetation primarily consists of the wormwood-ephemeral group.

According to D.I. Shasko's humidity index (Md), more than 60% of the Republic of Azerbaijan consists of dry, semi-arid and arid areas (Ayyubova A.D., Hajiyevev, 1984).

Absheron and southeastern Gobustan have the lowest Md index, at 0.10-0.15. In some areas of the study region, this index is <0.10.

For many years, geographical literature discussing the nature of Azerbaijan has described the Caspian coastal region, including Absheron and southeastern Gobustan, as an arid area and evaluated as a semi-desert bioclimatic zone. In geobotanical studies, the vegetation cover of these areas is given as desert vegetation. From the point of view of existing criteria and comparison, we consider both approaches correct. Thus, soil scientists and geobotanists indicate these components as indicators. In Absheron and southeastern Gobustan, both components reflect the characteristic of the desert. From a geographical perspective, aridity is based on climatic indicators. A number of indices are known in this direction (Budyko, 1974; Dobrovolskiy, 2002; Zonn, Orlovskiy, 1984). According to these indices, the territory of the Republic of Azerbaijan is included in the semi-arid zone. However, there are areas on the western coast of the Caspian Sea that have undergone rapid desertification and local desertification foci have formed. These lands have gradually been degraded against the background of the interaction of natural and anthropogenic factors, have lost their biological function, and have undergone serious compositional changes.

Fundamental studies on the justification and typology of desertification at the global and regional levels were conducted by Zonn (Zonn, 1983; Zonn, 1995). On a regional scale, the desertification process in the Caspian coastal region was studied and assessed by Bananova^{1, 2}, Zalibekov (Zalibekov, 2002), and Rozanov (Rozanov, 1986). Despite these fundamental works, the rapid transformation of the Absheron Peninsula's landscape under the dual pressure of climate change and intensive industrialization requires a more detailed, modern assessment using remote sensing and precise soil diagnostics.

¹ Bananova V.A. Vegetation cover of the Kalmyk ASSR and its current state. In: Regional floristic research and methods of teaching botanical disciplines. Kuban State University, 1986. P. 34-40. (in Russian)

² Bananova V.A. Anthropogenic desertification of arid territories of Kalmykia. Doctor's Dissertation Abstract of Sciences in Geography. Ashgabat, 1994. 44 p. (in Russian)

The aim of this research is to evaluate the spatial and temporal dynamics of land cover transformation in the Absheron Peninsula and southeastern Gobustan under the influence of contemporary desertification processes.

Research object, materials and methods

The study area geographically surrounding the Caspian coastal region covers an area of about 310 thousand ha. This is an arid area in terms of nature, intensively exposed to the influence of exodynamic processes, and is exposed to anthropogenic impact increasing every day and every hour. In such an area, a methodologically correct approach to the problem is required to assess the impact of the desertification process on the surrounding land cover.

The soil classification of the study area was conducted in accordance with the principles of genetic soil science in Azerbaijan (based on the works of V.R. Volobuev (1966) and M.E. Salaev (1991)). The primary soil types in the region are gray-brown, gray, and light gray-brown soils. According to the international WRB (World Reference Base for Soil Resources) classification, these soil units are identified as Calcic Castanozems and Gypsic Cambisols.

The development and assessment of the concept of anthropogenic desertification against the background of the modern nature of the Absheron Peninsula and southeastern Gobustan is quite difficult from the point of view of a methodological approach. Because the process is under mutual influence. Therefore, during field studies, different

observation and experimental areas were selected, taking into account the degree of natural and anthropogenic impact (fig. 1 / рис. 1).

The analysis on various soil and water samples was determined based on a general chemical method. These analyses reflect a number of physical and chemical indicators of the soil.

To assess the dynamics of anthropogenic desertification during the 2014-2024 period, key semi-stationary monitoring plots (fig. 1 / рис. 1) were established, differing in the degree and nature of technogenic load (oil extraction areas, agricultural lands, urbanized landscapes). Soil sampling was conducted from genetic horizons and fixed layers (0–20 cm, 20–40 cm) using the envelope method. The physicochemical properties of the soils were determined using standard methodologies commonly accepted in soil science.

Total humus content: determined by the Tyurin wet combustion method (oxidation of organic matter with a potassium dichromate solution in sulfuric acid); Particle size distribution: determined by the Kachinsky pipette method with preliminary sample preparation using sodium pyrophosphate. The content of the "physical clay" fraction (<0.01 mm) was evaluated; Water extract (salinity): the analysis of the total content of easily soluble salts, the composition of anions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-}), and cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) was conducted using titration and flame photometry.

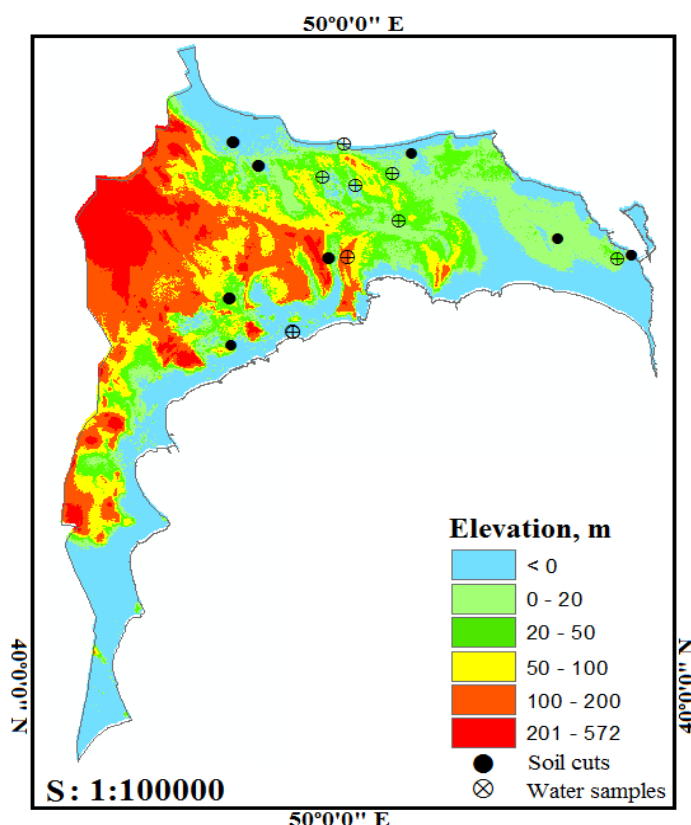


Fig. 1. The study region and selected sample and experimental sites

Рис. 1. Исследуемый регион и выбранные участки для отбора проб и проведения экспериментов

When assessing the impact of anthropogenic processes on land cover, monitoring results of desertification processes conducted in different years in the Caspian coastal regions were used.

According to thematic maps with different content compiled based on Landsat 7, 8 satellite images reflecting different years, negative and positive directions of anthropogenic processes were determined.

Results and discussions

First, the impact of the deflation process on different ecosystems of gray-brown soils widespread in the study region was studied. Based on the experience gained in 2024-2025, the amount of different soil fractions transported and deposited under the influence of winds in various landscapes of the northern part of the Absheron Peninsula and southeastern Gobustan was calculated. Thus, according to our calculations, in the area of the Novkhani experimental site in the northwest of the Absheron Peninsula (geographical coordinates: 49°47'26.647"E 40°34'23.035"N), where the projective cover consisting of ephemerals is 25-30%, the amount of particles consisting of various fractions transported from the soil surface as a result of deflation varies between 2.5-3.0 tons/year. In the Balakhani oil production region (geographical coordinates: 49°54'1.545"E 40°27'35.102"N), the average project cover of ephemerals in the allocated experimental area is 25-30%. The annual amount of soil fractions blown away as a result of deflation was 3.5-4.0 t. However, in the eastern part of Absheron, within the Dubendi area (geographical coordinates: 50°17'56.058"E 40°24'7.457"N), the projective cover was 45-50%, and this amount changed between 1.5-1.6 t. as a result of deflation within a year.

In the gray-brown soils of southeastern Gobustan, under a 3-4 year-old olive grove (geographical coordinates: 49°48'2.971"E 40°24'5.594"N), the projective cover was 35-40%, and the material removed was calculated to be 2.5-3.0 tons/year. In the territory of Garadagh district of southeastern Gobustan (geographical coordinates: 49°42'27.358"E 40°15'46.425"N), the projective cover was 0%, and the material removed in the area completely devoid of plants was 11-12 tons/year.

The evolution and degradation of soils in various ecosystems of the study area are related to the functional activity of biological factors. That is, the geobotanical characteristics of plants, their biomass and the length of the soil-plant relationship, that is, the vegetation period. In the

natural environment of the semi-desert and desert areas of the region, the normal vegetation period in the phytocenosis consisting of ephemerals and ephemerooids begins in early March and lasts until the end of May. The increase in evaporation capacity, a sharp decrease in actual humidity, and disruption of the transpiration process in the summer months lead to a weakening of biological activity in the soil. At this time, only some representatives of halophytes are found.

One of the main objectives of our research is to quantitatively and qualitatively assess the changes in the organic and mineral components of the soil and the resulting changes in the soil processes under the interaction of natural and anthropogenic factors against the backdrop of the desertification process. This process ultimately leads to salinity, salinization and erosion.

In the Absheron Peninsula and southeastern Gobustan, the process of soil degradation has progressed very rapidly against the backdrop of desertification. In many places, the humus horizon of the soil has completely disappeared, and the soil-forming rocks have come to the surface. Thus, desertification hotbeds have formed in many parts of the territory. The disappearance of the soil layer of the territory and the emergence of the parent rock to the surface are proceeding at the same speed. This process has been faster mainly in southeastern Gobustan, in the technogenic landscapes of the western and southeastern parts of Absheron, as well as in the oil production regions. In the XXI century, steps taken to improve the environment against the backdrop of the rapid expansion of the urban ecosystem in some areas of the Absheron Peninsula and southeastern Gobustan have significantly weakened the impact of the desertification process on the soil cover. In the thematic maps of land use/land cover compiled based on space images and sensor data, over the past decade, settlements have increased by 3%, cropland by 1%, and pastures and meadows by about 1%, while, on the contrary, badlands, wetlands, and aquatic ecosystems have decreased in the study region (fig. 2 / рис. 2).

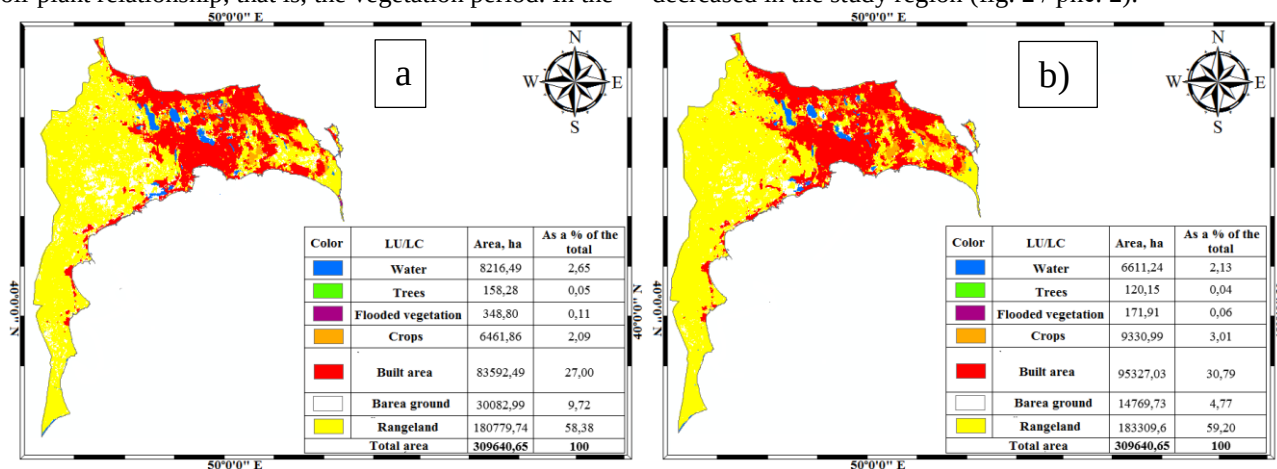


Fig. 2. Land use/land cover (LU/LC): a – 2014; b – 2024

Рис. 2. Использование земель и наземный покров (LU/LC): а – 2014 г.; б – 2024 г.

Based on the analysis of the normalized vegetation index (NDVI) map of the last ten years, significant changes are observed in the study area. Thus, when comparing the data of 2014 with the data of 2024, a large difference can be seen (fig. 3 / рис. 3) This difference can also be seen

from the soil surface moisture maps (fig. 4 / рис. 4) That is, compared to 2014, the average and good indicators in the 2024 classification decreased, while the very poor indicator increased by more than 7%.

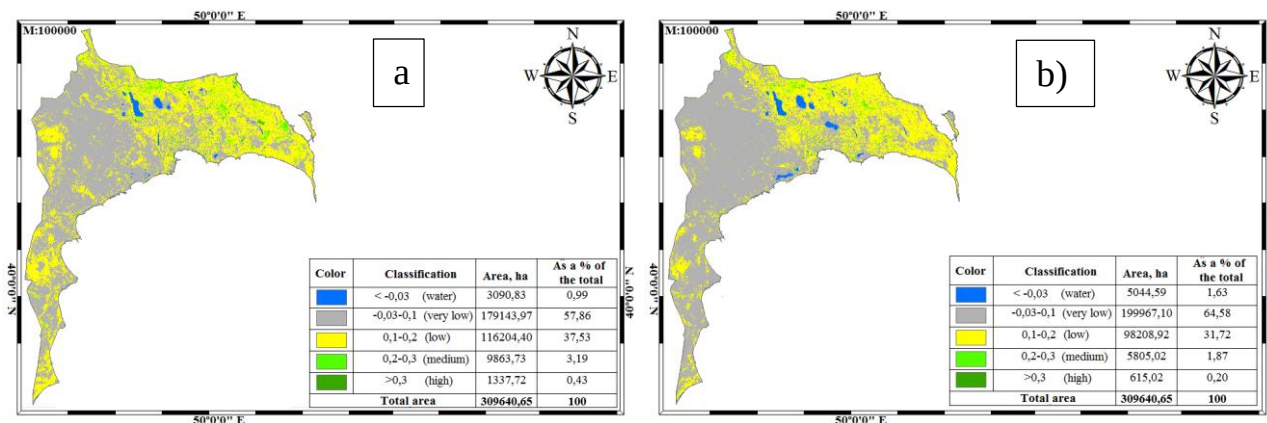


Fig. 3. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): a – 2014; b – 2024

Рис. 3. Нормализованный относительный вегетационный индекс (NDVI): а – 2014 г.; б – 2024 г.

As can be seen from the soil moisture map, the moisture index for almost all categories was lower in 2024 compared to 2014. This difference is due to the difference in atmospheric precipitation during the vegetation period of

those years, as well as the acceleration of the urbanization process in Absheron and southeastern Gobustan in the last ten years, the expansion of the construction sector, in short, the increase in anthropogenic impact.

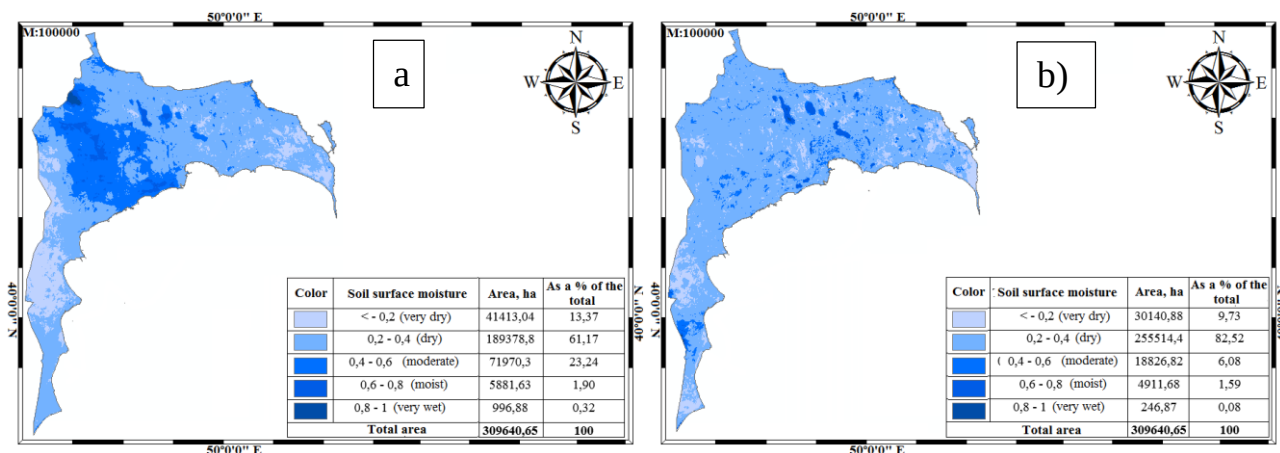


Fig. 4. Soil surface moisture: a – 2014; b – 2024

Рис. 4. Влагосодержание поверхностного слоя почвы: а – 2014 г.; б – 2024 г.

Under the long-term natural and anthropogenic impact on the Absheron Peninsula and southeastern Gobustan, the soil cover has been subjected to degradation and replaced by weathering products of the parent rock. The different speed of this process within the study area is due to the intensity of natural and anthropogenic processes. In the eastern part of the Absheron Peninsula, human economic activity in a positive direction has weakened the negative impact of natural processes on the territory, and on the contrary, intra-soil processes have begun to develop in a positive direction. In the west, southwest of Absheron and in southeastern Gobustan, anthropogenic activity in a negative direction has, on the contrary, increased the impact of negative natural processes on the soil cover. Thus, the processes of erosion, denudation, salinization have given the soils of the territory irreversible and recoverable properties. They determine the course of soil

degradation. Thus, after completely losing organic matter, the soil gradually turns into geological sediments. The degree of soil degradation is assessed in accordance with the desertification classes.

When applying the assessment to the territory's soils, multi-year field research, laboratory analysis results, and comparative analysis of space images were used. At the same time, fundamental research works carried out in this direction in the Caspian coastal region were also taken into account (Babayev, Bayramov, 1965; Kharin, 1985; Meige, 1955; Nechaeva et al., 1978; Rozanov, 1986). Land degradation development in the Absheron Peninsula and southeastern Gobustan was carried out within the range of gray-brown soils (tabl. 1 / табл. 1).

The initial stage of degradation of gray-brown soils of the study area reflects the diagnostic signs of these soils. Thus, in terms of physical properties of the soil, its density

is 0.9-1.1 g/cm², which ensures normal infiltration both during artificial irrigation and during atmospheric precipitation.

The initial stage of degradation from the western to the eastern part of the Absheron Peninsula covers a wider area. Here, the expansion of olive and almond orchards in the form of large massifs has weakened the negative impact of natural exodynamic processes on the soil. As a result of positive human economic activity, the indicators of nutrients have undergone less transformation compared to

the norm. In the "A" horizon of the soil, total humus varies between 1.3-1.5%, total nitrogen between 0.14-0.15%. At this stage, the upper horizon of the soil meets the criteria for weak salinization (0.03-0.1%).

The last month of the spring season and the lack of moisture in the summer season manifest themselves throughout the entire territory of the study region, and ephemeral plants completely dry out, only holophyte shrubs survive and tolerate these environmental conditions.

Table 1

Development stages of degradation of gray-brown soils of Absheron and southeastern Gobustan

Таблица 1

Этапы развития деградации серо-коричневых почв Апшерона и Юго-Восточного Гобустана

Indicators	Degradation class			
	beginning	mild	severe	very severe
Amount of humus in the «A» horizon, %	1.3-1.5	1.0-1.2	0.5-0.9	<0.5
Salinity, salt content, %	weakly saline	moderately saline	heavily saline	saline
Absorption capacity, in 100 g of soil, mg/eq	18.5-21.5	17.5-20.0	15.0-17.5	17.0-18.0
Soil density, g/cm ³	0.9-1.1	1.2-1.3	1.5-1.6	>1.6
pH (H ₂ O)	7.8-8.0	8.4-8.6	8.8-9.0	>9.0
Physical clay <0.01 mm, %	48.0-52.5	50.0-56.5	62.5-68.5	76.5-78.0
Soil surface temperature, 2024, average for the growing season, °C	19.4-23.1	23.2-24.9	26.6-28.5	31.4-35.2
Projective vegetation cover, %	55-60	35-60	0-35	5-0

Changes in the morphological description of gray-brown soils that have undergone moderate degradation are evident. Thus, the decrease in the amount of organic matter in these soils also affected their physical indicators. The density of the solid phase of the soil increased to 1.2-1.3 g/cm³, and the environmental reaction of the soil changed from weakly alkaline to alkaline. Signs of salinity and salinization are evident in the soil process. The type (Na₂SO₄), (NaCl), (CaSO₄), which is mainly sulfate and chloride in nature, was formed. The quantitative indicator corresponds to the degree of moderate salinization (0.1-0.3%).

The total humus content in the upper horizon of gray-brown soils, which have been subjected to severe desertification, is below unity. It is difficult to determine the amount of nitrogen by chemical analysis. The density

of the solid phase of the soil at this stage varies between 1.5-1.6 g/cm³. It has a heavy mechanical composition according to the physical clay index. The total salt content in the soil profile varies between 0.278-0.716%. Salinity corresponds to severe salinity (0.3-0.7%). Here, the environmental reaction of the soils in water solution is 8.8-8.0, and the project cover of highly alkalized plants is 0-35%.

Very severe degradation is localized in the study area, covering the low-lying areas of Absheron, oil-producing regions, and the Caspian coastal regions of southeastern Gobustan (fig. 5, 6 / рис. 5, 6). Here, the soil cover is almost completely devoid of organic matter, and total humus and total nitrogen were not observed in the upper horizon of some samples of the deposited soil sections.



Fig. 5. Technogenically disturbed gray-brown soils of the Balakhani oil extraction area in Baku

Рис. 5. Техногенно нарушенные серо-коричневые почвы Балаханского нефтедобывающего района в Баку



Fig. 6. Severe deflation process to underdeveloped gray-brown soils of southeastern Gobustan

Рис. 6. Сильная дефляция неразвитых серо-коричневых почв юго-восточного Гобустана

The soil density was $> 1.6 \text{ g/cm}^3$. The total salt content in the upper horizon of gray-brown soils, which were subjected to a very severe desertification process, varies between 1.564-2.0314%. According to the results of the full water gravity analysis of the moving dust fractions, the amount of salts was 0.5898-0.5647%. The environmental reaction in the water solution is highly alkaline.

The level fluctuations of the Caspian Sea also have a great influence on the course of the desertification process in the Absheron Peninsula and southeastern Gobustan. As a result of the decrease in sea level, the aquatic ecosystem has decreased by 0.52% of the total area in the last decade. The deflation process characteristic of the area has caused the destruction of the upper layer of soils by spreading mobile fractions around, accelerating the salinity process in the surrounding areas.

Conclusion

1. The direction of the desertification process is justified: in the oil production regions of the western part of the Absheron Peninsula and in the natural landscapes of

southeastern Gobustan, the increase in the impact of the eolian process on the soil cover as a result of the increase in anthropogenic impact; deflation as a result of the fluctuation of the Caspian Sea level, exposing the surrounding soil cover to salinity and salinization; dehumification of nutrients against the background of temperature and humidity deficiency, deterioration of the physical properties of soils. Overall, these processes have created hotbeds of desertification in the area.

2. Human economic activity has weakened the impact of desertification on soils in a positive direction and created conditions for the development of the soil process in a positive dynamic. In the eastern part of the Absheron Peninsula, gray-brown soils under almond and olive groves are developing in a positive dynamic.

3. Regional and general characteristics of desertification of the lands of Absheron and southeastern Gobustan: the periodic nature of the migration and transformation of substances, which includes the loss of the biologically active layer of soils, and the emergence of soil-forming rocks to the surface.

Funding

The article was prepared in connection with the scientific report entitled «Desertification of the lands of Absheron Peninsula and South-East Gobustan and development of complex measures to combat it» (2024-2026), which was included in the work of the Institute of Geography PLE of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan.

Финансирование

Статья подготовлена в связи с научным докладом «Опустынивание земель Апшеронского полуострова и Юго-Восточного Гобустана и разработка комплексных мер по борьбе с ним» (2024–2026 гг.), который был включен в работу Института географии ПЮЛ Министерства науки и образования Азербайджанской Республики.

Conflicts of interest

The author declares no conflicts of interest.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Ayyubova A.D., Hajiyev G.A. Climate resources of the Azerbaijan SSR. Baku: Elm, 1984. 131 p. (in Azerbaijani)
2. Babayev A.G., Bayramov S.B. Actual problems of conservation and rational use of arid zone ecosystems. *Problems of Desert Development*. 1965. Iss. 4. P. 14-20. (in Russian)
3. Budyko M.I. Climate change. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974. 280 p. (in Russian)
4. Dobrovol'skiy G.V. Soil degradation and protection. Moscow: MSU, 2002. 654 p. (in Russian)

5. Kharin N.G. Complex desertification maps and methods of their compilation using space imagery. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 1985. Iss. 1. P. 52-59. (in Russian)
6. Mammadova A.O., Mammadova R.N., Ashurova N.D. Ecological assessment of pastures semi-deserts and dry steppes of Azerbaijan. *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS)*. 2024. Vol. 13. Iss. 2. P. 439-446. <https://doi.org/10.11591/ijaas.v13.i2.pp439-446>
7. Meige P. Distribution of arid and semi-arid homoclimates on the globe. In: *Gidrogeologiya i gidrologiya aridnoy zony zemnogo shara*. Moscow: Inostrannaya literature, 1955. P. 337-351. (in Russian)
8. Nechaeva N.T., Shamsutdinov Z.Sh., Mukhammedov G.M. Improvement of desert pastures in Central Asia. Ashgabat: Ylym, 1978. 15 p. (in Russian)
9. Qurbanov E.A., Mustafayev M.G. Assessment of degradation of semidesert and arid steppe field landscapes and pasture lands under the condition of modern climate change. *Environmental Safety and Natural Resources*. 2022. Vol. 43. Iss. 3. P. 56-63. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.3.56-63>
10. Rozanov B.G. Land resources of the arid belt of the USSR, their rational use and protection. *Problems of Desert Development*. 1986. Iss. 2. P. 22-28. (in Russian)
11. Salaev M.E. Diagnostics and classification of soils of Azerbaijan. Baku: Elm, 1991. 236 p. (in Russian)
12. Volobuev V.R. Ecological-genetic analysis of the soil cover of Azerbaijan. Baku: Elm, 1966. 183 p. (in Russian)
13. Zalibekov Z.G. Changes in soil cover under the influence of desertification processes. *Eurasian Soil Science*. 2002. Iss. 12. P. 1445-1451. (in Russian)
14. Zonn I.S., Orlovskiy N.S. Desertification: strategy of struggle. Ashgabat: Ylym, 1984. 317 p. (in Russian)
15. Zonn S.V. Desertification processes on different continents. In: Zonn S.V. Modern problems of soil genesis and geography. Moscow: Nauka, 1983. P. 45-48. (in Russian)
16. Zonn S.V. Weathering, soil formation, ancient weathering crusts. *Eurasian Soil Science*. 1995. Iss. 3. P. 381-389. (in Russian)

Список источников

1. Айюбова А.Д., Гаджиев Г.А. Климатические ресурсы Азербайджанской ССР. Баку: Элм, 1984. 131 с. (на Азербайджанском)
2. Бабаев А.Г., Байрамов С.Б. Актуальные проблемы сохранения и рационального использования экосистем аридной зоны // *Проблемы освоения пустынь*. 1965. № 4. С. 14–20.
3. Будыко М.И. Изменение климата. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 280 с.
4. Добровольский Г.В. Деграция и охрана почв. М.: МГУ, 2002. 654 с.
5. Харин Н.Г. Комплексные карты опустынивания и методика их составления по космическим снимкам // *Исследование Земли из космоса*. 1985. № 1. С. 52–59.
6. Mammadova A.O., Mammadova R.N., Ashurova N.D. Ecological assessment of pastures semi-deserts and dry steppes of Azerbaijan // *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS)*. 2024. Vol. 13. Iss. 2. P. 439–446. <https://doi.org/10.11591/ijaas.v13.i2.pp439-446>
7. Мейдже П. Распределение на земном шаре аридных и полуаридных гомоклиматов // *Гидрогеология и гидрология аридной зоны земного шара*. М.: Иностранная литература, 1955. С. 337–351.
8. Нечаева Н.Т., Шамсутдинов З.Ш., Мухаммедов Г.М. Улучшение пустынных пастбищ Средней Азии. Ашхабад: Ылым, 1978. 15 с.
9. Qurbanov E.A., Mustafayev M.G. Assessment of degradation of semidesert and arid steppe field landscapes and pasture lands under the condition of modern climate change // *Environmental Safety and Natural Resources*. 2022. Vol. 43. Iss. 3. P. 56–63. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.3.56-63>
10. Розанов Б.Г. Земельные ресурсы аридного пояса СССР, их рациональное использование и охрана // *Проблемы освоения пустынь*. 1986. № 2. С. 22-28.
11. Салаев М.Э. Диагностика и классификация почв Азербайджана. Баку: Элм, 1991. 236 с.
12. Волобуев В.Р. Эколого-генетический анализ почвенного покрова Азербайджана. Баку: Элм, 1966. 183 с.
13. Залибеков З.Г. Изменение почвенного покрова под влиянием процессов опустынивания // *Почвоведение*. 2002. № 12. С. 1445–1451.
14. Зонн И.С., Орловский Н.С. Опустынивание: стратегия борьбы. Ашхабад: Ылым, 1984. 317 с.
15. Зонн С.В. Процессы опустынивания на различных континентах // Зонн С.В. Современные проблемы генезиса и географии почв. М.: Наука, 1983. С. 45–48.
16. Зонн С.В. Выветривание, почвообразование, древние коры выветривания // *Почвоведение*. 1995. № 3. С. 381–389.

Поступила в редакцию / Received: 02.03.2026

Поступила после рецензирования / Revised: 16.04.2026

Принята к публикации / Accepted: 20.05.2026

