

Научный журнал
Издается с 2015 г.

ISSN 2410-8553

Периодичность выхода журнала с 2021 года **2 номера в год**
(до 2021 года журнал выходил 1 раз в год).

В журнале «Антропогенная трансформация природной среды» представлены оригинальные и обзорные статьи, краткие сообщения по геоэкологическим проблемам, научные результаты исследований взаимодействия человека и природы, соответствующие трем тематическим разделам:

- **Трансформация природной среды** ИЛИ **Pollution** (по классификации Scopus)
- **Сохранение природной среды** ИЛИ **Nature and Landscape Conservation** (по классификации Scopus)
- **Палеоэкология и Палеогеография** ИЛИ **Earth-Surface Processes** (по классификации Scopus)

Предпочтение отдается статьям на геоэкологической, географической, биогеоценотической, биогеохимической, биологической основе.

Журнал представляет интерес для исследовательских институтов; учебных заведений, дающих высшее профессиональное образование и осуществляющих научную деятельность; научных библиотек и ученых, работающих в области геоэкологии, экологии, сохранения и восстановления природы.

Журнал индексируется в системах:

Российский индекс научного цитирования

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Сергей Алексеевич Бузмаков – заведующий кафедрой биогеоценологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета, профессор, доктор географических наук.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Валентина Сергеевна Артамонова – ведущий научный сотрудник Института почвоведения и агрохимии СО РАН, доктор биологических наук;

Александр Николаевич Бармин – профессор кафедры экологии, природопользования, землеустройства и безопасности жизнедеятельности Астраханского государственного университета, доктор географических наук;

Елена Ильинична Голубева – профессор по кафедре рационального природопользования географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор, доктор биологических наук;

Дарья Олеговна Егорова – старший научный сотрудник лаборатории микробиологии техногенных экосистем Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, доцент, доктор биологических наук;

Маргарита Михайловна Редина – профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции Института экологии РУДН имени Патриса Лумумбы, доцент, доктор экономических наук;

Павел Юрьевич Санников – доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета, кандидат географических наук;

Андрей Владимирович Сорочин – директор научно-исследовательского института экологии и рационального использования природных ресурсов при Тюменском государственном университете, профессор, доктор биологических наук;

Юрий Александрович Федоров – заведующий кафедрой физической географии, экологии и охраны природы Института наук о Земле Южного федерального университета, профессор, доктор географических наук;

Александр Петрович Хаустов – ведущий специалист, профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции Института экологии РУДН имени Патриса Лумумбы, профессор, доктор геолого-минералогических наук;

Вера Павловна Чижова – ведущий научный сотрудник кафедры физической географии и ландшафтоведения географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, кандидат географических наук;

Андрей Николаевич Шихов – профессор кафедры картографии и геоинформатики Пермского государственного национального исследовательского университета, доцент, доктор географических наук;

Людмила Сергеевна Шумиловских – научный сотрудник кафедры палинологии и динамики климата Гёттингенского университета им. Георга-Августа (Германия), кандидат биологических наук.

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Адрес учредителя: 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Адрес редакции: 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15, географический факультет, кафедра биогеоценологии и охраны природы

Scientific journal

ISSN 2410-8553

Published since 2015

The frequency of the journal's publication from 2021 is **2 issues per year**
(until 2021 the journal was published once a year).

The journal “**Anthropogenic Transformation of Nature**” presents original papers, review papers and short communications articles addressed to geoeological problems, scientific questions of interaction of Man and Nature. All material in the Journal should correspond to three thematic sections:

- **Nature and Landscape Conservation** (Scopus classification)
- **Pollution** (Scopus classification)
- **Earth-Surface Processes** (Scopus classification)

Articles on a geoeological, geographical, ecosystem, biogeochemical, biological basis are preferred.

The journal is of interest to research institutes; educational institutions providing higher professional education and carrying out scientific activities; scientific libraries and scientists working in the field of geoeology, ecology, conservation and restoration of nature.

The journal is indexed in systems:

Russian Science Citation Index

EDITOR-IN-CHIEF

Sergei A. Buzmakov Chair of the Department of Biogeocenology and Nature Protection, Perm State University, Doctor of Sciences in Geography.

EDITORIAL BOARD

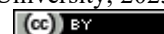
Valentina S. Artamonova	Leading Scientific Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry (Siberian Branch of Russian Academy of Sciences – Russia), Doctor of Sciences in Biology.
Alexander N. Barmin	Professor of Ecology, Nature & Land Management & Safe Vital Activities Department, Astrakhan State University, Doctor of Sciences in Geography;
Elena I. Golubeva	Professor of the Environmental Management Department, Lomonosov Moscow State University, Doctor of Sciences in Biology;
Darya O. Egorova	Senior Scientific Researcher of the Laboratory of Technogenic Ecosystems Microbiology, Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms (Ural Branch of Russian Academy of Sciences), Doctor of Sciences in Biology;
Margarita M. Redina	Professor of the Department of Environmental Safety and Product Quality Management of the Institute of Ecology of the Patrice Lumumba People's Friendship University, Doctor of Economic Sciences;
Pavel Yu. Sannikov	Associate Professor of the Department of Biogeocenology and Nature Protection, Perm State University, PhD in Geography;
Andrey V. Soromotin	Director of the Research Institute of Ecology and Natural Resource Management, University of Tyumen, Doctor of Sciences in Biology;
Yuri A. Fedorov	Chair of the Department of Physical Geography, Ecology and Nature Conservation, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Doctor of Sciences in Geography;
Alexander P. Khaustov	Leading specialist, Professor of the Department of Environmental Safety and Product Quality Management of the Institute of Ecology, Patrice Lumumba People's Friendship University, Doctor of Sciences in Geology;
Vera P. Chizhova	Leading Researcher of the Department of Physical Geography and Landscape Science of Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, PhD in Geography;
Andrey N. Shikhov	Professor of the Department of Cartography and Geoinformatics, Perm State University, Doctor of Sciences in Geography;
Lyudmila S. Shumilovskikh	Scientific Researcher of the Department of Palynology and Climate Dynamics, Georg-August-University of Göttingen, PhD in Biology.

Founder: Perm State University

Founder address: 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Editorial office address: 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia,
Faculty of Geography, Department of Biogeocenology and Nature Protection

© Perm State University, 2025



СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Бузмаков С.А., Абдулманова И.Ф., Шестаков И.Е., Кучин Л.С., Исаков Д.С., Систерова А.В. Урбанизация как фактор антропогенной трансформации природной среды в долине малой реки Зеленки	6
Кочкарев П.В., Зарубин Д.С., Маковская С.А. Авиационный учет таймырской популяции дикого северного оленя (<i>Rangifer tarandus</i>) в 2024 году	24
Панченко Д.В. Распределение лесного северного оленя (<i>Rangifer tarandus fennicus</i> Lönnb.) в национальном парке «Паанаярви»	30
Красильников П.А., Брызгалов Т.С., Лавров И.А., Красильникова С.А. Международный и российский опыт охраны подземных полостей	35

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Иванова О.А. Техногенная трансформация природной среды на территории Кизеловского угольного бассейна: экологические проблемы и пути рекультивации	49
Белогубкин А.А. Формирование геохимической ситуации под влиянием упорядоченных антропогенных и природно-антропогенных потоков веществ в условиях урбанизации	61

CONTENTS

SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

Buzmakov S., Abdulmanova I., Shestakov I., Kuchin L., Isakov D., Systerova A. Urbanization as a factor of anthropogenic transformation of the nature in the valley of the small river Zelenka	6
Kochkarev P., Zarubin D., Makovskaya S. Aviation census of the Taymyr wild reindeer population (<i>Rangifer tarandus</i>) in 2024.....	24
Panchenko D. Distribution of wild forest reindeer (<i>Rangifer tarandus fennicus</i> Lönbn.) in Paanajärvi National Park	30
Krasilnikov P., Brizgalov T., Lavrov I., Krasilnikova S. International and Russian experience in protecting underground cavities.....	35

SECTION 2. POLLUTION

Ivanova O. Technogenic transformation of the natural environment of the Kizelovsky coal basin: environmental problems and ways of reclamation	49
Belogubkin A. Formation of the geochemical environment under the influence of linear anthropogenic and natural-anthropogenic substance flows in urban areas	61



Искусственный интеллект проникает во все сферы учебной и научной жизни, пытается подняться от уровня бредогенератора до составителя учебно-методических комплексов и даже литературных обзоров. Все это значительно усложняет деятельность редакции, но мне кажется, что пока мы вполне справляемся с выявлением неадекватного применения ИИ.

Изучению проблем антропогенной трансформации природной среды в условиях урбанизации в долине малой реки Зеленки посвящено исследование большого коллектива авторов. Такого рода труд проистекает из нужд природоохранной практики в городе Перми по формированию «зеленого кольца» в столице региона. Постепенно придет и теоретическое осмысление.

У нас есть два исследования по дикому северному оленю (*Rangifer tarandus*). П.В. Кочкарев, Д.С. Зарубин и С.А. Маковская сообщают об авиационном учете таймырской популяции северного оленя в 2024 году. Общая протяженность полетов составила 26 168 км. Материал позволяет судить о миграциях оленя на полуострове. Д.В. Панченко, в свою очередь, приводит распределение лесного северного оленя в национальном парке «Паанаярви» по данным многолетних наблюдений. Использование территории парка оленем имеет сезонные отличия. Жизнь и экологические особенности лесного северного оленя очень важны для пермской природоохранной деятельности, потому что на северо-западе края возможна организация ООПТ для сохранения этого редкого вида.

Коллектив авторов (П.А. Красильников, Т.С. Брызгалов, И.А. Лавров, С.А. Красильникова) делятся литературным обзором по особенностям использования и охраны подземных полостей. Представлен анализ научных и нормативных материалов по систематизации и обобщению международного и российского опыта по сохранению пещер различного генезиса, устойчивости к антропогенному воздействию и природоохранной, научной значимости. Авторы считают, что пещеры представляют собой уникальные малоустойчивые экосистемы со специфическими видами троглофилами и троглобионтами, что популярный ныне спелеотуризм увеличивает риски загрязнения подземных полостей.

Не снижается интерес к экологическим последствиям трансформации природной среды Кизеловского угольного бассейна в посттехногенный период. Проанализированы сведения об основных источниках загрязнения: от поступления кислых шахтных вод, до стоков с отвальных хвостохранилищ, которые ведут к хроническому загрязнению тамошних экосистем.

Начинаются пермские исследования по изучению эколого-геохимической ситуации под влиянием упорядоченных антропогенных и природно-антропогенных потоков веществ в условиях урбанизации. Для этого А.А. Белогубкин подготовил литературный обзор публикаций по миграции и аккумуляции микроэлементов в пойменных почвах малых рек городов и влиянию автотранспорта на придорожные экосистемы.

В настоящем номере сочетание оригинальных статей, коротких сообщений и обзоров в значительной мере продвигает дело изучения северных оленей, пещер, долин малых рек, угольных отвалов, всего комплекса антропогенной трансформации ООПТ и техногенеза.

Главный редактор С.А. Бузмаков

РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная (исследовательская) статья



УДК 502.45

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-6-23>

<https://elibrary.ru/cmptpm>

**Урбанизация как фактор антропогенной трансформации природной среды
в долине малой реки Зеленки**

Сергей Алексеевич Бузмаков¹, Ирина Фиргатовна Абдулманова², Игорь Евгеньевич Шестаков³, Леонид Сергеевич Кучин⁴, Денис Сергеевич Исаков⁵, Александра Валерьевна Сыстерова⁶

^{1, 2, 3, 4, 6} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

⁵ Управление по экологии и природопользованию администрации города Перми, Пермь, Россия

¹ buzmakov2012@gmail.com

² a.ir-flora@mail.ru

³ galendil@yandex.ru

⁴ kleond@bk.ru

⁵ isakovdenis@inbox.ru

⁶ systerova-alexandra@yandex.ru

Аннотация. Природные комплексы речных долин являются важной частью экологического каркаса крупных городов. Экосистемы долины р. Зеленка (г. Пермь) обеспечивают экологическое равновесие значительной части водосборного бассейна р. Егошихи и находящейся в его пределах ООПТ «Егошихинская долина». С целью разработки мероприятий по экологической реабилитации участка долины р. Зеленки проведено полевое обследование, по результатам которого выделены функциональные зоны. Почвенный покров долины сложен почвами аллювиальными гумусовыми глееватыми урбистратифицированными, серогумусовыми урбистратифицированными и литостратами. Основными типами растительности являются злаково-разнотравные луга, зарастающие кленом ясенелистным; пойменные злаково-разнотравные и злаково-камышовые сообщества; древесно-кустарниковое сообщество с преобладанием клена ясенелистного; разнотравное сообщество из сорно-рудеральных видов. Зафиксировано 128 видов высших сосудистых растений. Отмечен ирис аировидный, занесенный в Приложение к Красной книге Пермского края и эндемик Приуралья цицербита уральская. Выявлено 24 вида птиц, что составляет 28% от общего видового разнообразия птиц долины реки Егошихи и 8% разнообразия птиц города Перми. Установлено, что в истоке реки воды более минерализованы, а при дальнейшем течении происходит их разбавление. Отмечены превышения ПДК по кальцию и по сульфат-иону. По степени деградации экосистемы обследуемой территории в основном относятся к очень сильнодеградированным. Наиболее близкими к своему естественному состоянию являются пойменные экосистемы. В зоне сохранения природной среды необходимо поддерживать устойчивое существование популяции ириса аировидного. Благоустройство не рекомендуется. В зоне реставрации природной среды рекомендуется ограждение территории и мероприятия по регулированию численности клена ясенелистного. Предложен перечень деревьев и кустарников для посадки на месте удаленных экземпляров клена. В переходной зоне от урбанизированной к природной среде рекомендуется ступенчатое террасирование, создание прогулочной зоны, направленное формирование экосистем с фитоценозами, приближенными по своему составу и яркости к естественным зональным.

Ключевые слова: экосистема, малые реки, почвенный покров, растительность, орнитофауна, Пермь, особо охраняемые природные территории, функциональное зонирование

Для цитирования: Бузмаков С.А., Абдулманова И.Ф., Шестаков И.Е., Кучин Л.С., Исаков Д.С., Сыстерова А.В. Урбанизация как фактор антропогенной трансформации природной среды в долине малой реки Зеленки // Антропогенная трансформация природной среды. 2025. Т. 11. № 2. С. 6-23. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-6-23>. EDN CMPTPM.

SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

Original Paper

Urbanization as a factor of anthropogenic transformation of the nature
in the valley of the small river ZelenkaSergei A. Buzmakov¹, Irina F. Abdulmanova², Igor E. Shestakov³, Leonid S. Kuchin⁴, Denis S. Isakov⁵,
Alexandra V. Systerova⁶^{1, 2, 3, 4, 6} Perm State University, Perm, Russia⁵ Department of ecology and nature management of the Perm city administration, Perm, Russia¹ buzmakov2012@gmail.com² a.ir-flora@mail.ru³ galendil@yandex.ru⁴ kleond@bk.ru⁵ isakovdenis@inbox.ru⁶ systerova-alexandra@yandex.ru

Abstract. Natural complexes of river valleys are an important part of the ecological framework of large cities. Ecosystems of the Zelenka river valley (Perm) provide ecological balance of a significant part of the catchment area of the Egoshikhra river and the Egoshikhinskaya valley protected area located within it. In order to develop measures for the ecological rehabilitation of the Zelenka River valley area, a field survey was conducted. Based on field survey data the functional zones were recommended. The soil cover of the valley is composed of alluvial humus gleyey urbanized, gray humus urbanized and lithostratified soils. The main types of vegetation are grass-herb meadows overgrown with ash-leaved maple; floodplain grass-herb meadow and grass-reed communities; tree-shrub community dominated by ash-leaved maple; herbaceous community of weedy-ruderal species. 128 species of higher vascular plants were recorded. *Iris pseudacorus*, listed in the Appendix to the Red List of the Perm region and *Cicerbita uralensis* endemic to the Urals were recorded. Twenty-four bird species were identified, which is 28% of the total species diversity of birds in the Egoshikhra River valley and 8% of the bird diversity of the city Perm. It was found that at the source of the river water is more mineralized, and at further flow there is a dilution of water. Calcium and sulfate-ion exceedances of maximum allowable limit were noted. According to the degree of degradation ecosystems of the surveyed area are mainly referred to very strongly degraded. Floodplain ecosystems are the closest to their intact state. In the nature conservation zone, attention should be paid to preserving the population of *Iris pseudacorus*; environment improvement is not recommended. For the nature restoration zone it is recommended to fence the territory and take measures to regulate the number of ash-leaved maple. A list of trees and shrubs for planting instead of the removed maple specimens is proposed. In the transition zone from urban area to nature it is recommended to step terracing, creation of a walking zone, directed formation ecosystems with phytocenoses, which are close to natural zonal ones in their composition and tiering.

Key words: ecosystem, small rivers, soil cover, vegetation, avifauna, Perm, protected areas, functional zoning

For citation: Buzmakov, S., Abdulmanova, I., Shestakov, I., Kuchin, L., Isakov, D. and Systerova, A., 2025. Urbanization as a factor of anthropogenic transformation of the nature in the valley of the small river Zelenka. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 11(1), pp. 6-23. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-6-23>. EDN CMPTPM. (in Russian)

Введение. Городские озелененные территории регенерируют воздух и воду, смягчают микроклимат, обеспечивают психологический комфорт. Городские реки, речные долины и населяющая их биота оказывают экосистемные функции по сокращению риска наводнений, снижению эффекта острова тепла, сохранению биоразнообразия, депонированию углерода и являются важной частью городского экологического каркаса. В связи с этим актуальными являются сохранение и экологическая реабилитация долин малых рек и ручьев в крупных городах [32].

Экономически более выгодно сохранять естественные зеленые зоны, чем восстанавливать их и искусственно обеспечивать комфортную среду для сохранения биоразнообразия. Разумное планирование городской застройки с учетом экологических аспектов развития мегаполиса позволяет обеспечить сохранение экологических ниш для видов, толерантных к присутствию человека [10].

С целью разработки рекомендаций по экологической реабилитации участка долины малой реки Зеленки, притока р. Егошихи, проведено обследование природной среды, выделены функциональные зоны в

районе проектируемого жилого комплекса, особо охраняемой природной территории «Егошихинская долина» и прилегающих территорий в соответствии с их экологическим значением. Рекомендован ряд мероприятий по повышению природоохранной и рекреационной ценности территории.

Материалы и методы. Площадь участка обследования составляет 0,79 га.

Программа обследования включала в себя сбор и анализ фондового и картографического материала, натурное обследование территории.

Для характеристики почвенного покрова было заложено 6 почвенных разрезов.

Для описания растительного покрова и формирования флористического списка территории в июне 2024 г. проведено маршрутное обследование и заложены 5 площадок описания растительности. Видовой состав растений определялся в полевых и камеральных условиях по «Иллюстрированному определителю...» [16].

Сбор данных об орнитофауне проводился в период с мая по август 2024 г. методом линейных маршрутов, а также точечным методом. Выявленные виды фикси-

ровались как визуально, так и на голос [2]. Список видов птиц дан по Е.А. Коблику, В.Ю. Архипову [19]. Использованы также и данные обследований орнитофауны долины реки Егошиха прошлых лет: 2021 г. и 2022 г. Информация по характеру пребывания представителей орнитофауны долины р. Егошиха актуальна в настоящее время и на исследуемом участке [8].

Оценка современного состояния экосистем проведена с использованием методики оценки состояния особо охраняемых природных территорий регионального значения [4].

С целью изучения качества воды в водотоке 27.05.2024 г. был проведен отбор проб для лабораторного анализа. Выбрано два контрольных створа – в истоке реки и вблизи ул. Льва Шатрова 23А. Проведено сравнение результатов лабораторного анализа со значениями нормативов рыбохозяйственного водоема

[29]. Также 07.05.2024 г. проведены замеры электропроводности прибором ECScan high.

Результаты исследования. Зеленка является левым притоком р. Егошиха, протекает по территории Свердловского района г. Перми. Исток реки находится вблизи гаражного кооператива между ул. Льва Шатрова и ул. Александра Турчевича. Русло реки проходит по границе мкр. Зеленое хозяйство вдоль ул. Л. Шатрова. Река впадает в р. Егошиху в районе Южного кладбища. Длина реки от истока к устью 624 м. Ширина водоохранной зоны – 50 м. Площадь водосбора около 0,35 км².

Река Зеленка практически полностью протекает по особо охраняемой природной территории (далее – ООПТ) регионального значения экологическому парку «Егошихинская долина» (рис. 1 / fig. 1).



Рис. 1. Участок обследования в долине р. Зеленка
Fig. 1. Survey site in the Zelenka river valley

Река имеет преимущественно снеговой тип питания, менее значительную роль играет питание грунтовыми водами. Режим реки характеризуется хорошо выраженным весенним половодьем, летними паводками и летне-осенней меженью.

Рассматриваемая территория располагается на восточной окраине Восточно-Европейской (Русской) равнины, в пределах Среднекамской низменной равнины. Рельеф района представляет собой слабохолмистую равнину, расчлененную долинами водотоков и логами. Ведущими факторами рельефообразования являются тектонические (неотектонические) движения, эрозионно-денудационные процессы и литологический состав пород [34]. На поверхность выходят по-

роды пермской системы уфимского яруса шешминской свиты, перекрытые практически сплошным чехлом маломощных четвертичных отложений. Четвертичные образования представлены комплексом рыхлых континентальных осадков, среди которых преобладают аллювиальные и полигенетические, а также болотные и техногенные образования [37].

Климат Перми умеренно-континентальный. Среднемесячная температура июля достигает +17,9°C; января – -14,7°C, минимальные температуры падают ниже -45°C. Снег лежит в среднем 161-192 дня. Устойчивый снежный покров обычно приурочен к концу октября – началу ноября. Годовое количество осадков около 660 мм. В течение года преобладают западные и юго-западные ветры, при этом весной и зимой чаще

наблюдаются южные, юго-восточные и юго-западные, а летом северные и восточные ветры [41].

Согласно почвенно-экологическому районированию Восточно-Европейской равнины [17] участок исследования относится к Вятско-Камской почвенной провинции. По почвенному районированию Н.Я. Коротаева [20] город расположен в Осинско-Оханско-Пермском районе дерново-средне, слабо- и сильноподзолистых тяжелосуглинистых почв. Большую часть территории Перми (63%) занимали дерново-подзолистые почвы на тяжёлых породах, в долинах рек распространены дерновые, дерново-глееватые, аллювиальные и торфяно-болотные почвы.

Так как долина р. Зелёнка расположена в черте города, естественный почвенный покров значительно осложнён антропогенным воздействием, целинные

почвы отсутствуют, на участке обнаружены в разной степени нарушенные и изменённые почвы, а также ТПО (техногенные поверхностные образования). Антропогенные почвы и ТПО разделяются на группы почв естественно-антропогенных поверхностно-преобразованных (до глубины 50 см), антропогенных глубоко преобразованных (более чем на 50 см) почв и искусственно созданных почвоподобных образований – техноземов. К ТПО относят непочвенные образования – насыпные, перемешанные, намывные, техногенные и природные грунты.

Почвенный покров обследованного участка сложен почвами аллювиальными гумусовыми глееватыми урбистратифицированными, серогумусовыми урбистратифицированными и литостратами (рис. 2 / fig. 2).

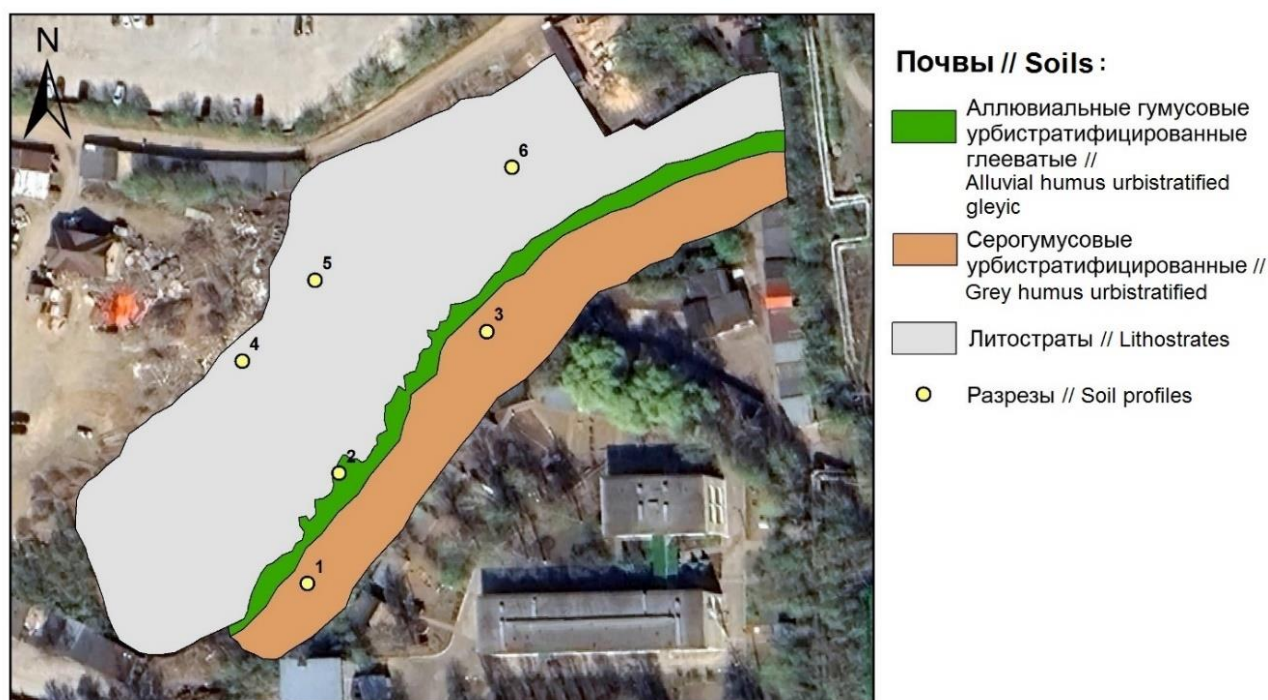


Рис. 2. Почвенный покров долины р. Зелёнка
Fig. 2. Soil cover of the Zelenka river valley

Аллювиальные гумусовые глееватые урбистратифицированные почвы формируются в условиях поемного режима регулярного отложения на поверхности слоев аллювия различного гранулометрического состава с урбоиндустриальными включениями. Профиль имеет строение АУгг – С^гg, уг. Серогумусовый горизонт имеет мощность 5-10 см, плотный, сырой, спрессован, без выраженной структуры, с обильными включениями мусора и углей. Ниже залегающая материнская порода также тяжёлого состава, с обильными включениями бытового и строительного мусора, имеет чёткие признаки глееватости в виде фрагментов, окрашенных в сизые и ржавые тона (рис. 3 / fig. 3).

Серогумусовые урбистратифицированные почвы, имеющие формулу профиля АУгг-ТСН/Сгг залегают на правом склоне долины реки. На склоне произрастают деревья и кустарники, развит травянистый ярус, что способствует развитию дернового процесса. Почвы с поверхности имеют органогенный (дерновый) горизонт, который постепенно сменяется почвообразующей породой, перемешанной с бытовым и строительным мусором, поступающим с верхней части склона. Органогенный горизонт имеет мощность до 16 см, окраска до серого – тёмно-бурого цветов, средне

суглинистого состава, зернисто-комковатой структуры, с поверхности сильно захламлён (рис. 4 / fig. 4).

Левый склон долины и площадка над ним перекрыты антропогенными наносами: перемешанными с галькой и строительным мусором грунтами – литостратами. Под рудеральным растительным сообществом отмечается слабовыраженное накопление органики, не достаточное для выделения отдельного горизонта (рис. 5 / fig. 5).

Согласно ботанико-географическому районированию Пермского края исследуемая территория расположена в районе широколиственно-елово-пихтовых подтаежных лесов. Лесные сообщества в этом районе характеризуется сосуществованием бореальных и неморальных видов в древостое и преобладанием последних в подлеске и травяном ярусе. Наиболее распространёнными являются широколиственно-хвойные леса, среди которых чаще других встречаются травяные. В долинах рек развиты ольховые и ивовые леса. Довольно большие площади заняты вырубками и вторичными березовыми, осиновыми, липовыми и смешанными травяными лесами [28]. Луга часто имеют антропогенное происхождение. Исключение составляют лишь пойменные заливные луга [1].



Рис. 3. Профиль аллювиальной гумусовой глееватой урбистратифицированной почвы (разрез 2)
 Fig. 3. Profile of alluvial humus gleyic urbistratified soil (section 2)



(a // a)



(б // b)

Рис. 4. Серогумусовые урбистратифицированные почвы, разрезы 1 (а) и 3 (б)
 Fig. 4. Gray-humus urbistratified soils, sections 1 (a) and 3 (b)



(a // a)



(б // b)

Рис. 5. Литостраты, разрезы 4 (а) и 5 (б)
 Fig. 5. Lithostrata, sections 4 (a) and 5 (b)

Растительные сообщества, выделенные на обследуемом участке долины реки Зеленка, представлены на рис. 6 / fig. 6.

Фитоценозы левобережной части обследованной территории представлены злаково-разнотравными лугами ранней стадии восстановительной сукцессии, зарастающими деревьями и кустарниками.

Так, в злаково-разнотравном сообществе на участке перспективном под застройку происходит формирование древесного яруса из клена ясенелистного, средняя высота которого 1,5 м, сомкнутость крон достигает 0,2. Отмечены также тополь лавролистный, ирга колосистая.

Травяно-кустарничковый ярус образуют люцерна хмелевидная, донник, пижма обыкновенная, подмаренник мягкий, костер безостый и др. Отмечены редкие экземпляры земляники зеленоягодной и астрагала датского. Высокое видовое разнообразие обеспечивают сорно-рудеральные виды: трехреберник непахучий, одуванчик лекарственный, лопух паутинистый, полынь обыкновенная, вьюнок полевой, марь белая, пастушья сумка обыкновенная, ярутка полевая и др. Растительный покров характеризуется неравномерным проективным покрытием, изменяющимся в диапазоне от 20 до 80 % площади одного квадратного метра.

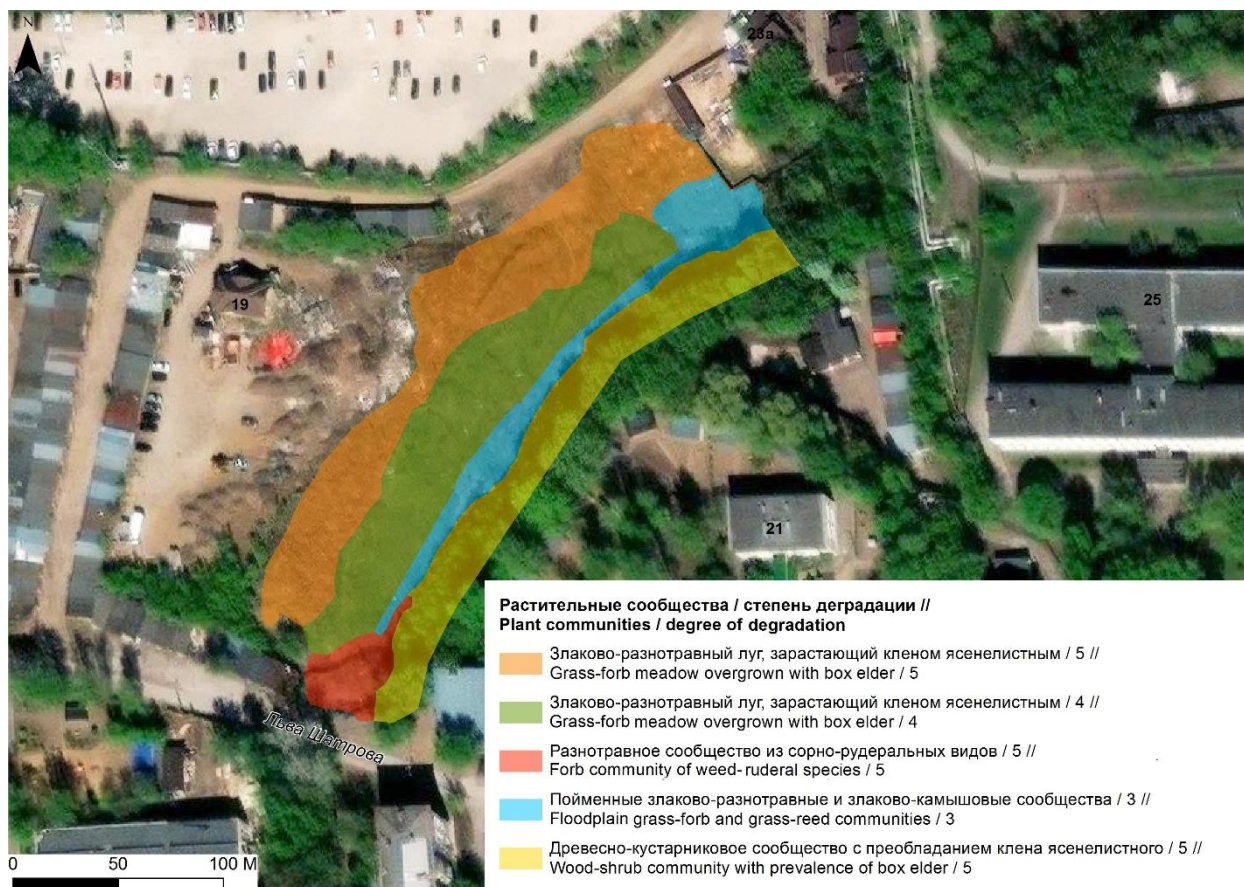


Рис. 6. Растительные сообщества обследуемого участка

Fig. 6. Plant communities of the survey area

На крутом левобережном склоне юго-восточной экспозиции также представлено злаково-разнотравное сообщество, зарастающее кленом ясенелистным, помимо которого здесь отмечен клен платанолистный. Средняя высота молодых деревьев 1 м, сомкнутость крон достигает 0,2. Травяно-кустарничковый ярус характеризуется относительно равномерным проективным покрытием, средняя величина которого 60%. В нем преобладают сныть обыкновенная, иван-чай узколистный, костер безостый. Высоко обилие сорно-рудеральных видов свербиги восточной, бодяка щетинистого и др.

На крутом склоне над местом выхода р. Зелёнка из коллектора произрастают сорно-рудеральные виды крапива двудомная, чистотел большой, вьюнок полевой, бодяк щетинистый и др. Их суммарное проективное покрытие 60%.

Вдоль русла р. Зелёнка отмечены типичные для пойменных фитоценозов Пермского края полевика побегообразующая, поручейница водяная, осока острая, рогоз широколистный, повой заборный, мята полевая, сердечник горький, сердечник недотрога, вероника ключевая, вероника ручейная и др. Растительный покров подвергается вытаптыванию, в результате чего не является сплошным.

В наиболее низкой и широкой части поймы сформировалось злаково-камышовое сообщество. Кустарниковый ярус на этом участке формирует ива пепельная. Отмечена так же смородина черная. Среди трав наиболее обильны двухкосточник тростниковидный Пикта, лисохвост луговой, камыш лесной. Зафиксирован ирис аировидный, занесенный в Приложение к Красной книге Пермского края в качестве вида, нуждающегося в особом внимании к состоянию в природной среде.

Правый берег долины занимает древесно-кустарниковое сообщество, характеризующееся преобладанием клена ясенелистного. В его зарослях встречаются тополь, бузина сибирская, калина обыкновенная, сирень венгерская, рябина обыкновенная, вишня обыкновенная, арония Мичурина, малина обыкновенная, смородина красная, крыжовник обыкновенный и крыжовник отклоненный. Травяной покров сформировался в виде пятен, образованных снытью обыкновенной и цicerбитой уральской, представляющими элементы коренной растительности, а также адвентивным видом ландышем майским. Древесно-кустарниковые заросли значительно захламлиены.

Растительный покров долины реки Зелёнка в значительной мере антропогенно изменен, что обусловлено трансформацией склонов долины, длительной историей их хозяйственного использования, существующей рекреационной нагрузкой на экосистемы, инвазией клена ясенелистного. Степень деградации растительных сообществ, определенная по Методике [4], варьирует от средней (3) до очень сильной (5) (рис. 6 / fig. 6).

Всего зафиксировано 128 видов высших сосудистых растений из 2 отделов. Хвощевидные (*Equisetophyta*) представлены 3 видами, Покрытосеменные (*Magnoliophyta*) – 125 видами, из них Однодольные (*Liliopsida*) 17 видов, Двудольные (*Magnoliopsida*) – 108 видов. Зафиксированные растения представляют 38 семейств, наиболее многочисленны из которых Розовые (*Rosaceae*) – 16 видов, Астровые (*Asteraceae*) – 12 видов, Злаки (*Poaceae*) – 11 видов, Крестоцветные (*Brassicaceae*) – 9 видов, Бобовые (*Fabaceae*) – 8 видов, Норичниковые (*Scrophulariaceae*) – 7 видов.

Ниже помещен список видов высших сосудистых растений. Виды расположены по отделам и классам; семейства внутри классов и виды внутри семейств – в порядке русского алфавита. * – отмечены адвентивные виды.

ХВОЩЕВИДНЫЕ – EUISETOPHYTA

класс ХВОЩОВЫЕ – EUISETOPSIDA

сем. Хвощовые – Equisetaceae

1. Хвощ луговой (*Equisetum pratense* Ehrh.)

2. Хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.)

3. Хвощ приречный (*Equisetum fluviatile* L.)

ПОКРЫТОСЕМЕННЫЕ – MAGNOLIOPHYTA

класс ОДНОДОЛЬНЫЕ – LILIOPSIDA

сем. Злаки – Poaceae

4. Двукосточник тростниковидный Пикта (*Digraphis arundinacea*

(L.) Trin. var. *picta* (L.) Tzvel.)*

5. Ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.)

6. Костер безостый (*Bromus inermis* Leyss.)

7. Лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis* L.)

8. Манник (*Glyceria* sp.)

9. Мятлик (*Poa* sp.)

10. Мятлик обыкновенный (*Poa trivialis* L.)

11. Мятлик однолетний (*Poa annua* L.)

12. Полевица побегообразующая (*Agrostis stolonifera* L.)

13. Поручейница водяная (*Catabrosa aquatic* (L.) Beauv.)

14. Пырей ползучий (*Agropyron repens* (L.) Beauv.)

сем. Лилейные – Liliaceae

15. Ландыш майский (*Convallaria majalis* L.)*

сем. Осоковые – Cyperaceae

16. Камыш лесной (*Scirpus sylvaticus* L.)

17. Осока заячья (*Carex leporina* L.)

18. Осока острая (*Carex acuta* L.)

19. Осока ранняя (*Carex praecox* Schreb.)

сем. Рогозовые – Typhaceae

20. Рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.)

класс ДВУДОЛЬНЫЕ – MAGNOLIOPSIDA

сем. Астровые – Asteraceae

21. Бодяк щетинистый (*Cirsium setosum* (Willd.) Bess.)

22. Лопух паутинистый (*Arctium tomentosum* Mill.)

23. Мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara* L.)

24. Нивяник обыкновенный (*Leucanthemum vulgare* Lam.)

25. Одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg.)

26. Осот огородный (*Sonchus oleraceus* L.)

27. Пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.)

28. Полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.)

29. Полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.)

30. Трехреберник запахучий (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip.)

31. Цицербита уральская (*Cicerbita uralensis* (Rouy) Beauverd)

32. Ястребинка дернистая (*Hieracium caespitosum* Dumort. s.l.)

сем. Березовые – Betulaceae

33. Береза повислая (*Betula pendula* Roth)

сем. Бобовые – Fabaceae

34. Астргал датский (*Astragalus danicus* Retz.)

35. Горошек заборный (*Vicia sepium* L.)

36. Донник (*Melilotus* sp.)

37. Клевер луговой (*Trifolium pratense* L.)

38. Клевер ползучий (*Trifolium repens* L.)

39. Люцерна хмелевидная (*Medicago lupulina* L.)

40. Чина луговая (*Lathyrus pratensis* L.)

41. Чина луговая (*Lathyrus pratensis* L.)

сем. Бурачниковые – Boraginaceae

42. Незабудка лесная (*Myosotis sylvatica* Ehrh. ex Hoffm.)

сем. Валериановые – Valerianaceae

43. Валериана волжская (*Valeriana wolgensis* Kazak.)

сем. Вьюнковые – Convolvulaceae

44. Вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.)

45. Повой заборный (*Calystegia sepium* (L.) R. Br.)

сем. Гвоздичные – Caryophyllaceae

46. Дрема белая (*Melandrium album* (Mill.) Garcke)

сем. Гераниевые – Geraniaceae

47. Герань лесная (*Geranium sylvaticum* L.)

48. Герань сибирская (*Geranium sibiricum* L.)

сем. Гречишные – Polygonaceae

49. Горец птичий (*Polygonum aviculare* L. s.l.)

50. Щавель водный (*Rumex aquaticus* L.)

51. Щавель конский (*Rumex confertus* Willd.)

52. Щавель курчавый (*Rumex crispus* L.)

53. Щавель обыкновенный (*Rumex acetosa* L.)

сем. Губоцветные – Lamiaceae

54. Будра плющевидная (*Glechoma hederacea* L.)

55. Мята полевая (*Mentha arvensis* L.)

56. Пустирник пятилопастной (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.)

57. Чистец лесной (*Stachys sylvatica* L.)

58. Яснотка белая (*Lamium album* L.)

сем. Жимолостные – Caprifoliaceae

59. Бузина сибирская (*Sambucus sibirica* Nakai)

60. Калина обыкновенная (*Viburnum opulus* L.)

сем. Зверобойные – Hypericaceae

61. Зверобой пятнистый (*Hypericum maculatum* Crantz.)

сем. Зонтичные – Apiaceae

62. Бедренец камнеломковый (*Pimpinella saxifraga* L.)

63. Болиголов пятнистый (*Conium maculatum* L.)

64. Пастернак лесной (*Pastinaca sylvestris* Mill.)

65. Сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.)

66. Тмин обыкновенный (*Carum carvi* L.)

сем. Ивовые – Salicaceae

67. Ива козья (*Salix caprea* L.)

68. Ива пепельная (*Salix cinerea* L.)

69. Тополь (*Populus* sp.)*

70. Тополь лавролистый (*Populus laurifolia* Ledeb.)*

сем. Камнеломковые – Saxifragaceae

71. Крыжовник обыкновенный (*Grossularia uva-crispa* (L.) Mill.)*

72. Крыжовник отклоненный (*Grossularia reclinata* (L.) Mill.)*

73. Смородина красная (*Ribes rubrum* L.)*

74. Смородина черная (*Ribes nigrum* L.)

сем. Касатиковые – Iridaceae

75. Ирис аировидный (*Iris pseudacorus* L.)

сем. Кипрейные – Onagraceae

76. Иван-чай узколистый (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.)

77. Кипрей волосистый (*Epilobium hirsutum* L.)

сем. Кленовые – Aceraceae

78. Клен платанолистный (*Acer platanoides* L.)

79. Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) *
сем. Крапивные – Urticaceae
80. Крапива двудомная (*Urtica dioica* L.)
сем. Крестоцветные – Brassicaceae
81. Гулявник лекарственный (*Sisymbrium officinale* (L.) Scop.)
82. Жерушник земноводный (*Rorippa amphibia* (L.) Bess.)
83. Крупка дубравная (*Draba nemorosa* L.)
84. Пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.)
85. Свербига восточная (*Bunias orientalis* L.)
86. Сердечник горький (*Cardamine amara* L.)
87. Сердечник недотрога (*Cardamine impatiens* L.)
88. Сурепка обыкновенная (*Barbarea vulgaris* R. Br.)
89. Ярутка полевая (*Thlaspi arvense* L.)
сем. Лютиковые – Ranunculaceae
90. Водосбор обыкновенный (*Aquilegia vulgaris* L.) *
91. Лютик едкий (*Ranunculus acris* L.)
92. Лютик золотистый (*Ranunculus aggr. auricomus* L.)
93. Лютик ползучий (*Ranunculus repens* L.)
сем. Маковые – Papaveraceae
94. Чистотел большой (*Chelidonium majus* L.)
сем. Мальвовые – Malvaceae
95. Хатма тюрингская (*Lavatera thuringiaca* L.) *
сем. Маревые – Chenopodiaceae
96. Марь (*Chenopodium* sp.)
97. Марь белая (*Chenopodium album* L.)
сем. Мареновые – Rubiaceae
98. Подмаренник мягкий (*Galium mollugo* L. s.l.)
сем. Маслиновые – Oleaceae
99. Сирень венгерская (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Reichenb.) *
100. Ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.) *
сем. Недотроговые – Balsaminaceae
101. Недотрога железконосная (*Impatiens glandulifera* Royle) *
сем. Норичниковые – Scrophulariaceae
102. Вероника длиннолистная (*Veronica longifolia* L.)
103. Вероника дубравная (*Veronica chamaedrys* L.)
104. Вероника ключевая (*Veronica anagallis-aquatica* L.)
105. Вероника ручейная (*Veronica beccabunga* L.)
106. Коровяк черный (*Verbascum nigrum* L.)
107. Лянка обыкновенная (*Linaria vulgaris* Mill.)
108. Норичник шишковатый (*Scrophularia nodosa* L.)
сем. Пасленовые – Solanaceae
109. Белена черная (*Hyoscyamus niger* L.)
сем. Первоцветные – Primulaceae
110. Вербейник обыкновенный (*Lysimachia vulgaris* L.)

- сем. Подорожниковые – Plantaginaceae
111. Подорожник большой (*Plantago major* L.)
сем. Розовые – Rosaceae
112. Арония Мичурина (*Aronia mitschurinii* A. Skvorts. et Maitull.) *
113. Вишня обыкновенная (*Cerasus vulgaris* Mill.) *
114. Гравилат алеппский (*Geum aleppicum* Jacq.)
115. Гравилат городской (*Geum urbanum* L.)
116. Гравилат речной (*Geum rivale* L.)
117. Земляника зеленаягодная (*Fragaria viridis* (Duch.) Weston)
118. Ирга колосистая (*Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch) *
119. Лапчатка Гольдбаха (*Potentilla goldbachii* Rupr.)
120. Лапчатка гусиная (*Potentilla anserina* L.)
121. Лапчатка норвежская (*Potentilla norvegica* L.)
122. Лапчатка серебристая (*Potentilla argentea* L.)
123. Малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.)
124. Манжетка (*Alchemilla* sp.)
125. Рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.)
126. Таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. s.l.)
127. Шиповник иглочатый (*Rosa acicularis* Lindl.)
сем. Тутовые – Moraceae
128. Хмель обыкновенный (*Humulus lupulus* L.)

На участке обследования выявлено 24 вида птиц (табл. 1 / tabl. 1), что составляет 28% от общего видового разнообразия птиц долины реки Егошиха и 8% от всего количественного разнообразия птиц города Перми [40]. Видовое разнообразие птиц соответствует количественным показателям ранее исследованных территорий парков и скверов центральных районов города Перми [26]. Синантропных видов на исследованном участке более 30% от общего числа, что соответствует 3 степени деградации (среднедеградированный) животного компонента экосистем согласно Методике [4]. Учитывая, что в ранее проведенных исследованиях выявлено, что долины малых рек используются птицами как «коридоры» среди селитебной застройки во время миграций, в том числе редкими и занесенными в Красную книгу видами, количество выявленных видов на данной территории может быть выше, соответственно, степень деградации может также изменяться.

Таблица 1

Список зафиксированных видов исследуемой территории и характер пребывания на них

Table 1

List of recorded species of the study area and the nature of stay on them

№	Вид // Species	Характер пребывания // Nature of stay
Отряд Гусеобразные <i>Anseriformes</i>		
1	Кряква <i>Anas platyrhynchos</i>	Оседлый, частично перелетный // Sedentary, partially migratory
Отряд Соколообразные <i>Falconiformes</i>		
2	Перепелятник <i>Accipiter nisus</i>	Оседлый, частично перелетный // Sedentary, partially migratory
Отряд Голубеобразные <i>Columbiformes</i>		
3	Сизый голубь <i>Columba livia</i>	Оседлый // Sedentary
Отряд Стрижеобразные <i>Apodiformes</i>		
4	Черный стрижен <i>Apus apus</i>	Кормящийся, перелетный // Feeding, migratory
Отряд Воробьинообразные <i>Passeriformes</i>		
5	Белая трясогузка <i>Motacilla alba</i>	Гнездящийся, перелетный // Breeding, migratory
6	Рябинник <i>Turdus pilaris</i>	Гнездящийся, зимующий // Nesting, wintering
7	Белобровик <i>Turdus iliacus</i>	Гнездящийся, перелетный // Breeding, migratory
8	Горихвостка-лысушка <i>Phoenicurus phoenicurus</i>	Гнездящийся, перелетный // Breeding, migratory
9	Зарянка <i>Erithacus rubecula</i>	Гнездящийся, перелетный, иногда зимующий // Breeding, migratory, sometimes wintering
10	Обыкновенный соловей <i>Luscinia luscinia</i>	Гнездящийся, перелетный // Breeding, migratory
11	Мухоловка пеструшка <i>Ficedula hypoleuca</i>	Гнездящийся, перелетный // Breeding, migratory
12	Пеночка-весничка <i>Phylloscopus trochilus</i>	Гнездящийся, перелетный // Breeding, migratory
13	Пеночка-теньковка <i>Phylloscopus collybita</i>	Гнездящийся, перелетный // Breeding, migratory
14	Зеленая пеночка <i>Phylloscopus trochiloides</i>	Гнездящийся, перелетный // Breeding, migratory
15	Славка-черноголовка <i>Sylvia atricapilla</i>	Гнездящийся, перелетный // Breeding, migratory
16	Большая синица <i>Parus major</i>	Оседлокочующий // Sedentary, nomadic

№	Вид // Species	Характер пребывания // Nature of stay
17	Сорока <i>Pica pica</i>	Гнездящийся, оседлый // Nesting, sedentary
18	Серая ворона <i>Corvus cornix</i>	Гнездящийся, оседлый // Nesting, sedentary
19	Домовой воробей <i>Passer domesticus</i>	Гнездящийся, оседлый // Nesting, sedentary
20	Полевой воробей <i>Passer montanus</i>	Гнездящийся, оседлый // Nesting, sedentary
21	Зяблик <i>Fringilla coelebs</i>	Гнездящийся, перелетный, иногда зимующий // Breeding, migratory, sometimes wintering
22	Зеленушка <i>Chloris chloris</i>	Гнездящийся, перелетный, частично зимующий // Breeding, migratory, partially wintering
23	Щегол <i>Carduelis carduelis</i>	Гнездящийся, перелетный, частично зимующий // Breeding, migratory, partially wintering
24	Снегирь <i>Pyrrhula pyrrhula</i>	Гнездящийся, зимующий // Nesting, wintering

Данные лабораторных анализов (табл. 2 / tabl. 2) свидетельствуют о том, что вода в истоке Зеленки более минерализована, чем в створе близ ул. Л. Шатрова

23А, что свидетельствует о разбавлении грунтовых вод поверхностным стоком.

Таблица 2

Результаты лабораторных исследований воды в р. Зеленка

Table 2

Results of laboratory studies of river water Zelenka

Наименование показателей // Name of indicators	Единица измерений // Unit of measurement	Исток // Source	Близ ул. Льва Шатрова 23А // Near the street Leva Shatrova 23A	ПДКр.х. // PDKr.kh.
Водородный показатель // pH value	pH	7,1±0,2	7,7±0,2	6-9
Магний // Magnesium	Мг/дм³ // mg/dm³	31,7±3,2	32,4	50
Кальций // Calcium	Мг/дм³ // mg/dm³	191±19	182±18	180
Хлорид-ион // Chloride ion	Мг/дм³ // mg/dm³	80,4±8,0	85,3±8,5	350
Сульфат-ион // Sulfate ion	Мг/дм³ // mg/dm³	183±18	181±18	100
Массовая концентрация карбонат-ионов // Mass concentration of carbonate ions	Мг/дм³ // mg/dm³	<6,0	<6,0	-
Массовая концентрация гидрокарбонат-ионов // Mass concentration of bicarbonate ions	Мг/дм³ // mg/dm³	545±54	521±53	-
ХПК // Chemical oxygen demand	МгО/дм³ // MgO/dm³	<10	<10	30
БПК ₅ // Biochemical oxygen demand for 5 days	Мг/дм³ // mg/dm³	<1,00	1,19±0,33	2,1
Массовая концентрация железа // Mass concentration of iron	Мг/дм³ // mg/dm³	0,075±0,018	0,069±0,017	0,3
Массовая концентрация свободной углекислоты // Mass concentration of free carbon dioxide	Мг/дм³ // mg/dm³	17,6±4,4	16,5±4,1	-
Массовая концентрация агрессивной двуокиси углерода // Mass concentration of aggressive carbon dioxide	Мг/дм³ // mg/dm³	<1,0	<1,0	-

Отмечены превышения по кальцию 1,06 ПДК (исток), 1,01 ПДК (близ ул. Л. Шатрова 23А) и по сульфат-иону – 1,83 ПДК (исток), 1,81 ПДК (близ ул. Л. Шатрова 23А). Превышения могут быть связаны с составом материнской породы или подземных вод территории. Наличие солей кальция и сульфатов говорит о высокой жесткости воды. В истоке электропроводность равна 1 мС/см, в створе близ ул. Л. Шатрова электропроводность составила 1,14 мС/см.

Всего на обследуемой территории было выделено четыре базовых экосистемы: злаково-разнотравные луга, пойменные злаково-разнотравные и злаково-камышовые сообщества, древесно-кустарниковые сообщества, разнотравные сообщества.

Во всем своем течении река подвергается антропогенной нагрузке. В ее водоохранной зоне располагаются хозяйственные и жилые постройки, в том числе

часть территории школы № 134, банный комплекс «Чкаловские бани». Через реку проложены два перехода. Вся площадь водосбора застроена жилыми и хозяйственными зданиями. Часть долины вблизи истока засыпана грунтом, содержащим строительный мусор, в том числе куски бетона, металла, битый кирпич, шлак, опил, стволы деревьев, гравий, щебень. На данный момент в долине планируется строительство жилого дома, проведена подготовка площадки под строительство. Зафиксированы несколько неорганизованных кострищ. Вблизи истока обнаружена запруда, образованная дамбой из древесных остатков и мусора. Всё это обуславливает деградацию экосистем долины р. Зеленки.

Результаты оценки степени деградации базовых экосистем и их компонентов представлены в табл. 3 / tabl. 3.

Таблица 3

Средневзвешенная оценка состояния экосистем и их элементов на обследуемой территории в долине реки Зеленка

Table 3

Weighted average assessment of the state of ecosystems and their elements in the surveyed area in the Zelenka river valley

Название базовой экосистемы // Name of the base ecosystem	Площадь // Square		Оценка состояния // Condition assessment			
	га // ha	Доля от площади, % // Share of area, %	Растительность // Vegetation	Орнитофауна // Birds	Экосистема // Ecosystem	Базовая экосистема // Basic ecosystem
Злаково-разнотравные луга // Grass-forb meadows	0,48	60,8%	4,5	3	4,5	2,4
Пойменные злаково-разнотравные и злаково-камышовые сообщества // Floodplain grass-forb and grass-reed communities	0,10	12,7%	3	3	3	0,4
Древесно-кустарниковые сообщества // Tree and shrub communities	0,17	21,5%	5	3	5	0,9
Разнотравные сообщества // Forb communities	0,04	5,1%	5	3	5	0,2
Амплитуда // Amplitude			3-5	3	3-5	0,4-2,4
Средневзвешенная оценка // Weighted average			4,4	3,0	4,4	4,0

По степени деградации экосистемы обследуемой территории в основном относятся к очень сильнодеградированным. Степень деградации экосистем изменяется от 3 до 5. Средневзвешенная степень деградации территории равна 4, что соответствует сильнодеградированному состоянию.

Обсуждение. Долины малых рек – это узкие пространства, с обеих сторон окруженные городской застройкой. При этом отсутствие функциональной однородности в застройке приводит к тому, что долина не воспринимается единым целым, а разделена на участки. При этом часть хозяйственных или жилых построек, садов, огородов, частных земельных участков оказывается в водоохранной зоне. Так, оказывается, что у долин малых рек нет четкой роли в инфраструктуре города, несмотря на то что вблизи их могут находиться памятники, парки и другие важные для населения объекты рекреации. Кроме того, долина малой реки и сама представляет собой объект рекреации. Древесно-кустарниковая растительность в долине создает микроклимат, который может отличаться от климата остальной части города. Здесь может быть более высокая влажность, защищенность от ветра и другие факторы, которые благоприятствуют росту определенных видов растений.

Р. Зеленка, являясь притоком р. Егошихи, обеспечивает экологическое равновесие значительной части ее водосборного бассейна и части ООПТ «Егошихинская долина».

Долины малых рек играют существенную роль в сохранении биологического разнообразия г. Перми.

В ходе проведенной исследовательской работы редких и находящихся под угрозой исчезновения представителей животного мира на исследуемой территории выявлено не было. Но, как и вся долина р. Егошихи, указанный участок может использоваться редкими представителями орнитофауны в качестве временного пребывания во время сезонных кочевок и миграций [6].

В составе злаково-камышового сообщества в долине р. Зеленка выявлен ирис аировидный, занесенный в Приложение к Красной книге Пермского края, как вид, нуждающийся в особом внимании к состоянию в природной среде [22]. Ирис аировидный – прибрежно-водный геофит, многолетнее гидрофильное травянистое растение с толстым, длинным корневищем. Относится к группе гидрохоров и в природе очень быстро размножается семенами, которые разносятся водным течением по разным местам. Водоплавающие птицы также содействуют распространению семян [12]. Это европейско-западно-азиатский вид. В Пермском крае отмечен в Пермском районе и на территории г. Перми. Вид обнаруживает тенденцию к увеличению численности. Взят под охрану в 13 регионах России [22].

На склонах долины зафиксирована цицербита уральская. Этот вид является эндемиком Урала, восточной, прилегающей к Уралу, части Русской равнины. Вид тесно связан с широколиственными лесами. В природе произрастает в разреженных лесах, на лесных полянах, опушках, лужайках, зарослях кустарников. Занесен в Красную книгу Среднего Урала (Пермской и Свердловской областей), которая не стала нормативно-правовым документом [23]. Внесен в Красные книги Свердловской области, Оренбургской области, Чувашской Республики, Нижегородской области.

Наиболее ценными экосистемами обследованной территории являются пойменные: они наименее нарушены, их фитоценозы наиболее близки по составу к естественным. В составе пойменного фитоценоза, как было отмечено ранее, зафиксирован ирис аировидный.

Речные пойменные экосистемы играют важную роль в функционировании водных и околотовных экосистем. Поймы характеризуются особым микроклиматом. В них аккумулируется высокое количество биогенных элементов, что приводит к высокому развитию первичной продуктивности [39].

Кроме того, пойменные сообщества оказывают регулируемую экосистемную услугу по очистке воды. Заросли гидрофитов механически задерживают мусор,

а также концентрируют в себе загрязняющие вещества. Так, в ходе лабораторных исследований по эффективности очистки поверхностных сточных вод от нефтепродуктов и тяжелых металлов с использованием тростника обыкновенного, рогоза широколистного и ириса аировидного установлено, что эффективность очистки от нефтепродуктов составила 95,5-98,9%, от тяжелых металлов – 66-99,3%. Экспериментально показано, что эффективность очистки высшими растениями от нефтепродуктов уменьшается в ряду тростник обыкновенный – ирис аировидный – рогоз широколистный; от тяжелых металлов: ирис аировидный – тростник обыкновенный [12].

Древесно-кустарниковые заросли являются накопителями углерода, сохраняя его в подземной и надземной фитомассе. Подсчитано, что покрытые деревьями городские районы Канады хранят около 34 млн т углерода и ежегодно улавливают около 2,5 млн т углекислого газа [46]. Городские леса США секвестрировали 712 млн т углерода. Ежегодно ими связывается 22 млн т углерода [45]. Установлено, что 2,4 млн деревьев в центральной части Пекина сохраняют около 0,2 млн тонн углекислого газа [49]. Считается, что города с развитой зеленой растительностью (такие как городские лесопарки, заросли деревьев и кустарников) имеют потенциал для хранения большего количества углерода, чем города с таким же количеством одичавших посаженных деревьев [42].

Декоративную ценность представляют растения, произрастающие в зарослях инвазивного вида клена ясенелистного. В них отмечены такие декоративные виды, как сирень венгерская, рябина обыкновенная, арония Мичурина, ландыш майский и др.

Также, древесно-кустарниковые заросли с участием плодово-ягодных растений являются привлекательным местом обитания для птиц, в том числе певчих. Согласно эколого-ценотической характеристике, основная часть гнездящихся видов птиц малых рек г. Перми относится к группе древесно-кустарниковых, в среднем 40% - 50% видов. Около 20% лесные, 10-20% водные и околоводные, 5-20% луговые, 10-20% повсеместные виды птиц [40].

Согласно сообщению Г.А. Воронова, Д.С. Исакова, М.В. Жуковой [9], в долинах Егошихи и Данилихи преобладают лесные виды. Также, древесно-кустарниковые заросли с участием плодово-ягодных растений являются привлекательным местом обитания для птиц, в том числе певчих. Согласно эколого-фаунистической характеристике птиц долины реки Егошихи около 70% представителей орнитофауны относится к группе лесных и кустарниковых видов.

С целью сохранения природной среды и эффективного природопользования на основании проведенного обследования в долине р. Зеленки предлагается выделить следующих зон (рис. 7 / fig. 7):

- зона сохранения природной среды;
- зона реставрации природной среды;
- переходная зона от урбанизированной к природной среде.

Зона сохранения природной среды. В нее предлагается включить пойменные экосистемы, поскольку

среди экосистем обследованной территории они являются наиболее ценными в том виде, в котором они представлены в настоящее время.

Особое внимание необходимо уделять сохранению ириса аировидного. Рекомендуется наблюдение за состоянием его ценопопуляции.

Возможна интродукция ириса сибирского (*Iris sibirica*), занесенного в Красную книгу Пермского края (III категория редкости). В Пермском крае известны 15 естественных местообитаний этого вида на пойменных лугах [22]. На территории Перми вид отмечен на ООПТ «Нижекуринские водно-болотные угодья» [30]. Вид успешно культивируется в Ботаническом саду ПГНИУ [22].

Кроме того, возможна интродукция пальчатокоренника мяско-красного (*Dactylorhiza incarnata*), включенного в Приложение к Красной книге Пермского края. Растение встречается нередко на территории большинства районов края. Растет на заболоченных лугах, низинных осоковых болотах, среди кустарников [22]. Встречается в долинах рек Перми [3, 25].

В Перми успешный опыт культивирования редких видов растений получен в саду Соловьев [25].

В зоне сохранения природной среды рекомендуется очистка территории от мусора. Выкорчевывание молодых экземпляров клена ясенелистного.

Благоустройство поймы реки не рекомендуется. Возможно возведение одной наблюдательной площадки на сваях над рекой (по типу пирса) с установкой информационного аншлага и урны.

Зона реставрации природной среды. Экологическая реставрация нарушенных ландшафтов – это возврат их компонентов в прежнее естественное или близкое к нему состояние с целью поддержания экологического равновесия и природного биоразнообразия, и обеспечения высококачественной среды жизни в городе. При реставрации желателен возврат к прежнему состоянию компонентов ландшафта, но в соответствии с экологическими законами он не может быть полным [38].

В зону реставрации предлагается выделить правобережную территорию занятую, зарослями деревьев и кустарников, и припойменную часть левобережного участка обследованной территории.

Доминирующим видом древесно-кустарниковых зарослей является инвазивный вид клен ясенелистный. Его пыльца является сильным аллергеном [11]. Сомкнутость крон в кленовниках достигает 100%, что исключает развитие под его пологом других пород и развитого травяного покрова [5, 15]. В условиях г. Екатеринбурга не зафиксировано поедание семян клена ясенелистного птицами или млекопитающими [5]. Не используют в качестве кормовой базы листву этого растения и аборигенные беспозвоночные [15]. Высказываются предложения по принятию комплексной программы по замене этого вида на другие древесные породы [13, 27].

Клен ясенелистный характеризуется высокой скоростью роста. Каждый год дает обильный самосев. В стадию плодоношения вступает в возрасте 6-7 лет. При спиливании деревьев происходит обильное вегетативное возобновление [5]. Регулирование численности

клена ясенелистного, прежде всего, должно осуществляться путем уничтожения подроста в течение первых 2-3 лет жизни. Распространению самосева препятствует осенне-весенний сбор листового опада [21]. Уничтожение нежелательных деревьев возможно инсекционным способом с использованием арборицидов

[31]. Клен ясенелистный – двудомное растение. Прореживание зарослей с удалением, прежде всего, женских растений позволяет вести эффективную борьбу с наименьшим ущербом зеленым насаждениям, доля в которых клена достаточно велика.



Рис. 7. Функциональное зонирование участка реки Зеленка
Fig. 7. Functional zoning of the Zelenka River section

На месте удаленных экземпляров клена рекомендуется посадка деревьев и кустарников, повышающих декоративную ценность, а также привлекательность этого участка для птиц. Для посадки возможно рассмотреть ассортимент растений, источающих приятный аромат при цветении. К таковым, к примеру, относятся аборигенные виды липа сердцелистная (*Tilia cordata*), черемуха обыкновенная (*Padus avium*), яблоня лесная (*Malus sylvestris*); менее агрессивные адвентивные виды яблоня ягодная (*Malus baccata*), сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris*), чубушник душистый (*Philadelphus coronarius*), чубушник пушистый (*Philadelphus pubescens*), шиповник морщинистый (*Rosa rugosa*) и др.

Вдоль левого берега Зеленки в верхней по течению части обследованного участка с целью сохранения и увеличения растительного и животного разнообразия населения рекомендуется высадка деревьев и кустарников, характерных для пойменных фитоценозов Пермского края: вяз гладкий (*Ulmus laevis*), вяз шершавый (*Ulmus glabra*), ольха черная (*Alnus glutinosa*), ольха серая (*Alnus incana*), черемуха обыкновенная (*Padus avium*), ива белая (*Salix alba*) (возможно исполь-

зование культиваров плакучих ив, полученных на основе этого вида), свиды белая (*Swida alba*) [24]. Среди трав рекомендуются к высадке страусник обыкновенный (*Matteuccia struthiopteris*), купальница европейская (*Trollius europaeus*), дербенник иволистный (*Lythrum salicaria*).

В зоне реставрации природной среды необходима очистка территории от мусора. С целью предотвращения дальнейшего захламления рекомендуется ограждение территории со стороны гаражей и детского сада.

В переходную зону от урбанизированной к природной среде рекомендуется выделить участки, занятые луговыми сообществами на левобережном склоне и разнотравным сообществом из сорно-рудеральных видов над местом выхода р. Зелёнка из коллектора.

В этой зоне рекомендуется ступенчатое террасирование с укреплением склона и создание прогулочной зоны.

Необходимо провести выкорчевывание молодых экземпляров клена ясенелистного.

Рекомендуется озеленение террас путем создания экосистем с фитоценозами, приближенными по своему составу и ярусности к естественным зональным.

В настоящее время в России и за рубежом отмечается рост интереса к использованию аборигенных растений и воссозданию природных сообществ на городских территориях. Так, в Германии в практике городского озеленения разработана концепция «спонтанной растительности», которая формируется без вмешательства человека, из существующего почвенного банка семян или естественного расселения растений [43]. В Москве и Санкт-Петербурге реализуются проекты озеленения с применением представителей местной флоры и фауны [14, 18].

Левобережная часть Перми расположена у северной границы района широколиственно-елово-пихтовых лесов. Для древесного яруса лесов этого района типичны ель сибирская (*Picea obovata*), пихта сибирская (*Abies sibirica*) (посадку пихты не стоит рассматривать из-за происходящей в Пермском крае с 2022 г. инвазии жука-короеда уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus*)), липа сердцелистная (*Tilia cordata*), для вторичных лесов – береза повислая (*Betula pendula*), осина (*Populus tremula*). Реже, по склонам и песчаным почвам в долине Камы встречается сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*). Еще более редкими породами являются изредка сопровождающая сосну лиственница сибирская (*Larix sibirica*) и дуб черешчатый (*Quercus robur*), выходящий в древесный ярус в южной половине района. На хорошо увлажненных участках и в поймах рек произрастают береза белая (*Betula alba*), ива белая (*Salix alba*), ольха черная (*Alnus glutinosa*), ольха серая (*Alnus incana*), очень редко – тополь белый (*Populus alba*). Для второго подъяруса древесного яруса характерны клен платанолистный (*Acer platanoides*), вяз шершавый (*Ulmus glabra*), вяз гладкий (*Ulmus laevis*).

Подлесок образуют рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), черемуха обыкновенная (*Padus avium*), ива козья (*Salix caprea*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus*), бузина сибирская (*Sambucus sibirica*). Редкими являются лещина обыкновенная (*Corylus avellana*), боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea*). Среди менее высоких кустарников распространены шиповники иглистый (*Rosa acicularis*) и майский (*Rosa majalis*), смородина черная (*Ribes nigrum*) и колосистая (*Ribes spicatum* s.l.), бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosa*), ракитник русский (*Chamaecytisus ruthenicus*), вишня степная (*Cerasus fruticosa*). Обычны крушина ломкая (*Frangula alnus*), жимолость обыкновенная (*Lonicera xylosteum*) и волчник обыкновенный (*Daphne mezereum*), плоды которых могут быть привлекательны для детей, но являются ядовитыми, в связи с чем в контексте озеленения прогулочной зоны эти виды рассматривать не стоит.

Склон имеет юго-восточную экспозицию, в связи с чем хорошо освещается и прогревается. Следовательно, для посадки на верхней террасе подойдут ксероморфные травы [7]: овсяница красная (*Festuca rubra*) и валисская (*Festuca valesiaca*), ветреница лесная (*Anemonoides sylvestris*), эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria*), душица обыкновенная (*Origanum vulgare*), зопник клубненосный (*Phlomis tuberosa*), астрагал датский (*Astragalus danicus*), спаржа лекарственная (*Asparagus officinalis*), змеого-

ловник Рюйша (*Dracocephalum ruyschiana*) и др. Увеличить биологическое разнообразие и повысить природоохранную ценность участка возможно через внедрение в создаваемые сообщества видов, включенных в Красную книгу Пермского края и Приложение к ней [22]: адонис весенний (*Adonis vernalis*), герань кроваво-красная (*Geranium sanguineum*), астра альпийская (*Aster alpinus*), прострел раскрытый (*Pulsatilla patens*), василек сибирский (*Psephellus sibiricus*).

На более низких террасах рекомендуется посев мезофильных трав: полевицы тонкой (*Agrostis tenuis*), тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium*), клевера лугового (*Trifolium pratense*), нивяника обыкновенного (*Leucanthemum vulgare*), герани луговой (*Geranium pratense*), зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum*) и др. Из числа видов, включенных в Приложение к Красной книге Пермского края могут быть использованы наперстянка крупноцветковая (*Digitalis grandiflora*), лилия волосистая (*Lilium pilosiusculum*), любка двулистная (*Platanthera bifolia*), пион уклоняющийся (*Paeonia anomala*).

Озеленение является важным инструментом митигации и адаптации к изменению климата.

С точки зрения климатической митигации при подборе древесных пород рекомендуется учесть скорость секвестрации углерода различными породами деревьев. Активнее всего углерод поглощают (т CO₂ в год/га) осина – до 3,6; береза – до 3,3; дуб – до 3,2. Несколько меньше углерода поглощают: сосна – до 2,4; ель и пихта – до 2; кедр и лиственница – до 1,8 [35].

Озелененные территории работают как климатические убежища, создавая охлаждающий эффект за счет затенения и транспирации. Увеличение зеленого пространства и накопление дождевой воды в городских водоемах позволяет эффективно снижать риски подтопления при ливневых осадках [33]. Отличительной особенностью современного проектирования городских территорий является внимание к гидрологическому циклу [36]. В настоящее время в практику активно внедряются альтернативные подходы к регулированию дождевого стока. Разрабатываются программы, в которых регламентируется проектирование и технология возведения таких экотехнологических элементов как дренажные каналы, дождевые сады, биофильтрационный склон и др. [44, 47, 48]. В зоне реставрации природной среды рекомендуется рассмотреть возможность создания дождевого сада.

С целью повышения биоразнообразия всего исследуемого участка необходима реализация следующих мероприятий и внедрение ограничительных мер, разработанных для ООПТ «Егошихинская долина»:

- развешивание искусственных гнездовий, дуплянок, щелянок;
- устранение мест постоянного проживания безнадзорных животных и контроль за их численностью для увеличения числа видов, гнездящихся на земле и нижней части древесно-кустарниковой растительности;
- ограничение на проведение любых хозяйственных работ в период гнездования птиц с 10 мая по 20 июня.

Заключение

Сохранение и восстановление природных комплексов долин малых рек в условиях урбанизации имеет большое значение для сохранения биоразнообразия в черте города.

Обследованная территория и ее экосистемы обеспечивают экологическое равновесие значительной части водосборного бассейна р. Егошихи и ООПТ «Егошихинская долина». Сохранность речных долин оказывает существенное влияние на способность зеленых насаждений и природных территорий смягчать воздействие города на климат, а самих городов адаптироваться к климатическим изменениям.

В ходе полевого обследования участка долины р. Зеленка получены данные о почвенном покрове, растительности и флоре, орнитофауне. Проанализировано качество воды в реке. Проведена оценка состояния экосистем.

Почвенный покров обследованного участка сложен почвами аллювиальными гумусовыми глееватыми урбистратифицированными, серогумусовыми урбистратифицированными и литостратами. Основными типами растительности на обследуемом участке являются злаково-разнотравные луга, зарастающие кленом ясенелистым, пойменные злаково-разнотравные и злаково-камышовые сообщества, древесно-кустарниковое сообщество с преобладанием клена ясенелистного, разнотравное сообщество из сорно-рудеральных видов.

Зафиксировано 128 видов высших сосудистых растений. Отмечен ирис айровидный, занесенный в Приложение к Красной книге Пермского края и эндемик широколиственных лесов Приуралья цицербита уральская.

Выявлено 24 вида птиц, что составляет 28% от общего видового разнообразия птиц долины реки Егошихи и 8% от всего количественного разнообразия птиц города Перми. Синантропных видов на исследованном участке более 30%.

По результатам анализа проб воды установлено, что в истоке воды более минерализованы, а при дальнейшем течении реки происходит их разбавление. Отмечены превышения ПДК по кальцию и по сульфат-иону.

По степени деградации экосистемы обследуемой территории в основном относятся к очень сильнодеградированным.

С целью сохранения природной среды и эффективного природопользования в долине р. Зеленка предлагается выделить следующих функциональных зон: зона сохранения природной среды, зона реставрации природной среды, переходная зона от урбанизированной к природной среде. Рекомендованы мероприятия для повышения природоохранной и рекреационной ценности территории.

Среди экосистем обследованной территории наиболее близкими к своему естественному состоянию являются пойменные экосистемы, в связи, с чем они выделены в зону сохранения природной среды. Особое внимание необходимо уделять сохранению ириса айровидного. Рекомендуется наблюдение за состоянием его ценопопуляции. Благоустройство поймы реки не реко-

мендуется. Возможно возведение одной наблюдательной площадки на сваях над рекой по типу пирса с установкой информационного аншлага и урны.

В зону реставрации природной среды выделена правобережная территория, занятая зарослями деревьев и кустарников и припойменная часть левобережного участка. С целью предотвращения дальнейшего захламления рекомендуется ограждение территории со стороны гаражей и детского сада. Рекомендуется регулирование численности клена ясенелистного. На месте удаленных экземпляров клена рекомендуется посадка деревьев и кустарников, повышающих экологическую и декоративную ценность территории.

В переходную зону от урбанизированной к природной среде выделены участки, занятые луговыми сообществами на левобережном склоне и разнотравным сообществом из сорно-рудеральных видов над местом выхода р. Зелёнка из коллектора. В этой зоне рекомендуется ступенчатое террасирование с укреплением склона и создание прогулочной зоны. Необходимо озеленение террас путем создания экосистем с фитоценозами, приближенными по своему составу и ярусности к естественным зональным. Поскольку озеленение является важным инструментом митигации при подборе древесных пород рекомендуется учесть скорость секвестрации углерода различными породами деревьев.

Увеличение зеленого пространства и накопление дождевой воды в городских водоемах позволяет эффективно снижать риски подтопления при ливневых осадках. В зоне реставрации природной среды рекомендуется рассмотреть возможность создания дождевого сада.

Повсеместно необходима очистка территории от мусора и выкорчевывание молодых экземпляров клена ясенелистного. Увеличить биологическое разнообразие и повысить природоохранную ценность участка возможно через внедрение в сообщества видов, внесенных в Красную книгу Пермского края и Приложение к ней. С целью повышения биоразнообразия всего исследуемого участка необходима реализация следующих мероприятий и внедрение ограничительных мер, разработанных для ООПТ «Егошихинская долина».

Современная урбанизация приводит к весьма значительной деградации природной среды долин рек. Для обеспечения благоприятных условий проживания горожан, сохранения географического разнообразия требуется целенаправленная деятельность по восстановлению экосистем малых водотоков.

Сведения об авторском вкладе

С.А. Бузмаков – постановка задачи исследования, формулировка идеи статьи, научное редактирование, вычитка итоговой версии статьи;

И.Ф. Абдулманова – подготовка рукописи, сбор, систематизация сведений о растительном покрове, зонирование территории, разработка рекомендаций;

И.Е. Шестаков – сбор, систематизация сведений о почвенном покрове, подготовка отдельных частей рукописи, вычитка итоговой версии статьи;

Л.С. Кучин – обработка пространственных данных, подготовка карт, подготовка отдельных частей рукописи, вычитка итоговой версии статьи;

Д.С. Исаков – сбор, систематизация сведений об орнитологических объектах, подготовка отдельных частей рукописи, вычитка итоговой версии статьи;

А.В. Сыстеров – сбор, систематизация сведений о качестве воды, климатических условиях.

Contribution of the authors

S.A. Buzmakov – setting the research objective, formulating the idea for the article, scientific editing, proofreading the final version of the article;

I.F. Abdulmanova – preparation of the first edition of the manuscript, collecting and systematizing information about vegetation, zoning of the territory, development of recommendations;

I.E. Shestakov – collecting, systematizing information about soil cover, preparation of the manuscript separate parts, proof reading the final version of the article;

L.S. Kuchin – spatial data processing, preparation of maps, preparation of the manuscript separate parts, proof reading the final version of the article;

D.S. Isakov – collecting and systematizing information on ornithological sites, preparation of the manuscript separate parts, writing an article, proofreading the final version of the article;

A.V. Systero – collecting and systematizing information about water quality, climatic conditions.

Список источников

1. Атлас особо охраняемых природных территорий Пермского края / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: Астер, 2017. 374 с.

2. Боголюбов А.С. Методы учетов численности птиц: маршрутные учеты. М.: Экосистема, 1996. 17 с.

3. Бузмаков С.А., Кувшинский И.А., Шестаков И.Е., Абдулманова И.Ф., Кучин Л.С., Исаков Д.С. Природная среда долины реки Большой Мотовилихи // Антропогенная трансформация природной среды. 2023. Т. 9. № 2. С. 22-36. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-23-37>

4. Бузмаков С.А., Овеснов С.А., Шепель А.И., Зайцев А.А. Экологическая оценка состояния особо охраняемых природных территорий регионального значения // Географический вестник. 2011. № 2(17). С. 49-59.

5. Бунькова Н.П., Залесов С.В., Котова В.С., Марковская А.Н., Мартюшов П.А. Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) в озеленении г. Екатеринбурга // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 12 (126). С. 1-7. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.126.19>

6. Варушкина Т.С., Исаков Д.С., Матвеева Г.К. Орнитофауна долин малых рек города Перми // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: сборник материалов Всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка. Пермь: ПГНИУ, 2022. С. 44-50.

7. Владыкина В.Д., Тукова Д.Е., Третьякова А.С., Петрова И.В. Возможность использования аборигенных видов растений в озеленении г. Екатеринбурга // Ботанические сады в современном мире. 2023. №3. С. 46-49. <https://doi.org/10.24412/cl-36595-2023-3-46-49>

8. Воронов Г.А. Животные города Перми. Позвоночные. Пермь: Форвард-С, 2010. 296 с.

9. Воронов Г.А., Исаков Д.С., Жукова М.В. Наземные позвоночные животные в долинах рек Данилиха и Егошиха города Перми // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. № 2. С. 6-23. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-6-23>

10. Вишкова Т.С. Сохранение биоразнообразия на урбанизированных территориях: международный опыт и региональный аспект // Сохранение биоразнообразия в Азиатско-Тихоокеанском регионе: 50-лет Программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера (МАБ)»: тезисы докладов пленарного заседания. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2022. С. 60-68.

11. Григорьевская А.Я., Лепёшкина Л.А., Владимиров Д.Р., Сергеев Д.Ю. К созданию чёрной книги Воронежской области // Российский Журнал Биологических Инвазий. 2013. № 1. С. 8-26.

12. Дадашева Л.К. Биоэкологические особенности ириса болотного (*Iris pseudacorus* L.) // Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования, использования и охраны: материалы IV Международного научного семинара. Минск: ООО «Колорград», 2021. С. 37-40.

13. Жуков Р.С., Ломоносова Л.М. Клен ясенелистный в городских лесах Москвы // Научное обозрение. Биологические науки. 2016. № 3. С. 49-50.

14. Заповедный луг. Проект команды «Архитекторы луга» [Электронный ресурс]. URL: https://arch-lug.ru/cherished_meadow (дата обращения: 27.07.2024).

15. Иванов А.И. Влияние изменения характера антропогенной нагрузки на луговую и водно-болотную растительность поймы р. Сура // Нива Поволжья. 2018. № 4(49). С. 103-109.

16. Иллюстрированный определитель растений Пермского края / под ред. С.А. Овеснова. Пермь: Книжный мир, 2007. 743 с.

17. Карта почвенно-экологического картографирования Восточно-Европейской равнины. М: 1:2 500 000. М., 1997.

18. Керимова Н.А. О перспективах создания культурных фитоценозов по типу природных растительных сообществ Северо-западного региона в буферном пространстве общественных зданий // Лесной вестник. 2015. № 5. С. 120-127.

19. Коблик Е.А., Архипов В.Ю. Фауна птиц стран Северной Евразии в границах бывшего СССР: списки видов // Зоологические исследования. 2014. № 14. 171 с.

20. Коротаев Н.Я. Почвы Пермской области. Пермь: Пермское книжное изд-во, 1962. 280 с.

21. Костина М.В., Ясинская О.И., Барабаничкова Н.С. Разработка научно-обоснованного подхода использования клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) в озеленении Москвы // Социально-экологические технологии. 2017. № 3. С. 51-64.

22. Красная книга Пермского края / под общ. ред. М.А. Бакланова. Пермь: Алдари, 2018. 232 с.

23. Красная книга Среднего Урала (Свердловская и Пермская области): Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений / под ред. В.Н. Большакова, П.Л. Горчаковского. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1996. 279 с.

24. Методические рекомендации по благоустройству долин малых рек города [Электронный ресурс].

URL: [http://ecolog59.com/assets/files/metod_rekomendacii_blagoustroystvo-dolin-malyh-rek-goroda\(1\).pdf](http://ecolog59.com/assets/files/metod_rekomendacii_blagoustroystvo-dolin-malyh-rek-goroda(1).pdf) (дата обращения: 27.07.2024).

25. Молганова Н.А., Овеснов С.А. Сосудистые растения сквера «Сад Соловьев» (г. Пермь) // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2020. № 3. С. 173-180. <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2020-3-173-180>

26. Никитина Е.В. Орнитофауна зеленых насаждений города Перми и пути ее формирования // Вестник ПГГПУ. 2015. № 1-2. С. 15-23.

27. Новоселова Л.В., Хохлова Ю.Е., Баглей Н.В. Роль экологической общественности в решении проблемы фитоинвазии клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) на территории Перми // Фитоинвазии: остановить нельзя сдаваться: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Москва, Издательство Московского университета, 2022. С. 438-446.

28. Овеснов С.А. Местная флора Пермского края и ее анализ. Пермь: Перм. гос. ун-т., 2009. 215 с.

29. О порядке разработки и утверждения нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в воды в водных объектах рыбохозяйственного значения: приказ министерства сельского хозяйства РФ № 552 от 13.12.2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71486774/> (дата обращения: 20.07.2024).

30. Охраняемый ландшафт «Нижекуринские водно-болотные угодья» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.prirodaperm.ru/osobo-ohranyaemye-territorii/2021/01/12/5823> (дата обращения: 27.07.2024).

31. Пестициды против клена [Электронный ресурс]. URL: <https://rupest.ru/primeneniye/zemlya/klen/spisok-pestitsidov.html> (дата обращения: 27.07.2024)

32. Приоритеты климатической адаптации мегаполиса: люди, природа, техника. Алгоритм, стратегия и план действий / под ред. Е. Гашо. М.: ННФ «РиОС», 2019. 56 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://mpei.ru/personal/Lists/CadrePapers/Attachments/2893/АДАПТАЦИЯ> (дата обращения: 12.04.2025)

33. Природные климатические решения. Обзор международных подходов [Электронный ресурс]. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/4cc45c240a939c79ffd2ca08b0d57715/071122.pdf> (дата обращения: 27.07.2024).

34. Рихтер Г.Д. Физико-географическое районирование СССР. Физико-геогр. атлас мира. М., 1964. С. 248-249.

35. Рослесинфорг. Леса Ленинградской области и Санкт-Петербурга накопили более полумиллиарда тонн углерода [Электронный ресурс]. URL: <https://roslesinform.ru/news/all/lesa-leningradskoy-oblasti-i-sankt-peterburga-nakopili-bolee-polumilliarda-tonn-ugleroda/> (дата обращения: 27.07.2024).

36. Садковская О.Е. Технологии эко-урбанизма как ответ на последствия изменения климата // Урбанистика. 2018. № 2. С. 98-102. <https://doi.org/10.7256/2310-8673.2018.2.25641>

37. Сунцев А.С., Леонова-Вендровская З.А., Денисов М.И., Черткова И.И. Структурная геология и геологическое картирование. Геологическое строение района г. Перми. Пермь: Перм ун-т, 2012. 115 с.

38. Темуор А.Н. Пути экореконструкции и экореставрации городов // Sciences of Europe. 2018. № 23-1(23). С. 69-77.

39. Фащевский Б.В. Экологическое значение поймы в речных экосистемах // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2007. № 5. С. 118-129.

40. Шенель А.И., Матвеева Г.К. Птицы города Перми. Пермь: Книжный мир. 2014. 344 с.

41. Экология города. Состояние и охрана окружающей среды города Перми / Администрация города Перми, Управление по экологии и природопользованию. Пермь: Пермское кн. изд-во. 2013. 115 с.

42. Fares S., Calfapietra C., Mikkelsen T., Samson R., Le Thiec D. Carbon Sequestration by Urban Trees // The Urban Forest. Future City / D. Pearlmutter (ed.). 2017. Vol. 7. P. 31-39. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9_4

43. Kuhn N. Intentions for the unintentional spontaneous vegetation as the basis for innovative planting design in urban areas // Journal of Landscape Architecture. 2006. Vol. 1. Iss. 2. P. 46-53. <https://doi.org/10.1080/18626033.2006.9723372>

44. Low Impact Development Design Guidance Manual [Электронный ресурс]. URL: https://nacto.org/wp-content/uploads/2015/04/lid_design_guidance_uskh.pdf (дата обращения: 27.07.2024).

45. Nowak D.J., Crane D.E. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA // Environ Pollut. 2002. Vol. 116. Iss. 3. P. 381-389. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)

46. Pasher J., Mc Govern M., Khoury M., Duffe J. Assessing carbon storage and sequestration by Canada's urban-forests using high resolution earth observation data // Urban Forestry & Urban Greening. Vol. 13. № 3. 2014. P. 484-494. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.05.001>

47. Sustainable Drainage Systems (SUDS). Environment Agency, England, 2018. [Электронный ресурс]. URL.: <http://modern.gov.sthelens.gov.uk/mgConvert2PDF.aspx?ID=89588> (дата обращения: 27.07.2024).

48. Water Sensitive Urban Design. Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future [Электронный ресурс]. URL: http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/W5-1_GEN_MAN_D5.1.5_Manual_on_WSUD.pdf (дата обращения: 27.07.2024).

49. Yang J., McBride J., Zhou J., Sun Z. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction // Urban Forestry & Urban Greening. 2005. № 3. P. 65-78. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2004.09.001>

References

1. Buzmakov, S., (ed.), 2017. Atlas osobo ohranjaemykh prirodnih territorij Permskogo kraja [Atlas of protected areas of the Perm region]. Perm, Russia, Aster. 374 p. (in Russian)
2. Bogolyubov, A., 1996. *Metody ucheta chislennosti ptic: marshrutnye uchety* [Methods for counting bird numbers: route counts]. Moscow, Ekosistema, 17 p. (in Russian)
3. Buzmakov, S., Kuvshinsky, I., Shestakov, I., Abdulmanova, I., Kuchin, L. and Isakov, D., 2023. Natural environment of the Bolshaya Motovilikh river valley. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 9(2), pp. 22-36.

- <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-23-37> (in Russian)
4. Buzmakov, S., Ovesnov, S., Shepel, A. and Zaycev, A., 2011. Ecological assessment of the state of specially protected natural areas of regional significance. *Geographical bulletin*, (2), pp. 49-59. (in Russian)
 5. Bunkova, N., Zalesov, S., Kotova, V., Markovskaya, A. and Martyushov, P., 2022. Maple ash (*Acer negundo* L.) in landscaping of Yekaterinburg. *International Research Journal*, 12(126). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.126.19> (in Russian)
 6. Varushkina, T., Isakov, D. and Matveeva, G., 2022. Ornithofauna dolin malykh rek goroda Permi [Ornithofauna of the valleys of small rivers of the city of Perm]. In: *Environmental safety in conditions of anthropogenic transformation of the natural environment: a collection of materials from the All-Russian school-seminar dedicated to the memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmark*. Perm, Russia, Perm State University, pp. 44-50. (in Russian)
 7. Vladykina, V., Tukova, D., Tretyakova, A. and Petrova, I., 2023. Possibility of using native plant species in landscaping in Yekaterinburg. *Botanical gardens in the modern world*, (3), pp. 46-49. <https://doi.org/10.24412/ci-36595-2023-3-46-49> (in Russian)
 8. Voronov, G., 2010. *Zhivotnye goroda Permi. Pozvonochnye* [Animals of the city of Perm. Vertebrates]. Perm, Russia, Forward-S. 296 p. (in Russian)
 9. Voronov G., Isakov D. and Zhukova M., 2021. Terrestrial vertebrates in the valleys of the Danilikha and Yegoshikha rivers in the city of Perm. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 7(2). pp. 6-23. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-6-23> (in Russian)
 10. Vshivkova, T., 2022. *Sokhraneniye bioraznobraziya na urbanizirovannykh territoriyakh: mezhdunarodnyy opyt i regional'nyy aspekt* [Conservation of biodiversity in urban areas: international experience and regional aspect]. *Biodiversity conservation in the Asia-Pacific region: 50th anniversary of the UNESCO Man and the Biosphere (MAB) Program: abstracts of reports of the plenary session*. Vladivostok, Russia, VSUES Publishing House. pp. 60-68. (in Russian)
 11. Grigorievskaya, A., Lepeshkina, L., Vladimirov, D. and Sergeev, D., 2013. Towards the creation of a black book of the Voronezh region. *Russian Journal of Biological Invasions*, (1), pp. 8-26. (in Russian)
 12. Dadasheva, L., 2021. *Bioekologicheskiye osobennosti irisa bolotnogo (Iris pseudacorus L.)* [Bioecological features of marsh iris (*Iris pseudacorus* L.)]. In: *Vegetation of swamps: modern problems of classification, mapping, use and protection: Materials of the IV International Scientific Seminar*. Minsk, Belarus. Limited Liability Company "Kolorgrad", pp. 37-40. (in Russian)
 13. Zhukov, R. and Lomonosova, L., 2016. *Acer negundo* in the urban forests of Moscow. *Scientific review. Biological Sciences*, (3), pp. 49-50. (in Russian)
 14. Reserved meadow. Project of the team "Meadow Architects". Available from: https://archlug.ru/cherished_meadow [Accessed 27th July 2024].
 15. Ivanov, A., 2018. The influence of changes in the nature of anthropogenic load on meadow and wetland vegetation of the R. Sura floodplain. *Niva Povolzhya*, 4(49), pp. 103-109. (in Russian)
 16. Ovesnov, S. (ed), 2007. *Illyustrirovannyj opredelitel' rastenij Permskogo kraja* [Illustrated guide to plants of the Perm region]. Perm, Russia, Knizhnyj mir. 743 p. (in Russian)
 17. *Karta pochvenno-ekologicheskogo kartografirovaniya Vostochno-Yevropeyskoy ravniny. Masshtab 1:2500000* [Soil-ecological mapping map of the East European Plain. M 1:2500000]. Moscow., 1997. (in Russian)
 18. Kerimova, N., 2015. On the prospects for creating cultural phytocenoses similar to natural plant communities of the North-Western region in the buffer space of public buildings. *Lesnoy Vestnik*, (5), pp. 120-127. (in Russian)
 19. Koblik, E. and Arhipov, V., 2004. Fauna ptic stran Severnoj Evrazii v granicah byvshego SSSR: cpiski vidov [Bird fauna of the countries of Northern Eurasia within the borders of the former USSR: lists of species]. *Zoologicheskie issledovaniya*. 14, 171 p. (in Russian)
 20. Korotaev, N., 1962. *Pochvy Permskoj oblasti* [Soils of the Perm region]. Perm: Permskoe knizhnoe izd-vo. 280 p. (in Russian)
 21. Kostina, M., Yasinskaya, O. and Barabanshchikova, N., 2017. Development of a scientifically based approach to the use of ash maple (*Acer negundo* L.) in landscaping Moscow. *Social and environmental technologies*, (3), pp. 51-64. (in Russian)
 22. Baklanov, M. (ed.), 2018. *Krasnaya kniga Permskogo kraja* [Red List of the Perm Region 2018]. Perm, Aldari. 232 p. (in Russian)
 23. Bolshakov, V. and Gorchakovskiy, P. (ed.), 1996. *Krasnaya kniga Srednego Urala (Sverdlovskaya i Permskaya oblasti): Redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnykh i rasteniy* [Red Book of the Middle Urals (Sverdlovsk and Perm regions): Rare and endangered species of animals and plants]. Yekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta. 279 p. (in Russian)
 24. Metodicheskiye rekomendatsii po blagoustroystvu dolin malykh rek goroda [Methodological recommendations for the improvement of small river valleys in the city] Available from: [http://ecolog59.com/assets/files/metod_rekomendacii_blagoustroystvo-dolin-malyh-rek-goroda\(1\).pdf](http://ecolog59.com/assets/files/metod_rekomendacii_blagoustroystvo-dolin-malyh-rek-goroda(1).pdf) [Accessed 27th July 2024].
 25. Molganova, N. and Ovesnov, S., 2020. Vascular plants of the Soloviev Garden square (Perm). *Bulletin of Perm University. Series: Biology*, (3), pp. 173-180. <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2020-3-173-180> (in Russian)
 26. Nikitina, E., 2015. Ornithofauna of green spaces in the city of Perm and the ways of its formation. *Bulletin of Perm University. Series: Biology*, (1-2), pp. 15-23. (in Russian)
 27. Novoselova, L., Khokhlova, Yu. and Bagley, N., 2022. Rol' ekologicheskoy obshchestvennosti v reshenii problemy fitoinvazii klena yasenelistnogo (*Acer negundo* L.) na territorii Permi [The role of the environmental community in solving the problem of phytinfestation of ash maple (*Acer negundo* L.) in Perm]. In: *Phytinvasions: you can't give up to stop: materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, pp. 438-446. (in Russian)
 28. Ovesnov, S., 2009. *Mestnaya flora Permskogo kraja i ee analiz* [Local flora of the Perm region and its analysis]. Perm, Russia, Perm State University. 215 p. (in Russian)

29. О порядке разработки и утверждения нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в воде водных объектов рыбного назначения [On the procedure for developing and approving standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in water in water bodies of fishery importance]. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation № 552 from 13.12.2016. Available from: <https://www.garant.ru/prod-ucts/ipo/prime/doc/71486774/> [Accessed 20th July 2024]. (in Russian)
30. Protected landscape «Nizhnekuryinsky wetlands». Available from: <http://www.priodaperm.ru/osoboo-hranyaemye-territorii/2021/01/12/5823> [Accessed 27th July 2024]. (in Russian)
31. Pesticides against maple. Available from: <https://rupest.ru/primenenie/zemlya/klen/spisok-pestitsidov.html> [Accessed 27th July 2024]. (in Russian)
32. Gacho, E. (ed.), 2019. *Prioritety klimaticheskoy adaptatsii megapolisa: lyudi, priroda, tekhnika. Algoritm, strategiya i plan deystviy* [Priorities for climate adaptation of a metropolis: people, nature, technology. Algorithm, strategy and action plan]. Moscow, Russia. 56 p. Available from: <https://mpei.ru/personal/Lists/CadrePapers/Attachments/2893/АДАПТАЦИЯ> [Accessed 12th April 2025]. (in Russian)
33. Natural climate solutions. Review of international approaches. Available from: <https://www.economy.gov.ru/material/file/4cc45c240a939c79ffd2ca08b0d57715/071122.pdf> [Accessed 27th July 2024]. (in Russian)
34. Richter, G., 1964. *Fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye SSSR. Fiziko-geogr. atlas mira*. [Physico-geographical zoning of the USSR. Physico-geogr. world atlas]. Moscow. pp. 248-249. (in Russian)
35. Roslesinfo. The forests of the Leningrad region and St. Petersburg have accumulated more than half a billion tons of carbon. Available from: <https://roslesinfo.ru/news/all/lesa-leningskoy-oblasti-i-sankt-peterburga-nakopili-bolee-polumilliarda-tonn-ugleroda/> [Accessed 27th July 2024].
36. Sadkovskaya, O., 2018. Eco-urbanism technologies as a response to the consequences of climate change. *Urbanism*, (2), pp. 98-102. <https://doi.org/10.7256/2310-8673.2018.2.25641> (in Russian)
37. Suntsev, A., Leonova-Vendrovskaya, Z., Denisov, M. and Chertkova I., 2012. *Strukturnaya geologiya i geologicheskoye kartirovaniye. Geologicheskoye stroeniye rayona g. Permi: uchebnoye posobiye k praktike po geologicheskoyu kartirovaniyu* [Structural geology and geological mapping. Geological structure of the Perm region: a textbook for practice in geological mapping] Perm: Perm University, 2nd edition, 115 p. (in Russian)
38. Tetior, A. 2018. Ways of eco-reconstruction and eco-restoration of cities. *Sciences of Europe*, 23-1(23), pp. 69-77. (in Russian)
39. Fashchevsky, B., 2007. Ecological significance of the floodplain in river ecosystems. *Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University*, (5), pp. 118-129. (in Russian)
40. Shepel, A. and Matveeva, G., 2014. *Ptitsy goroda Permi* [Birds of the city of Perm]. Perm, Russia, Knizhnyi mir. 344 p. (in Russian)
41. Administration of the city of Perm, Department of Ecology and Natural Resources Management, 2013. *Ekologiya goroda. Sostoyaniye i okhrana okruzhayushchey sredy goroda Permi* [Ecology of the city. Condition and environmental protection of the city of Perm]. Perm, Permskoe knizhnoe izd-vo. 115 p. (in Russian)
42. Fares, S., Paoletti, E., Calfapietra, C., Mikkelsen, T., Samson, R. and Le Thiec, D., 2017. Carbon Sequestration by Urban Trees. In: Pearlmutter, D. (ed.) *The Urban Forest. Future City*, 7. Springer, Cham. pp. 31-39. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9_4
43. Kuhn, N., 2006. Intentions for the unintentional spontaneous vegetation as the basis for innovative planting design in urban areas. *Journal of Landscape Architecture*. 2006. 1(2). pp. 46-53. <https://doi.org/10.1080/18626033.2006.9723372>
44. Low Impact Development Design Guidance Manual. Available from: https://nacto.org/wp-content/uploads/2015/04/lid_design_guidance_uskh.pdf [Accessed 27th July 2024].
45. Nowak, D., Crane, D., 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environ Pollut*, 116(3), pp. 381-389. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)
46. Pasher, J., Mc Govern, M., Khoury, M. and Duffe J., 2014. Assessing carbon storage and sequestration by Canada's urban-forests using high resolution earth observation data. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3). pp. 484-494. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.05.001>
47. Sustainable Drainage Systems (SUDS). Environment Agency, England, 2018. Available from: <http://moderngov.schelens.gov.uk/mgContent2PDF.aspx?ID=89588> [Accessed 27th July 2024].
48. Water Sensitive Urban Design. Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future. Available from: http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/W5-1_GEN_MAN_D5.1.5_Manual_on_WSUD.pdf [Accessed 27th July 2024].
49. Yang J., McBride J., Zhou J. and Sun Z., 2005. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry & Urban Greening*, (3), pp. 65-78. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2004.09.001>

Статья поступила в редакцию 15.01.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 01.09.2025.

The article was submitted 15.01.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 01.09.2025.

РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Краткое сообщение



УДК 502.05, 502.2

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-24-29><https://elibrary.ru/fbxucz>Авиационный учет таймырской популяции дикого северного оленя (*Rangifer tarandus*) в 2024 годуПавел Владимирович Кочкарев¹, Денис Сергеевич Зарубин², Светлана Александровна Маковская³^{1, 2, 3} ФГБУ «Государственный природный заповедник «Центральносибирский», п. Бор, Туруханский район, Красноярский край, Россия^{1,2} csgbz@mail.ru³ limendova@mail.ru

Аннотация. Таймырская популяция диких северных оленей представляет собой неотъемлемую часть экосистем севера Средней Сибири и является привлекательным объектом для туристов. В настоящее время она служит одним из источников питания и благосостояния коренных жителей Таймыра и севера Эвенкии. В 2024 г. проведены авиаучетные работы дикого северного оленя. В результате исследования установлены пути миграции помеченных годом ранее особей дикого северного оленя. Во время проведения авиаучетных работ выделены кластеры массового скопления животных, оценена их численность и половозрастная структура стад дикого северного оленя.

Ключевые слова: таймырская популяция дикого северного оленя, мониторинг, состояние популяции, территориальное размещение, половозрастная структура, численность

Финансирование: государственный контракт с Министерством природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края № 0119200000124002550 от 26.03.2024 г.

Для цитирования: Кочкарев П.В., Зарубин Д.С., Маковская С.А. Авиационный учет таймырской популяции дикого северного оленя (*Rangifer tarandus*) в 2024 году // Антропогенная трансформация природной среды. 2025. Т. 11. № 2. С. 24-29. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-24-29>. EDN FBXUCZ.

SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

Short Communications Article

Aviation census of the Taymyr wild reindeer population (*Rangifer tarandus*) in 2024Pavel V. Kochkarev¹, Denis S. Zarubin², Svetlana A. Makovskaya³^{1, 2, 3} FSBSI "Central Siberian State Nature Reserve", Bor settlement, Turukhansky district, Krasnoyarsk Krai, Russia^{1,2} csgbz@mail.ru³ limendova@mail.ru

Abstract. The Taymyr wild reindeer population is an integral part of the ecosystems of Northern Central Siberia and is an attractive tourist destination. Currently, it serves as one of the main sources of food and well-being for the indigenous peoples of Taymyr and Northern Evenkia. In 2024, aerial surveys of wild reindeer were conducted. As a result of the study, migration routes of tagged wild reindeer individuals in 2024 and summer pasture locations were established. During the aerial surveys, clusters of mass animal aggregations were identified, and their numbers and age-sex structure were assessed.

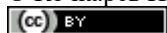
Keywords: Taymyr wild reindeer population, monitoring, population status, territorial distribution, age-sex structure, numbers

Funding: government contract with the Ministry of Natural Resources and Forestry of Krasnoyarsk Krai No. 0119200000124002550 dated March 26, 2024.

For citation: Kochkarev, P., Zarubin, D. and Makovskaya, S., 2025. Aviation census of the Taymyr wild reindeer population (*Rangifer tarandus*) in 2024. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 11(2), pp. 24-29. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-24-29>. EDN FBXUCZ. (in Russian)

Введение. Изучение, охрана и рациональное использование дикого северного оленя (*Rangifer tarandus*) на севере Средней Сибири, неразрывно связано с исследованиями мест зимовок, путей миграции, а

также численности этих животных. Данные исследования позволяют дать научно обоснованные практические предложения по хозяйственной эксплуатации диких оленей, поддержанию их численности и продуктивности на высоком уровне. Благодаря современным



методам и средствам изучения экологии диких северных оленей, стало возможным ещё более объективно и оперативно оценивать состояние популяции и рационально использовать её ресурсы. В последние два десятилетия наблюдается значительный спад численности дикого северного оленя на территории Таймыра. Проводимые исследования по мониторингу состояния и территориального размещения таймырской популяции помогут получить точное представление о численности дикого северного оленя, а также разработать эффективные меры по сохранению и охране этих животных.

Материалы и методы. Авиачёт проведён по методике [9], разработанной в НИИСХ Крайнего Севера, утверждённой Главным управлением охотничьего хозяйства и заповедников при Совете Министров РСФСР

(Главохотой РСФСР) в 1977 г. в качестве единой инструкции при авиаучёте диких оленей тундровых популяций. Методика неоднократно дополнялась под разные типы воздушных судов и оборудования, включая изменения в ходе текущего авиаучёта. Данная методика основана на использовании характерной экологической особенности диких северных оленей концентрироваться в крупные стада на ограниченной территории.

Авиаучётные работы проводились с 08 по 21 июля 2024 г. на двух самолетах-амфибиях: «Орион» СК-14 и СК-12.

Согласно методике, были проведены рекогносцировочные полеты и 15.07.2024 г. были проведены основные учётные полеты (рис. 1 / fig. 1)

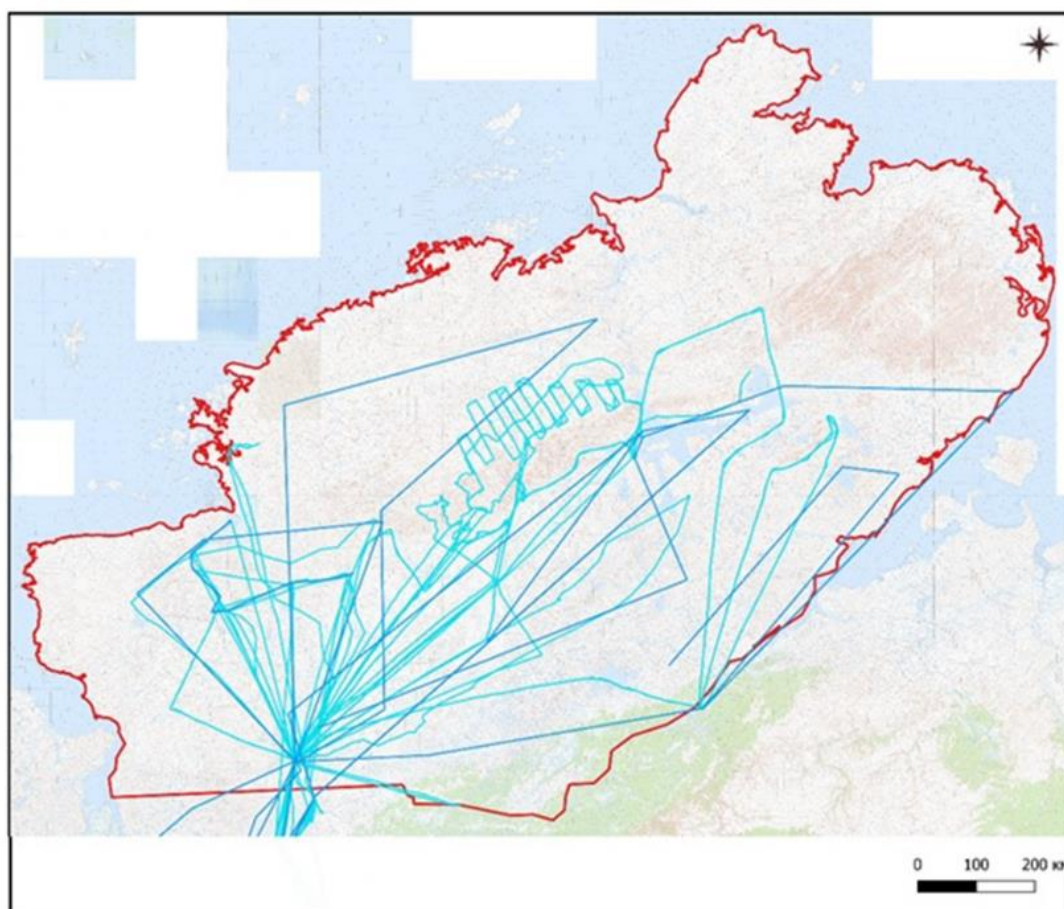


Рис. 1. Маршруты полетов

Fig. 1. Flight routes

При учете применялись два навигатора: у учетчика по правому борту и один авиационный навигатор. Треки полетов легли в основу карты 1:200 000 для контроля местоположения. Данные спутниковой телеметрии Argos, полученные от ошейников, установленных на северных оленях, способствовали повышению эффективности поисковых операций. Вся информация о ходе учета записывалась на цифровой диктофон с геопривязкой аудиофайла. Все оборудование синхронизировалось с точностью до одной секунды. Полет осуществлялся строго по заранее утвержденному маршруту, с обязательной регистрацией всех встреченных особей.

Сопоставляя метеоусловия, зональные и ландшафтные особенности размещения ключевых местобитаний, выявленные в прежние годы, данные спутниковой телеметрии, результаты рекогносцировочных обследований, мы оперативно спрогнозировали распределение основных стад дикого северного оленя. Для фотофиксации использовались зеркальные цифровые камеры с зум-объективами 24-400 мм. Ширина учётной полосы составляла 4 км (по 2 км по каждому борту), где фиксировались все встреченные животные. Плотность населения экстраполировалась на всю область учёта. Поиск крупных скоплений (более 1000 особей) проводился и вне полосы учёта (2-7,5 км по

каждому борту) при помощи зум-объективов и 12 кратных биноклей. Материалы (треки, фото, видео, аудио) копировались на ноутбук. Результаты подсчёта сравнивались с глазомерной оценкой (погрешность 6-7%, обычно завышенная). Численность животных на участке определялась путём расчёта плотности на 1 тыс. га и экстраполяции на общую площадь. Общая протяженность полетов составила 26 168 км.

Для прогнозирования изменений популяции при различных вариантах промысловой деятельности и плодovitости животных была разработана компьютерная модель популяции. Модель описывает динамику численности следующих групп животных с различием по полу: телят-сеголеток, молодых оленей 2 и 3 лет, взрослых особей. Коэффициенты смертности рассчитаны на основе данных о возрастной структуре промысловых выборок. Средний коэффициент смертности составляет 11-11,5% в год. Пополнение популяции определено по доле телят на момент авиаучета (15% с колебаниями от 10% (2021 г.) до 31% (2024 г.)).

Ввиду отсутствия достоверных сведений о промысловом изъятии оленей, в модели было принято, что величина изъятия оленей по лицензиям соответствует промысловой квоте: 2014-2019 гг. – 10%, 2020-2021 гг. – 8%, 2022-2024 гг. – 2,5%. Добыча коренным населением – 20 тыс. оленей. Начальные данные – учет 2014 г. Реперные точки – авиаучеты 2021 г. (241 тыс.) и 2024 г. (135-137 тыс.).

Результаты настройки модели показывают, что фактическое изъятие оленей по лицензиям составляет

8-7% расчетной численности популяции, что соответствует данным о транспортировке туш добытых оленей в основные пункты сбыта.

Прогнозные расчеты затруднены из-за неопределенности доли телят. Доля 31% в 2024 г. связана с благоприятными погодными условиями, повторение которых маловероятно. Наиболее вероятна доля телят в 2025-2027 гг. на уровне 15% от численности популяции.

Результаты и их обсуждение. В дни проведения учета на полуострове Таймыр было выделено 4 участка массового размещения дикого северного оленя:

Кластер А: территория северо-западнее гор Бырранги, площадь кластера (336 474 га), западнее кластера В;

Кластер В: территория северо-западнее гор Бырранги, площадь кластера (337 439 га), восточнее кластера А;

Кластер С разделен на 2 подкластера;

Кластер С1: территория юго-восточнее озера Таймыр, площадь кластер (17 204 га);

Кластер С2: территория северо-восточнее озера Таймыр, площадь кластер (17 527 га).

В ходе учета суммарно на всей территории полуострова Таймыр было обнаружено 66 891 оленей по учетным полосам. После экстраполяции на площадь кластеров, численность дикого северного оленя (далее – ДСО) составила 137 885 особей (табл. 1 / tabl. 1).

Таблица 1
Расчет численности таймырской популяции дикого северного оленя по данным авиаучетов 2024 г.
Table 1

Estimation of the Taimyr wild reindeer population based on aerial survey data from 2024.

Дата // Date	Кластер // Cluster	Площадь, (га) // Area, (ha)	Кол-во оленей по фото // Number of deers in the photo	Длина учетной полосы, км // The length of the accounting strip, km	Площадь учетной полосы, км ² // The area of the accounting strip, km ²	Оленей на кластер // Deer per cluster
15.07.2024	А	336 474	50 072	381,842	1 527,368	110 307
15.07.2024	В	337 439	16 153	516,064	2 064,256	26 405
11.07.2024	С1	17 204	595	24,691	98,764	1 037
11.07.2024	С2	17 527	71	22,807	91,228	137
				66 891		137 885

Всего отснято и обработано 3 248 фотографий. Для определения половозрастной структуры использовались фотографии, сделанные на низких высотах для возможности обнаружения вторичных половых признаков (рис. 2 / fig. 2). Анализ показал следующее половозрастное распределение: самцы – 11,91%, самки – 56,57%, телята – 31,51%. Доля самцов в 5 раз ниже самок, по причине группирования самцов в отдельные группировки и движения их на некотором отдалении от основного массива оленей.

По результатам авиаучета численность популяции оценивается в 137,9 тыс. голов. Таким образом, за 3 года после учета 2021 г. (с 2021 по 2024 г.) поголовье оленей сократилось на 103,7 тыс. (42,9 %). Тенденция снижения численности сохранилась, не смотря на сокращение промысловой квоты более, чем в 3 раза по сравнению с квотой, действующей в предыдущий междоучетный период (с 2014 г. по 2021 г.) [3].

По данным авиаучета, доля телят-сеголеток составила около 31,5 %, взрослых самок и молодняка 2-3 лет – около 56,6 %, взрослых самцов – 11,9 % от численности популяции.

По мнению непосредственных участников авиаучета 2024 г., аномально высокая доля телят вызвана следующими причинами:

1. Чрезвычайно благоприятными погодными условиями для нагула оленей в летне-осенний период 2023 г. Это позволило самкам, включая телвившихся в предыдущий год, пропустовавших и молодых, не участвовавших ранее в размножении, хорошо провести гон и реализовать свой продуктивный потенциал. Отметим, что по литературным данным яловость взрослых самок на Таймыре в 1970-1990 гг. составляла в среднем 12% (с колебаниями от 9 до 17%), молодых – около 60% с колебаниями от 10 до 90%).

2. Холодной затяжной весной 2024 г. Это дало возможность самкам, телящимся в предгорьях Путоран и южной части Таймыра, благополучно дойти с новорожденными телятами до территорий летних пастбищ по льду перед вскрытием рек. В более теплые годы большое количество телят гибнет на переправах от переохлаждения или невозможности выбраться из воды на протаявшие обрывистые береговые склоны.

Эти утверждения вполне соответствуют биологическим представлениям о динамике и воспроизводстве популяций диких северных оленей. Однако отсутствие регулярных мониторинговых данных о размещении мест отела, доле телят, яловости самок не позволяют подтвердить эти утверждения количественно.



А



В

Рис. 2. Примеры фотографий, использующихся для определения половозрастной структуры: А – стадо с преобладанием взрослых самцов, В – стадо с преобладанием самок с телятами.

Fig. 2. Examples of photographs used to determine the age and sex structure: A – a herd with a predominance of adult males, B – a herd with a predominance of females with calves.

Доля самцов по результатам авиаучета 2024 г. – низкая, около 12% от численности популяции. По данным 1969-1993 гг., доля самцов в популяции в среднем составляла около 18%, минимальная – 13,3% в 1969 г. Низкая доля самцов может быть связана с селективностью их промысла. Однако северные олени – полигамные животные, что обеспечивает сохранение высокой плодовитости при соотношениях самцы-самки от 1:2 до 1:4, встречаемых в естественных популяциях этих животных. Отметим, что чисто формально, снижение доли какой-либо группы животных в популяции отражается на повышении процентной доли других групп. Так, при доле самцов в 12% доля телят составляет около 31%. При доле самцов в 18% (многолетняя средняя на Таймыре) доля телят при тех же условиях составила бы 29%.

В табл. 2 / tabl. 2 приведены результаты прогнозных расчетов о динамике численности диких северных оленей таймырской популяции на интервале с 2024 г. до 2027 г. (дате проведения очередного авиаучета) при следующих вариантах промысловой деятельности:

1. Вариант 1 – Промысловая деятельность сохраняется на уровне предыдущего трехлетнего периода (промысловая квота – 2,5 % от численности популяции в 2024 г., добыча оленей коренным населением – 20 тыс. оленей в год).
2. Вариант 2 – Охота по лицензиям закрыта, добыча оленей коренным населением – 20 тыс. оленей в год.
3. Вариант 3 – Охота по лицензиям закрыта, добыча коренным населением – 2 тыс. оленей в год на питание.

Таблица 2

Прогноз численности таймырской популяции дикого северного оленя в 2024-2027 гг. при различных вариантах промысловой деятельности и добыче коренным населением

Table 2

Forecast of the Taimyr wild reindeer population in 2024–2027 under various options of commercial activities and harvesting by indigenous peoples

Вариант // Option	2024	2025	2026	2027
1	135,3	126,4	102,9	81,3
2	135,3	127	108,1	91
3	135,3	128	129,2	134,4

В современной ситуации с северными оленями при отсутствии реального контроля за промысловой деятельностью охотпользователей и существенных коле-

баниях доли телят-сеголеток (от 6-8% до 31,4%) необходимо проведение ежегодных авиаучетов по единой утвержденной методике в течение 3 лет. Результаты

учетов позволят оценить реальную величину промыслового изъятия животных и доли телят в популяции для расчета промысловых квот и повышения эффективности решений по использованию ресурсов популяции. Крайний вариант – регулярные полномасштабные авиаучеты один раз в 3 года, и ежегодные авиаобследования популяции для оценки ее половозрастного состава по визуально различимым группам.

По мнению П.В. Кочкарева, причина падения численности популяции состоит в наличии двух не согласованных направлений в использовании ее ресурсов. Первое – квотирование, когда количество изымаемых животных непосредственно зависит от численности популяции. Второе – свободная добыча, определяемая потребностями населения (на Таймыре – 8 оленей на коренного жителя, на Севере Эвенкии – 7 оленей). Количество изымаемых оленей будет зависеть от численности и потребностей населения, но с численностью популяции непосредственно не связано. Важнейшей задачей является поиск компромиссов и согласование этих направлений, поскольку реализация первого приведет к резкому снижению жизненного уровня населения при ограничениях в использовании ресурсов популяции, а второго – к исчерпанию этого ресурса в ближайшие годы.

Построенные математические модели развития популяции в первых двух вариантах указывают на отрицательный, а в третьем на слабый положительный тренд. В случае реального промысла и возможных неблагоприятных климатических условий, все три модели развития приведут к фактическому снижению численности ДСО.

Выводы. Таймырская популяция диких северных оленей представляет собой неотъемлемую часть экосистем севера Средней Сибири и является привлекательным объектом для туристов. В настоящее время она служит одним из главных источников питания и благосостояния коренных жителей Таймыра и севера Эвенкии.

Авиаучёт проведён по методике, разработанной в НИИСХ Крайнего Севера, утверждённой Главным управлением охотничьего хозяйства и заповедников при Совете Министров РСФСР (Главохотой РСФСР) в 1977 г. в качестве единой инструкции при авиаучете диких оленей тундровых популяций.

Общая протяженность полетов составила 26 168 км и 164 летных часов.

На основе данных телеметрии была создана картограмма, отражающая маршруты всех помеченных оленей в период с 26 марта по 30 сентября 2024 г. Эти данные можно разделить на три этапа – начало миграции, нахождение на летнее местообитание, миграция на зимние местообитания. Анализ полученных сведений показал, что существует прямая связь между началом миграционных процессов и значительными изменениями среднесуточной температуры.

В ходе учета суммарно на всей территории полуострова Таймыр было обнаружено 66 891 олень по учетным полосам. После экстраполяции на площадь кластеров, численность ДСО составила 137 885 особей.

Половозрастная структура получила следующее распределение: самцы – 11,91%, самки – 56,57%, телята – 31,51%. Доля самцов в 5 раз ниже самок, по причине группирования самцов в отдельные группировки и движения их на некотором отдалении от основного массива оленей.

Сведения об авторском вкладе

П.В. Кочкарев – поиск и анализ исходных данных, выполнение расчетных работ.

Д.С. Зарубин – выполнение графических работ, проверка расчетов на соответствие с нормативными требованиями, вычитка финального варианта рукописи.

С.А. Маковская – подготовка первого варианта рукописи, формирование идеи.

Contribution of the authors

P.V. Kochkarev – source data search and analysis, calculations.

D.S. Zarubin – graphic design, calculation compliance checks, proofreading of the final manuscript.

S.A. Makovskaya – first draft of the manuscript, concept development.

Список источников

1. Казьмин В.Д., Кочкарёв П.В., Зарубин Д.С., Маслова Е.С., Катаева О.А., Чиненко С.В. Исследование растительных кормовых ресурсов северного оленя в Центральной Сибири // *Современные проблемы охотоведения: Материалы нац. конф. с межд. уч., посвящённой 70-летию охотоведческого образования в ИСХИ-ИрГАУ (в рамках IX Межд. науч.-практ. конф. «Климат, экология, сельское хозяйство Евразии»)*. Иркутск: ИрГАУ им. А.А. Ежевского, 2020. С. 250-255.

2. Колпащиков Л.А. Таймырская популяция дикого северного оленя (биологические основы управления и устойчивого использования ресурсов): Автореф. ... дисс. докт. биол. наук. Норильск, 2000. 46 с.

3. Кочкарев П.В., Казьмин В.Д., Зарубин Д.С., Кочкарев А.П. Сезонные перемещения и необходимость контроля уровня использования таймырских диких северных оленей // *Охрана и рациональное использование животных и растительных ресурсов: Мат. нац. конф. с межд. уч. в рамках XI межд. науч.-практ. конф. Молодежный: ИрГАУ им. А.А. Ежевского, 2022. С. 201-208.*

4. Кочкарёв П.В., Зарубин Д.С., Казьмин В.Д., Маслова Е.С., Кочкарёв А.П. Размещение кормовых ресурсов, плотность населения и кочёвки таёжного северного оленя в Центральной Сибири // *Современные проблемы охотоведения: мат. межд.науч.-практ. конф., посвященной 60-летию учебно-опытного охот. хоз-ва «Голоустное» им. О.В. Жарова в рамках X межд. науч.-практ. конф. «Климат, экология, сельское хозяйство Евразии». Молодежный: ИрГАУ им. А.А. Ежевского, 2021. С. 242-245.*

5. Кочкарев П.В., Колпащиков Л.А., Кочкарев А.П. Динамика популяций диких северных оленей (*Rangifer Tarandus*) тундряной и лесной формы на севере Красноярского края, факторы и риски // *Вестник охотоведения. 2018. Т. 15. № 4. С. 266-270.*

6. Кочкарев П.В., Михайлов В.В. Комплексный анализ содержания тяжелых металлов в органах и тканях дикого северного оленя (*Rangifer tarandus* L. 1758) // Вестник КрасГАУ. 2016. № 8. С. 21-27.

7. Кочкарев П.В. К экологии Центральносибирского северного оленя // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: Мат. VII между. науч.-практ. конф. Иркутск: ИрГАУ им. А.А. Ежовского, 2018. С. 197-201.

8. Наумов Н.П. Дикий северный олень. Москва: КОИЗ, 1933. 73 с.

9. Павлов Б.М., Куксов В.А., Савельев В.Д. Рациональное использование ресурсов диких оленей таймырской популяции. Новосибирск, 1976. 40 с.

10. Kochkarev P.V., Zarubin D.S., Maslova E.S. Studying the diet of wild reindeer (forest subspecies) (*Rangifer Tarandus* L.) in the territory of the Middle Yenisei taiga // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548(7). Article number 07204. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/7/072049>

References

1. Kazmin, V., Kochkarev, P., Zarubin, D., Maslova, E., Kataeva, O. and Chinenko, S., 2020. Research of vegetable feed resources of the Northern Deer in Central Siberia. In: Modern problems of hunting: Materials of National. Conf. Uch., dedicated to the 70th anniversary of hunting education in Iskih-Irgau (within the framework of the IX of the Central Scientific and Prak. Conf. "Climate, ecology, agriculture of Eurasia"), Irkutsk, Russia. Irkutsk, Irgau them. A.A. Yegevsky, pp. 250-255. (in Russian)

2. Kolpashchikov, L., 2000. Taymyrskaya populyatsiya dikogo severnogo olenya (biologicheskie osnovyi upravleniya i ustoychivogo ispolzovaniya resursov) [The Taimyr wild reindeer population (biological foundations of management and sustainable use of resources)]. Doctor's Dissertation Abstract of Sciences in Biology. Norilsk, 46 p. (in Russian)

3. Kochkarev, P., Kazmin, V., Zarubin, D. and Kochkarev, A., 2022. Seasonal movements and the need to control the level of use of Taimyr wild reindeer. In: Protection and rational use of animals and plant resources: Materials of National. Conf. With the mecess. Uch. Within

the framework of the XI. Scientific-Proke. Conf. Molodezhnyy, Irgau them. A.A. Ezhevsky, pp. 201-208. (in Russian)

4. Kochkarev, P., Zarubin, D., Kazmin, V., Maslova, E. and Kochkarev A., 2021. The placement of feed resources, the density of the population and the nomadic of the taiga northern deer in Central Siberia. In: Modern problems of hunting: Materials of the International Scientific and Pract. Conf., dedicated to the 60th anniversary of the educational and experimental hunting. household "Goloustnoye" them. O.V. Zharova in the framework of the 10th International Scientific and Practical. Conf. "Climate, ecology, agriculture of Eurasia.", Molodezhnyy, Russia. Molodezhnyy, Irgau them. A.A. Ezhevsky, pp. 242-245. (in Russian)

5. Kochkarev, P., Kolpashchikov, L. and Kochkarev A., 2018. The dynamics of the population of wild reindeer deer (*Rangifer Tarandus*) of the tundra and forest form in the north of the Krasnoyarsk Territory, factors and risks. Bulletin of hunting, 15(4), pp. 266-270. (in Russian)

6. Kochkarev, P. and Mikhailov V., 2016. A comprehensive analysis of the content of heavy metals in the organs and tissues of the wild northern deer (*Rangifer Tarandus* L. 1758). Bulletin of Krasgau, (8), pp. 21-27. (in Russian)

7. Kochkarev, P., 2018. To the Ecology of the Central Siberian Northern Deer. Climate, Ecology, Agriculture of Eurasia: Materials of the VII member. Scientific and Practical. Conf. Irkutsk: Irgau them. A.A. Yegevsky, pp. 197-201. (in Russian)

8. Naumov, N., 1933. Wild Northern Deer. Moscow: Coiz, 73 p. (in Russian)

9. Pavlov, B., Kuksov, V. and Savelyev V., 1976. The rational use of the resources of wild deer of the Taimyr population. Novosibirsk, 40 p.


10. Kochkarev, P., Zarubin, D. and Maslova, E., 2020. Studying the Diet of Wild Reinder (Forest Subspecies) (*Rangifer Tarandus* L.) in the Territory of the Middle Yenisei Taiga. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 548(7), Article Number 07204. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/7/072049>

Статья поступила в редакцию 28.08.2025; одобрена после рецензирования 10.10.2025; принята к публикации 17.11.2025.

The article was submitted 28.08.2025; approved after reviewing 10.10.2025; accepted for publication 17.11.2025.

РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Краткое сообщение

 УДК 599.735.31(1-751.1) <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-30-34> <https://elibrary.ru/hfcruk>**Распределение лесного северного оленя (*Rangifer tarandus fennicus* Lönnb.) в национальном парке «Паанаярви»**Данила Владимирович Панченко^{1,2}¹ Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный парк «Паанаярви», п. Пяозерский, Россияdanja@inbox.ru

Аннотация. Мониторинг состояния группировок дикого северного оленя – вида, включенного в Красную книгу РФ, одна из необходимых мер по его сохранению. Особо охраняемые природные территории в условиях усиливающегося антропогенного воздействия становятся резерватами, где сохраняются необходимые для этого вида местообитания. В работе приводятся данные о результатах изучения распределения лесной формы дикого северного оленя в национальном парке «Паанаярви» (Республика Карелия) в 2024–2025 гг. Использование территории парка отличается в разные сезоны года: в бесснежный период лесные северные олени приходят на летние участки обитания, а зимой присутствие их непостоянно. Национальный парк является важным участком для сохранения краснокнижного вида и может служить модельной территорией для мониторинговых наблюдений за состоянием группировки, населяющей эту часть республики.

Ключевые слова: распределение, северный олень, особо охраняемые природные территории, зимний маршрутный учет, фотоловушки, редкие виды

Благодарности: автор выражает благодарность сотрудникам национального парка «Паанаярви» за помощь в проведении полевых исследований.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственных заданий ИБ КарНЦ РАН № FMEN 2022-0003 и национального парка «Паанаярви» № 051-00109-25-03.

Для цитирования: Панченко Д.В. Распределение лесного северного оленя (*Rangifer tarandus fennicus* Lönnb.) в национальном парке «Паанаярви» // Антропогенная трансформация природной среды. 2025. Т. 11. № 2. С. 30–34. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-30-34>. EDN HFCPUK.

SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

Short Communications Article

Distribution of wild forest reindeer (*Rangifer tarandus fennicus* Lönnb.) in Paanajärvi National ParkDanila V. Panchenko^{1,2}¹ Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia² Federal State Budgetary Institution «Paanajärvi National Park», Pyaozersky, Russiadanja@inbox.ru

Abstract. Monitoring the status of wild reindeer population a species listed in the in the Red Data Book of the Russian Federation is a necessary conservation measure. Protected natural areas, under increasing anthropogenic pressure, serve as refuges where habitats essential for this species are preserved. This study presents data on the distribution of the forest type of wild reindeer in the Paanajärvi National Park (Republic of Karelia) during 2024–2025. Seasonal variation in territory usage was observed: during the snow-free period, forest reindeer frequent summer habitats, while their presence in winter is inconsistent. The national park is an important conservation site for this endangered species and can serve as a model territory for monitoring the status of the population inhabiting this part of the republic.

Keywords: distribution, reindeer, protected areas, winter track count, camera traps, rare species

Acknowledgments: The author would like to thank the staff of the Paanajärvi National Park for their assistance in conducting field research.

Funding: The study was carried out under state order of the IB KRC RAS № FMEN 2022-0003 and Paanajärvi National Park № 051-00109-25-03

For citation: Panchenko, D., 2025. Distribution of wild forest reindeer (*Rangifer tarandus fennicus* Lönnb.) in Paanajärvi National Park. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 11(2), pp. 30-34. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-30-34>. EDN HFCPUK. (in Russian)

Введение

Северный олень – один из аборигенных представителей экосистем Европейского Севера России находится под сильным прессом антропогенного влияния, выражающегося как в прямом (истребление), так и косвенном (трансформация местообитаний, туризм, загрязнение среды обитания) воздействии. Все популяции дикого северного оленя в этой части России внесены в Красную книгу Российской Федерации в статусе 3 (И) [4]. В Республике Карелия численность населяющей регион лесной формы вида (*Rangifer tarandus fennicus* Lönnb.) после почти трехкратного сокращения в 1990-е гг., обусловленного браконьерством, находится на низком уровне и в настоящее время не превышает 2000 особей. В условиях интенсивной трансформации местообитаний в результате лесохозяйственной деятельности особо охраняемые природные территории (ООПТ) Республики Карелия играют важную роль в поддержании группировок этого краснокнижного вида. Одна из таких территорий – национальный парк «Паанаярви», расположенный на севере Республики Карелия на границе с Мурманской областью. Специальных исследований лесного северного оленя в парке ранее не проводилось, и существовали отрывочные

сведения о присутствии зверей на его территории. В этой части республики обитает тикшеозерская группировка подвида [2], и в 2024 г. были начаты работы по изучению распределения и численности лесного северного оленя в разные сезоны года на территории национального парка. В данной работе приводятся первые результаты этих исследований.

Материалы и методы

Исследование выполнено на территории национального парка «Паанаярви», расположенного в Лоухском районе Республики Карелия в подзоне северной тайги (рис. 1 / fig.1). Ландшафт этого участка денудационно-тектонический холмисто-грядовый с низкими, средне-заболоченный с преобладанием еловых местообитаний [1]. Леса на территории парка представлены сложными разновозрастными древостоями, возникшими на горах естественного происхождения. Преобладают спелые и перестойные хвойные насаждения с породным составом 7Е2С1Б. Основной тип леса – зеленомошный (более 90%), в том числе черничники – 66%, брусничники – 11%. Доля болот среди земель лесного фонда составляет 12,4% [3]. Сосняки лишайниковые, несмотря на их наличие в восточной части парка, представлены слабо.

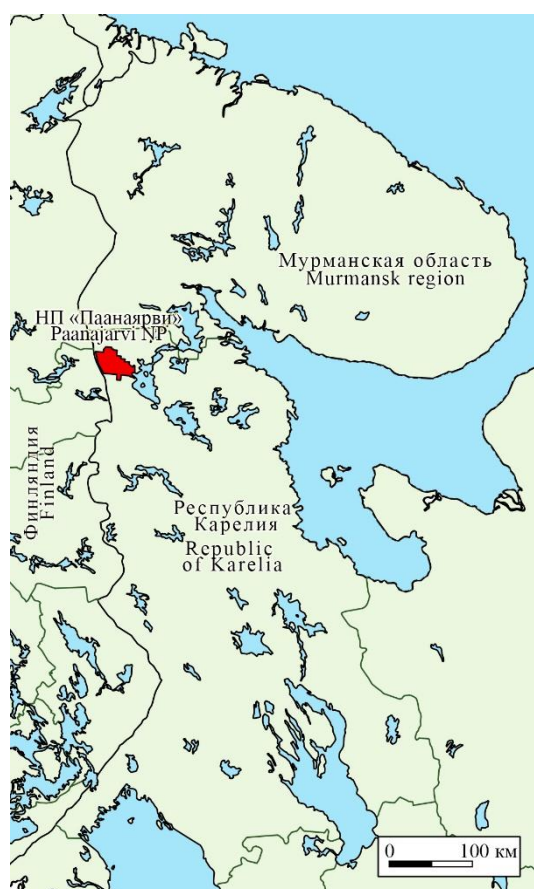


Рис. 1. Местоположение района исследований
Fig. 1. The location of the study area

Зимой обследование территории парка проводилось на снегоходах и лыжах, и протяженность маршрутов составила 740 км. Маршруты на снегоходе были заложены таким образом, чтобы можно было охватить территорию парка с учетом того, что олени в условиях глубокоснежья могут держаться на небольших по площади участках. Летом и осенью были выполнены пешие маршруты общей протяженностью 247 км. Для регистраций животных в разных частях парка было установлено 10 фотоловушек, положение которых менялось зимой и летом для уточнения сезонности в освоении территории парка. В работе использованы данные зимних маршрутных учетов (ЗМУ) с момента их начала в 2012 г. до 2025 гг. (1651,8 км учетных маршрутов) и архивные материалы национального парка, которые были использованы для уточнения распределения животных в зимний период. Устанавливались географические координаты всех встреч оленей и их следов, обработка материалов учетов проводилась с помощью ГИС: QGIS 2.8.1 [7] и SAS.Planet [8]. Анализ этих данных позволил получить информацию о распределении зверей, привязать ее к конкретной территории, сведения устного опроса дополнили информацию о распределении и численности зверей, половой и возрастной структуре группировки лесного северного оленя, обитающей в национальном парке «Паанаярви» и прилегающих территориях.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований показали, что зимой следы жизнедеятельности лесного северного оленя отмечаются, преимущественно, в восточной части изучаемой ООПТ. В феврале 2024 г. на маршруте в районе восточной границы парка и за ее пределами до оз. Ципринга были обнаружены следы группы лесного северного оленя из 15 особей. В апреле 2024 г. в этих местах на краю озера были найдены останки самца лесного северного оленя, добытого волками. В марте-апреле 2025 г. приблизительно в этой же части парка долгое время держалась группа из 5-7 особей. По данным ЗМУ встречи следов животных отмечаются на маршрутах в разных частях парка, но не каждый год (рис. 2 / fig. 2). Чаще следы оленей при проведении учета регистрируются в восточной части парка. Также звери в этот период регистрируются и фотоловушками, в том числе и группы животных во время сезонных перемещений. Приуроченность встреч следов в зимний период на востоке парка объясняется тем, что леса здесь отличаются от остальной части этой ООПТ и в значительной степени представлены сосновыми борами с выраженным ягельным покровом (*Cladonia rangiferina* и *Cl. stellaris*). Необходимо отметить, что несмотря на присутствие зверей в зимний период, постоянно в этот сезон года олени в парке не встречаются. Вероятно, изучаемая ООПТ включает только часть зимних пастбищ, и группы животных могут приходить сюда на время в процессе освоения обширных зимних участков обитания, которые в Карелии могут составлять около 1000 км² [5, 10]. Кроме того, особенности залегания снежного покрова в холмистых ландшафтных условиях также могут влиять на распределение оленей. В конце зимы 2024 г. глубина снега даже в долине реки Оланга составляла около 1 м, а на возвышенных участках была более 1,3 м. Такие сложные снеговые условия

заставили северных оленей уйти на крупные озера, такие как Пяозеро и Тикшеозеро, где снега меньше и им проще передвигаться и добывать корм, и поздней зимой в этот год олени на территории парка не встречались.

В бесснежный период встречи лесных северных оленей отмечались в разных частях обследованной территории (рис. 2 / fig. 2), но распределение зверей в парке было неоднородно. Так, следы жизнедеятельности животных в летний и осенний периоды встречались на маршрутах южнее оз. Паанаярви. Были обнаружены тропы оленей в лесу и на болотах, следы и экскременты, а также шерсть линяющих животных. В процессе полевых исследований в июле 2025 г. к северу от озера были встречены единичные следы присутствия северных оленей: старые экскременты и линная шерсть. В восточной части парка следов животных в бесснежный период не было отмечено, однако один олень в конце мая 2024 г. был заснят фотоловушкой. Известно, что сезонные перемещения оленей проходят, в том числе через национальный парк и примыкающие к нему с востока территории в окрестностях оз. Ципринга. Так, в начале зимы отмечаются встречи групп животных, перемещающиеся с севера со стороны Мурманской области в направлении оз. Тикшеозеро. По опросным данным весной в восточной части парка отмечают животных, перемещающихся с востока на запад, в том числе по дорогам. Вполне возможно, что это сезонные перемещения, и зарегистрированный фотоловушкой зверь передвигался на свой летний участок обитания.

Установка фотоловушек также подтвердила, что северные олени в летний период не встречались на западной и восточной границе парка, но были зарегистрированы фотоловушками, установленными на участке южнее оз. Паанаярви. Камерами отмечены встречи самцов, важенков (самок), в том числе с телятами, в течение летнего и осеннего периода, что свидетельствует о том, что территория парка включает отдельные места, летние пастбища и участки гона северного оленя.

Распределение зверей в летний период, вероятно, зависит от численности животных. Так, ранее в начале 2000-х гг., когда поголовье оленей было больше, они приходили в восточную часть парка и встречи с ними отмечались на берегах р. Оланга. Однако, при проведении исследований в 2024-2025 гг. следов жизнедеятельности зверей в этих местах отмечено не было.

Анализируя распределение лесного северного оленя в разные сезоны года, важно учесть характеристики ландшафта парка. Принимая также во внимание особенности питания лесного северного оленя и высокую долю травянистых кормов в летний период, а ягеля зимой [6], можно предположить, что в парке находятся, главным образом, летние участки обитания зверей. В этом отношении «Паанаярви» имеет сходство с заповедником «Костомукшский», где также находятся преимущественно летние пастбища обитающей там кукмо-каменноозерской группировки [9]. Интересны встречи домашних северных оленей в парке и окружающих его территориях в 2018 г.: весной к востоку от парка особь с ошейником была отмечена на о. Лупчанга на оз. Пяозеро, а летом в западной части оз. Паанаярви был найден погибший домашний олень с

ошейником. Вероятно, эти звери могут проникать с территории Финляндии, где находится зона оленеводства. Несмотря на то, что она ограничена оленеводческим забором время от времени животные находят способ преодолеть эту преграду. Эти случаи свидетельствуют о влиянии домашнего оленеводства на дикого

северного оленя – возможны случаи гибридизации, что негативно отразится на генетической «чистоте» группировок, обитающих в приграничной с Финляндией зоне, а в дальнейшем и на популяции лесного северного оленя в целом.

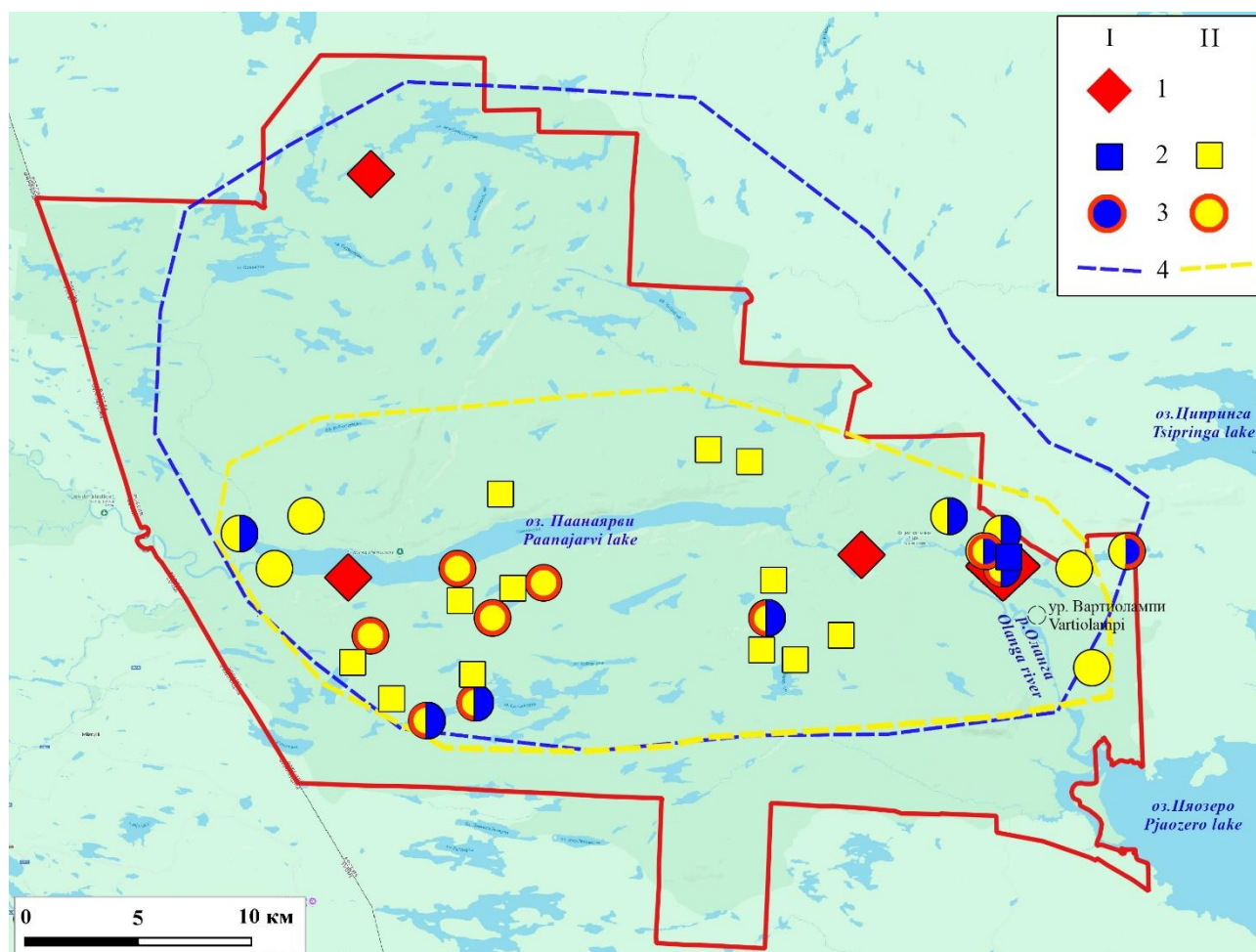


Рис. 2. Места встреч следов пребывания лесного северного оленя в парке Паанаярви*

*Примечание. Условные обозначения на карте: зимний (I) и бесснежный период (II); 1 – встречи следов по данным ЗМУ 2012-2025 гг., 2 – экскременты, 3 – регистрации фотоловушками (без красного контура – камеры, не зарегистрировавшие северных оленей), 4 – территория, охваченная исследованиями в 2024-2025 гг.

Fig. 2. Forest reindeer activity sites in Paanajärvi National Park*

*Note. Map legend: winter (I) and snowless period (II); 1 – tracks encounters during Winter tracks count in 2012-2025, 2 – faeces, 3 – camera trap records (without a red outline – cameras that did not record reindeer), 4 – territory covered by the research in 2024-2025

Территория парка примечательна и тем, что лесные северные олени обитают здесь в условиях тесного контакта с человеком. Фактор беспокойства значительно выражен, так как эти места в течение всего года посещает большое число туристов (от 5 до 7 тысяч), которые передвигаются на снегоходах, квадроциклах, моторных лодках. Тем не менее, животные не покидают парк и продолжают использовать его территорию. Например, зимой следы оленей отмечаются в районе ур. Вartiолампи, где находятся туристические домики и присутствие туристов почти постоянно.

Естественными врагами лесного северного оленя в парке, как и в других частях республики можно назвать волка, росомаху, бурого медведя. Встречи этих хищников регистрируются в разных частях изучаемой ООПТ, а также и гибель копытных от них.

Закключение

Обобщая сказанное, можно сделать вывод, что национальный парк «Паанаярви» представляет собой важный участок для поддержания дикого северного оленя – вида, внесенного в Красную Книгу РФ [4]: звери встречаются на его территории в разные сезоны года, в том числе и в период размножения. Работы по мониторингу группировки зверей населяющей эту территорию необходимо продолжить в дальнейшем, что даст возможность получать информацию о характеристиках и состоянии населения этого редкого зверя на ООПТ как модельной территории. В сложившихся условиях усиливающегося антропогенного воздействия человека в виде лесохозяйственной деятельности, ООПТ станут своеобразными резерватами, где будут сохраняться необходимые условия для выживания

лесного северного оленя. Одной из первых мер по сохранению населяющей парк тикшеозерской группировки является организация заказника «Пяозерский», примыкающий к национальному парку «Паанаярви» и ранее включенного в схему территориального планирования республики. Его восточный кластер включает высоковозрастные беломошнные сосновые леса, имеющие большое значение для северного оленя в разные сезоны года.

Список источников

1. Громцев А.Н. Основы ландшафтной экологии европейских таежных лесов России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 238 с.
2. Данилов П.И., Панченко Д.В., Тирронен К.Ф. Северный олень Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. 187 с.
3. Лесохозяйственный регламент лесничества «Национальный парк «Паанаярви». пгт. Пяозерский, 2022. 66 с.
4. Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание, М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. 1128 с.
5. Мамонтов В.Н. Индивидуальные суточные участки обитания и суточные перемещения лесного северного оленя (*Rangifer tarandus fennicus* Lönnb.) на востоке Республики Карелии // Вестник охотоведения. 2020. Т. 17. № 1. С. 4-10.
6. Сулкава С., Эркинaro Э., Хейкура К., Линдгрэн Э., Пуллиайнен Э. Изучение питания лесного северного оленя на основании анализа экскрементов // Лесной северный олень Фенноскандии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1989. С. 29-34.
7. QGIS, 2025. QGIS A Free and Open Source Geographic Information System [Электронный ресурс]. URL: <https://qgis.org/ru/site/> (дата обращения: 20.08.2025).
8. SASGIS, 2025. SAS.Planet [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sasgis.org/sasplaneta/> (дата обращения: 20.07.2025).
9. Panchenko D., Paasivaara A., Hyvärinen M., Krasovskij Y. The wild forest reindeer (*Rangifer tarandus fennicus*) in the Metsola biosphere reserve (North-West Russia) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2021. 6 (Suppl.1). P. 116-126. <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2021.026>
10. Panchenko D.V., Tirronen K.F., Danilov P.I. Space Use and Seasonal Movements of Wild Forest Reindeer (*Rangifer tarandus fennicus* (Lönnb. 1909)) in the Republic of Karelia // Biology Bulletin. 2024. Vol. 103. Iss. 2. P. 109-123. <https://doi.org/10.1134/S1062359024701243>

References

1. Gromtsev, A., 2008. *Osnovy landshafnoj ekologii evropejskih taezhnyh lesov Rossii* [Fundamentals of landscape ecology of European taiga forests in Russia]. Petrozavodsk, KRC RAS. 238 p. (in Russian)
2. Danilov, P., Panchenko, D. and Tirronen, K., 2020. *Severnyj olen' Vostochnoj Fennoskandii* [Reindeer of Eastern Fennoscandia]. Petrozavodsk, KRC RAS. 187 p. (in Russian)
3. *Lesohozyajstvennyj reglament lesnichestva «Nacional'nyj park «Paanayarvi»* [Forestry Regulations for the Paanajärvi National Park Forestry District]. Pyaozersky Settlement, 2022. 66 p. (in Russian)
4. *Krasnaya kniga Rossijskoj Federacii, tom «Zhivotnye»* [Red Data Book of the Russian Federation. Vol. «Animals»], 2nd ed. Moscow, VNII Ecologiya, 2021. 1128 p. (In Russian)
5. Mamontov, V., 2020. Individual daily habitats and daily movements of wild forest reindeer (*Rangifer tarandus fennicus* Lönnb.) in the east part of the Republic Karelia. *Herald of Game Management*, 17(1), pp. 4-10. (In Russian)
6. Sulkava, S., Erkinaro, E., Heikura, K., Lindgren, E. and Pulliainen, E., 1989. Izuchenie pitaniya lesnogo severnogo olenya na osnovanii analiza ekskrementov [Study of wild forest reindeer nutrition based on excrement analysis]. In: *Lesnoj severnyj olen' Fennoskandii* [Wild forest reindeer of Fennoscandia]. Petrozavodsk: Izd-vo KarNC AN SSSR. pp. 29-34. (In Russian)
7. QGIS, 2025. QGIS A Free and Open Source Geographic Information System. Available from: <https://qgis.org/ru/site/> [Accessed 20th August 2025].
8. SASGIS, 2025. SAS.Planet. Available from: <http://www.sasgis.org/sasplaneta/> (Accessed 20th July 2025).
9. Panchenko, D., Paasivaara, A., Hyvärinen, M. and Krasovskij, Y. 2021. The wild forest reindeer (*Rangifer tarandus fennicus*) in the Metsola biosphere reserve (North-West Russia). *Nature Conservation Research*. 6 (Suppl.1), pp. 116-126. <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2021.026>
10. Panchenko, D., Tirronen, K., Danilov, P., 2024. Space Use and Seasonal Movements of Wild Forest Reindeer (*Rangifer tarandus fennicus* (Lönnb. 1909)) in the Republic of Karelia. *Biology Bulletin*, 103(2), pp. 109-123. <https://doi.org/10.1134/S1062359024701243>

Статья поступила в редакцию 26.09.2025; одобрена после рецензирования 10.11.2025; принята к публикации 17.11.2025.

The article was submitted 26.09.2025; approved after reviewing 10.11.2025; accepted for publication 17.11.2025.

РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Обзорная статья



УДК 502.4

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-35-48><https://elibrary.ru/ijhgkv>

Международный и российский опыт охраны подземных полостей

Павел Анатольевич Красильников¹, Тимофей Сергеевич Брызгалов², Игорь Анатольевич Лавров³,
Светлана Александровна Красильникова⁴

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

^{2,4} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

³ Ассоциация спелеологов Урала, Пермь, Россия

¹ geolnauka@gmail.com

² tim.kunngu@gmail.com

³ igor_lavrov@inbox.ru

⁴ domo05@mail.ru

Аннотация. Описываются основные проблемы и уязвимость подземных полостей, которые необходимо решать, чтобы сохранить эти уникальные природные объекты для последующих поколений людей. В статье также представлены результаты исследования по систематизации и обобщению международного и российского опыта по сохранению подземных полостей. Приводятся общие сведения о нормативно-правовых актах, на основе которых необходимо создавать ООПТ, включающие подземные полости. Приводятся документы, не имеющие юридическую силу, но в которых, благодаря многолетнему труду ученых-исследователей-спелеологов, обобщены основные принципы и мероприятия, которые необходимо соблюдать, чтобы сохранить подземные полости в их естественной природном состоянии и минимизировать техногенное воздействие. Статья является обобщением материалов, опубликованных в открытой печати по вопросу исследования пещер и их охраны. Существенная часть статьи была подготовлена на основе некоторых разделов Атласа пещер России (2019), которые в свою очередь являются компиляцией из работ многих выдающихся исследователей-спелеологов.

Ключевые слова: ООПТ, подземные полости, пещеры, карст

Для цитирования: Красильников П.А., Брызгалов Т.С., Лавров И.А., Красильникова С.А. Международный и российский опыт охраны подземных полостей // Антропогенная трансформация природной среды. 2025. Т. 11. № 2. С. 35-48. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-35-48>. EDN IJHGKV.

SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

Review Paper

International and Russian experience in protecting underground cavities

Pavel A. Krasilnikov¹, Timofei S. Brizgalov², Igor A. Lavrov³, Svetlana A. Krasilnikova⁴

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

^{2,4} Perm State University, Perm, Russia

³ Association of Urals Speleologists, Perm, Russia

¹ geolnauka@gmail.com

² tim.kunngu@gmail.com

³ igor_lavrov@inbox.ru

⁴ domo05@mail.ru

Abstract. This article describes the key problems and vulnerabilities of underground caves, which must be addressed to preserve these unique natural sites for future generations. The article also presents the results of a study systematizing and summarizing international and Russian experience in underground caves conservation. It also provides general information on the legal framework that underpins the creation of protected areas that include underground caves. Documents not legally binding are cited, but thanks to the many years of work of speleological researchers, they summarize the basic principles and measures that must be followed to preserve underground caves in their natural state and minimize anthropogenic impacts. This article summarizes materials published in the open press on cave exploration and conservation. Many sections were prepared based on the compiled works of eminent speleological researchers, published in various publications, including the Atlas of Russian Caves, published in 2019.

Keywords: protected areas, underground cavities, caves, karst

For citation: Krasilnikov, P., Brizgalov, T., Lavrov, I. and Krasilnikova S., 2025. International and Russian experience in protecting underground cavities. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 11(2), pp. 35-48. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-35-48>. EDN IJHGKV. (in Russian)



Введение

Особо охраняемые природные территории (далее – ООПТ) – одна из форм сохранения природы, поэтому относятся к объектам общенационального достояния, сохраняя уникальные и типичные экосистемы, биологическое и ландшафтное разнообразие.

Истоки создания охраняемых природных территорий уходят корнями в глубокую древность. Люди на самых ранних этапах своего развития обращали внимание на необычные явления природы – водные источники с особо чистой или целебной водой, выходы примечательных горных пород и минералов, деревья-патриархи, места концентрации полезных растений и животных. Понимая их значение, они брали их под охрану, объявляя священными [23].

Практика организации первых ООПТ (изъятие из традиционного природопользования отдельных природных объектов, территорий и установление особого режима охраны) насчитывает несколько тысячелетий. Предпосылки создания таких объектов, которые с рядом оговорок можно считать первыми ООПТ, оказались двоякого рода – духовные и прагматические [14].

С формально-бюрократической точки зрения, о создании сети ООПТ, как особой категории природопользования для сохранения природных систем, люди задумались лишь в XIX в. Причиной стало резкое сокращение площади лесов и исчезновения массы видов растений и уникальных животных в результате промышленной революции и усиления антропогенного влияния на окружающую среду. В начале XIX в. в странах Западной Европы появились первые памятники природы. Это были реликтовые буковые леса, необычные геологические объекты и иные природные достопримечательности. Официальной датой рождения государственных природоохранных территорий считается 1872 г., когда в США был создан Йеллоустонский национальный парк. С тех пор их число неуклонно растет, что свидетельствует о несомненном признании в мире подобной практики [14].

С точки зрения нормативно-правового законодательства управление и контроль отношений в области создания и использования ООПТ регулируется федеральным законом №33-ФЗ от 14.03.1995 г. Согласно этому закону под особо охраняемыми природными территориями понимаются *участки земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними, где располагаются природные комплексы и объекты, объекты растительного и животного мира, естественные экологические системы, имеющие особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение изъятые решениями органов государственной власти полностью или частично из хозяйственного использования и для которых установлен режим особой охраны* [21]. Таким образом, федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» не распространяет свое действие на подземные полости – пещеры. Следовательно, мы не имеем легитимного основания распространять требования по режиму охраны ООПТ на подземные полости.

При этом подземные полости обладают своими уникальными особенностями, их также необходимо оберегать и сохранять для будущих поколений.

Анализ нормативно-правовой литературы позволяет установить, что регулирование отношений в области использования и охраны подземных полостей относится к прерогативе Закона РФ «О недрах» от 21.02.1992 №2395-1. В нем дается определение недр, как части земной коры, расположенной ниже почвенного слоя, а при его отсутствии – ниже земной поверхности и дна водоемов и водотоков, простирающейся до глубин, доступных для геологического изучения и освоения. При этом в статье 6 закона «О недрах» четко прописаны виды пользования недрами [20], среди которых присутствуют:

- образование особо охраняемых геологических объектов, имеющих научное, культурное, эстетическое, санитарно-оздоровительное и иное значение (научные и учебные полигоны, геологические заповедники, заказники, памятники природы, пещеры и другие подземные полости);

- сбор минералогических, палеонтологических и других геологических коллекционных материалов.

При этом следует отметить, что вопросам охраны и рационального использования недр посвящен раздел 3 указанного закона [20]. В нем достаточно много внимания уделяется вопросам охраны месторождений и полного извлечения полезных ископаемых, а вопросам охраны подземных полостей при создании особо охраняемых геологических объектов посвящена одна, достаточно абстрактная фраза: *«предотвращение причинения вреда недрам при осуществлении пользования недрами»*. Нет конкретного перечня мероприятий, разрешенных и запрещенных видов деятельности по отношению к подземным полостям, регламентирующих безопасную эксплуатацию этих объектов для их сохранения будущим поколениям.

Все вышеизложенное приводит к необходимости актуализации и пересмотра нормативно-правовых документов в части использования подземных полостей для создания особо охраняемых природных территорий, целесообразности их создания и способов их использования в зависимости от функционального назначения и природоохранной значимости. Необходимо аргументированно подойти к установлению и выдаче рекомендаций по разработке режима охраны ООПТ, включающих подземные полости, на основе международного и российского опыта.

Именно этому посвящена научно-исследовательская работа авторов, и в данной статье приводятся промежуточные результаты, полученные в ходе исследования. На основании фондовых и опубликованных данных рассматривался опыт эксплуатации и охраны подземных полостей, их уязвимость, природоохранная значимость и меры охраны, которые необходимо выполнять, чтобы сохранить эти уникальные природные объекты для последующих поколений. Авторы работы считают, что это позволит аргументированно и обоснованно подготовить предложения по внесению изменений в нормативно-правовые акты для создания ООПТ, включающих подземные полости, призванных к сохранению этих уникальных объектов для последующих поколений.

Проблемы и уязвимость подземных полостей

Охрана и меры по сохранению любых объектов должны опираться на их индивидуальные особенности [25]. Согласно исследованиям многих авторов, элементами пещерного ландшафта, требующими охраны и имеющими природоохранную значимость, являются: пещерные отложения, биота (живые организмы животного и растительного происхождения), климат пещер (температурный режим, влажность, газовый состав воздуха), пещерная гидросфера (качество и количество воды, в том числе, установившаяся циркуляция и взаимосвязь с поверхностными водами). Ниже приводятся характеристика элементов подземного ландшафта и их уязвимые места, которые необходимо учитывать при выработке соответствующих мер и контролировать при эксплуатационной деятельности в пещерах.

Пещерные отложения. В числе первых комплексных исследований пещерных отложений на территории России значится известная монография А.А. Крубера «Карстовая область Горного Крыма» [15]. В ней

автор, опираясь на классификацию Э.А. Мартеля, выделяет несколько типов отложений: натечные формы; отложения, образованные в результате разрушения и осыпания стен пещер; крупнообломочный материал, возникший в результате обвалов и обрушения сводов; глинистые отложения, представляющие собой нерастворимый остаток в карстующихся породах; отложения, принесенные с поверхности; остатки животного и растительного мира; следы деятельности человека (антропогенные отложения); снег и лед.

На данный момент единой, общепринятой классификационной системы пещерных отложений не существует. В российской научной среде широко применяется классификация, разработанная Д.С. Соколовым и Г.А. Максимовичем, которая охватывает восемь различных видов пещерных отложений [18]. Эта классификация, предложенная в начале шестидесятых годов XX в. и представленная в табл. 1 / tabl. 1 (с некоторыми корректировками) остается актуальной и используется до сих пор.

Таблица 1

Генетическая классификация отложений карстовых пещер (по [18])

Table 1

Genetic classification of karst cave deposits (according to [18])

Пещерные отложения // Caves sediments	Автохтонные // Autochthonous	Аллохтонные // Allochthonous
1. Остаточные отложения: элювиальная или пещерная глина // Residual sediments: eluvial or cave clay	+	-
2. Обвальные отложения; глыбы и другие обломочные продукты обрушения сводов пещер // Landslide sediments; boulders and other debris products of cave roof collapses	+	-
3. Водные механические осадки // Aqueous mechanical sediments:		
а) отложения пещерных рек // cave river sediments	+	-
б) отложения пещерных озер // cave lake sediments	+	-
в) отложения, принесенные в пещеру сверху через трещины, карстовые воронки, колодцы, шахты // sediments brought into the cave from above through cracks, sinkholes, wells, and shafts	-	+
4. Водные хемогенные отложения // Aqueous chemogenic sediments:		
а) натечные образования: сталактиты, сталагмиты, колонны, покровные на стенках и полу пещер // drip-stone formations: stalactites, stalagmites, columns, coatings on the walls and floors of caves	+	-
б) кальцитовые образования в пещерных озерах: обрамления, выделения на выступах дна, оторочки на сталагмитах, пленки, оолиты, пизолиты, конкреции, плотины озер // calcite formations in cave lakes: frames, segregations on bottom protrusions, rims on stalagmites, films, oolites, pisolites, concretions, lake dams	+	-
в) кристаллы автохтонных минералов: кальцита, арагонита (в карбонатных отложениях), гипса (в гипсовых и реже в карбонатных), галита (в соли) // crystals of autochthonous minerals: calcite, aragonite in carbonate sediments, gypsum (in gypsum and less often in carbonate sediments), halite (in salt)	+	-
5. Пещерный лед // Cave ice:		
а) атмосферный снег (кристаллы) // atmospheric snow (crystals)	+	+
б) гидрогенный: сталактиты, сталагмиты; колонны, покровный на полу, лед подземных озер // hydrogenous: stalactites, stalagmites; columns, ice on the floor, ice of underground lakes	+	-
в) гетерогенный: кора обледенения, покровный лед на полу // heterogeneous: glaciation crust, ice on the floor	+	+
6. Органогенные отложения: гуано, скопления костей, костяная брекчия, фосфоритовые земли, фосфориты, селитра и другие // Organogenic deposits: guano, bone accumulations, bone breccia, phosphorite earths, phosphorites, saltpeter, and others	+	-
7. Гидротермальные и другие аллохтонные отложения: сульфиды (пирит, марказит, галенит, сфалерит), барит и многие другие // Hydrothermal and other allochthonous deposits: sulfides (pyrite, marcasite, galena, sphalerite), barite, and many others	-	+
8. Антропогенные отложения культурного слоя пещер // Anthropogenic deposits of the cultural layer of caves	-	+

Биота. Одним из важнейших элементов подземной экосистемы является пещерная биота — исторически сложившаяся совокупность видов живых организмов,

объединённых общей областью распространения. Организмы пещер представляют огромный интерес, поскольку существуют в особых условиях: отсутствие

света, ограниченность пищевых ресурсов, достаточно стабильная и постоянная температура и влажность, полная или частичная изоляция от поверхности. В этих условиях образуются эндемичные формы, сформировавшиеся из-за необходимости адаптации к этим условиям [22].

Раздел науки, изучающий жизнь под землёй, получил название «биоспелеология». Также часто используется термин «спелеобиология» [22].

С начала исследования пещер и обнаружения в них уникальных живых организмов исследователи ставили перед собой задачу классификации пещерных обитателей. Эти классификации построены на особенностях экологии, поведения и морфологии животных, регистрируемых в пещерах.

Подземные полости служат домом для разнообразных представителей фауны. Наиболее знаменитые и повсеместно встречающиеся обитатели пещер – летучие мыши. Помимо них, в пещерах можно встретить и других позвоночных, таких как пещерные рыбы и саламандры. Однако, самое большое разнообразие представлено беспозвоночными, адаптированными к подземной жизни. Многие из этих существ имеют крайне узкие ареалы распространения.

Исследовательская деятельность в пещерах способна негативно влиять на их обитателей. Это может происходить напрямую, когда мелкие беспозвоночные получают повреждения или перемещаются людьми при передвижении по пещере. Косвенное воздействие включает занесение болезнетворных микроорганизмов, питательных веществ или изменений в окружающую среду. Без должных исследований трудно в полной мере оценить последствия этих действий для биологического разнообразия [22].

Для защиты пещерной фауны можно применять различные стратегии: разработка планов сохранения отдельных видов, информационные кампании, направленные на повышение осведомленности о минимизации воздействия на пещеры, восстановление поврежденных экосистем и ограничение доступа к наиболее чувствительным участкам с помощью зонирования.

В некоторых пещерах внутренний энергетический баланс практически не меняется, и изменения заметны лишь в течении геологических периодов. Даже одно посещение такой пещеры спелеологом может значительно нарушить этот баланс, привнести тепло, свет и питательные вещества. Лишь в 1990-х гг. стало понятно, что исследователи пещер также вносят в пещерную среду микрофлору и микрофауну. В целом, последствия посещения пещер обладают накопительным и взаимоусиливающим эффектом.

В отличие от наземных изменений, следы и последствия антропогенного влияния в подземной среде с умеренной и низкой энергией могут оставаться заметными на протяжении столетий и даже тысячелетий. Например, предполагаемые отпечатки кроманьонцев возрастом до 48 тыс. лет были найдены на осадочных породах в пещере Шове во Франции. Особую тревогу вызывает синдром белого носа – контагиозное грибковое заболевание, приведшее к гибели миллионов пещерных летучих мышей в Северной Америке и других регионах с момента его первого выявления в 2006 г. Возбудителем является грибок *Pseudogymnoascus*

destructans, обнаруженный у летучих мышей в Европе и Азии, где он, однако, не вызывал сокращения популяции [26].

Предпочитая влажные условия, этот грибок поражает летучих мышей во время их зимней спячки, оказывая на них негативное воздействие. Визуальные признаки включают белые пятна на носу, теле и крыльях летучих мышей. Часто это приводит к летальному исходу. Впервые возбудитель был обнаружен в североамериканской экскурсионной пещере, вероятнее всего, занесенный туристами из другой страны на обуви. Люди могут способствовать распространению грибка из одной пещеры, где зимуют летучие мыши, в другую, случайно перенося его на обуви, одежде или снаряжении для пещер.

Люди, осматривающие пещеры в рамках экскурсионной программы, также способны переносить данную болезнь. В ряде пещерных комплексов сегодня применяются устройства для обеззараживания обуви. Среди оборудованных для посещения туристами, Мамонтова пещера в штате Кентукки внедрила такую систему, однако подобная практика гораздо чаще встречается в пещерах, используемых для отдыха и развлечений, как в США, так и в других странах [25].

Кроме потенциального воздействия на микробиологическую пещерную среду, посещение пещер людьми несет риск и для здоровья человека. Самая широко распространенная и известная в данном случае инфекция – это гистоплазмоз, вызываемый вдыханием спор грибка, часто встречающегося в помёте птиц и летучих мышей. Последние могут также быть переносчиками других болезней, поэтому трогать их разрешается только опытным исследователям, проводящим официальные работы. Риски для здоровья должны быть частью любой оценки риска в пещерах [25].

Климат пещер. Под климатом пещер понимается режим и динамика микроклиматических элементов: атмосферное давление, движение, температура, влажность, газовый состав воздуха. Ранее, в научной литературе, употреблялся термин «микроклимат» по отношению к пещерам, подразумевая, что он очень сильно отличается от климата или микроклимата окружающей местности. После того, как были обнаружены пещерные системы, занимающие огромные пространства как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, более корректно стало говорить о климате пещер и о микроклимате их отдельных участков [17].

Внутренние климатические условия пещер и особенности микроклимата отдельных зон оказывают существенное влияние на ход многих физических, химических и физико-химических процессов (таких как коррозия, образование минералов, конденсация влаги и процессы, связанные с низкими температурами). Климат служит одним из определяющих аспектов для существования организмов, адаптированных к жизни в пещерах (троглобионтов) и тех, кто лишь посещает пещеры (троглофилов). Ключевая роль климата пещер заключается в его влиянии на формирование, функционирование и развитие подземных ландшафтов и экосистем. Таким образом, климат выступает важнейшим элементом, определяющим состояние и динамику подземной среды.

Более того, климатические условия подземных полостей играют роль в определении потенциала их эксплуатации в различных сферах деятельности, включая туризм, культурное просвещение, хозяйственные нужды, а также в медицинских целях. Отдельные климатические характеристики, особенно направление и температура воздушных потоков, могут служить индикаторами для обнаружения неисследованных участков карстовых пещер или установления связей между разными их частями [17].

Пещерная гидросфера. Практически все подземные полости в той или иной степени обводнены. Степень обводнённости пещеры может быть различной – от наличия отдельных участков с капелью или конденсатом до постоянного полного заполнения полости водой [27].

При этом следует отметить, что пещерные водные объекты, с одной стороны, являются частью подземной гидросферы Земли (гидрогеосферы), с другой стороны, зачастую имеют черты поверхностных гидрологических объектов. Так, водотокам подземных полостей свойственен турбулентный характер движения, который не встречается в других типах подземных вод, но характерен для поверхностных водотоков. Гидрография пещер часто является аналогичной поверхностной гидрографии: наличие постоянных и периодических водотоков, озёр, ванн. Подземные воды являются частью гидросферы Земли, и именно гидрогеологический фактор является первоочередным с точки зрения формирования карстовых полостей, и именно через эту взаимосвязь осуществляется наибольший обмен пещерной изолированной экосистемы с внешним миром. Так, через фильтрацию и поступление воды с поверхности могут поступать различные вещества. Осознанно или не осознанно, влияя на гидрогеологический режим на поверхности (над пещерой), в пределах водосборных площадей, мы оказываем влияние на все компоненты пещерной среды [27].

Уязвимость. Особенностью пещер является то, что они формируются на протяжении тысячелетий или даже миллионов лет. Этот длительный процесс протекает в условиях изолированности от многих внешних факторов воздействия, что создаёт условия для уникального стабильного климата внутри пещер и устойчивости происходящих в них процессов. Этот фактор, с одной стороны, предопределяет уникальность пещерного ландшафта, а с другой, формирует уязвимость компонентов пещерной экосистемы при внешнем воздействии, поскольку у подземных полостей практически полностью отсутствует способность к самовосстановлению [28].

Любая деятельность человека будет оказывать влияние на компоненты пещерной экосистемы. По характеру техногенного воздействия можно выделить тепловое, шумовое, электромагнитное загрязнения; химическое (органические и неорганические соединения, газы, коллоидные растворы); интродукция чужеродных бактерий. Помимо негативного воздействия на пещерные биоценозы, загрязнение может проявляться и в эстетическом аспекте – в виде наскальных надписей или скопления мусора, которое помимо эстетического ущерба может вызвать и деградацию компонентов пещерной системы.

По одной из наиболее распространённых классификаций выделяют: механическое, физическое, химическое, биотическое и биологическое загрязнение. Кроме этого, по происхождению оно может иметь не только антропогенный, но и природный характер.

Вмешательство человека часто приводит к изменению внешнего облика пещер (расширение проходов, создание или разрушение имеющихся в пещерах барьеров), что, в свою очередь, способствует изменению как климатического, так и гидрологического режима подземных полостей. Разные компоненты пещер по-разному реагируют на антропогенное воздействие. Некоторые из них обладают высокой устойчивостью, в то время как другие могут отличаться повышенной ранимостью, при почти полном отсутствии способности восстанавливаться после интенсивного антропогенного воздействия. Так, геологическая среда существенно более устойчива к человеческому присутствию и в большинстве случаев может эксплуатироваться в довольно широких пределах. Иначе обстоит дело с климатом, гидрологией и биоразнообразием пещер [28].

Пещерные ландшафты представляют собой сложные природные системы с исторически сложившимися внутренними связями, которые служат не только цепями передачи внешних воздействий внутрь пещер, но и работают в обратном направлении. Все компоненты подземной экосистемы так или иначе реагируют на появление отдельных воздействий, вызывая взаимосвязанные ответные реакции. Это приводит к смещению установившегося баланса, которое может быть обратимым или необратимым.

Решение актуальных задач охраны пещер требует оценки уязвимости их внутренней среды. Мерой специфической уязвимости пещеры по отношению к определённому воздействию может служить её ёмкость, определяемая интенсивностью реакции системы (изменением компонента внутренней среды) в расчёте на единицу (массы, энергии, силы) приложенного воздействия. Допустимыми воздействиями на внутреннюю среду пещер являются такие, которые не выходят за пределы размаха естественных колебаний компонентов природной среды, в этом случае вызываемый ими эффект обратим [28].

Критическими по отношению к внутренней среде являются воздействия, превышающие допустимые и приводящие к необратимому сдвигу сложившегося равновесия и, в пределе, к разрушению цепей внутренних взаимосвязей системы (например, вытеснение и гибель спелеофауны при внедрении инородных химических и биологических агентов) [16].

За основу классификации пещер по уязвимости предлагается брать их энергетический бюджет или энергетический уровень [12, 31]. В работе [34] предлагается все пещеры разделить на высоко-, средне- и низкоэнергетические. При этом все три уровня энергетичности могут быть встречены в одной пещере.

Необходимость защиты пещер обусловлена их природоохранной значимостью и уязвимостью к внешним воздействиям. Зачастую, меры охраны разрабатываются без четкого определения объектов и целей природоохранных мероприятий. Это означает, что к сохра-

нению каждой конкретной подземной полости необходимо подходить с учетом ее индивидуальных особенностей (отложений, климата, биоты и гидрологических условий). В связи с этим возникает потребность во всестороннем изучении каждой пещеры для разработки наиболее эффективных мер охраны, которые в полной мере учитывали бы все особенности конкретного объекта.

Международный опыт использования и охраны подземных полостей

Вопросам охраны природы на международном уровне уделяется особое внимание уже более 70 лет. Наиболее значимым и важным шагом в этом вопросе является создание Международного союза охраны природы – IUCN (МСОП), являющегося международной организацией, в состав которой входят как государственные, так и общественные учреждения. Союз предоставляет общественным, частным и неправительственным организациям знания и инструменты, которые способствуют прогрессу, экономическому развитию и сохранению природы. МСОП, созданный в 1948 г., в настоящее время является крупнейшей и наиболее разносторонней экологической сетью в мире, объединяющей знания, ресурсы и влияние более 1,4 тыс. организаций-членов и около 18 тыс. экспертов. Союз занимается сбором данных по защите природы и их анализом. Его широкая сеть позволяет быть инкубатором передового опыта, инструментов и международных стандартов в области охраны природы. Вместе с партнерами и сторонниками МСОП реализует разнообразные портфели природоохранных проектов по всему миру. Сочетая новейшие достижения науки с традиционными знаниями местных сообществ, эти проекты призваны обеспечить охрану уникальных природных объектов, сохранение мест обитания живых организмов и восстановление экосистемы.

Международный союз охраны природы определяет охраняемую территорию как *«четко определенное территориальное пространство, созданное специально и управляемое через юридические или другие эффективные инструменты для решения задач охраны и сохранения природы»*. МСОП установил шесть категорий объектов и четыре типа охраняемых территорий для управления ими. Карстовые ландшафты и пещеры упоминаются в категории III «Природный памятник или объект» – как *«области, предназначенные для охраны определенного памятника природы, в качестве которого могут выступать наземные формы рельефа, подводные горы, морские пещеры, геологические объекты, такие как пещеры, или живые объекты, например, древние роции»*. Должно казаться, что поверхностные карстовые ландшафты и пещеры в этой категории охраняемых территорий четко зафиксированы и хорошо защищены. Однако те пещеры и карстовые области, которые входят в состав других категорий, могут быть обделены вниманием, особенно если они являются только малой частью охраняемой территории или её цель состоит в охране других объектов. Эта проблема характерна для разных видов и размеров охраняемых территорий. Например, экологическая организация может приобрести участок земли с целью защиты флоры и фауны. Если карстующиеся по-

роды обнажаются где-либо на этой территории, то, вероятно, в этом месте будут присутствовать карстовые ландшафты и пещеры, которые, возможно, не представляют интереса для владельцев.

Это можно наблюдать на международном уровне. Так, по данным ЮНЕСКО, 23% биосферных резерватов, 5% водно-болотных угодий международного значения (Рамсарская конвенция), 7% объектов Всемирного природного наследия и 38% глобальных геопарков ЮНЕСКО содержат участки карбонатного или эвапоритового карста. Однако эти проценты мало о чем говорят, ведь некоторые объекты могут быть почти полностью карстовыми (например, объект Всемирного наследия Шкоцьянские пещеры в Словении, который является также рамсарским водно-болотным угодьем и биосферным резерватом), тогда как в других объектах большинство участков могут быть некарстовыми с небольшими областями известняков (например, объект Всемирного наследия Тассилин-Аджер (Tassili n'Ajjer) в Алжире). Еще одна проблема возникает там, где участок, который включает пещеры или карстовый ландшафт, охраняется благодаря другим содержащимся в нём объектам – например, несколько объектов Всемирного наследия, в пределах которых имеются пещеры или карстовые объекты, определялись также как объекты культурного интереса. Важно, чтобы все охраняемые территории (не важно, под эгидой МСОП или других организаций), в которых имеется карстовый ландшафт, управлялись с учетом их природных особенностей.

Несмотря на то, что вопросы охраны пещер стали подниматься ещё в 1950-е гг., в том числе на повестке МСОП, вместе с развитием массового спелеотуризма спортивная составляющая спелеопутешествий и несовершенные по современным меркам методики изучения оставили буквально «глубокий след» во многих пещерах. В то же время популяризация краеведения и походов выходного дня обеспечила устойчивый неконтролируемый поток туристов в легкодоступные пещеры. Такой подход к «освоению» подземного пространства ярко проиллюстрирован сотнями пещер, почти полностью утратившими прежний облик в результате массового посещения, а нередко и целенаправленного вандализма.

В рамках международного взаимодействия по использованию пещер в 1965 г. на базе международного спелеологического сообщества создается Международный союз спелеологов – Union Internationale de Spéléologie (UIS или MCC), который является международной организацией для спелеологов. MCC – некоммерческая, неправительственная организация, обеспечивающая взаимодействие между академическими и техническими спелеологами разных стран для развития и координации международной спелеологии во всех её научных, технических, культурных и экономических аспектах. MCC остается основным глобальным научным и спортивным органом, продвигающим охрану пещер на международном уровне. MCC координирует свои усилия с МСОП. По запросу MCC поддерживает международные спелеологические события, усилия государств-членов по защите пещер и карстовых объектов, заявления на включение пещер и кар-

стовых объектов в список Всемирного наследия ЮНЕСКО, заявки в правительства на создание учреждений по изучению и защите карста, а также поддерживает спелеологов и учёных в их усилиях в получении средств для проектов.

С целью охраны и минимизации негативного воздействия на подземные полости, информация об их местоположении часто является достоянием определённого круга лица, по принципу «клубной» системы. Так, с начала и до середины XX в. информация о пещерах, включая местоположение входов, обычно предоставлялась только членам спелеоклубов, что обеспечивало определённую степень их охраны. В некоторых странах так происходит и по сей день, особенно если пещеры уязвимы или в них продолжаются исследования. В США с 1988 г. действует Федеральный закон о защите ресурсов пещер, охраняя их на федеральных землях. Согласно закону, местоположение самых значимых пещер не всегда подлежит раскрытию для широкой общественности. Однако в других местах рост интереса к региональной спелеологии привёл к публикации путеводителей с базовой, а иногда и довольно подробной информацией о местоположении входов в пещеры. В Интернете значительно увеличилось количество информации о пещерах, включая точные координаты входов, позволяющие любому, имеющему GPS, легко определить их местонахождение. Вместе с ростом пользователей социальных сетей увеличивается количество людей и групп, которым не хватает подготовки или опыта, но которые решают посетить пещеры и размещают видео своих посещений в Интернете. Неизбежным следствием этого стало увеличение числа несчастных случаев и повреждений пещер как преднамеренных, таких как надписи на стенах и откалывание «сувениров», так и непреднамеренных, включая несоблюдение маркированных маршрутов в обход хрупких отложений или участков с массивными натёками, а также попытки маркировки маршрутов в пещерах путем устройства пирамидок (туров) из камней или рисования стрелок на стенах.

Это доставляет особые проблемы для охраны этих объектов, поскольку такие посетители не являются частью спелеологического сообщества и зачастую просто не понимают, что такими действиями они губят уникальную природную среду подземных полостей. Информационные плакаты на входах в пещеры или внутри них приносят определённую пользу, но единственное средство способное обеспечить достойную защиту заключается в том, чтобы охранять входы в пещеры и контролировать доступ к особо уязвимым участкам в пределах пещер, обеспечивая соблюдение необходимых мер охраны. При этом необходимо понимать, что установка входных групп требует осторожного индивидуального подхода, поскольку они могут препятствовать движению воздуха или воды, нарушая установившийся баланс. К примеру, в работе [9] освещается проблема естественного кондиционирования воздуха в Кунгурской ледяной пещере.

Понимание этих процессов и консолидация спелеосообщества позволили уделить внимание этим проблемам. Беспокойство из-за воздействия посетителей на пещеры привело к разработке во многих странах этических кодексов, правил по охране пещер и норм

минимального воздействия. Цель этих документов состоит в том, чтобы убедить исследователей рассматривать каждое посещение пещер с точки зрения их охраны, а национальные и местные организации спелеологов – уделять первоочередное внимание охране пещер.

Разработка международных этических кодексов по охране пещер в настоящее время имеет достаточное широкое распространение. Так, Международным союзом спелеологов (МСС) в 1997 г. разработан и распространяется «Кодекс этики UIS по разведыванию и исследованию пещер в других странах». Кодекс был принят МСС на Генеральной Ассамблее на 12-м Международном спелеологическом конгрессе (La Chaux-de-Fonds, Швейцария, 1997 г.), изменен Генеральной Ассамблеей на 13-м Международном спелеологическом конгрессе (Brasilia, Бразилия, 2001 г.) и 16-м Международном спелеологическом конгрессе (Brno, Чехия, 2013 г.) [32].

Этот важный документ затрагивает разные аспекты использования подземных полостей и разделен на несколько структурированных частей:

А: общие требования и подходы к спелеологическим исследованиям в вашей собственной стране;
Б: спелеологические экспедиции в зарубежные страны;
В: развитие экскурсионных пещер (шоу-пещер);
Г: приключенческий, гео- и эко-туризм;
Д: сбор образцов для исследований [32].

Основные принципы этого документа сводятся к тому, что МСС не может навязывать правила своим членам, а также не может нести ответственность за незаконные экспедиции. Документ был задуман как убедительная рекомендация, которая описывает идеальный сценарий для отдельных стран-членов, чтобы они могли реализовать его с необходимыми корректировками, учитывающими конкретные обстоятельства в собственных странах. Цель кодекса состоит в том, чтобы обеспечить уважительную практику посещения пещер и отношений с другими людьми, которые имеют дело с пещерами [32].

Кроме кодекса Международного союза спелеологов отдельные страны практикуют разработку и издание собственных кодексов. Так, Австралийская спелеологическая федерация выпустила в 1995 г. один из самых ранних «Пещерных кодексов минимального воздействия», актуализированный (по имеющимся сведениям) в 2010 г. Этот кодекс разделен на две части: одна касается общих принципов посещения пещер, а другая посвящена исследованиям недавно обнаруженных пещер или их участков.

Британская спелеологическая ассоциация выпустила «Руководство по спелеологии с минимальным воздействием» совместно с Natural England, государственным вневедомственным органом правительства Соединённого Королевства, ответственным за обеспечение защиты и улучшение состояния окружающей среды Англии. Руководство стремится минимизировать воздействие на пещеры, а также включает рекомендации по их защите и восстановительным работам – как в пещерах, так и на поверхности.

Новозеландский департамент охраны природы разработал «Кодекс охраны пещер», задача которого

минимизировать воздействие при посещении пещер на окружающую среду и других людей.

Украинская спелеологическая ассоциация подготовила свой кодекс спелеолога. Основные его положения сводятся к следующему: этический кодекс, основанный на согласии, предпочтительнее обязательных правил; ответственные действия более эффективны, чем властные инструкции; спелеологи открывают и исследуют пещеры, делают их известными и доступными миру людей. Они должны осознавать уникальность и уязвимость пещерной среды и брать на себя ответственность за её сохранность; сознательность каждого спелеолога является лучшей защитой для пещер; каждый спелеолог является источником потенциального ущерба для пещер – как при их исследовании, так и при посещении; публикация результатов новых открытий в спелеологических изданиях является долгом исследователя пещер.

Национальное спелеологическое общество (США) имеет набор «Руководств по спелеологии с минимальным воздействием», которые регулярно обновляются. Последние обновления были утверждены в феврале 2021 г. и коснулись аспектов, связанных с пандемией COVID-19. Авторы документа делают важный вывод, что рекомендации необходимо регулярно обновлять по мере поступления и накопления новой информации о компонентах природной среды пещер, на основе которой все посетители должны корректировать свою деятельность в подземных полостях.

В 2022 г. МСС совместно с МСОП издается обновленная и дополненная версия «Рекомендации по охране пещер и карстовых ландшафтов» (далее – «Рекомендации, 2022») [26], приуроченная к международному году карста и пещер под эгидой ЮНЕСКО. Первая версия «Рекомендаций, 2022», прежде всего, затрагивала геологическое наследие. В то время как вторая версия была дополнена информацией и сведениями, связанными с биологическими аспектами (флорой и фауной), представленной в пещерах и карстовых ландшафтах.

В обновленном и дополненном издании рассмотрены вопросы природы карстовых систем, антропогенной активности в карсте и управления карстом в охраняемых областях. Детально рассмотрена особая природа карстовой окружающей среды и пещерных систем, показана её ценность, уникальность и уязвимость. Предложены подходы к организации охраны пещер и карстовых ландшафтов, оборудованию пещер в качестве экскурсионных объектов, использованию карстовых ландшафтов и пещер для рекреационного и приключенческого посещения. Отдельное внимание уделено вопросам охраны карстовых водных объектов, являющихся источником водоснабжения для 10% населения планеты.

Немаловажным является тот факт, что этот документ был официально переведен на русский язык. Россия является членом МСС, и один из официальных языков МСС – русский. Бюро МСС обратилось к переводчику во время 18-го Международного спелеологического конгресса (июль 2022 г., Франция) с соответствующей просьбой для ознакомления с текстом «Рекомендации, 2022» спелеологической общественности

и всех заинтересованных в охране карстовых ландшафтов и пещер в России.

Следует отметить, что этот документ очень важен для русскоязычных специалистов, связанных с изучением, использованием и охраной пещер и карстовых ландшафтов, поскольку в последнее время никаких руководящих документов, утвержденных на законодательном уровне, в России не принималось.

«Рекомендации, 2022» содержат информацию об объектах охраны, её причинах и целесообразности, необходимых шагах в организации и осуществлении охраны пещер и карстовых ландшафтов, а также могут служить примером того, как охрана пещер и других карстовых объектов осуществляется в других странах. Это особенно важно, поскольку в ряде стран (Бразилия, США) охрана подземных полостей утверждена на законодательном уровне. Перевод «Рекомендаций, 2022» также может быть полезен как основа для создания современных рекомендаций по охране пещер и других карстовых объектов на территории России с использованием государственной специфики и законодательных принципов.

Российский опыт использования и охраны подземных полостей.

Первые упоминания о необходимости бережного отношения к богатствам пещер мы находим ещё у естествоиспытателей XVIII-XIX вв. В XX в. решения об охране природы, в том числе и пещер, принимаются уже в первые годы существования Советской власти.

Например, Красная пещера приказом Крымревкома объявлена охраняемым объектом ещё в 1921 г. [13].

Признание Кунгурской ледяной пещеры памятником природы потребовало более 10 лет переписки, а также поддержки посетивших пещеру участников XVII геологического конгресса (1937 г.). Только 12.11.1940 г. была удовлетворена просьба Кунгурского райсовета депутатов трудящихся о признании её памятником природы. В настоящее время Кунгурская ледяная пещера вместе с Ледяной горой образует историко-природный комплекс регионального значения. Более подробно с освещением научной деятельности, проводимой в Кунгурской ледяной пещере, и с публикациями о ней можно познакомиться в работе [19]. К сожалению, за истекшие 80 лет в деле охраны подземных пространств сделано немного. О необходимости их охраны говорилось на всех совещаниях по карсту и спелеологии. На Всесоюзных совещаниях 1975, 1978, 1982, 1986, 1987 гг. этому вопросу было посвящено более ста докладов. Большинство публикаций имеет региональное или даже местное значение (ставится вопрос об охране конкретной полости или карстового участка).

На базе подземных полостей могут создаваться различные стационары. Так, в работе [2] рассматривается вопрос создания спелеологического медико-биологического стационара в Сибири.

Ниже приводится краткое описание наиболее важных публикаций, имеющих концептуальное значение.

Интересный подход к оценке значения карстовых полостей как памятников природы предложен Всероссийским обществом охраны природы и освещен в работе [24]. В «Рекомендациях по выявлению, учёту,

оформлению и организации охраны пещер и карстовых объектов в качестве государственных памятников природы» (далее – «Рекомендации, 1984») излагаются основные положения по охране пещер, вытекающие из действующих в то время нормативных актов, рассматриваются достопримечательности пещер и факторы их уязвимости, предлагаются методы сравнительной оценки объектов, подлежащих охране и определения уровня охраны. Подобная оценка должна быть по возможности количественной, но, вместе с тем, предельно простой, доступной неспециалисту, открывшему новую пещеру или обнаружившему в известной пещере неизвестные ранее достопримечательности.

В работе предлагается балльный метод оценки, согласно которому «обычно встречающиеся в данном карстовом районе достопримечательности» оцениваются в 1 балл, «типичные (характерные) или редкие» – в 10 баллов, «уникальные» – в 100 баллов. Баллы начисляются по 9 группам показателей: подземный ландшафт; геологические, гидрогеологические, археологические, палеонтологические объекты; животный и растительный мир; мемориально-историческая и народно-хозяйственная значимость. Сумма баллов по всем 9 группам показателей позволяет определить рекомендуемый режим охраны [24].

Предложенная методика оценки явилась первой попыткой поставить охрану подземных пространств на научную основу. С методической стороны «Рекомендации, 1984» представляют очень большой интерес, так как впервые переводят проблему из области эмоциональных оценок в практическую плоскость, однако к этой методике существует много вопросов, связанных с объективностью оценивания.

Вторая попытка практического подхода к определению ранга памятника природы карстового происхождения предпринята Ю.И. Берсеновым и изложена в работе [6].

Им также применяется балльный метод, причем значимость объекта районного масштаба принимается равной 1, краевого – 5, республиканского – 15, союзного – 30 баллам.

Начисление баллов производится по трём группам критериев:

- научная представительность (карстологический, геологический, гидрологический, палеогеографический, минералогический, биологический, палеонтологический памятник);
- историческая ценность (археологический, историко-революционный, историко-мемориальный памятник);
- эстетическая ценность (привлекательность поверхностных форм, убранство полости, её доступность, акустические и иные свойства, спортивное значение).

По сумме баллов, набранных по отдельным критериям, определяется ранг памятника (местного, республиканского или союзного значения).

К этой методике тоже имеются вопросы и замечания. К примеру, предварительное определение степени уникальности (от районного до союзного значения) заранее задаёт ту шкалу баллов, по которой будет производиться расчёт (1, 5, 15 или 30 баллов), что немедленно скажется на ранге памятника. Как и в первом случае, выбор балльных шкал произволен.

Третья попытка оценить научную, экологическую и социальную значимость пещер принадлежит Г.А. Бачинскому, работы [3-5]. В своих исследованиях автор отмечает, что пока невозможно в стоимостном отношении оценить значимость пещер, и предлагает выделять четыре категории полостей: А – максимально пригодные, В – пригодные, С – малоприспособные, D – непригодные. Для каждого вида использования (сами виды не перечисляются) следует разработать определительные шкалы с наборами качественных показателей, позволяющих определять научную, экологическую, эстетико-познавательную, лечебно-оздоровительную, спортивную и производственную ценность полости. При установлении категории подземных полостей следует принимать во внимание стоимостные показатели – рассчитывать экономический эффект от предполагаемого функционального использования пещер. Однако последним не следует придавать доминирующее значение: такие показатели являются главными при определении возможностей производственного использования пещер, имеют подчиненное значение при определении их спортивной, лечебно-оздоровительной, эстетико-познавательной пригодности и излишни при установлении экологической или научной ценности. Г.А. Бачинский предлагает определить степень уязвимости полостей относительно разных видов антропогенного воздействия и установить для них предельно допустимые нагрузки (ПДН). Ценность и уязвимость пещер определяют оптимальный режим их использования и охраны, то есть режим природопользования, основанный на социо-экологическом принципе: получение максимального эффекта без превышения ПДН. Работа Г.А. Бачинского является постановочной: в ней сформулированы общие положения социоэкологии применительно к подземным пространствам.

В ряде публикаций других известных российских (например, К.А. Горбуновой, Н.Г. Максимовича, В.Н. Андрейчука [11]) или зарубежных (например, N. Novas с соавторами [35], A. Weigand с соавторами [37], T. Labora с соавторами [33]) ученых затрагиваются проблемы организации карстологического или карстово-спелеологического мониторинга карстовых полостей, под которым понимается система постоянных наблюдений за состоянием карстовых объектов, позволяющая контролировать и прогнозировать изменения, происходящие под влиянием природных и антропогенных факторов.

Следующим важным этапом в области изучения и разработки рекомендаций по охране и использованию подземных полостей является консолидация спелеообщества, сначала на уровне отдельных регионов, а затем на общероссийском уровне. Беспокойство из-за воздействия человека на пещеры привело к разработке этических кодексов, правил по охране пещер и норм минимального воздействия. Многие спелеологические общества в разрезе своих спелеостран разрабатывали и составляли свои кодексы. Ярким примером является «Этический кодекс АСУ», разработанный в 2012 г. членами Ассоциации спелеологов Урала на основе собственного многолетнего опыта взаимодействия с подземной средой. Главным инициатором этого кодекса стал С.С. Евдокимов [29]. Кодекс направлен как на защиту подземного мира от влияния человека, так и

на безопасность человека при его нахождении в пещерах. Основные его постулаты сводятся к следующему:

– Любое посещение пещеры человеком наносит ей вред, необходимо свести этот вред к минимуму. Посещение пещеры оправдано чётко обозначенной целью (учебно-тренировочной, научно-исследовательской). Недопустимы использование пещер для личных нужд и из корыстных побуждений, коммерческая экскурсионная деятельность в необорудованных и специально не предназначенных для этих целей пещерах, проведение спортивных состязаний по скоростному прохождению пещер.

– Изъятие из пещеры археологических артефактов, палеонтологических находок и минералогических образцов может производиться только с научной целью. Всё, что занесено в пещеру посетителями и исследователями, должно быть извлечено на поверхность. Пометки и надписи на стенах пещеры могут наноситься только при проведении исследования пещеры и лишь при особой необходимости.

– Результаты новых открытий и исследований должны обязательно публиковаться в спелеологической литературе. При этом необходимой мерой для сохранения отдельных уникальных и уязвимых пещер является ограничение в открытом доступе информации об их точном местоположении.

– Спелеологические коллективы должны брать ответственность за сохранность исследуемой пещеры, разрабатывать необходимые мероприятия по её защите, вносить предложения по режиму посещения пещеры и, в тех случаях, когда это целесообразно, по постановке на учёт как памятника природы.

Пещеры, обладающие доступностью и наибольшей привлекательностью для туристов, могут быть оборудованы для посещения [31]. В работе [36] приводятся перспективы и значение карстовых пещер для создания европейских и национальных парков и геопарков. При экскурсионной деятельности, благоустройство проводится с учётом принципа минимизации антропогенного влияния на ход естественных процессов в пещере. Работы должны предваряться комплексными исследованиями на поверхности и под землёй. В процессе функционирования туристско-экскурсионного объекта необходимо проводить регулярный мониторинг природной среды с использованием современных технологий и методов [29].

Ярким примером комплексных исследований, использования и охраны пещер являются работа М.А. Абдужабарова, посвященная пещерам Южного Узбекистана [1], работа Н.И. Бурчака-Абрамовича, посвященная пещерам Кавказа [7], статья Э.З. Гирфановой, посвященная Икским пещерам Башкортостана [10].

Другим примером консолидации исследователей в области подземных полостей на Всероссийском уровне является создание в 2017 г. общественной организации – Российского союза спелеологов (далее – РСС). На официальном сайте этой организации указано, что I съезд РСС состоялся 17-19 ноября 2017 г. Целью союза является объединение спелеологического сообщества, ведущего активную познавательную деятельность, интегрированного в социокультур-

ную среду государственных и общественных институтов РФ, а также развитие спелеологического движения в России.

Немаловажным является и тот факт, что РСС особое внимание уделяет и вопросам охраны подземных полостей: об этом свидетельствует тот факт, что в структуре РСС действует специализированная Комиссия по охране и использованию подземных полостей. В задачи комиссии входит:

- изучение различных видов антропогенного воздействия на среду подземных полостей;
- определение критериев и методов оценки ценности и уязвимости пещер;
- разработка методов классификации и определение природоохранного статуса пещер;
- подготовка предложений для органов государственного управления по установлению особо ценным пещерам природоохранного статуса;
- разработка рекомендаций по бережному отношению к подземным полостям для посетителей;
- методическая и организационная помощь членам Союза в проведении экологических мероприятий в подземных полостях;
- ведение перечня пещер России, имеющих, либо соответствующих статусу особо охраняемой природной территории (ООПТ);
- проведение общественной экологической экспертизы проектов, реализуемых в пещерах;
- мониторинг состояния пещер, являющихся ООПТ;
- разработка методики расчета допустимой антропогенной нагрузки на пещеры;
- разработка рекомендаций по использованию подземных полостей в качестве экскурсионных объектов;
- сотрудничество и обмен опытом с природоохранными структурами спелеологических ассоциаций других стран, в том числе международных;
- просветительская и пропагандистская деятельность в сфере охраны подземных полостей, в отношении как членов Союза, так и населения России.

Одним из наиболее значимых, полных и хорошо проработанных документов по охране и использованию пещер является подготовленный Комиссией по охране и использованию подземных полостей РСС одноименных рекомендаций (далее – «Рекомендации, 2021»), изданные в 2021 г. [25]. Документ предназначен для всех, кто интересуется пещерами, либо чья деятельность, так или иначе, связана с подземными пространствами. «Рекомендации, 2021» содержат информацию о том, что такое пещеры, в чём их ценность и уязвимость. Даются советы о том, как вести себя в пещерах, приводятся примеры и опыт создания особо охраняемых природных территорий для защиты пещер с отсылкой на действующие нормативно-правовые акты по этому виду деятельности [25].

Подводя итоги, необходимо отметить, что в настоящее время в отечественной нормативно-правовой литературе единые подходы к оценке и защите подземных пространств как природоохранных объектов пока не выработаны, имеются локальные и всероссийские документы – рекомендации, разработанные на общественных началах кругом заинтересованных и небезразличных к пещерам лиц. Это актуальная тема для

дальнейшего плотного взаимодействия между учеными, исследователями, спелеотуристами и представителями природоохранных структур как на региональном, так и на федеральном уровне.

Анализ открытых источников позволил найти документы, устанавливающие режим охраны отдельных подземных полостей регионального значения. К примеру, постановлением Правительства Красноярского края от 14.12.2017 г. № 747-п пещера Партизанская объявляется памятником природы краевого значения и устанавливается режим особой охраны этой территории. Опубликованный на официальных порталах документ позволяет сделать вывод, что основными объектами охраны являются:

- редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений, занесенные в Красные книги РФ и Красноярского края;
- млекопитающие, относящиеся к отряду Рукокрылые (Chiroptera), занесенные в Красную книгу Красноярского края;
- уникальные натечные образования: сталактиты, сталагмиты, пагоды, кораллиты, кальцитовые покровы стен, гурь.

Согласно этому документу меры охраны подземной части памятника природы сводятся к тому, что в пещере запрещено отбирать образцы флоры и фауны, разрушать натечные образования, наносить надписи и знаки ориентирования. Кроме того, запрещается жечь костры, курить и употреблять алкогольные напитки.

Все это говорит о том, что на текущий момент на государственном уровне охрана пещер осуществляется в рамках стандартного комплекса мероприятий по постановке на учёт и обеспечению режима особо охраняемых природных территорий – памятников природы с общечеловеческими требованиями: «не мусорить и не хулиганить». Разработка и внедрение утвержденных хорошо проработанных нормативно-правовых актов, регулирующих охрану подземных полостей с учетом их специфических условий, является важной задачей, стоящей перед современными спелеологами. Необходимо выработка единых критериев оценки, требований по режиму использования, а также паспортизация и учет подземных памятников природы с указанием индивидуальных особенностей охраняемого объекта.

Заключение

Пещеры – уникальные малоустойчивые экосистемы с особой биотой. В связи с повышением уровня антропогенного влияния на них (особенно с увеличением популярности спелеотуризма), загрязнение подземных экосистем резко возросло.

В настоящее время на международном уровне и на уровне РФ охрана большинства уникальных подземных полостей обеспечивается либо путем сокрытия информации об их местоположении, либо эколого-просветительской работой в отношении посетителей пещер. Для этого разрабатываются и распространяются кодексы этики спелеологов, в которых содержится информация об уникальности пещер, их природоохранной значимости и приводятся рекомендации по соблюдению общих правил поведения, чтобы минимизировать негативное воздействие на пещеры со стороны посетителей. К сожалению, в большинстве стран мира в

законодательных актах не существует четких требований по мерам охраны и наказаний за негативное воздействие на подземные полости. Следовательно, соблюдение населением и организациями (туристическими, спортивными и прочими) правил, установленных общественными спелеологическими объединениями, возможно только на добровольных началах.

Одним из механизмов защиты и сохранения этих уникальных природных объектов является контроль и охрана силами государства. Для этого этим объектам необходимо придавать статус особо охраняемой природной территории. Тогда правила, прописанные в Федеральных и локальных нормативно-правовых актах, будут обязательны для исполнения всеми, а их неисполнение повлечет административную или уголовную ответственность.

К сожалению, в нормативно-правовой базе федерального уровня существуют неточности и недосказанности в отношении подземных полостей. В отечественной нормативно-правовой литературе единые подходы к оценке и защите подземных пространств как природоохранных объектов, пока не выработаны. Имеются международные общероссийские документы рекомендательного характера. Актуализация федеральных и региональных документов для выработки единых подходов в области управления и охраны подземных полостей является насущной проблемой для дальнейшего плотного взаимодействия между учеными, исследователями, спелеотуристами и представителями природоохранных структур как на региональном, так и на федеральном уровне.

На текущий момент на государственном уровне охрана пещер осуществляется в рамках стандартного комплекса мероприятий по постановке на учёт и обеспечению режима особо охраняемых природных территорий – памятников природы с общечеловеческими требованиями: «не мусорить и не хулиганить». Разработка и внедрение утвержденных хорошо проработанных нормативно-правовых актов, регулирующих охрану подземных полостей с учетом их специфических условий, является важной задачей, стоящей перед современными спелеологами. Необходимо выработка единых критериев оценки, требований по режиму использованию с учетом индивидуальных особенностей охраняемого объекта и внесение их в соответствующие законодательные акты.

Сведения об авторском вкладе

П.А. Красильников – постановка задачи исследования, формулировка идеи статьи, научное редактирование, вычитка итоговой версии статьи.

И.А. Лавров – подготовка рукописи, сбор, систематизация сведений о Российском опыте использования и охраны пещер, вычитка итоговой версии статьи.

Т.С. Брызгалов – сбор, систематизация сведений о Международном опыте использования и охраны пещер;

С.А. Красильникова – сбор, систематизация сведений об уязвимости подземных полостей, подготовка отдельных частей рукописи.

Contribution of the authors

P.A. Krasilnikov – research problem statement, article concept formulation, scientific editing, proofreading of the final article.

I.A. Lavrov – manuscript preparation, collection and systematization of information on Russian experience in cave use and protection, proofreading of the final article.

T.S. Bryzgalov – collection and systematization of information on international experience in cave use and protection.

S.A. Krasilnikova – collection, systematization, and identification of vulnerabilities of underground cavities, preparation of individual sections of the manuscript.

Список источников

1. Абдужаббаров М.А. Проблемы комплексных исследований, использования и охраны пещер Южного Узбекистана // Проблемы изучения, экологии и охраны пещер: Тез. докл. V Всесоюз. совещ. по спелеологии и карстоведению. Киев: Институт геологических наук АН УССР, 1987. С. 175-176.
2. Аликин Ю.С., Матюхин В.А. Проект спелеологического медико-биологического стационара в Сибири // Проблемы изучения, экологии и охраны пещер: Тез. докл. V Всесоюз. совещ. по спелеологии и карстоведению. Киев: Институт геологических наук АН УССР, 1987. С. 137-139.
3. Бачинский Г.А. Охрана пещер и геосоциология // 10 Intern. Congr. of speleol. Proc. Budapest, 1989. P. 449-451.
4. Бачинский Г.А. Социэкологические аспекты спелеологии // Пещеры: Проблемы изучения. Выпуск 22. Пермь, 1990. С. 86-91.
5. Бачинский Г.А. Тафономическая характеристика местонахождений ископаемых позвоночных в карстовых пещерах Украины // Физическая география и геоморфология (Карст Украины). 1970. № 4. С. 153-159.
6. Берсенева Ю.И. Памятники природы карстового происхождения Приморского края. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 48 с.
7. Бурчак-Абрамович Н.И. Пещеры Кавказа – памятники природы и истории древней культуры, их изучение и охрана // Проблемы выявления, исследования и сохранения памятников природы. Воронеж: ВООП, 1983. С. 31-32.
8. Васильев А.Н., Хританков А.М. Мхи пещер юга Красноярского края // Проблемы изучения, экологии и охраны пещер: Тез. докл. V Всесоюз. совещ. по спелеологии и карстоведению. Киев: Институт геологических наук АН УССР, 1987. С. 122-123.
9. Вишнева Н.Л., Лукин В.С. Естественное кондиционирование воздуха в Кунгурской ледяной пещере // Проблемы выявления, исследования и сохранения памятников природы. Воронеж: ВООП, 1983. С. 70-71.
10. Гирфанова Э.З. Восстановление и сохранение Икских пещер как памятника природы Башкортостана. [Электронный ресурс]. URL: <https://test.genyorka.ru/8037/> (дата обращения: 28.08.2025).
11. Горбунова К.А., Максимович Н.Г., Андрейчук В.Н. Техногенное воздействие на геологическую среду Пермской области // Научные доклады Горного института УрО АН. Пермь. 1990. 44 с.
12. Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н., Лавров И.А. Классификация, использование и охрана подземных пространств. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 195 с.
13. Душевский В.П. Использование карстовых полостей предгорного Крыма // Использование пещер: тезисы семинара-совещания. Пермь, 1979. С. 24-26.
14. Иванов А.Н., Чиждова В.П. Охраняемые природные территории. М.: Географический факультет МГУ, 2010. 184 с.
15. Круббер А.А. Карстовая область Горного Крыма. М.: тип. т-ва И.Н. Кушнерев и К°, 1915. 319 с.
16. Мавлюдов Б.Р., Коврижных Е.В., Голод В.М. Оценка уязвимости и задачи охраны пещер // Проблемы изучения, экологии и охраны пещер: Тез. докл. V Всесоюз. совещ. по спелеологии и карстоведению. Киев: Институт геологических наук АН УССР, 1987. С. 9-11.
17. Мавлюдов Б.Р., Токарев С.В. Климат пещер // Атлас пещер России / гл. ред. А.Л. Шелепин. М.: РГО, Российский союз спелеологов, 2019. С. 35-39.
18. Максимович Г.А. Морские пещеры – чудеса Мира // Пещеры. Вып. 12-13. Пермь, 1972. С. 191-196.
19. Максимович Н.Г., Миоочкина Ю.Н. Публикации о Кунгурской Ледяной пещере в сборниках научных трудов «Пещеры» // Комплексное использование и охрана подземных пространств: матер. междунар. науч.-практ. конф. Пермь: ГИ УрО РАН, 2014. С. 68-72.
20. О недрах: закон РФ № 2395-1 от 21.02.1992 г.
21. Об особо охраняемых природных территориях: федеральный закон № 33-ФЗ от 14.03.1995 г.
22. Прокопов Г.А. Пещерная биота // Атлас пещер России / гл. ред. А.Л. Шелепин. М.: РГО, Российский союз спелеологов, 2019. С. 47-53.
23. Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978. 296 с.
24. Рекомендации по выявлению, учёту, оформлению и организации охраны пещер и карстовых объектов в качестве государственных памятников природы. М.: ВООП, 1984. 49 с.
25. Рекомендации по охране и использованию пещер / под общей редакцией И.Н. Бурмак. Всероссийская общественная организация «Российский союз спелеологов». Красноярск: Изд-во ООО «Поликом», 2021. 194 с.
26. Рекомендации по охране пещер и карстовых ландшафтов, 2 издание / под ред. Д.С. Гиллисон, Дж. Ганн, А. Аулер, Т. Болгер; Пер. с англ. Б.Р. Мавлюдов. 2025. Москва: ИГРАН. 112 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.igras.ru/sites/default/files/2025_Recomendations.pdf (дата обращения: 28.08.2025).
27. Токарев С.В. Гидрология пещер // Атлас пещер России / гл. ред. А.Л. Шелепин. М.: РГО, Российский союз спелеологов, 2019. С. 33-34.
28. Токарев С.В. Экологические проблемы и уязвимость пещер // Атлас пещер России / гл. ред. А.Л. Шелепин. М.: РГО, Российский союз спелеологов, 2019. С. 105.
29. Этический кодекс Ассоциации спелеологов Урала. [Электронный ресурс]. URL: https://vk.com/topic-22262062_27991887 (дата обращения: 28.08.2025).
30. Cigna A.A. Vulnerability of the Cave Environment // The International Show Cave Association (ISCA) 4th International Congress. Postojna, 2002. P. 185-191.

31. Cigna A.A., Forti P. Caves: the most important geotouristic feature in the world // *Tourism and Karst Areas*. 2013. Vol. 6. Iss. 1. P. 9-26.
 32. Code of Ethics for Cave Exploration, and Science in Foreign Countries // *International Union of Speleology*, 2013. URL: <https://uis-speleo.org/wp-content/uploads/2020/03/Code-of-Ethics-of-the-UIS-English-Language.pdf> (дата обращения: 03.09.2025).
 33. Laborra T., Azpilicueta L., Iturri P.L., Aguirre E., Falcone F. Estimation of wireless coverage in complex cave environments for speleology applications // *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting*, 2014, pp. 120-120. <https://doi.org/10.13140/2.1.1570.3687>
 34. Lobo H., Perinotto J., Boggiani P., Karmann I., Zago S., Tomaz F., Poudou S., Junior O. Classifying cave environments based on the energy flow levels (case study of the cave of Santana, Sao Paulo state, Brazil) // *Proceedings of 15th International Congress of Speleology, held in Kerville, 19-26 July 2009. Kerville, 2009. Vol. 2. P. 1166*.
 35. Novas N., Gázquez J.A., MacLennan J., García R.M., Fernández-Ros M., Manzano-Agugliaro F. A real-time underground environment monitoring system for sustainable tourism of caves // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 142. Part. 4. P. 2707-2721. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.005>
 36. Telbisz T., Mari L. The significance of karst areas in European national parks and geoparks // *Open Geosciences*. 2020. Vol. 12. Iss. 1. pp. 117-132. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0008>
 37. Weigand A., Bücs S.-L., Deleva S., Lukić Bilela L., Nyssen P., Paragamian K., Ssymank A., Weigand H., Zakšek V., Zagmajster M., Balázs G., Barjadze S., Bürger K., Burn W., Cailhol D., Decrolière A., Didonna F., Doli A., Drazina T., Dreybrodt J., Dud L., Egri C., Erhard M., Finžgar S., Fröhlich D., Gartrell G., Gazaryan S., Georges M., Godeau J.-F., Grunewald R., Gunn J., Hajenga J., Hofmann P., Knight L., Köble H., Kuharic N., Lüthi C., Munteanu C.M., Novak R., Ozols D., Petkovic M., Stoch F., Vogel B., Vukovic I., Hall Weberg M., Zaenker C., Zaenker S., Feit U., Thies J.-C. Current cave monitoring practices, their variation and recommendations for future improvement in Europe: A synopsis from the 6th EuroSpeleo Protection Symposium // *Research Ideas and Outcomes*, 2022. Vol. 8, Article number e85859, <https://doi.org/10.3897/rio.8.e85859>
- References**
1. Abduzhabarov, M., 1987. *Problemy kompleksnykh issledovaniy, ispol'zovaniya i okhrany peshcher Yuzhnogo Uzbekistana* [Problems of complex research, use and protection of caves of Southern Uzbekistan]. In: *Problems of study, ecology and protection of caves: Abstract of the report of the 5th All-Union Conference on Speleology and Karst Studies*. Kyiv: Institute of Geological Sciences of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR., pp. 175-176. (in Russian)
 2. Alikin, Yu. and Matyukhin, V., 1987. *Proyekt speleologicheskogo mediko-biologicheskogo statsionara v Sibiri* [Project of a speleological medical and biological stationary in Siberia]. In: *Problems of study, ecology and protection of caves: Abstract of the report of the 5th All-Union Conference on Speleology and Karst Studies*. Kyiv: Institute of Geological Sciences of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR., pp. 137-139. (in Russian)
 3. Bachinskiy, G., 1989. *Okhrana peshcher i geotsiologiya* [Cave protection and geosociology]. 10 *Intern. Congr. of speleol. Proc. Budapest*, pp. 449-451. (in Russian)
 4. Bachinskiy, G., 1990. *Sotsioekologicheskiye aspekty speleologii* [Socioecological aspects of speleology]. *Peshchery: Problemy izucheniya*. (22). Perm, pp. 86-91. (in Russian)
 5. Bachinskiy, G., 1970. *Tafonomicheskaya kharakteristika mestonakhozhdeniy iskopayemykh pozvonochnykh v karstovykh peshcherakh Ukrainy* [Taphonomic characteristics of fossil vertebrate sites in karst caves of Ukraine]. *Fizicheskaya geografiya i geomorfologiya (Karst Ukrainy)*. (4), pp. 153-159. (in Russian)
 6. Bersenev, Yu., 1985. *Pamyatniki prirody karstovogo proiskhozhdeniya Primorskogo kraya* [Natural monuments of karst origin of Primorsky Krai]. Vladivostok, Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences. 48 p. (in Russian)
 7. Burchak-Abramovich, N. *Peshchery Kavkaza – pamyatniki prirody i istorii drevney kultury, ikh izucheniye i okhrana* [Caves of the Caucasus – monuments of nature and history of ancient culture, their study and protection]. In: *Problemy vyyavleniya, issledovaniya i sokhraneniya pamyatnikov prirody* [Problems of identification, research and preservation of natural monuments]. Voronezh, VOOP, pp. 31-32. (in Russian)
 8. Vasil'yev, A. and Khritankov, A., 1987. *Mkhi peshcher yuga Krasnoyarskogo kraya* [Mosses of caves in the south of Krasnoyarsk Krai]. In: *Problems of study, ecology and protection of caves: Abstract of the report of the 5th All-Union Conference on Speleology and Karst Studies*. Kyiv: Institute of Geological Sciences of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, pp. 122-123. (in Russian)
 9. Vishnevskaya, N. and Lukin, V., 1983. *Natural air conditioning in the Kungur ice cave* [Natural air conditioning in the Kungur ice cave]. In: *Problemy vyyavleniya, issledovaniya i sokhraneniya pamyatnikov prirody* [Problems of identification, research and preservation of natural monuments]. Voronezh, VOOP, pp. 70-71. (in Russian)
 10. Girfanova, E. *Restoration and preservation of the Iksky caves as a natural monument of Bashkortostan*. Available from: <https://test.genyorka.ru/8037/> [Accessed 28th August 2025].
 11. Gorbunova, K., Maksimovich, N. and Andreychuk, V., 1990. *Tekhnogennoye vozdeystviye na geologicheskuyu sredu Permskoy oblasti* [Technogenic impact on the geological environment of the Perm region]. In: *Nauchnyye doklady Gornogo instituta UrO AN* [Scientific reports of the Mining Institute of the Ural Branch of the Academy of Sciences]. Perm, Russia. 44 p. (in Russian)
 12. Dublyanskiy, V., Dublyanskaya, G. and Lavrov I., 2001. *Klassifikatsiya, ispol'zovaniye i okhrana podzemnykh prostranstv* [Classification, use and protection of underground spaces]. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 195 p. (in Russian)
 13. Dushevskiy, V., 1979. *Ispol'zovaniye karstovykh polostey predgornogo Kryma* [Use of karst cavities of the foothills of Crimea]. In: *Use of caves: Abstracts of the seminar-meeting*. Perm, pp. 24-26. (in Russian)
 14. Ivanov, A. and Chizhova, V., 2010. *Okhranyayemye prirodnyye territorii* [Protected natural areas]. Moscow, Faculty of Geography of Moscow State University. 184 p. (in Russian)

15. Kruber, A., 1915. *Karst region of the Crimean Mountains* [Karstovaya oblast' Gornogo Kryma]. Moscow, tip. t-va I.N. Kushnerev i K°. 319 p. (in Russian)
16. Mavlyudov, B., Kovrizhnykh, Ye., Golod, V., 1987. *Otsenka uyazvimosti i zadachi okhrany peshcher* [Vulnerability assessment and objectives of cave protection]. In: *Problems of cave study, ecology and protection: Abstract of the report of the 5th All-Union Conference on Speleology and Karst Studies*. Kyiv, Institute of Geological Sciences of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, pp. 9-11. (in Russian)
17. Mavlyudov, B. and Tokarev, S., 2019. *Klimat peshcher* [Cave climate]. In: Shelepin, A. (ed.) *Atlas peshcher Rossii* [Atlas of caves of Russia]. Moscow, Russia, RGO, Russian Union of Speleologists. pp. 35-39. (in Russian)
18. Maksimovich, G., 1972. *Morskiye peshchery – chudesa Mira* [Sea caves – wonders of the world]. *Peshchery*. (12-13), pp. 191-196. (in Russian)
19. Maksimovich, N. and Minochkina, Yu., 2014. *Publikatsii o Kungurskoy Ledyanoy peshchere v sbornikakh nauchnykh trudov «Peshchery»* [Publications about the Kungur Ice Cave in the collections of scientific papers "Caves"]. In: *Complex use and protection of underground spaces: Materials of the international scientific and practical conference*. Perm, GI UB RAS, pp. 68-72. (in Russian)
20. O nedrakh [On subsoil]: Law of the Russian Federation № 2395-1 from 21.02.1992. (in Russian)
21. Ob osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriyakh [On specially protected natural areas]: Federal Law № 33-FZ from 14.03.1995. (in Russian)
22. Prokopov, G., 2019. *Peshchernaya biota* [Cave biota]. In: Shelepin, A. (ed.) *Atlas peshcher Rossii* [Atlas of caves of Russia]. M.: RGO, Russian Union of Speleologists. pp. 47-53. (in Russian)
23. Reymer, N. and Shtil'mark, F. *Osobo okhranyayemye prirodnyye territorii* [Specially protected natural territories]. Moscow, Mysl'. 296 p. (in Russian)
24. *Rekomendatsii po vyyavleniyu, uchotu, oformleniyu i organizatsii okhrany peshcher i karstovykh ob'yektov v kachestve gosudarstvennykh pamyatnikov prirody* [Recommendations for the identification, registration, registration and organization of protection of caves and karst objects as state natural monuments]. Moscow, VOOP, 1984. 49 p. (in Russian)
25. Burmak, I. (ed.), 2021. *Rekomendatsii po okhrane i ispol'zovaniyu peshcher* [Recommendations for the protection and use of caves]. Krasnoyarsk, Izd-vo OOO «Polikom», 2021. 194 p. (in Russian)
26. Gillison, D., Gann, Dzh., Auler, A. and Bolger T. (ed.), 2025. *Guidelines for Cave and Karst Protection*, 2nd Edition. Postojna, Slovenia, International Union of Speleology and Gland, Switzerland, IUCN. 112 p. (in Russian)
27. Tokarev, S., 2019. *Gidrologiya peshchery* [Cave hydrology]. In: Shelepin, A. (ed.) *Atlas peshcher Rossii* [Atlas of caves of Russia]. Moscow, Russia, RGO, Russian Union of Speleologists. pp. 33-34. (in Russian)
28. Tokarev, S., 2019. *Ekologicheskiye problemy i uyazvimost' peshcher* [Environmental problems and vulnerability of caves]. In: Shelepin, A. (ed.) *Atlas peshcher Rossii* [Atlas of caves of Russia]. Moscow, Russia, RGO, Russian Union of Speleologists. pp. 105. (in Russian)
29. Ethical Code of the Ural Speleologists Association. Available from: https://vk.com/topic-22262062_27991887 [Accessed 28th August 2025].
30. Cigna, A., 2002. *Vulnerability of the Cave Environment*. In: *The International Show Cave Association (ISCA) 4th International Congress*. Postojna, pp. 185-191.
31. Cigna, A. and Forti, P., 2013. Caves: the most important geotouristic feature in the world. *Tourism and Karst Areas*, 6(1), pp. 9-26.
32. Code of Ethics for Cave Exploration, and Science in Foreign Countries. International Union of Speleology, 2013. Available from: <https://uis-speleo.org/wp-content/uploads/2020/03/Code-of-Ethics-of-the-UIS-English-Language.pdf> [Accessed 3th September 2025].
33. Laborra, T., Azpilicueta, L., Iturri, P., Aguirre, E. and Falcone, F., 2014. *Estimation of wireless coverage in complex cave environments for speleology applications*. In: *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting*, 2014, pp. 120-120. <https://doi.org/10.13140/2.1.1570.3687>
34. Lobo, H., Perinotto, J., Boggiani, P., Karmann, I., Zago, S., Tomaz, F., Poudou, S. and Junior, O., 2009. *Classifying cave environments based on the energy flow levels (case study of the cave of Santana, Sao Paulo state, Brazil)*. In: *Proceedings of 15th International Congress of Speleology, held in Kerville, 19-26 July 2009, Kerville, Texas, USA. Kerville, Vol. 2*. pp. 1166.
35. Novas, N., Gázquez, J., MacLennan, J., García, R., Fernández-Ros, M. and Manzano-Agugliaro, F., 2017. A real-time underground environment monitoring system for sustainable tourism of caves. *Journal of Cleaner Production*, 142, part. 4, pp. 2707-2721. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.005>
36. Telbisz, T., Mari, L., 2020. The significance of karst areas in European national parks and geoparks. *Open Geosciences*, 12(1), pp. 117-132. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0008>
37. Weigand, A., Bücs, S.-L., Deleva, S., Lukić, B., Nyssen, P., Paragamian, K., Ssymank, A., Weigand, H., Zakšek, V., Zagmajster, M., Balázs, G., Barjadze, S., Bürger, K., Burn, W., Cailhol, D., Decrolière, A., Didonna, F., Doli, A., Drazina, T., Dreybrodt, J., Đud, L., Egri, C., Erhard, M., Finžgar, S., Fröhlich, D., Gartrell, G., Gazaryan, S., Georges, M., Godeau, J.-F., Grunewald, R., Gunn, J., Hajenga, J., Hofmann, P., Knight, L., Köble, H., Kuharic, N., Lüthi, C., Munteanu, C., Novak, R., Ozols, D., Petkovic, M., Stoch, F., Vogel, B., Vukovic, I., Hall, W., Zaenker, C., Zaenker, S., Feit, U. and Thies, J.-C., 2022. Current cave monitoring practices, their variation and recommendations for future improvement in Europe: A synopsis from the 6th EuroSpeleo Protection Symposium. *Research Ideas and Outcomes*, 8, Article number e85859. <https://doi.org/10.3897/rio.8.e85859>

Статья поступила в редакцию 15.09.2025; одобрена после рецензирования 30.10.2025; принята к публикации 17.11.2025.

The article was submitted 15.09.2025; approved after reviewing 30.10.2025; accepted for publication 17.11.2025.

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Обзорная статья

 УДК 504.052 <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-49-60> <https://elibrary.ru/qzsjt>**Техногенная трансформация природной среды на территории Кизеловского угольного бассейна: экологические проблемы и пути рекультивации****Ольга Анатольевна Иванова**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

ola311200@mail.ru

Аннотация. В обзорной статье рассмотрены экологические последствия трансформации природной среды Кизеловского угольного бассейна (Пермский край) в посттехногенный период. Проанализированы основные источники загрязнения – изливы кислых шахтных вод и стоки с породных отвалов, приводящие к деградации поверхностных и подземных вод, почвенного покрова, донных отложений и растительности. Показано, что кислые шахтные воды характеризуются низкими значениями pH (2,3-4,0), высокой минерализацией и превышением ПДК по тяжёлым металлам в сотни и тысячи раз. Также, внимание уделено накоплению мышьяка и редкоземельных элементов, а также развитию негативных геологических процессов, включая образование провалов. Рассмотрены методы нейтрализации и рекультивации нарушенных территорий. Приведены результаты применения геоинформационных технологий, дистанционного зондирования и индекса NDVI для мониторинга состояния экосистем и эффективности рекультивации. Сделан вывод о необходимости комплексного подхода к восстановлению природной среды КУБа с учётом природных, техногенных и социально-экономических факторов.

Ключевые слова: Кизеловский угольный бассейн, изливы кислых шахтных вод, стоки с породных отвалов, рекультивация

Для цитирования: Иванова О.А. Техногенная трансформация природной среды на территории Кизеловского угольного бассейна: экологические проблемы и пути рекультивации // Антропогенная трансформация природной среды. 2025. Т. 11. № 2. С. 49-60. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-49-60>. EDN QZZSJT.

SECTION 2. POLLUTION

Review Paper

Technogenic transformation of the natural environment of the Kizelovsky coal basin: environmental problems and ways of reclamation**Olga A. Ivanova**

Perm State University, Perm, Russia

ola311200@mail.ru

Abstract. The review article examines the environmental consequences of the transformation of the nature of the Kizelovsky coal basin (Perm region) in the post-technological period. The main sources of pollution are analyzed – acid mine water spills and effluents from rock dumps, leading to degradation of surface and groundwater, soil cover, bottom sediments and vegetation. It has been shown that acid mine waters are characterized by low pH values (2,3-4,0), high mineralization, and hundreds and thousands of times higher than the maximum permissible concentration for heavy metals. Attention is also paid to the accumulation of arsenic and rare earth elements, as well as the development of negative geological processes, including the formation of sinkholes. Methods of neutralization and reclamation of disturbed territories are considered. The results of the application of geoinformation technologies, remote sensing and the NDVI index for monitoring the state of ecosystems and the effectiveness of remediation are presented. It is concluded that there is a need for an integrated approach to restoring the natural environment of Kizelovsky coal basin, taking into account natural, technogenic and socio-economic factors.

Key words: Kizelovsky coal basin, acid mine water outflows, effluents from rock dumps, reclamation

For citation: Ivanova, O., 2025. Technogenic transformation of the natural environment in the territory of the Kizelovsky coal basin: environmental problems and ways of reclamation. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 11(2), pp. 49-60. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-49-60>. EDN QZZSJT. (in Russian)

Введение

Тема трансформации природной среды в результате добычи угля в литературе рассматривается нередко. Это обусловлено тяжелыми последствиями, к которым приводит разработка угольных месторождений, более того, ликвидация предприятий по добыче угля в ряде случаев приводит к ещё большим проблемам. Уголь является значимым для экономики России видом минерального сырья. По масштабу сырьевой базы угля Россия входит в число крупнейших угольных держав мира, по объёму добычи страна занимает 6-е место с долей 4,4%. По состоянию на 01.01.2024 г. балансовые запасы угля, сосредоточенные в 22 угольных бассейнах и 147 отдельных месторождениях, составляют 272,7 млрд т. Дополнительно запасы каменного угля имеются в Донецкой (17,7 млрд т) и Луганской (17,8 млрд т) народных республиках [7]. Следовательно, вопросы изучения техногенной и посттехногенной трансформации природной среды для России являются весьма актуальными.

На нарушенных добычей угля территориях проводится большое количество научных исследований, позволяющих разработать комплексные меры рекультивации [14, 34, 41]. Примером таких пострадавших от угольной промышленности земель может служить Кизеловский угольный бассейн (КУБ), находящийся в Пермском крае Российской Федерации, в границах месторождения сейчас сложилась сложная экологическая ситуация, связанная с ликвидацией угольных шахт в связи с их нерентабельностью. Эксплуатация Кизеловского угольного бассейна велась с 1797 по 1997 гг. За время его эксплуатации общая площадь техногенных ландшафтов, утративших природные характеристики под влиянием угледобычи, составила 456 га [15].

География исследования включает территории Кизеловского, Губахинского, Гремячинского и Чусовского районов Пермского края. Площадь бассейна около 1500 км² [26]. Изучаемый район определяется следующими природно-географическими характеристиками: расположен в предгорьях Среднего Урала, относится к району средне- и южнотаежных предгорных пихтово-еловых и елово-пихтовых лесов, вследствие интенсивных рубок значительные площади покрыты вторичными березняками и смешанными лесами [32]. Климат умеренно-континентальный с холодной зимой и относительно теплым летом. Среднегодовое количество осадков – около 800 мм, что влияет на процессы вымывания и способствует промывному режиму территории [2]. Территория сложена преимущественно карбонатными и осадочными породами палеозойского возраста [26] с многочисленными угленосными слоями.

Анализ опубликованных научных источников показывает, что основными причинами неблагоприятной экологической ситуации в районе исследования являются изливы кислых шахтных вод и стоки с породных отвалов. Эти два, казалось бы, локальных явления приводят к ряду экологических проблем и задач [26]:

- загрязнение поверхностных вод и гидрографической сети района, что приводит к загрязнению крупных рек Пермского края, в их число входят р. Яйва, р. Чусовая, р. Косьва, которые являются притоками р. Кама (табл. 1 / tabl. 1);
- загрязнение подземных вод;
- деградация почвенного покрова, почвы приобретают состояние кислых сульфатных почв;
- загрязнение донных отложений;
- деградация растительного покрова, особенно в местах изливов кислых шахтных вод;
- негативные геологические явления, провалы.

Таблица 1

Притоки р. Яйва, р. Косьва, р. Чусовая подверженные влиянию закрытых шахт КУБа [26]

Table 1

Tributaries of the Yayva River, Kosva River, and Chusovaya River affected by closed mines [26]

Река // River	Приток // Tributary					
Яйва // Yayva	Большой Кизел // Bol'shoi Kizel	Северная Вильва // Severnaya Vil'va	Вьящер // V'yashcher	Полуденный Кизел // Poludennyi Kizel	Восточный Кизел // Vostochnyi Kizel	–
Косьва // Kosva	Шумиха // Shumikha	Губашка // Gubashka	Ладейный лог // Ladeynyy log	Каменка // Kamenka	Берестянка // Berestaynka	–
Чусовая // Chusovaya	Усьва // Us'va	Южная Вильва // Yuzhnaya Vil'va	Глухая // Glukhaya	Половинка // Polovinka	Большая Гремячая // Bol'shaya Grem'yachaya	Рудянка // Rudyanka

Исследования загрязнения подземных и поверхностных вод

Наибольшее беспокойство вызывает загрязненность водных объектов района. В монографии Н.Г. Максимовича, С.В. Пьянкова [26] отмечается, что для изливающихся на поверхность кислых шахтных вод характерна кислая реакция среды (рН 3-4), высокая степень минерализации (до 9,5 г/дм³), сульфатный состав, высокие концентрации ряда микроэлементов, прежде всего железа, алюминия, марганца, бериллия,

содержание которых превышает ПДКхп в сотни и тысячи раз. Суммарный расход стоков с породных отвалов в зависимости от количества осадков колеблется от 27,9 до 37,3 м³/ч [3]. Стоки с отвалов также характеризуются очень высоким содержанием загрязняющих веществ и кислой реакцией среды (рН 2,3-2,9) [19, 20]. При впадении в речную сеть загрязненные воды, смешиваясь с нейтральными природными водами, образуют осадок, представленный в основном аморфными

гидроксидами железа и алюминия характерного оранжевого цвета (рис. 1 / fig. 1) [21]. Анализ среднегодовых концентраций присутствующих загрязняющих веществ, превышающих ПДКр/х, в воде ряда рек Пермского края показал, что наиболее загрязненными реками в период 2019-2021 гг. являлись Косьва, Чусовая и Кама. Более грязной рекой является Косьва.

По мнению автора, главная причина ее загрязнения – выброс на поверхность земли шахтных вод закрытых выработок Кизеловского угольного бассейна [27].

В настоящее время на территории КУБа зафиксировано 19 изливов кислых шахтных вод. Три из них представляют собой изливающиеся скважины с небольшими расходами, которые не требуют строительства очистных сооружений, их необходимо затампонировать [25].



Рис. 1. Техногенный осадок в местах выхода шахтных вод

Fig. 1. Technogenic sediment at the outlet of mine waters

В гидросферу бассейна наблюдается поступление мышьяка. Мышьяк поступает в поверхностные воды с изливами шахтных вод, в том числе из шахт «Им. Крупской», «Им. Володарского», «Им. Ленина», и других. Среднегодовое поступление мышьяка в речную сеть региона составляет около 554,7 кг/год. Водные потоки, загрязненные мышьяком, могут повлиять на качество воды и на флору и фауну в этих водоемах. В статье также подчеркивается, что мышьяк может находиться в различных химических формах, в том числе как арсенат и арсенит, в зависимости от условий окружающей среды [36].

В исследовании Е.В. Кирюшиной, И.В. Зенькова и Ле Хунг Чинь [17] авторы выделили виды техногенных ландшафтных объектов, из-за которых страдает речная сеть района (табл. 2 / tabl. 2): промышленные площадки закрытых шахт и шахтные терриконы. Закрытые шахтные стволы авторы определяли на космоснимках по следам водных потоков, изливающихся из них на земную поверхность. Общее количество отвалов на данной территории насчитывается более 70. В отвалах накоплено свыше 35 млн м³ породы [23].

Таблица 2

Количество техногенных объектов после добычи угля подземным способом в границах бассейнов рек в центральной части Пермского края [17]

Table 2

The number of technogenic objects upon completion of underground coal mining within the boundaries of the river basins in the central part of the Perm Krai [17]

Название реки (ручья) // Name of the river (stream)	Промышленная площадка шахты // The mine's industrial site	Шахтный террикон // Mining terricon	Закрытый шахтный ствол // Closed mine shaft
Вьящер // V'yashcher	3	4	2
Восточный Кизел // Vostochnyy Kizel	5	1	4
Коспаш // Kospash	1	1	1
Полуденный Кизел // Poludennyuy Kizel	9	14	10

Название реки (ручья) // Name of the river (stream)	Промышленная площадка шахты // The mine's industrial site	Шахтный террикон // Mining terricon	Закрытый шахтный ствол // Closed mine shaft
Малый Полуденный Кизел // Malyy Poludenny Kizel	3	2	2
Сухой Кизел // Sukhoy Kizel	2	3	2
Кизел // Kizel	2	13	2
Косая // Kosaya	3	5	2
Губашка // Gubashka	7	8	3
Косьва // Kosva	1	6	2
Берестянка // Berestaynka	2	1	1
Ладейный лог // Ladeynyy log	2	2	2
Юбилейный (ручей) // Yubileynyy (stream)	1	2	1
Вильва (приток р. Чусовая) // Vil'va (a tributary of the Chusovaya River)	3	9	9
Усьва // Us'va	–	2	1
Итого	44	37	44

В статье И.В. Зенькова, Е.В. Кирюшиной, Перейра Эдуардо Гусмана [13] аналогично подтверждается, что техногенное загрязнение продолжается после закрытия шахт. Методологически исследование включает лабораторное моделирование поведения системы «порода–вода» для анализа выщелачивания токсичных веществ. Результаты моделирования показали, что вода способствует активации миграции тяжелых металлов и органических соединений, что приводит к повышению их геохимической подвижности и значительному загрязнению окружающей среды, поскольку установлено, что после взаимодействия с водой содержание в отходах подвижных форм Ni, Fe, Mn, Cd, Co возрастает в 2, а Zn, Cu, Cr – в 3 раза по сравнению с их исходным содержанием. Эти данные подтверждают длительный характер воздействия угольного производства на состояние среды и сложность решения проблем техногенного загрязнения. Таким образом, автор приходит к выводу, что вода активирует миграцию токсичных элементов, таких как тяжелые металлы и органические соединения, что способствует дальнейшему загрязнению экосистем.

Исследования деградации почвенного покрова

Подземная добыча угля приводит к разрушению почвенного покрова на территориях, непосредственно занятых отвалами и расположенными поблизости с ними, а также в местах проседания, где часто образуются кислые озера [47]. Но ситуация на территории КУБа отличается тем, что помимо стоков с отвалов, огромное отрицательное влияние имеют изливы кислых шахтных вод, что делает его похожим на Верхнесилезский угольный бассейн в Польше, на Донецкий угольный бассейн, на месторождение угля Хуайнань в Китае, где так же наблюдается дренаж шахтных вод [8, 45, 46].

На территории КУБа образовались кислые сульфатные почвы. Постоянное поступление шахтных вод приводит к гидроморфизму почвы. Воздействие от породных отвалов на почвы ниже, чем от изливов, что связано с периодичностью осадков и возрастанием количества рекультивированных отвалов. На террито-

риях стока с отвалов образуются как химически-преобразованные почвы, так и техногенно-трансформированные, т.е. кроме изменения химических свойств происходят морфологические трансформации [29]. Помимо стоков с отвалов, почвенный покров страдает от выноса пыли с терриконов. Поскольку отвалы являются насыпями из горных пород на склонах гористого рельефа региона, то при любом направлении ветра с поверхности терриконов присутствует вынос пыли и вертикальное и горизонтальное ее перемещение на расстояние в зависимости от крупности частиц и силы ветра [17].

Почвы, подвергшиеся воздействию кислых шахтных вод, содержат значительно более высокие концентрации подвижных форм серы и железа, сульфатов. При воздействии кислых шахтных вод почвы претерпевают химические и физические трансформации, включая увеличение кислотности, изменение гранулометрического состава, а также потерю мелких фракций и увеличение содержания крупных частиц. В исследовании также с помощью использования рентгенофазового анализа подтверждено, наличие минералов гётита и ярозита в почвах, что также служит индикатором кислых сульфатных почв. Ярозит, в частности, играет ключевую роль в сохранении химически агрессивных условий в сульфатно-кислых почвах. По мнению авторов исследования, к его образованию причастны не только кислые сульфатные воды, но добавление активного ила при рекультивации [28]. Сходный процесс обнаружен на хвостохранилищах Дальнего Востока [50].

Немаловажным является изучение геохимических особенностей почв на территории КУБа. При этом возможно использование геоинформационных технологий. Основная цель исследований выявить последствия техногенного воздействия угледобычи, а также текущую степень загрязнения почвы после закрытия шахт. Для исследования Е.А. Дзюбы, С.А. Бузмакова, Ю.В. Хотяновской [44] были отобраны образцы почвы из двух горизонтов – гумусного и подзолистого. На основе данных геоинформационных технологий были составлены карты распределения металлов и элемен-

тов в почвах, что позволило определить зоны наибольшего загрязнения и процессы их накопления. Техногенная трансформация почв в районе КУБа выражается в накоплении Co, Mn, Ni, As, Cr, Zn, Sr в органическом горизонте и Co, Mn, Ni, Cr в подгумусовом горизонте. В гумусовом горизонте накапливаются Co ($24 \pm 2,8$ мг/кг), Mn (1100 ± 155 мг/кг), Ni ($69 \pm 9,3$ мг/кг), As ($10 \pm 3,5$ мг/кг), Cr (178 ± 20 мг/кг), Zn ($80 \pm 7,8$ мг/кг) и Sr (221 ± 26 мг/кг). В подзолистом горизонте накапливаются Co ($24 \pm 1,8$ мг/кг), Mn (1000 ± 103 мг/кг), Ni ($60 \pm 6,4$ мг/кг) и Cr ($153 \pm 15,2$ мг/кг). Почвы КУБа имеют сидеро-халько-литофильную специализацию с кобальт-марганцево-полиметаллической ассоциацией. Это важный инструмент для мониторинга загрязнений и оценки экологических рисков в регионе [9].

Стоит отметить, что на территории КУБа выявлено повышенное содержание мышьяка, показатели которого сравнивали с фоновым содержанием [44]. Подобная ситуация происходит в Ростовской области, где в почвенных горизонтах наблюдается накопление тяжелых металлов, таких как Cu, Zn, Pb и Cd из-за угольных шахт и терриконов [43].

Исследования загрязнения донных отложений

Донные отложения на местах загрязнений приобретают характер техногенных осадков. Состав техногенных осадков коренным образом отличается от донных

отложений рек на фоновых участках. Техногенные осадки содержат значительное количество водорастворимых солей – 5-25 г/кг. Вытяжка имеет сульфатно-железистый состав и часто – кислые значения водородного показателя. Содержание подвижных форм загрязнителей в десятки и сотни раз превышает фоновые концентрации и составляет (мг/кг): сульфаты – 16 700, двухвалентное железо – 4550, трехвалентное железо – 720, марганец – 280, алюминий – 160, медь – 33, цинк – 23, никель – 18, кобальт – 12 [26].

Исследования восстановления экосистем

Статья, опубликованная в журнале Mining Science and Technology [30], отображает анализ химико-экологические свойства почв и использование индекса NDVI для оценки рекультивации сернистоугольных отвалов. Изучалась эффективность рекультивации угольных отвалов КУБа с целью восстановления экосистем (рис. 2 / fig. 2). Использование глинистых материалов и внесение извести в верхние слои отвала оказали положительное влияние на улучшение почвы и рост растительности. Использование индекса NDVI на основе спутниковых снимков Sentinel-2 и Landsat позволило отслеживать изменения растительности и подтвердить эффективность рекультивации.

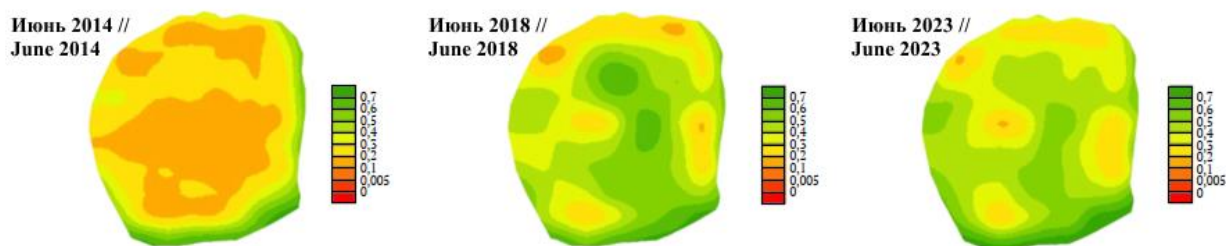


Рис. 2. Картограммы динамики индекса растительности NDVI для отвала шахты «Центральная» [20]
Fig. 2. Cartograms of the dynamics of the NDVI vegetation index for the dump of the Tsentralnaya mine [20]

Аналогично, темпы самозарастания угольных отвалов рассмотрены в работах А.Н. Чачина и М.А. Кондратьевой [39]. Для оценки темпов зарастания угольных отвалов были использованы космические снимки высокого разрешения Landsat 5 (пространственное разрешение 30 м на пиксель), Sentinel-2 (пространственное разрешение 10 м на пиксель) и высокодетальные снимки (0,5 м) покрытия ESRI Satellite за разные даты. При проведении исследования, авторы пришли к выводам, что степень зарастания отвалов увеличивается соответственно с увеличением возраста отвала.

Стоит отметить, что различные экологические условия, влияют на видовой состав поселяющихся на отвалах растений. Сюда относятся зональность, литология, формы рельефа, температура, освещенность, влажность [6, 18]. А значительное видовое разнообразие и большое проективное покрытие на отвалах приводят к увеличению содержания органического вещества почвы (ускоряется переход к гумусо-аккумулятивной стадии) и макроэлементов [12]. Молодые примитивные почвы, формирующиеся на грунтах и отвалах, получили в научной литературе название эмбриоземов [1].

Подобное исследование проведено в Индии [49], авторы рассматривают проблему деградации земель в центральной Индии, вызванную угледобычей, и предлагает подходы к восстановлению экосистем в этом регионе с использованием геопространственных технологий и машинного обучения. В статье подчеркивается, как открытая угледобыча в районе Корбы привела к значительным изменениям в землепользовании и покрытии земель. Лесные территории сократились с 35,56% в 1995 г. до 14,06% в 2024 г., в то время как площадь угольных шахт увеличилась, что привело к потере биологических ресурсов, почвенной эрозии и исчезновению сельскохозяйственных земель. Для анализа изменений использовались данные спутниковых снимков (Landsat 5, 7, 9), а также различные индексы, такие как NDVI (индекс растительности), NDBI (индекс застроенности), и NDMI (индекс влажности почвы). Эти данные позволили количественно оценить степень деградации и уязвимости земель. Несмотря на усилия по рекультивации земель, включая посадку деревьев и стабилизацию почвы, эти меры оказались недостаточными для компенсации масштаба деградации.

Определение содержания редких и редкоземельных элементов в отвалах

Актуальное исследование провели П.А. Белкин, Р.Д. Перевошиков, М.А. Волкова [4]. Авторы определяли содержание редких (Li, Ge, Ga) и редкоземельных элементов в породных отвалах КУБа. Редкоземельные элементы являются важным и крайне дефицитным видом сырья. Несмотря на свое название, редкоземельные элементы характеризуются достаточно высоким содержанием в земной коре. При этом, важнейшей особенностью РЗЭ является высокая степень рассредоточенности в земной коре, малое количество месторождений. Для изучения были отобраны пробы пород отвалов с поверхности, а также с глубины 0,5 м. Всего отобрано и исследовано 30 проб шахтных отвалов. Результаты выявленных концентраций редких и редкоземельных элементов в отвалах Кизеловского угольного бассейна показали значительную степень обогащения вещества всех исследованных отвалов литием, скандием и германием. Содержание галлия в породных отвалах шахт 40 лет Октября, Нагорная, Центральная, Шумихинская в 2-4 раза превышает кларк в осадочных горных породах. Содержание иттрия и лантаноидов в изученных отвалах значительно ниже кларковых значений.

Изучение недр

На территории Кизеловского угольного бассейна не исключены опасные геологические процессы. Кизеловский угольный бассейн практически полностью относится к Кизеловскому району карбонатного карста Западно-Уральской зоны складчатости. На поверхности карстующихся карбонатов сформированы толщи наносов, в той или иной степени задерживающие процесс карстообразования. Во время работы шахт по добыче угля велась откачка шахтных вод, что привело к оживлению процессов карстообразования. Шахтные воды, в составе которых присутствует серная кислота, интенсифицировали процессы растворения пород [16].

Поверхностные карстовые формы преимущественно представлены воронками, котловинами, уступами, гротами, логами, суходолами, слепыми долинами и долинами карстовых рек., пещерами. В Кизеловском районе карбонатного карста, расположенного от верхнего течения р. Язвы на юг до междуречья Усьвы и Вильвы известно более 200 пещер в карбонатных породах девона, карбона и перми. Наиболее крупные из них Кизеловская Вишерская (7600 м), Геологов-2 (3400 м), Российская (1450 м), Тёмная (1300 м), Мариинская (1000 м). В Чусовском районе карбонатного карста, который является южным продолжением Кизеловского района, известны 95 пещер в карбонатных породах девона и карбона. Одной из длиннейших пещер Пермского края является пещера Российская, которая находится на дне карстовой воронки в суходоле Ладейный Лог, в 5,2 км от р. Косьвы. В пещере найдены различные натечные образования, криогенные минералы. Недалеко, в 3,5 км от р. Косьвы, находится еще одна пещера – Обвальная [16, 22].

Ежегодно визуально обследуется 993 га территории горных отвалов ликвидированных шахт Кизеловского угольного бассейна по выявлению провалов земной поверхности. Проводятся работы по их ликвидации. Выявляемые провалы, как правило, образуются в устьях ранее ликвидированных горных выработок, выходящих на дневную поверхность, так и в результате разрушения целиков угля над очистными выработками верхних горизонтов шахт. По анализу результатов проведенных наблюдений и обследований с учетом имеющейся информации можно констатировать, что процессы сдвижения земной поверхности, несмотря на давний срок окончания горных работ, не затухают на всей территории Кизеловского угольного бассейна. Количество и характеристика выявленных провалов приведена в табл. 3 / tabl. 3 [10, 11].

Таблица 3

Количество провалов, выявленных с период с 2019 по 2024 гг. [10, 11]

Table 3

The number of karst sinkholes identified from 2019 to 2024 [10, 11]

Год // Year	Количество выявленных провалов, шт. // Number of identified sinkholes, pcs.	Объем выявленных провалов, м ³ // Volume of identified sinkholes, m ³
2019	28	17 834,0
2020	30	9 034,0
2021	36	7 388,0
2022	30	13 602,2
2023	26	8 814,0
2024	27	5 881,0

Исследования способов рекультивации нарушенных территорий

За последние десятилетия было разработано множество методов нейтрализации шахтных вод и удаления из них тяжелых металлов [31, 42, 48]. Поскольку проблема кислотного дренажа на заброшенных рудниках актуальна для многих регионов мира, то специалисты продолжают разрабатывать подходы к выбору наиболее оптимальных методов решения этой проблемы.

Методы очистки шахтных вод подбираются в зависимости от химических характеристик, объема дре-

нажа и имеющихся ресурсов для строительства и поддержания системы обработки воды. Существующие системы очистки кислотного дренажа шахт могут быть классифицированы как пассивные и активные, при этом обе системы потенциально сочетают в себе физические, биологические и химические подходы [35, 37]:

1. Активные методы:

Требуют постоянной подачи реагентов, энергии, персонала и инфраструктуры. Химическими реагентами являются известковое молоко ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), известняк (CaCO_3), сода (Na_2CO_3), гидроксид калия (KOH), каустическая сода (NaOH), аммиачная вода (NH_4OH). К этим методам относятся коагуляция и флокуляция,

флотация, сорбция, ионообмен, электрохимические методы.

Преимущества: высокая эффективность, быстрый результат.

Недостатки: дорого, нужно обслуживание, много реагентов и энергии.

2. Пассивные методы:

Основаны на естественных биологических, химических и физических процессах. Не требуют постоянного обслуживания, используют природные или дешёвые материалы. Вариантами пассивной обработки являются фильтрующие дамбы и каналы (геохимические барьеры), пруды-отстойники, осветлители и каскады, водно-болотные угодья. Материалами служат известняк, органические субстраты (торф, древесные отходы), побочные продукты промышленности (доменный шлак, сталеплавильный шлак).

Преимущества: низкая стоимость, автономность, длительная работа.

Недостатки: большие площади, медленные процессы, ограничена эффективность при высоких кислотностях и дебитах.

Последние исследования по борьбе с кислыми дренажными водами Кизеловского угольного бассейна рассматривают подходы, направленные на снижение объемов изливаемых шахтных вод (за счет тампонирующего горных выработок, возведения перемычек, перехвата поверхностного стока, водопонижения или откачки подземных вод) [38].

При выборе методов рекультивации необходимо учитывать не только химические параметры, но и природные, техногенные и социально-экономические факторы (наличие площадей, доступность материалов, утилизация осадков, финансирование). В исследовании Н.В. Митраковой с соавторами [31] рассмотрены изменения, произошедшие с почвами на участке сброса кислых шахтных вод, которые были рекультивированы в 2005 г. Наиболее подробно вопросами рекультивации отвалов КУБа стали заниматься с момента ликвидации шахт (с конца 90-х гг. прошлого столетия и по настоящее время) [5]. На участке сброса шахтных вод была проведена рекультивация с использованием щелочных отходов (CaCO_3) и активного ила, что способствовало нейтрализации кислотности почвы и улучшению её структуры. Рекультивация привела к образованию технозема с улучшенными физико-химическими свойствами. На рекультивированном участке был восстановлен устойчивый фитоценоз, включая различные виды деревьев и трав. Исследования показали, что в рекультивированных почвах значительно снизилась кислотность, увеличилось содержание органического вещества, а также улучшилась способность почвы к удержанию питательных веществ. Однако в почвах все ещё присутствуют следы сульфидных минералов. В почвах были выявлены повышенные уровни некоторых микроэлементов (например, Li, B, Fe, Co), но комплексная геохимическая оценка показала, что загрязнение в целом на рекультивированном участке ниже, чем на нереккультивированном. В целом, результаты исследования демонстрируют успешность рекультивации в снижении кислотности и улучшении экологического состояния почвы, а также показывают, как использование щелочных отходов и активного ила

может существенно повлиять на восстановление экосистем в районах угледобычи [31].

Ещё одним природоохранным методом является применение геохимических барьеров. Н.Г. Максимовичем было предложено использовать для очистки кислых шахтных вод щелочные отходы содового производства, миллионы тонн которых накопились и продолжают поступать в расположенный в относительной близости от ликвидированных шахт КУБа шламонакопитель АО «Березниковский содовый завод» [24].

В исследованиях М.А. Осинцевой с соавторами и С.В. Чмыхаловой с соавторами [33, 40] рассматриваются особенности рекультивации на территориях бывшей добычи угля. Эти исследования предоставляют ценные данные и рекомендации для разработки стратегий восстановления экосистем в районах, пострадавших от угледобычи, и могут быть использованы для совершенствования практик рекультивации на территории Кизеловского угольного бассейна.

Авторами предлагаются следующие способы восстановления экосистем [33, 40]:

1. Разработка методики восстановления растительных сообществ.
2. Формирование устойчивых лесных насаждений на отвалах угольной промышленности.
3. Экологическая оценка нарушенных земель для определения комплекса мер по рекультивации земель с учетом биоразнообразия.
4. Восстановление нарушенных горным производством земель, создание условий функционирования восстановленной территории.
5. Учет особенностей развития региона путем территориального планирования и воспроизводства природных ресурсов, предусматривающих гармоничное восстановление всех элементов ландшафта с учетом хозяйственных, природных, культурных, санитарно-гигиенических и других требований общества.

Заключение

Результаты анализа научной литературы показали, что техногенное воздействие угледобычи на природу Кизеловского угольного бассейна привело к значительным изменениям в экосистемах района.

Основными экологическими проблемами являются загрязнение водных ресурсов кислыми излиями, выходящим из закрытых шахт, а также стоками с породных отвалов, содержащими высокие концентрации тяжёлых металлов (железа, алюминия, марганца) и мышьяка. Эти загрязняющие вещества существенно превышают предельно допустимые концентрации и оказывают негативное влияние на качество вод, почвы и флору. Водные объекты, такие как реки Яйва, Косьва и Чусовая, страдают от кислых загрязнений, что приводит к ухудшению экосистем.

Особое внимание стоит уделить деградации почв, которые в результате воздействия с источниками загрязнения превращаются в сульфатные почвы с высокой кислотностью и потерей структурных свойств.

Для восстановления природной среды и нейтрализации последствий угледобычи на территории Кизеловского угольного бассейна требуется использование комплексных методов рекультивации. Применение геоинформационных технологий, дистанционного зондирования и анализа растительности с помощью

индекса NDVI показало свою эффективность для мониторинга состояния экосистем и оценки успешности рекультивации. Это позволило более точно отслеживать изменения в экосистемах и корректировать стратегии восстановления.

Тем не менее, несмотря на успехи в рекультивации, необходимо отметить, что процессы восстановления экосистем в районах угледобычи являются длительными и требуют многолетней работы, включающей мониторинг и управление загрязнением. Для достижения устойчивого восстановления природных экосистем в регионе необходимо продолжать работы по очистке загрязнённых вод, восстановлению растительности, а также проведению научных исследований, направленных на повышение эффективности рекультивации и минимизацию воздействия угледобычи на окружающую среду. Важно учитывать как геохимические, так и социально-экономические аспекты, включая доступность материалов для рекультивации, ресурсы для строительства очистных сооружений и взаимодействие с местным населением.

Список источников

1. Андроханов В.А., Берлякова О.Г. Состояние лесных культур и почвенного покрова на рекультивированном отвале угольного разреза // Сибирский лесной журнал. 2016. № 2. С. 20-29.
2. Атлас Пермского края / под общ. ред. А.М. Тартаковского. Пермь: ПГНИУ, 2012. 124 с.
3. Бачурин Б.А. Геохимические аспекты техногенеза Кизеловского угольного бассейна // Горный журнал. 2018. № 6. С. 40-45. <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2018.06.08>
4. Белкин П.А., Перевожиков Р.Д., Волкова М.А. Редкие и редкоземельные элементы в породных отвалах Кизеловского угольного бассейна // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2021. № 4(41). С. 288-293.
5. Бердинских С.Ю., Боталов В.С., Романов А.В., Зайцев А.Г. Агрохимическая характеристика верхнего слоя грунта на угольных терриконах и влияние глинования на их естественное заращивание (на примере Кизеловского угольного бассейна) // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды : сборник материалов всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка, Пермь, 21-22 апреля 2022 г. / отв. ред. С.А. Бузмаков. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2022. С. 437-441.
6. Ворончихина Е.А. Рекультивация нарушенных ландшафтов: теория, технологии, региональные аспекты. П.: РИО ПГУ, 2010. 163 с.
7. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов РФ в 2023 году / под общ. ред. Д.Д. Тетенькина, О.В. Казанова. М.: ФГБУ «ВИМС», 2024. 710 с.
8. Гулейчук Н.И., Гомаль И.И. Обобщенная качественная оценка влияния угольных предприятий на гидроэкосистему Донбасса // Инновационные перспективы Донбасса: материалы 10-й Международной научно-практической конференции. Донецк, 28-30 мая 2024 г. / отв. ред. М.С. Зорина, Б.В. Бурлуцкий. Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2024. С. 122-128.
9. Дзюба Е.А. Природно-техногенное геохимическое районирование Пермского края // Географический вестник. 2024. № 3(70). С. 139-151.
10. Доклад О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2023 году. Пермь, 2023. С. 222.
11. Доклад О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2024 году. Пермь. 2024. С. 236.
12. Жуков А.А., Жукова Е.Ю. Особенности сукцессии растительности на примере рекультивированного отвала угольного разреза "Черногорский" // Лесохозяйственная информация. 2022. № 3. С. 114-124.
13. Зеньков И.В., Кирюшина Е.В., Перейра Э.Г., Юронен Ю.П. Исследование экологических проблем после завершения подземных горных работ по добыче угля в Новгородской и Тверской областях // Уголь. 2025. № 1. С. 109-112.
14. Зеньков И.В., Нефедов Н.Б., Морин А.С. Технология рекультивации земель при разработке угольных месторождений в северных регионах России // Уголь. 2020. № 4(1129). С. 62-67.
15. Каракульева А.А., Кондратьева М.А. Свойства эмбриоземов угольных отвалов Кизеловского бассейна // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. № 4. С. 156-159.
16. Катаев В.Н., Золотарев Д.Р., Ермолович И.Г. Особенности развития карста в Кизеловском угольном бассейне // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2019. № 2(39). С. 326-337.
17. Кирюшина Е.В., Зеньков И.В., Чинь Л.Х., Юронен Ю.П., Агалакова А.В., Вокин В.Н., Черепанов Е.В., Маглинец Ю.А., Латынцев А.А., Раевич К.В., Лунев А.С., Павлова П.Л., Кузина Л.Н., Штреслер К.А. Исследование влияния последствий закрытия угольных шахт на экологическую систему Пермского края после отработки участков Кизеловского угольного бассейна // Уголь. 2024. № 10. С. 105-109.
18. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А. Закономерности восстановления растительного покрова на отвалах Кузбасса // Сибирский лесной журнал. 2016. № 2. С. 51-58.
19. Лобовиков А.О., Пугин К.Г., Устенко С.В. Эколого-экономические проблемы рекультивации терриконов Кизеловского угольного бассейна // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2016. № 2. С. 74-88. <https://doi.org/10.15593/24111678/2016.02.06>
20. Максимович Н.Г., Березина О.А. Влияние ликвидированного Кизеловского угольного бассейна на химический состав речных вод // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование: труды VII Всероссийского симпозиума с международным участием и XIV Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана / отв. ред. Г.А. Юргенсон. М., 2018. С. 96-102.
21. Максимович Н.Г., Березина О.А., Мещерякова О.Ю. Трансформация карстового суходола под воздействием кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 4. С. 103-115.

22. Максимович Н.Г., Мецеракова О.Ю. Влияние карста на формирование экологической обстановки на территории Кизеловского угольного бассейна // Теория и практика современной карстологии и спелеологии: материалы Международной научно-практической конференции III Крымские карстологические чтения, Симферополь, 27 сентября 2021 года. Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 2021. С. 76-80.
23. Максимович Н.Г., Демнев А.Д., Березина О.А., Абдуллин Р.К. Особенности зарастания породных отвалов Кизеловского угольного бассейна // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 2. С. 67-71.
24. Максимович Н.Г., Мецеракова О.Ю., Пьянков С.В., Хайрулина Е.А. Эколого-геохимические проблемы угольных месторождений и пути их решения // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования: материалы Международной научной конференции, посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко, Минск, 31 июля – 3 августа 2017 года / под ред. А.К. Карабанова. Минск: Институт природопользования НАН Беларуси, 2017. С. 291-294.
25. Максимович Н.Г., Мизев А.А., Березина О.А. Динамика изливов кислых шахтных вод угленосного массива после прекращения его разработки // Сергеевские чтения. Массивы грунтов как жизнеобеспечивающий ресурс общества: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Псков, 27–28 марта 2025 года / отв. ред. В.И. Осипов. М.: Геоинфо, 2025. С. 187-191.
26. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2018. 287 с.
27. Мецурова Т.А. Оценка качества воды рек при анализе нагрузки сточных вод в Пермском крае // Экология урбанизированных территорий. 2023. № 1. С. 27-32.
28. Митракова Н.В., Меньшикова Е.А., Хайрулина Е.А., Порошина Н.В. Диагностика кислых сульфатных почв в угледобывающем районе в таежной зоне // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2024. Т. 166. № 2. С. 324-341.
29. Митракова Н.В., Хайрулина Е.А., Перевощикова А.А. Свойства и классификация техногенных почв на территории Кизеловского угольного бассейна // Почвы и окружающая среда: Всероссийская научная конференция с международным участием, посвященная 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, 02–06 октября 2023 года / отв. ред. В.Н. Якименко. Новосибирск: Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 2023. С. 147-150.
30. Митракова Н.В., Хайрулина Е.А., Перевощикова А.А., Порошина Н.В., Мальшикина Е.Е., Яковлева Е.С., Кобелев Н.А. Химико-экологические свойства почв и индекса NDVI на рекультивированных сернисто-угольных отвалах бореальной зоны // Горные науки и технологии. 2024. Т. 9. № 4. С. 406-419 <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-04-206>
31. Митракова Н.В., Хайрулина Е.А., Блинов С.М., Перевощикова А.А. Эффективность рекультивации кислых сульфатных почв в районах угледобычи // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 266-278. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.31>
32. Овеснов С.А. Конспект флоры Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1997. 252 с.
33. Осинцева Н.А., Бурова Н.В., Жидкова Е.А. Особенности рекультивации отработанных территорий угольных разрезов в Кузбассе // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 9(123). С. 1-12.
34. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Смирнов А.Ю. Затопление шахт и разрезов Челябинского угольного бассейна: последствия, проблемы и решения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2023. № 3. С. 167-174. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20230317>
35. Фетисова Н.Ф. Оценка возможности применения пассивных методов для очистки шахтных вод с высоким содержанием металлов // Гидрогеология и карстоведение: Межвузовский сборник научных трудов. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2023. С. 52-59.
36. Фетисова Н.Ф. Оценка поступления мышьяка в гидросферу Кизеловского угольного бассейна // Горное эхо. 2021. № 1(82). С. 49-53.
37. Фетисова Н.Ф. Расчет объема известняка для заполнения систем геохимической очистки шахтных вод на примере изливов Кизеловского угольного бассейна // Горное эхо. 2024. № 2(95). С. 3-8.
38. Фетисова Н.Ф., Фетисов В.В. Подходы к выбору систем очистки дренажных вод заброшенных горных выработок Кизеловского угольного бассейна // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2024. № 1. С. 109-124.
39. Чащин А.Н., Кондратьева М.А. Использование данных дистанционного зондирования для оценки темпов самозарастания угольных отвалов Кизеловского бассейна // Географический вестник. 2019. № 2(49). С. 135-147.
40. Чмыхалова С.В., Гришин В.Ю., Пыталев И.А. Проблемы угледобывающей отрасли, жизненный цикл предприятий по добыче угля и последующая рекультивация нарушенных земель // Уголь. 2023. № 1. С. 70-75.
41. Чодураев Т.М., Шаршенева Д.С. Экологические последствия добычи угля: проблемы и решения (на примере Агулакского бурогоугольного разреза) // Актуальные вопросы образования и науки. 2022. № 1(73). С. 24-26.
42. Abdrakhmanova R.N., Orekhova N.N., Fischer H.B., Abdrakhmanov R.N., Nefedjev A.P., Kossov D.Y. Methods of sulfate removal from mining waste waters: overview // Vestnik of Novosibirsk State Technical University. 2018. Vol. 16. Iss. 4. P. 21-29. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-4-21-29>
43. Alekseenko V.A., Bech Ja., Alekseenko A.V., Shvydkaya N.V., Roca N. Environmental impact of disposal of coal mining wastes on soils and plants in Rostov Oblast, Russia // Journal of Geochemical Exploration. 2018. Vol. 184. Part B. P. 261-270. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jgexplo.2017.06.003>

44. Dziuba E., Buzmakov S., Khotyanovskaya Yu. Study of geochemical features of soils on the territory of an abandoned coal mining area using geoinformation technologies // *Environmental Geochemistry and Health*. 2023. Vol. 45. Iss. 12. P. 9135-9155 <http://dx.doi.org/10.1007/s10653-023-01534-7>
 45. Bondaruk J., Janson E., Wysocka M., Chahupnik S. Identification of hazards for water environment in the Upper Silesian Coal Basin caused by the discharge of salt mine water containing particularly harmful substances and radionuclides // *Journal of Sustainable Mining*. 2015. Vol. 14. Iss. 4. P. 179-187. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2016.01.001>
 46. Ma L., Lin L., Wang X., Zheng Z., Zhang X., Srivastava P., Gao X. Sulfate and pH drive microbial assembly and coexistence in hyporheic zone contaminated by acid coal mine drainage // *Journal of Hydrology*. 2025. Vol. 652. Article: 132703 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.132703>
 47. Redondo-Vega J.M., Melón-Nava A., Peña-Pérez S.A., Santos-González J., Gómez-Villar A., González-Gutiérrez R. Coal pit lakes in abandoned mining areas in León (NW Spain): characteristics and geoecological significance // *Research Square*. 2021. <http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-714446/v1>
 48. Skousen J., Zipper C.E., Rose A., Ziemkiewicz P.F., Nairn R., McDonald L.M., Kleinmann R.L. Review of Passive Systems for Acid Mine Drainage Treatment // *Mine Water and the Environment*. 2017. Vol. 36. Iss. 1. P. 133-153. <https://doi.org/10.1007/s10230-016-0417-1>
 49. Thakur T.K., Patel D.K., Thakur A., Rathore R., Eripogu K.K., Dutta J., Kumar M. Land degradation and ecological restoration in central India: A geospatial and machine learning analysis of coal mining impacts // *Trees, Forests and People*. 2025. Vol. 21. Article: 100927. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100927>
 50. Zvereva V.P., Frolov K.R., Lysenko A.I. Chemical reactions and conditions of mineral formation at tailings storage facilities of the Russian Far East // *Mining Science and Technology*. 2021. Vol. 6. Iss. 3. P. 181-191. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-181-191>
- References**
1. Androkhonov, V., Berlyakova, O., 2016. Sostoyanie lesnykh kultur i pochyennogo pokrova na rekul'tivirovannom otvale ugol'nogo razreza [Condition of forest plantations and soil cover on a reclaimed coal mine dump]. *Sibirskii lesnoi zhurnal*. (2), pp. 20-29. (in Russian)
 2. Tartakovskiy, A. (ed.), 2012. *Atlas of Perm Region*. Perm: PSU. 124 p. (in Russian).
 3. Bachurin, B., 2018. Geochemical Aspects of Technogenesis in the Kizelovsky Coal Basin. *Mining Journal*, 6. pp. 40-45. <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2018.06.08> (in Russian)
 4. Belkin, P., Perevoshchikov, R. and Volkova, M., 2021. Redkie i redkozemel'nye elementy v porodnykh otvalakh Kizelovskogo ugol'nogo basseina [Rare and Rare Earth Elements in the Rock Dumps of the Kizelovsky Coal Basin]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala*. (4), pp. 288-293. (in Russian)
 5. Berdinskikh, S., Botalov, V., Romanov, A., Zaitsev, A., 2022. *Agrochemical Characteristics of the Upper Soil Layer on Coal Mine Dumps and the Effect of Clay Application on Their Natural Overgrowth (on the Example of the Kizelovsky Coal Basin)*. In: Buzmakov, S. (ed.) *Environmental Safety in the Context of Anthropogenic Transformation of the Natural Environment: Proceedings of the All-Russian School-Seminar Dedicated to the Memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmark, 21-22 April 2022, Perm, Russia*. Perm, Perm State National Research University, pp. 437-441. (in Russian).
 6. Voronchikhina, E., 2010. *Rekul'tivatsiya narushennykh landshaftov: teoriya, tekhnologii, regional'nye aspekty* [Reclamation of Disturbed Landscapes: Theory, Technologies, Regional Aspects]. Perm, RIO PSU publ. 163 p. (in Russian)
 7. Tetenyokin D., Kazanov V. (eds.), 2024. *Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov RF v 2023 godu* [State Report on the Status and Use of Mineral Resources of the Russian Federation in 2023]. Moscow, FGBU «VIMS». 710 p. (in Russian).
 8. Guleichuk, N. and Gomal, I., 2024. *Generalized Qualitative Assessment of the Impact of Coal Enterprises on the Hydroecosystem of Donbass*. In: Zorina, M. and Burlutsky, B. (eds.) *Innovative Prospects of Donbass: Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference, 28–30 May 2024, Donetsk, Donetsk People's Republic*. Donetsk, Donetsk National Technical University, pp. 122-128. (in Russian)
 9. Dzyuba, E., 2024. Prirodno-tekhnogennoe geokhimicheskoe raionirovanie Permskogo kraya [Natural-Technogenic Geochemical Zoning of the Perm Region]. *Geograficheskii vestnik*. (3), pp. 139-151. (in Russian)
 10. *Report on the state and environmental protection of the Perm Region in 2023*. Perm, 2023. 222 p. (in Russian)
 11. *Report on the state and environmental protection of the Perm Region in 2024*. Perm. 2024. 236 p. (in Russian)
 12. Zhukov, A. and Zhukova, E., 2022. Osobennosti suktessii rastitel'nosti na primere rekul'tivirovannogo otvala ugol'nogo razreza "Chernogorskiy" [Features of Vegetation Succession on the Example of a Reclaimed Dump of the Chernogorsky Coal Mine]. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya*. (3), pp. 114-124. (in Russian)
 13. Zenkov, I., Kiryushina, E., Pereira E. and Yuronen Yu., 2025. A study of the environmental challenges upon completion of underground coal mining operations in the Novgorod and Tver Regions. *Ugol*, (1), pp. 109-112. (in Russian)
 14. Zenkov, I., Nefedov, N. and Morin, A., 2020. Tekhnologiya rekul'tivatsii zemel' pri razrabotke ugol'nykh mestorozhdenii v severnykh regionakh Rossii [Land reclamation technology in the development of coal deposits in the northern regions of Russia]. *Ugol*. (4), pp. 62-67. (in Russian)
 15. Karakuleva, A. and Kondratieva, M., 2018. Properties of embryos of coal mines dumps of the kizelovsky basin. *Anthropogenic Transformation of Nature*, (4), pp. 156-159. (in Russian)
 16. Kataev, V., Zolotarev, D. and Ermolovich, I., 2019. Osobennosti razvitiya karsta v Kizelovskom ugol'nom basseine [Features of karst development in the Kizelovsky coal basin]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala*. (2), pp. 326-337. (in Russian)

17. Kiryushina E., Zenkov I., Trinh Le., Yuronen Yu., Agalakova A., Vokin V., Cherepanov E., Maglinets Yu., Latyntsev A., Raevich K., Lunev A., Pavlova P., Kuzina L. and Shtresler K., 2024. Research into the impact of coal mine closure on the environmental system of the perm krai upon completion of mining operations on sites in the kizelovskiy coal basin. *Ugol*, (10), pp. 105-109. (in Russian)
18. Kupriyanov, A. and Manakov, Yu., 2016. Zakonomernosti vosstanovleniya rastitel'nogo pokrova na otvalakh Kuzbassa [Patterns of vegetation cover restoration on dumps of Kuzbass]. *Sibirskii lesnoi zhurnal*. (2), pp. 51-58. (in Russian)
19. Lobovikov, A., Pugin, K. and Ustenko, S., 2016. Ecological and economic problems of recultivation of mine waste dumps in the Kizelovsky coal basin. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. (2), pp. 74-88. <https://doi.org/10.15593/24111678/2016.02.06>
20. Maksimovich, N. and Berezina, O., 2018. Vliyaniye likvidirovannogo Kizelovskogo ugol'nogo basseina na khimicheskii sostav rechnykh vod [Influence of the liquidated Kizelovsky coal basin on the chemical composition of river waters]. In: Yurgenson, G. (ed.) *Mineralogy and geochemistry of the landscape of mining territories. Rational nature management. Modern mineral formation: Proceedings of the VII All-Russian Symposium with International Participation and the XIV All-Russian Readings in Memory of Academician A.E. Fersman*. Moscow, pp. 96-102. (in Russian)
21. Maksimovich, N., Berezina, O. and Meshcheryakova, O., 2023. Transformatsiya kars-tovogo sukhodola pod vozdeistviem kislykh shakhtnykh vod Kizelovskogo ugol'nogo basseina [Transformation of a karst dry valley under the influence of acid mine waters of the Kizel coal basin]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. (4), pp. 103-115. (in Russian)
22. Maksimovich, N. and Meshcheryakova, O., 2021. Vliyaniye karsta na formirovaniye ekologicheskoi obstanovki na territorii Kizelovskogo ugol'nogo basseina [Influence of karst on the formation of the ecological situation in the territory of the Kizelovsky coal basin]. *Teoriya i praktika sovremennoi kartstologii i speleologii Theory and practice of modern karstology and speleology: materials of the International scientific and practical conference III Crimean karstological readings, 27 September 2021, Simferopol, Russia. Simferopol, Krymskii federal'nyi universitet im. V.I. Vernadskogo*, pp. 76-80. (in Russian)
23. Maksimovich, N., Demenev, A., Berezina, O. and Abdullin, R., 2023. Osobennosti zarastaniya porodnykh otvalov Kizelovskogo ugol'nogo basseina [Features of overgrowth of rock dumps of the Kizelovsky coal basin]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 27(2), pp. 67-71. (in Russian)
24. Maksimovich, N., Meshcheryakova, O., Pyankov, S. and Khairulina, E., 2017. Ekologo-geokhimicheskie problemy ugol'nykh mestorozhdenii i puti ikh resheniya [Ecological and geochemical problems of coal deposits and ways to solve them]. In: Karabanov, A. (ed.) *Geology and mineral resources of the West of the East European platform: problems of study and rational use: Proceedings of the International scientific conference dedicated to the 215th anniversary of the birth of I. Domeiko, 31 July – 3 August 2017, Minsk, Belarus*. Minsk: Institut prirodopol'zovaniya NAN Belarusi, pp. 291-294. (in Russian)
25. Maksimovich, N., Mizev, A. and Berezina, O., 2025. *Dinamika izlivov kislykh shakhtnykh vod ugleonosnogo massiva posle prekrashcheniya ego razrabotki [Dynamics of acid mine water discharges from a coal-bearing massif after the cessation of its development]*. In: Osipov, V. (ed) *Sergeevskie chteniya. Soil massifs as a life-supporting resource of society: Proceedings of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on the problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology, 27–28 March 2025, Pskov, Russia*. Moscow: Geoinfo, pp. 187-191. (in Russian)
26. Maksimovich, N. and Pyankov, S., 2018. Kizelovskii ugol'nyi bassein: ekologicheskie problemy i puti resheniya [Kizelovsky Coal Basin: Environmental Problems and Solutions]. Perm, *Permskii gosudarstvennyi natsional'nyi issledovatel'skii universitet publ*. 287 p. (in Russian)
27. Meshchurova, T., 2023. Otsenka kachestva vody rek pri analize nagruzki stochnykh vod v Permskom krae [Assessment of river water quality when analyzing wastewater load in the Perm region]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*. (1), pp. 27-32. (in Russian)
28. Mitrakova, N., Menshikova, E., Khairulina, E. and Poroshina, N., 2024. Diagnostika kislykh sul'fatnykh pochv v ugledobyvayushchem raione v taezhnoi zone [Diagnostics of acid sulfate soils in a coal mining area in the taiga zone]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki*. 166(2), pp. 324-341. (in Russian)
29. Mitrakova, N., Khairulina, E. and Perevoshchikova, A., 2023. Svoistva i klassifikatsiya tekhnogennykh pochv na territorii Kizelovskogo ugol'nogo basseina [Properties and classification of technogenic soils in the territory of the Kizelovsky coal basin]. In: Yakimenko, V. (ed.) *Soils and the environment: All-Russian scientific conference with international participation dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, 2–6 October 2023, Novosibirsk, Russia*. Novosibirsk, Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, pp. 147-150. (in Russian)
30. Mitrakova, N., Khairulina, E., Perevoshchikova, A., Malyshkina, E., Yakovleva, E., and Kobelev, N., 2024. Chemical and ecological properties of soils and NDVI index on reclaimed sulfur-coal dumps of the boreal zone. *Mining Science and Technology*, 9(4), pp. 406-419. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-04-206> (in Russian)
31. Mitrakova, N., Khairulina, E., Blinov, S. and Perevoshchikova, A., 2023. Effectiveness of reclamation of acid sulfate soils in coal mining areas. *Zapiski Gornogo Instituta*, 260, pp. 266-278. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.31> (in Russian)
32. Ovesnov, S., 1997. *Konspekt flory Permskoi oblasti [Synopsis of the flora of the Perm Region]*. Perm, Perm University publ. 252 p. (in Russian)
33. Osintseva, N., Burova, N. and Zhidkova, E., 2022. Osobennosti rekultivatsii otrabotannykh territorii ugol'nykh razrezov v Kuzbasse [Features of reclamation of depleted coal mine areas in Kuzbass]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. (9), pp. 1-12. (in Russian)
34. Rybnikova, L., Rybnikov, P. and Smirnov, A., 2023. Zatoplenie shakht i razrezov Chelyabinskogo ugol'nogo basseina: posledstviya, problemy i resheniya [Flooding of mines and open pits of the Chelyabinsk coal

- basin: consequences, problems and solutions]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. (3), pp. 167-174. <https://doi.org/10.1134/S1062739123030171> (in Russian)
35. Fetisova, N., 2023. Otsenka vozmozhnosti primeneniya passivnykh metodov dlya ochistki shakhtnykh vod s vysokim soderzhaniiem metallov [Assessment of the possibility of using passive methods for the treatment of mine waters with high metal content]. In: *Hydrogeology and karstology: Interuniversity collection of scientific papers. Perm, PSU*, pp. 52-59. (in Russian)
36. Fetisova, N., 2021. Otsenka postupleniya mysh'yaka v gidrosferu Kizelovskogo ugol'nogo basseina [Assessment of arsenic input into the hydrosphere of the Kizelovsky coal basin]. *Gornoe ekho*. (1), pp. 49-53. (in Russian)
37. Fetisova, N., 2024. Raschet ob'ema izvestnyaka dlya zapolneniya sistem geokhimicheskoi ochistki shakhtnykh vod na primere izlivov Kizelovskogo ugol'nogo basseina [Calculation of limestone volume for filling geochemical mine water treatment systems on the example of discharges from the Kizelovsky coal basin]. *Gornoe ekho*. (2), pp. 3-8. (in Russian)
38. Fetisova, N. and Fetisov V., 2024. Approaches to the selection of drainage water treatment systems for abandoned mine workings of the Kizelovsky coal basin. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, (1), pp. 109-124. (in Russian)
39. Chashchin, A. and Kondratyeva, M., 2019. Ispol'zovanie dannykh distantsionnogo zondirovaniya dlya otsenki tempov samozarastaniya ugol'nykh otvalov Kizelovskogo basseina [The use of remote sensing data to assess the rate of self-overgrowth of coal mining dumps in the Kizel basin]. *Geograficheskii vestnik*. (2), pp. 135-147. (in Russian)
40. Chmykhalova, S., Grishin, V. and Pytalev, I., 2023. Problemy ugledobyvayushchei otrasli, zhiznennyi tsikl predpriyatii po dobyche uglya i posleduyushchaya reku-l'tivatsiya narushennykh zemel' [Problems of the coal mining industry, life cycle of coal mining enterprises and subsequent reclamation of disturbed lands]. *Ugol*. (1), pp. 70-75. (in Russian)
41. Choduraev, T. and Sharshenova, D., 2022. Ekologicheskie posledstviya dobychi uglya: problemy i resheniya (na primere Agulakskogo burougol'nogo razreza) [Environmental consequences of coal mining: problems and solutions (on the example of the Agulak brown coal mine)]. *Aktual'nye voprosy obrazovaniya i nauki*. (1), pp. 24-26. (in Russian)
42. Abdrakhmanova, R., Orekhova, N., Fischer, H., Abdrakhmanov, R., Nefedjev, A., and Kossov D., 2018. Methods of sulfate removal from mining waste waters: overview. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 16(4), pp. 21-29. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-4-21-29>
43. Alekseenko, V., Bech, Ja., Alekseenko, A., Shvydkaya, N., and Roca, N., 2018. Environmental impact of disposal of coal mining wastes on soils and plants in Rostov Oblast, Russia. *Journal of Geochemical Exploration*, 184 (Part B), pp. 261-270. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.06.003>
44. Dziuba, E., Buzmakov, S. and Khotyanovskaya, Yu., 2023. Study of geochemical features of soils on the territory of an abandoned coal mining area using geoinformation technologies. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(12), pp. 9135-915 <http://dx.doi.org/10.1007/s10653-023-01534-7>
45. Bondaruk, J., Janson, E., Wysocka, M. and Chalupnik, S., 2015. Identification of hazards for water environment in the Upper Silesian Coal Basin caused by the discharge of salt mine water containing particularly harmful substances and radionuclides. *Journal of Sustainable Mining*, 14(4), pp. 179-187. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2016.01.001>
46. Ma, L., Lin, L., Wang, X., Zheng, Z., Zhang, X., Srivastava, P. and Gao, X., 2025. Sulfate and pH drive microbial assembly and coexistence in hyporheic zone contaminated by acid coal mine drainage. *Journal of Hydrology*, 652, Article: 132703.
47. Redondo-Vega, J., Melón-Nava, A., Peña-Pérez, S., Santos-González, J., Gómez-Villar, A. and González-Gutiérrez, R., 2021. Coal pit lakes in abandoned mining areas in León (NW Spain): characteristics and geoecological significance. *Research Square*, <http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-714446/v1>
48. Skousen, J., Zipper, C., Rose, A. Ziemkiewicz, P., Nairn, McDonald, L., and Kleinmann, R., 2017. Review of Passive Systems for Acid Mine Drainage Treatment. *Mine Water and the Environment*, 36(1), pp. 133-153. <https://doi.org/10.1007/s10230-016-0417-1>
49. Thakur, T., Patel, D., Thakur, A., Rathore, R., Eripogu, K., Dutta, J., and Kumar, M., 2025. Land degradation and ecological restoration in central India: A geospatial and machine learning analysis of coal mining impacts. *Trees, Forests and People*, 21, Article: 100927. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100927>
50. Zvereva, V., Frolov, K., and Lysenko, A., 2021. Chemical reactions and conditions of mineral formation at tailings storage facilities of the Russian Far East. *Mining Science and Technology*, 6(3), pp. 181-191. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-181-191>

Статья поступила в редакцию 21.08.2025; одобрена после рецензирования 10.10.2025; принята к публикации 14.11.2025.

The article was submitted 21.08.2025; approved after reviewing 10.10.2025; accepted for publication 14.11.2025.

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Обзорная статья

 УДК 504.054 <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-61-69> <https://elibrary.ru/trxgml>**Формирование геохимической ситуации под влиянием упорядоченных антропогенных и природно-антропогенных потоков веществ в условиях урбанизации****Андрей Александрович Белогубкин**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

andrey.belogubkin@mail.ru

Аннотация. В статье представлен критический обзор современных исследований, посвященных влиянию упорядоченных потоков веществ (малых рек и автодорог) на геохимическую ситуацию прилегающих территорий и формирование специфических геохимических аномалий в условиях урбанизированных территорий. Рассматриваются закономерности накопления и распределения микроэлементов, железа и титана в донных отложениях, пойменных почвах и почвах придорожных полос. На основе анализа данных по России и двум группам стран (развитые и развивающиеся) проведен сравнительный анализ геохимических аномалий, формирующихся под воздействием урбанизации и транспортной инфраструктуры. Систематизированы данные о влиянии различных факторов на интенсивность и характер техногенной трансформации геохимических ландшафтов. Особое внимание уделено факторам, контролирующим интенсивность и характер техногенной трансформации геохимических ландшафтов, включая климатические условия, интенсивность трафика и гидрологический режим. Обзор подтверждает необходимость использования комплексных методов мониторинга для оценки экологического риска, связанного с техногенным загрязнением, и предлагает подходы к типизации геохимических аномалий, формирующихся в зоне влияния упорядоченных потоков.

Ключевые слова: геохимия, упорядоченные потоки, малые реки, автодороги, донные отложения, пойменные почвы, придорожные почвы, микроэлементы

Для цитирования: Белогубкин А.А. Формирование геохимической ситуации под влиянием упорядоченных антропогенных и природно-антропогенных потоков веществ в условиях урбанизации // Антропогенная трансформация природной среды. 2025. Т. 11. № 2. С. 61-69. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-61-69>. EDN TRXGML.

SECTION 2. POLLUTION

Review Paper

Formation of the geochemical environment under the influence of linear anthropogenic and natural-anthropogenic substance flows in urban areas**Andrei A. Belogubkin**

Perm State University, Perm, Russia

andrey.belogubkin@mail.ru

Abstract. The article presents a critical review of contemporary research focused on the influence of linear flows (small rivers and roads) on the geochemical environment of adjacent territories and the formation of specific geochemical anomalies within urbanized areas. The study examines the patterns of accumulation and distribution of microelements, iron, and titanium in bottom sediments, floodplain soils, and roadside soils. Based on the analysis of data from Russia and two groups of countries (developed and developing), a comparative analysis is conducted on geochemical anomalies shaped by the impact of urbanization and transport infrastructure. Data on the influence of various factors on the intensity and nature of technogenic transformation of geochemical landscapes are systematized. Particular attention is paid to the factors controlling the intensity and character of technogenic transformation, including climatic conditions, traffic intensity, and hydrological regime. The review confirms the necessity of using integrated monitoring methods for assessing the ecological risk associated with technogenic pollution and proposes approaches for the typification of geochemical anomalies forming in the zone of influence of linear flows.

Keywords: geochemistry, ordered flows, small rivers, roads, stream sediments, floodplain soils, roadside soils, microelements

For citation: Belogubkin, A., 2025. Formation of the geochemical environment under the influence of linear anthropogenic and natural-anthropogenic substance flows in urban areas. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 11(2), pp. 61-69. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-2-61-69>. EDN TRXGML. (in Russian)

Введение

Современная урбанизация и стремительное развитие транспортной инфраструктуры являются одними из наиболее значимых факторов, определяющих трансформацию природных ландшафтов и формирование специфических техногенных геохимических аномалий [22, 42, 47]. Эти процессы приводят к изменению естественных циклов химических элементов, их перераспределению и накоплению в различных компонентах окружающей среды. В условиях городской среды особую роль в этих трансформациях играют так называемые упорядоченные потоки – линейные элементы ландшафта, которые выступают в качестве активных каналов миграции, аккумуляции и перераспределения химических элементов. К таким потокам относятся, прежде всего, малые реки, протекающие через урбанизированные территории, и автомагистрали [44, 54].

Изучение влияния этих упорядоченных потоков на геохимическую обстановку прилегающих территорий представляет собой актуальную научную задачу. Это обусловлено не только необходимостью понимания фундаментальных геохимических процессов, происходящих под антропогенным воздействием, но и острой потребностью в разработке эффективных мер по оценке экологического состояния урбанизированных территорий и снижению негативного воздействия на окружающую среду [13, 36].

Антропогенные геохимические аномалии, формирующиеся в результате деятельности человека, могут оказывать долгосрочное негативное влияние на почвенный покров, водные объекты, растительность и, в конечном итоге, на здоровье человека. В условиях постоянно растущего населения и расширения городских агломераций, проблема загрязнения окружающей среды становится все более острой, требуя комплексного подхода к ее изучению и решению [14, 30, 48].

Малые реки, протекающие через города, становятся естественными коллекторами для широкого спектра загрязняющих веществ, поступающих с поверхностным стоком с селитебных территорий, промышленных зон и транспортных магистралей. Эти реки аккумулируют загрязнители в донных отложениях и пойменных почвах, а также способствуют их дальнейшему распространению по водосборному бассейну. Геохимические процессы в речных системах, такие как сорбция, осаждение, комплексообразование, играют ключевую роль в трансформации загрязняющих веществ, определяя их подвижность и биодоступность [32, 45, 46].

Автомобильные дороги, в свою очередь, являются постоянными источниками эмиссии поллютантов, таких как тяжелые металлы (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), оксиды азота (NO_x) и серы (SO_x), а также различные органические соединения и противогололедные реагенты. Эти вещества накапливаются в придорожных почвах и могут мигрировать в сопредельные экосистемы, оказывая негативное воздействие на почвенную биоту и растительность [25, 40].

Формирование геохимической обстановки

Под геохимической обстановкой в урбанизированных территориях понимается комплекс факторов, определяющих содержание, формы нахождения, миграцию и распределение химических элементов (включая антропогенные поллютанты, такие как тяжелые металлы и нефтепродукты) в компонентах ландшафта: почве, донных отложениях и воде [1, 11].

Геохимическая обстановка территории формируется под влиянием сложного взаимодействия природных и антропогенных факторов. В условиях урбанизированных ландшафтов антропогенное воздействие зачастую становится доминирующим, приводя к глубокой трансформации естественных геохимических циклов и формированию специфических техногенных геохимических аномалий [1, 11, 17]. Эти аномалии характеризуются повышенными концентрациями определенных химических элементов, часто токсичных, в различных компонентах окружающей среды – почвах, донных отложениях, водах и биоте.

Ключевую роль в процессах перераспределения и концентрирования химических элементов играют геохимические барьеры – зоны, где происходит резкое изменение миграционной способности элементов вследствие изменения физико-химических условий (pH, Eh, температуры, сорбционной емкости, концентрации лигандов) [2, 9, 18]. В условиях городов такими барьерами могут выступать границы раздела сред (атмосфера-почва, почва-вода, вода-донные отложения), зоны изменения гидродинамического режима, а также участки с высокой сорбционной способностью почв и донных отложений. Например, органическое вещество почв и глинистые минералы являются мощными сорбентами для многих тяжелых металлов, образуя геохимические барьеры аккумуляции [10, 31].

Изучение геохимической обстановки в урбанизированных территориях требует комплексного подхода, включающего не только полевые исследования и отбор проб, но и лабораторный химический анализ, а также последующую статистическую обработку и интерпретацию данных. Для определения содержания микроэлементов, железа и титана в образцах почв и донных отложений используются различные высокоточные аналитические методы. Среди них наиболее распространены атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС), масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС), рентгенофлуоресцентный анализ (РФА), а также атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС) [3, 19, 20, 51].

Важным аспектом является также оценка форм нахождения элементов (валовые, подвижные, биодоступные, связанные с различными фракциями), что позволяет прогнозировать их потенциальную опасность для экосистем и человека. Например, подвижные формы тяжелых металлов представляют наибольшую экологическую опасность, так как легко усваиваются растениями и животными [4, 33].

Влияние автодорог на геохимическую обстановку

Автомобильные дороги являются одним из наиболее значимых источников антропогенного воздействия на геохимическую обстановку прилегающих территорий, оказывая влияние на почвенный покров, растительность, поверхностные и грунтовые воды. Комплекс загрязняющих веществ, поступающих от автотранспорта и дорожной инфраструктуры, чрезвычайно разнообразен и включает как газообразные, так и твердые компоненты [24, 37].

Можно выделить несколько основных источников загрязнения:

- Выхлопные газы, которые содержат оксиды азота (NO_x), оксиды серы (SO_x), угарный газ (CO), углеводороды, а также твердые частицы, включающие сажу и микроэлементы.
- Износ шин и тормозных колодок является источником цинка (Zn), меди (Cu), свинца (Pb), кадмия (Cd), никеля (Ni), хрома (Cr), а также различных органических соединений и микропластика.
- Коррозия металлических частей автомобилей и дорожных конструкций приводит к поступлению железа (Fe), цинка (Zn), меди (Cu) и других металлов.
- При утечки технических жидкостей, таких как моторные масла, антифризы, тормозные жидкости в почву попадают нефтепродукты, тяжелые металлы и органические соединения.
- Использование противогололедных реагентов. В зимний период дороги обрабатываются солями (хлориды натрия, кальция, магния), которые увеличивают подвижность тяжелых металлов в почвах и водах, а также изменяют их pH [15].

Эти источники приводят к поступлению в окружающую среду широкого спектра поллютантов, включая тяжелые металлы (Pb , Zn , Cu , Cd , Ni , Cr), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), нефтепродукты, хлориды и сульфаты [41].

Распределение загрязняющих веществ в придорожных полосах характеризуется четко выраженным градиентом: максимальные концентрации наблюдаются непосредственно у края дороги и экспоненциально снижаются с удалением от нее. Ширина зоны загрязнения может варьироваться от нескольких метров до десятков метров в зависимости от интенсивности движения, климатических условий, рельефа и типа почв [14, 52].

Pb исторически был одним из основных загрязнителей придорожных почв из-за использования этилированного бензина. Несмотря на постепенный отказ от этилированного топлива, Pb продолжает обнаруживаться в высоких концентрациях в придорожных почвах, что объясняется его низкой подвижностью и длительным периодом полураспада в почвенном покрове [15]. Основными механизмами накопления Pb являются сорбция на глинистых минералах и органическом веществе, а также образование нерастворимых соединений. Высокие концентрации Pb могут оказывать токсическое воздействие на почвенную микрофлору, растительность и животных, включая человека [5, 8, 16].

Zn и Cu являются другими распространенными загрязнителями, связанными с износом шин, тормозных

колодок и коррозией металлических частей автомобилей. Zn используется в качестве вулканизирующего агента в производстве шин, а Cu в тормозных колодках. Эти элементы также накапливаются в придорожных почвах, но, в отличие от Pb , обладают большей подвижностью и могут мигрировать на большие расстояния [5, 30].

Fe и Ti также являются важными индикаторами техногенного воздействия. Fe , хотя и является распространенным элементом в земной коре, может накапливаться в придорожных почвах в результате коррозии автомобилей и дорожных конструкций. Ti , в свою очередь, используется в качестве белого пигмента в красках, пластиках и дорожной разметке, а также в составе некоторых сплавов. Его повышенные концентрации в придорожных почвах могут свидетельствовать о поступлении загрязняющих веществ из этих источников [11, 12].

Влияние автодорог на геохимическую обстановку проявляется не только в накоплении загрязняющих веществ, но и в изменении физико-химических свойств почв. Уплотнение почв, изменение их pH, засоление в результате применения противогололедных реагентов – все это приводит к нарушению почвенных процессов и снижению их плодородия. Кроме того, загрязнение придорожных почв может приводить к миграции поллютантов в грунтовые воды, создавая угрозу для качества питьевой воды [15].

Влияние малых рек на геохимическую обстановку

Малые реки, протекающие через урбанизированные территории, играют роль естественных коллекторов для широкого спектра загрязняющих веществ, поступающих с поверхностным стоком с сельских территорий, промышленных зон и транспортных магистралей. Эти реки аккумулируют загрязнители в донных отложениях и пойменных почвах, а также способствуют их дальнейшему распространению по водосборному бассейну. Геохимические процессы в речных системах, такие как сорбция, осаждение, комплексобразование, играют ключевую роль в трансформации загрязняющих веществ, определяя их подвижность и биодоступность [32, 45, 46].

Основными источниками загрязнения малых рек три:

- Поверхностный сток с урбанизированных территорий. Он включает в себя смыв загрязняющих веществ с дорог (тяжелые металлы, нефтепродукты, противогололедные реагенты), с жилых и промышленных зон (бытовые отходы, промышленные стоки, строительный мусор).
- Несанкционированные сбросы неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод от промышленных предприятий и жилищно-коммунального хозяйства.
- Загрязненные атмосферные осадки. Загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу промышленными предприятиями и автотранспортом, оседают на поверхности водосбора и затем смываются в реки [38].

Донные отложения и пойменные почвы являются основными депонирующими средами для загрязняющих веществ в речных системах. Благодаря высокой сорбционной способности (обусловленной наличием

глинистых минералов, органического вещества, оксидов и гидроксидов железа и марганца), они способны аккумулировать значительные количества тяжелых металлов, радионуклидов, нефтепродуктов и других поллютантов. Эта аккумуляция может приводить к формированию геохимических аномалий, которые служат вторичными источниками загрязнения при изменении физико-химических условий (например, при изменении pH, Eh, или при механическом нарушении донных отложений) [14, 30, 49].

Подвижность и биодоступность загрязняющих веществ в речных системах зависят от множества факторов, включая pH воды, окислительно-восстановительный потенциал, содержание органического вещества, наличие комплексобразующих лигандов и активность микроорганизмов [23]. Например, в условиях кислой среды и восстановительных условий многие тяжелые металлы становятся более подвижными и могут переходить из донных отложений в водную фазу, представляя угрозу для водной биоты и человека [16, 25].

Влияние на экосистемы

Загрязнение малых рек оказывает негативное воздействие на водные и прибрежные экосистемы. Это проявляется в снижении биоразнообразия, изменении структуры и функций сообществ гидробионтов, накоплении токсичных веществ в пищевых цепях. В конечном итоге, это может привести к деградации экосистем и потере их способности к самоочищению [26, 36, 44].

Особое внимание было уделено изучению форм нахождения тяжелых металлов в донных отложениях реки Егошихи. Было установлено, что значительная часть металлов находится в подвижных и биодоступных формах, что создает потенциальную угрозу для водной биоты. Корреляционный анализ показал сильную положительную связь между содержанием органического вещества и тяжелых металлов, что указывает на важную роль органического вещества в их аккумуляции [10].

На глобальном уровне проблема загрязнения малых рек в городах также является чрезвычайно острой. В США и Канаде большое внимание уделяется изучению влияния ливневых стоков (stormwater runoff) на качество воды и донных отложений, а также на биодоступность загрязнителей для водной биоты. Исследования в таких городах, как Ванкувер (Канада) и Нью-Орлеан (США), показывают значительное накопление тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu, Cd) в донных отложениях и пойменных почвах, что связано с урбанизацией, промышленной деятельностью и интенсивным транспортным потоком [41]. В этих странах активно разрабатываются и внедряются технологии по управлению ливневыми стоками, такие как создание дождевых садов, биофильтрационных систем и других элементов зеленой инфраструктуры [2, 15, 37].

В Европе, особенно в странах с высокой плотностью населения и развитой промышленностью, таких как Германия, Великобритания и Франция, исследования сосредоточены на влиянии сточных вод и промышленных выбросов на качество речных вод и донных отложений. Отмечается повышенное содержание тяжелых металлов, фармацевтических препаратов, пестицидов и других микрополлютантов в городских реках,

что представляет угрозу для водных экосистем и здоровья человека [1, 49].

В Африке, где урбанизация идет быстрыми темпами, а инфраструктура водоочистки часто недостаточно развита, малые реки страдают от сбросов неочищенных сточных вод, промышленных отходов и несанкционированных свалок. Это приводит к экстремально высоким концентрациям загрязняющих веществ, включая тяжелые металлы и органические поллютанты, в речных системах, что имеет серьезные последствия для здоровья населения и окружающей среды [35, 50].

В России, как и во многих других странах, малые реки в городах подвержены значительному антропогенному воздействию. Исследования показывают, что в донных отложениях и пойменных почвах городских рек накапливаются тяжелые металлы, нефтепродукты, фенолы и другие загрязняющие вещества, источниками которых являются промышленные предприятия, ливневые стоки и коммунально-бытовые отходы. Например, в долине реки Егошихи в Перми наблюдается комплексное загрязнение, связанное с исторической промышленной деятельностью и современным городским воздействием [22, 42, 47].

Донные отложения являются важным компонентом речных экосистем, играющим роль как детонирующего, так и вторичного источника загрязнения. В зависимости от физико-химических условий (pH, Eh), содержания органического вещества и глинистых минералов, загрязняющие вещества могут быть прочно связаны с донными отложениями или, наоборот, легко высвободиться в водную толщу при изменении условий [30].

Пойменные почвы формируются в условиях периодического затопления и осадения наносов, приносимых рекой. В результате этого процесса в них накапливаются как природные, так и антропогенные химические элементы. В урбанизированных районах пойменные почвы часто содержат повышенные концентрации тяжелых металлов, ПАУ и других загрязнителей, что обусловлено поступлением этих веществ с речными водами и донными отложениями [2, 15].

Сравнительный анализ

Автомобильные дороги и малые реки являются мощными факторами формирования техногенных геохимических аномалий. Сравнительный анализ характера их воздействия на геохимическую обстановку и пространственное распределение загрязняющих веществ необходим для поиска общих особенностей и различий.

Можно выделить три общие особенности, которые связаны с токсическим влиянием малых потоков на прилегающие территории:

- Для геохимической обстановки придорожных почв и донных отложений характерна аккумуляция тяжелых металлов. Они поступают из антропогенных источников, таких как транспорт, объекты промышленности и бытовые отходы. Для придорожных почв характерно накопление Pb, как остатка от этилированного бензина, Zn, который выделяется при износе шин, Cu от износа тормозных систем и фрикционных накладок, и элементов платиновой группы (Pt, Pd, Rh) из каталитических нейтрализаторов. В свою очередь, пойменные почвы и донные отложения малых рек аккумулируют

элементы, мобилизованные водным стоком и атмосферными осадками с городской территории. В них наблюдается повышенное содержание Cu, Zn, Cd, Ni и Cr. Cu и Zn выступают индикаторами загрязнения, а Cd, Ni и Cr могут указывать на вклад локальных промышленных или коммунальных источников [24, 53].

– Для загрязняющих веществ из двух типов малых потоков характерно градиентное распределение. Концентрации загрязняющих веществ, как правило, максимальны в непосредственной близости от источника (дороги или русла реки) и экспоненциально снижаются с удалением от него. Это связано с механизмами рассеяния и миграции поллютантов [8, 30].

– Отмечается токсическое влияние на биоту. Высокие концентрации тяжелых металлов, например, цинка, меди и кадмия, ингибируют ферменты и вызывают окислительный стресс у почвенной микрофлоры и растений [43]. Это приводит к нарушению естественных циклов углерода и азота, что вызывает общее снижение плодородия почвы [16, 25].

Различия в характере воздействия:

– Различия наблюдаются в основном источнике загрязнения. Для автодорог таковыми являются выхлопные газы, износ шин и тормозных колодок, коррозия металлических частей и противогололедные реагенты. К выхлопным газам относятся оксиды азота (NO_x) и оксид углерода (CO), а также тонкодисперсные частицы, содержащие сажу и тяжелые металлы. Износ шин и тормозных колодок служит главным источником твердых частиц, обогащенных Zn из шин и Cu. Для малых рек – ливневые стоки, несущие взвешенные вещества и нефтепродукты, промышленные и бытовые сточные воды, которые содержат N, P и тяжелые металлы, такие как Cd, Cr и Ni. Также происходит постоянный смыв загрязнителей с неорганизованных городских территорий и свалок, которые затем попадают в речную сеть [25].

– Отличается и механизм миграции. В придорожных почвах преобладают процессы сорбции на глинистых минералах и органическом веществе, которые обеспечивают прочное связывание Pb и Cu, а также миграция с поверхностным и подповерхностным стоком. В речных системах ключевую роль играют сорбция и осаждение загрязнителей на взвешенных частицах и последующее накопление в донных отложениях. Там загрязнители могут связываться с оксидами Fe и Mn или органическим веществом. Важны процессы комплексообразования – взаимодействие металлов с растворенным органическим веществом (гуминовыми и фульвокислотами). Такой комплекс обладает более высокой мобильностью в водной толще [32, 45, 46].

– Пространственные масштабы различны у разных малых потоков. Зона влияния автодорог обычно ограничена несколькими десятками метров от полотна дороги. В пределах первых 5-10 м от края проезжей части наблюдается максимальная концентрация загрязнителей, которая затем экспоненциально снижается. Влияние малых рек может распространяться на значительно большие территории, охватывая весь водосборный бассейн и пойменные ландшафты. Поэтому масштаб загрязнения может достигать нескольких километров [2, 15].

Таким образом автодороги и малые реки являются

техногенными коллекторами тяжелых металлов, однако их влияние различается по масштабу и механизмам миграции. Загрязнения от автодорог являются первичными (износ шин и тормозов), локальными (5-50 м) и характеризуются иммобилизацией загрязнителей в почвенном покрове. Малые реки формируют вторичные, широкомасштабные аномалии (смыв со всего водосбора), где элементы накапливаются в донных отложениях, оставаясь более мобильными и потенциально вовлекаясь в биоаккумуляцию. Понимание этих различий важно для экологического управления и разработки методов очистки почв.

Помимо особенностей, связанных с происхождением и накоплением загрязнителей, выделим региональные особенности. Они также влияют на методы очистки почв от загрязнений [28].

В промышленно развитых странах (США, Канада, Европа) основное внимание уделяется управлению ливневыми стоками через внедрение передовых практик и зеленых инфраструктурных решений (например, биофильтрационных канав), а также разработке технологий тонкой очистки для снижения остаточных эмиссий от транспорта и промышленности. Исследования фокусируются на долгосрочных экологических эффектах и оценке биодоступности загрязнителей – той доли, которая действительно способна нанести токсическое воздействие, что позволяет перейти к более точному риск-ориентированному управлению [2, 15].

В развивающихся странах (Африка, Азия) проблемы усугубляются критическим отсутствием адекватной инфраструктуры для водоочистки и эффективного контроля за промышленными выбросами. Неочищенные бытовые и промышленные сточные воды часто сбрасываются напрямую, что приводит к чрезвычайно высоким уровням загрязнения малых рек, включающим не только тяжелые металлы, но и патогены, создавая острые экологические и социальные проблемы, связанные с деградацией водных ресурсов и здоровьем населения [35, 50].

Понимание этих общих закономерностей и региональных различий позволяет разрабатывать более эффективные стратегии управления геохимической обстановкой в урбанизированных территориях, учитывая специфику каждого типа упорядоченных потоков и особенности локальных условий.

Методология исследования включает обязательную статистическую обработку данных. Применяются такие методы, как корреляционный анализ для выявления взаимосвязей между элементами и факторами, факторный анализ для определения основных источников загрязнения, кластерный анализ для группировки проб по сходству геохимических характеристик [27, 39]. Для оценки степени загрязнения и экологического риска используются различные геохимические индексы, такие как коэффициент концентрации (K_c), индекс геоаккумуляции (I_{geo}), фактор обогащения (EF), суммарный показатель загрязнения (Z_c), потенциальный экологический риск (PERI) [6, 34]. Эти индексы позволяют количественно оценить уровень антропогенного воздействия и сравнить его с фоновыми значениями или допустимыми нормативами. Кроме того, для визуализации пространственного распределения элементов часто используются геоинформационные

системы (ГИС), позволяющие создавать карты загрязнения и выявлять аномальные зоны [7, 21, 29].

Заключение

Исследование влияния упорядоченных потоков, таких как малые реки и автодороги, на геохимическую обстановку урбанизированных территорий является критически важным для понимания и управления экологическими рисками. Оба типа потоков выступают в качестве мощных источников и каналов перераспределения загрязняющих веществ, формируя специфические антропогенные геохимические аномалии.

Автодороги вносят значительный вклад в загрязнение придорожных почв тяжелыми металлами (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr), полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) и другими поллютантами, которые поступают от выхлопных газов, износа шин и тормозных колодок, а также использования противогололедных реагентов. Характерной особенностью является градиентное распределение загрязнителей с максимальными концентрациями у края дороги и их экспоненциальным снижением с удалением. Низкая подвижность некоторых элементов, таких как свинец, приводит к их длительному накоплению в почвенном покрове, создавая долгосрочные экологические угрозы.

Малые реки, протекающие через города, аккумулируют широкий спектр загрязняющих веществ из ливневых стоков, промышленных и бытовых сбросов. Донные отложения и пойменные почвы речных систем становятся депо для тяжелых металлов и органических поллютантов, которые могут высвободиться в водную толщу при изменении физико-химических условий. Глобальный анализ показывает, что проблемы загрязнения малых рек актуальны для всех регионов мира, но их проявления и подходы к решению варьируются в зависимости от уровня экономического развития и инфраструктурных возможностей.

Комплексный подход к изучению геохимической обстановки, включающий полевые исследования, лабораторные анализы, статистическую обработку данных и ГИС-картографирование, позволяет выявлять закономерности формирования аномалий, оценивать их масштабы и прогнозировать экологические последствия. Разработка эффективных стратегий управления требует учета специфики каждого типа упорядоченных потоков, а также региональных и локальных особенностей.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на более глубокое понимание механизмов трансформации и миграции загрязняющих веществ, оценку их биодоступности и разработку инновационных методов ремедиации и мониторинга для обеспечения устойчивого развития урбанизированных территорий.

Список литературы

1. Алексеев В.А. Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000. 627 с.
2. Алексеев В.А., Алексеев Л.П. Геохимические барьеры. Учебное пособие. М.: Логос, 2003. 144 с.
3. Большаков В.А., Гальпер Н.Я., Клименко Г.А., Лычкина Т.И., Башта Е.В. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами. М.: ВНИИиТЭСХ, 1978. 52 с.

4. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988. 328 с.
5. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Высшая школа, 1998. 413 с.
6. Ермаков В.В., Карпова Е.А., Корж В.Д., Остроумов С.А. Инновационные аспекты биогеохимии М.: ГЕОХИ РАН, 2012. 340 с.
7. Кабата-Пендиас А., Пандиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: МИР, 1989. 439 с.
8. Касимов Н.С. Экогеохимия ландшафтов. М.: ИП Филимонов М.В., 2013. 208 с.
9. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 341 с.
10. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: МГУ, 1999. 610 с.
11. Протасова Н.А. Геохимия техногенных ландшафтов. Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета, 2009. 37 с.
12. Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
13. Смирнова М.А. Геннадиев А.Н. Количественная оценка почвенного разнообразия: теория и методы исследования // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2017. № 4. С. 3-11.
14. Фортескью Д.А.К. Геохимия окружающей среды. М.: Прогресс, 1985. 360 с.
15. Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). М.: ИМГРЭ, 2002. 51 с.
16. Adewumi A.J., Ogundele O.D. Hidden hazards in urban soils: A meta-analysis review of global heavy metal contamination (2010-2022), sources and its Ecological and health consequences // Sustainable Environment. 2024. Vol. 10. Iss. 1. Article: 2293239. <https://doi.org/10.1080/27658511.2023.2293239>
17. Allan J.D., Castillo M.M. Stream ecology: structure and function of running waters. Ann Arbor, The University of Michigan publ., 2007. 436 p.
18. Alloway B. (ed.). Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Reading, The University of Reading, 2012. 614 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
19. Angon P.B., Islam Md.S., Kc S., Das A., Anjum N., Poudel A., Suchi S.A. Sources, effects and present perspectives of heavy metals in agricultural soils and their management strategies // Heliyon. 2024. Vol. 10. Iss. 7. e28357. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28357>
20. Bäckström M., Karlsson S., Bäckman L., Folkeson L., Lind B. 2004. Mobilisation of heavy metals by deicing salts in a roadside environment. *Water Research*, Vol. 38, Iss. 3, P. 720-732. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.11.006>
21. Burrough P.A., McDonnell R.A. Principles of geographical information systems. Oxford, Oxford University Press publ., 1998. 333 p.
22. Essington M.E. Soil and water chemistry: An Integrative Approach. Boca Raton, CRC Press publ., 2003. 552 p. <https://doi.org/10.1201/b12397>
23. Kemp R. (ed.). Handbook of thermal analysis and calorimetry. Amsterdam, Elsevier Science publ., 1999.

1032 p.

24. *Forman R.T., Sperling D., Bissonette J.A., Clevenger A.P., Cutshall C.D., Dale V.H., Fahrig L., France R., Goldman C.R., Heanue K., Jones J.A., Swanson F.J., Turrentine T., Winter T.C.* Road ecology: science and solutions. Washington, Island Press publ., 2003. 481 p.

25. *Hamelink J.L., Landrum P.F., Bergman H., Benson W.H.* Bioavailability: physical, chemical, and biological interactions. Boca Raton, CRC press publ., 1994. 256 p. <https://doi.org/10.1201/9781003578895>

26. *Harrison R.M.* (ed.). Pollution: causes, effects and control. Cambridge, Royal society of chemistry. 2001. 579 p.

27. *Hengl T.* A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities. 2007. 270 p.

28. *Horowitz A.J.* A primer on sediment-trace element chemistry. Chelsea, Lewis Publishers publ., 1991. 136 p.

29. *Hosseini N.S., Sobhanardakani S.* Concentration, sources, potential ecological and human health risks assessment of trace elements in roadside soil in Hamedan metropolitan, west of Iran // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2022. Vol. 104, Iss. 17. P. 5962-5985. <https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2135997>

30. *Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzone D., Violante P.* Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy) // *Environmental Pollution*. 2003. Vol. 124, Iss. 2. P. 247-256. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00478-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00478-5)

31. *Jaishankar M., Tseten T., Anbalagan N., Mathew B.B., Beeregowda K.N.* Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals // *Interdisciplinary Toxicology*. 2014. Vol. 7, Iss. 2. P. 60-72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>

32. *Kabata-Pendias A.* Trace Elements in Soils and Plants. 4th ed. Boca Raton, CRC Press, 2010. 548 p. <https://doi.org/10.1201/b10158>

33. *Keith L.H.* (ed.). Principles of environmental sampling. 2nd ed. Washington, DC, American Chemical Society. 1996. 848 p.

34. *Kicińska A., Pomykała R., Izquierdo-Diaz M.* Changes in soil pH and mobility of heavy metals in contaminated soils // *European Journal of Soil Science*. 2021. Vol. 73, Iss. 1. e13203. <https://doi.org/10.1111/ejss.13203>

35. *Lema M.W.* Contamination of urban waterways: A mini-review of water pollution in the rivers of East Africa's major cities // *HydroResearch*. 2025. Vol. 8. P. 307-315 <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2024.11.004>

36. *Li D., Shao Z.* The new era for geo-information. // *Science in China Series F: Information Sciences*. 2009. Vol. 52, Iss. 7. P. 1233-1242. <https://doi.org/10.1007/s11432-009-0122-9>

37. *Mielke H.W., Wang G., Gonzales C.R., Powell E.T., Le B., Quach V.N.* PAHs and metals in the soils of inner-city and suburban New Orleans, Louisiana, USA // *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2004. Vol. 18, Iss. 3. P. 243-247. <https://doi.org/10.1016/J.ETAP.2003.11.011>

38. *Mohiuddin K.M., Zakir H.M., Otomo K., Sharmin S., Shikazono N.* Geochemical distribution of trace metal

pollutants in water and sediments of downstream of an urban river // *International Journal of Environmental Science & Technology*. 2010. Vol. 7, Iss. 1. P. 17-28. <https://doi.org/10.1007/BF03326113>

39. *Müller G.* Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River // *Geojournal*. 1969. Vol. 2, Iss. 3. P. 108-118.

40. *Müller A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M.* The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 709. Article: 136125. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136125>

41. *Nazzal Y., Rosen M.A., Al-Rawabdeh A.M.* Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2013. Vol. 185, Iss. 2. P. 1847-1858. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2672-3>

42. *Paul M.J., Meyer J.L.* Streams in the urban landscape // *Annual Review of Ecology and Systematics*. 2001. Vol. 32, Iss. 1. P. 333-365. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5_12

43. *Pimental D.* (ed.). Encyclopedia of pest management. Boca Raton, CRC Press. 2002. 931 p. <https://doi.org/10.1201/NOE0824706326>

44. *Reimann C., Filzmoser P., Garrett R., Dutter R.* Statistical data analysis explained: applied environmental statistics with R. Chichester, John Wiley & Sons, 2008. 368 p. <https://doi.org/10.1002/9780470987605>

45. *Salomons W., Förstner U.* Metals in the hydrocycle. Berlin, Springer Berlin. Heidelberg, 1984. 352 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-69325-0>

46. *Sparks D.L.* Environmental soil chemistry. Amsterdam: Academic Press, 2003. 352 p.

47. *Taylor H.E.* Inductively coupled plasma-mass spectrometry. Amsterdam. Academic Press. 2001. P. 294. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-683865-7.X5000-5>

48. *Thorpe A., Harrison R.M.* Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review // *Science of the Total Environment*. 2008. Vol. 400, Iss. 1-3. P. 270-282. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.007>

49. *Tomlinson D.L., Wilson J.G., Harris C.R., Jeffrey D.W.* Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index // *Helgoländer Meeresuntersuchungen*. 1980. Vol. 33, Iss. 1. P. 566-575. <https://doi.org/10.1007/BF02414780>

50. UN-Habitat. Making cities sustainable through rehabilitating polluted urban rivers. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme, 2019. 110 p.

51. *Van Loon J.A.* Analytical atomic absorption spectroscopy: selected methods. New York, Academic Press. 1980. 348 p.

52. *Wang X.S.* Magnetic properties and heavy metal pollution of soils in the vicinity of a cement plant, Xuzhou (China) // *Journal of Applied Geophysics*. 2013. Vol. 98. P. 73-78. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.08.008>

53. World Health Organization. The public health impact of chemicals: knowns and unknowns. Geneva: World Health Organization, 2018. 84 p. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241516910>

54. *Zhang F., Yan X., Zeng C., Zhang M., Shrestha S., Devkota L.P., Yao T.* Influence of Traffic Activity on

Heavy Metal Concentrations of Roadside Farmland Soil in Mountainous Areas // *Environmental Research and Public Health*. 2012. Vol. 9. Iss. 5. P. 1715-1731. <https://doi.org/10.3390/ijerph9051715>

References

1. Alekseenko, V., 2000. *Ekologicheskaya geokhimiya* [Environmental Geochemistry]. Moscow, Logos publ. 627 p. (in Russian)
2. Alekseenko, V. and Alekseenko, L., 2003. *Geokhimicheskie bar'ery* [Geochemical Barriers]. Moscow, Logos publ. 144 p. (in Russian)
3. Bolshakov, V., Galper, N., Klimenko, G., Lychkina, T. and Bashta, E., 1978. *Zagryaznenie pochv i rastitel'nosti tyazhelyimi metallami* [Soils and Vegetation Pollution by Heavy Metals]. Moscow, VNIIT-ESKh publ. 52 p. (in Russian)
4. Glazovskaya, M., 1988. *Geokhimiya prirodnikh i tekhnogennykh landshaftov SSSR* [Geochemistry of Natural and Technogenic Landscapes of the USSR]. Moscow, Vysshaya shkola publ. 328 p. (in Russian)
5. Dobrovolsky, V., 1998. *Osnovy biogeokhimii* [Fundamentals of Biogeochemistry]. Moscow, Vysshaya shkola publ. 413 p. (in Russian)
6. Ermakov, V., Karpova, E., Korzh, V. and Ostroumov, S., 2012. *Innovatsionnye aspekty biogeokhimii* [Innovative Aspects of Biogeochemistry]. Moscow, GEOKhI RAN publ. 340 p. (in Russian)
7. Kabata-Pendias, A. and Pendias, Kh., 1989. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh* [Trace Elements in Soils and Plants]. Moscow, Mir publ. 439 p. (in Russian)
8. Kasimov, N., 2013. *Ekogeokhimiya landshaftov* [Ecogeochemistry of Landscapes]. Moscow, IP Filimonov M.V. publ. 208 p. (in Russian)
9. Perel'man, A., 1975. *Geokhimiya landshafta* [Landscape Geochemistry]. Moscow, Vysshaya shkola publ. 341 p. (in Russian)
10. Perel'man, A. and Kasimov, N., 1999. *Geokhimiya landshafta* [Landscape Geochemistry]. Moscow, MGU publ. 610 p. (in Russian)
11. Protasova, N., 2009. *Geokhimiya tekhnogennykh landshaftov* [Geochemistry of Technogenic Landscapes]. Voronezh, Izdatel'stvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta publ. 37 p. (in Russian)
12. Saet, Yu., Revich, B., Yanin, E., Smirnova, R., Basharevich, I., Onishchenko, T., Pavlova, L., Trefilova, N., Achkasov, A. and Sarkisyan, S., 1990. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Environmental Geochemistry]. Moscow, Nedra publ. 335 p. (in Russian)
13. Smirnova, M. and Gennadiev, A., 2017. Kolichestvennaya otsenka pochyennogo raznoobraziya: teoriya i metody issledovaniya [Quantitative assessment of soil diversity: theory and research methods]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5. Geografiya*, (4), pp. 3–1. (in Russian)
14. Fortes'yu, D., 1985. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Environmental Geochemistry]. Moscow, Progress publ. 360 p. (in Russian)
15. Yanin, E., 2002. *Tekhnogennye geokhimicheskie assotsiatsii v donnykh otlozheniyakh malyykh rek* [Technogenic Geochemical Associations in Bottom Sediments of Small Rivers]. Moscow, IMGRE publ. 51 p. (in Russian)
16. Adewumi, A., Ogundele, O. and Villaseñor, M., 2024. Hidden hazards in urban soils: A meta-analysis review of global heavy metal contamination (2010-2022), sources and its ecological and health consequences. *Sustainable Environment*, 10(1), Article: 2293239. <https://doi.org/10.1080/27658511.2023.2293239>
17. Allan, J. and Castillo, M., 2007. *Stream ecology: structure and function of running waters*. Ann Arbor, The University of Michigan publ. 436 p.
18. Alloway B. (ed.), 2012. *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. Reading, The University of Reading publ. 614 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
19. Angon, P., Islam, Md., Kc, S., Das, A., Anjum, N., Poudel, A. and Suchi, S. 2024. Sources, effects and present perspectives of heavy metals in agricultural soils and their management strategies: A review. *Heliyon*. 10(7), e28357. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28357>
20. Bäckström, M., Karlsson, S., Bäckman, L., Folke-son, L. and Lind, B. 2004. Mobilisation of heavy metals by deicing salts in a roadside environment. *Water Research*, 38(3), pp. 720-732. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.11.006>
21. Burrough, P. and McDonnell, R., 1998. *Principles of geographical information systems*. Oxford, Oxford University Press publ. 333 p.
22. Essington, M., 2003. *Soil and water chemistry: An Integrative Approach*. Boca Raton, CRC Press publ. 552 p. <https://doi.org/10.1201/b12397>
23. Kemp R. (ed.), 1999. *Handbook of thermal analysis and calorimetry*. Amsterdam, Elsevier Science publ. 1032 p.
24. Forman, R., Sperling, D., Bissonette, J., Clevenger, A., Cutshall, C., Dale, V., Fahrig, L., France, R., Goldman, C., Heanue, K., Jones, J., Swanson, F., Turrentine, T. and Winter, T., 2003. *Road ecology: science and solutions*. Washington, Island Press publ. 481 p.
25. Hamelink, J., Landrum, P., Bergman, H. and Benson, W., 1994. *Bioavailability: physical, chemical, and biological interactions*. Boca Raton, CRC Press publ. 256 p. <https://doi.org/10.1201/9781003578895>
26. Harrison R. (ed.), 2001. *Pollution: causes, effects and control*. Cambridge, Royal Society of Chemistry publ. 579 p.
27. Hengl, T., 2007. *A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities publ. 270 p.
28. Horowitz, A., 1991. *A primer on sediment-trace element chemistry*. Chelsea, Lewis Publishers publ. 136 p.
29. Hosseini, N. and Sobhanardakani, S., 2022. Concentration, sources, potential ecological and human health risks assessment of trace elements in roadside soil in Hamedan metropolitan, west of Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 104(17), pp. 5962-5985. <https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2135997>
30. Imperato, M., Adamo, P., Naimo, D., Arienzo, M., Stanzone, D. and Violante, P., 2003. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). *Environmental Pollution*, 124(2), pp. 247-256. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00478-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00478-5)
31. Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. and Beeregowda, K., 2014. Toxicity, mechanism and

health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), pp. 60-72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>

32. Kabata-Pendias, A., 2010. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4th ed. Boca Raton, CRC Press publ. 548 p. <https://doi.org/10.1201/b10158>

33. Keith L. (ed.), 1996. *Principles of environmental sampling*. 2nd ed. Washington, DC, American Chemical Society publ. 848 p.

34. Kicińska, A., Pomykała, R. and Izquierdo-Diaz, M., 2021. Changes in soil pH and mobility of heavy metals in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*, 73(1), e13203. <https://doi.org/10.1111/ejss.13203>

35. Lema, M., 2025. Contamination of urban waterways: A mini-review of water pollution in the rivers of East Africa's major cities. *HydroResearch*, 8, pp. 307-315 <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2024.11.004>

36. Li, D. and Shao, Z., 2009. The new era for geo-information. *Science in China Series F: Information Sciences*, 52(7), pp. 1233-1242. <https://doi.org/10.1007/s11432-009-0122-9>

37. Mielke, H., Wang, G., Gonzales, C., Powell, E., Le, B. and Quach, V., 2004. PAHs and metals in the soils of inner-city and suburban New Orleans, Louisiana, USA. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 18(3), pp. 243-247. <https://doi.org/10.1016/J.ETAP.2003.11.011>

38. Mohiuddin, K., Zakir, H., Otomo, K., Sharmin, S. and Shikazono, N., 2010. Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7(1), pp. 17-28. <https://doi.org/10.1007/BF03326113>

39. Müller, G., 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2(3), pp. 108-118.

40. Müller, A., Österlund, H., Marsalek, J. and Viklander, M., 2020. The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources. *Science of the Total Environment*, 709, Article: 136125. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136125>

41. Nazzal, Y., Rosen, M. and Al-Rawabdeh, A., 2013. Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(2), pp. 1847-1858. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2672-3>

42. Paul, M. and Meyer, J., 2001. Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32(1), pp. 333-365. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5_12

[73412-5_12](https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5_12)

43. Pimental D. (ed.), 2002. *Encyclopedia of pest management*. Boca Raton, CRC Press publ. 931 p. <https://doi.org/10.1201/NOE0824706326>

44. Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R. and Dutter, R., 2008. *Statistical data analysis explained: applied environmental statistics with R*. Chichester, John Wiley & Sons publ. 368 p. <https://doi.org/10.1002/9780470987605>

45. Salomons, W. and Förstner, U., 1984. *Metals in the hydrocycle*. Berlin, Springer Berlin Heidelberg publ. 352 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-69325-0>

46. Sparks, D., 2003. *Environmental soil chemistry*. Amsterdam, Academic Press publ. 352 p.

47. Taylor, H., 2001. *Inductively coupled plasma-mass spectrometry*. Amsterdam, Academic Press publ. 294 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-683865-7.X5000-5>

48. Thorpe, A. and Harrison, R., 2008. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review. *Science of the Total Environment*, 400(1-3), pp. 270-282. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.007>

49. Tomlinson, D., Wilson, J., Harris, C. and Jeffrey, D., 1980. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 33(1), pp. 566-575. <https://doi.org/10.1007/BF02414780>

50. UN-Habitat, 2019. *Making cities sustainable through rehabilitating polluted urban rivers*. Nairobi, United Nations Human Settlements Programme publ. 110 p.

51. Van Loon, J., 1980. *Analytical atomic absorption spectroscopy: selected methods*. New York, Academic Press publ. 348 p.

52. Wang, X., 2013. Magnetic properties and heavy metal pollution of soils in the vicinity of a cement plant, Xuzhou (China). *Journal of Applied Geophysics*, 98, pp. 73-78. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.08.008>

53. World Health Organization, 2018. *The public health impact of chemicals: knowns and unknowns*. Geneva, World Health Organization publ. 84 p. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241516910>

54. Zhang, F., Yan, X., Zeng, C., Zhang, M., Shrestha, S., Devkota, L. and Yao, T., 2012. Influence of Traffic Activity on Heavy Metal Concentrations of Roadside Farmland Soil in Mountainous Areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(5), pp. 1715-1731. <https://doi.org/10.3390/ijerph9051715>

Статья поступила в редакцию 02.10.2025; одобрена после рецензирования 10.11.2025; принята к публикации 17.11.2025.

The article was submitted 02.10.2025; approved after reviewing 10.11.2025; accepted for publication 17.11.2025.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Бузмаков С.А.
Абдулманова И.Ф.
Шестаков И.Е.
Кучин Л.С.
Исаков Д.С.
Сыстерова А.В.....6

Кочкарев П.В.
Зарубин Д.С.
Маковская С.А.....24

Панченко Д.В.....30

Красильников П.А.
Брызгалов Т.С.
Лавров И.А.
Красильникова С.А.....35

Иванова О.А.....49

Белогубкин А.А.....61

Научное издание

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Том 11, № 2
2025

Компьютерная верстка: С.Д. Мельникова
Макет обложки: П.Ю. Санников

Подписано в печать 01.12.2025. Дата выхода: 05.12.2025
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 8,37. Тираж 100 экз. Заказ 133

Редакция научного журнала «Антропогенная трансформация природной среды»
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15. ПГНИУ.
Географический факультет, кафедра биогеоценологии и охраны природы
Тел. (342) 239-64-87

Управление издательской деятельности
Пермского государственного
национального исследовательского университета.
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15
Тел. (342) 239-66-36

Распространяется бесплатно