

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 Ильична 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

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).

ISSN 2410-8553

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

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Кадетова А.А., Мельникова Ю.А. Возвращение хомячка (<i>Cricetulus barabensis</i> Pallas, 1773): история одной залежи на юго-востоке Амурской области	6
Сулимов А.Д. Шумовое загрязнение на участках водно-зеленого каркаса г. Перми и г. Казани.....	14

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Артамонова В.С., Шавекина А.Ш. Техногенные грунты – современная среда обитания микроорганизмов (по результатам сканирующего электронного микроскопирования).....	23
Губарев М.С., Резников В.Ф., Рыбкина И.Д. Опыт экологического обоснования водохозяйственных мероприятий на примере расчистки и спрямления русла реки Алей	41
Кучин Л.С. Применение дистанционного зондирования Земли для выявления последствий техногенной трансформации природной среды на месторождениях нефти и газа	57
Чайкин С.А., Бузмаков А.С., Симонов В.Э. Современное представление о техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяных месторождений и роли территорий режима особого природопользования	71

CONTENTS

SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

Kadetova A., Melnikova Yu. The Return of the Hamster (<i>Cricetulus barabensis</i> Pallas, 1773): a history of one fallow in the South-East of the Amur region	6
Sulimov A. Noise pollution in the areas of the water-green framework of Perm and Kazan.....	14

SECTION 2. POLLUTION

Artamonova V., Shavekina A. Technogenic grounds are a modern habitat for microorganisms (according to the results of scanning electron microscopy).....	23
Gubarev M., Reznikov V., Rybkina I. Experience in environmental substantiation of water management measures using the example of deepening and straightening the river bed of the Alei	41
Kuchin L. Remote sensing application to identify the consequences of technogenic transformation of nature at oil and gas fields	57
Chaikin S., Buzmakov A., Simonov V. Modern understanding of technogenic transformation of nature during exploitation of oil fields and the role of special nature management regime areas	71



Очевидно, что наступила наконец пора синхронизировать бакалавриат и магистратуру, магистратуру и аспирантуру, обучение и исследования. В настоящем номере замечательными примерами такой синхронизации стала статья С.А. Чайкина и его коллег. Аспиранты пока предпочли вместо групповой работы индивидуальную научно-образовательную траекторию.

Изучение проблем сохранения природной среды сообщает о «камбэке» барабинского хомячка в Хинганском заповеднике. А.А. Кадетова и Ю.А. Мельникова установили параметры оптимальных местообитаний вида, динамику численности, влияние антропогенной трансформации экосистем.

А.Д. Сулимов провел сравнительное исследование шумового загрязнения в различных зонах водно-зеленого каркаса городов Пермь и Казань. Выяснено, что долины рек Перми, обладают шумопоглощающей способностью. Автор призывает к развитию синей и зеленой инфраструктуры в городах, доказывает их значимость для создания комфортной среды обитания в условиях урбанизации.

В разделе об антропогенных изменениях В.С. Артамонова, А.Ш. Шавекина приводят оригинальное исследование современного состояния техногенных грунтов и развития на них микробиоты, расположенных в разных природных зонах и отличающихся по происхождению зарождающихся минералов. Последнее связано с микроклиматом и микробиологическими процессами. Обнаружены цианобактерии и диатомеи на малопригодных для жизни экстремальных субстратах. Используемые для наблюдений приборы, технические средства занимают лидирующее положение как в геологии, так и в почвоведении, что позволило разнообразно иллюстрировать научное исследование фотографиями, полученными с применением уникальных микроскопов и классическими способами пробоподготовки.



Коллектив авторов (М.С. Губарев, В.Ф. Резников, И.Д. Рыбкина) делится опытом предпроектного экологического обоснования о влиянии водохозяйственной деятельности на окружающую природную среду в условиях антропогенной трансформации в Алтайском крае. Своевременные природоохранные мероприятия позволяют считать проводимые работы по расчистке и спрямлению русла водотока р. Алей вполне приемлемыми.

В настоящем номере сочетание синхронизации, индивидуальных траекторий исследователей и изысканий делает изучение достижений корифеев и молодежи довольно интересным занятием.

Главный редактор С.А. Бузмаков

РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Краткое сообщение

 УДК 599.323.5 (571.61) <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-6-13> EDN FTCTPO**Возвращение хомячка (*Cricetulus barabensis* Pallas, 1773):
история одной залежи на юго-востоке Амурской области****Анастасия Александровна Кадетова¹, Юлия Анатольевна Мельникова²**¹ ГАУ «Московский зоопарк», Москва, Россия² Государственный природный биосферный заповедник «Даурский», с. Нижний Цасучей, Забайкальский край, Россия¹ asfedlynxx@mail.ru² juliamelni@list.ru

Аннотация. Исследованы биотопическое распределение и динамика численности барабинского хомячка (*Cricetulus barabensis* Pallas, 1773) на границе ареала в Приамурье – в Хинганском заповеднике и на прилегающих территориях. Выявлены оптимальные местообитания барабинского хомячка – представителя степного фаунистического комплекса. Прослежено изменение численности вида в связи с природными (увлажнение) и антропогенными (распашка) факторами.

Ключевые слова: барабинский хомячок, *Cricetulus barabensis*, динамика, Амурская область, Хинганский заповедник, залежь

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

Для цитирования: Кадетова А.А., Мельникова Ю.А. Возвращение хомячка (*Cricetulus barabensis* Pallas, 1773): история одной залежи на юго-востоке Амурской области // Антропогенная трансформация природной среды. 2025. Т. 11. № 1. С. 6–13. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-6-13>. EDN FTCTPO.

SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

Short Communications Article

**The Return of the Hamster (*Cricetulus barabensis* Pallas, 1773):
a history of one fallow in the South-East of the Amur region****Anastasia A. Kadetova¹, Yulia A. Melnikova²**¹ «Moscow Zoo», Moscow, Russia² State Nature Biosphere Reserve «Dauria», Nizhniy Tzasuchey, Zabaykalsky Krai, Russia¹ asfedlynxx@mail.ru² juliamelni@list.ru

Abstract. The biotopic distribution and population number dynamics of Chinese striped hamster (*Cricetulus barabensis* Pallas, 1773) were studied at the species' range edge in the Amur region – in the Khingansky State Nature Reserve and adjacent territories. Preferred habitats of Chinese striped hamster, a representative of the steppe faunal complex, were identified. Changes in the population numbers were studied in correlation with natural (moistening) and anthropogenic (plowing) factors.

Keywords: Chinese striped hamster, *Cricetulus barabensis*, dynamics, Amur region, Khingansky State Nature Reserve, fallow

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

For citation: Kadetova, A. and Melnikova, Yu. 2025. The Return of the Hamster (*Cricetulus barabensis* Pallas, 1773): a history of one fallow in the South-East of the Amur region. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 11(1). pp. 6-13. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-6-13>. EDN FTCTPO. (in Russian)

Введение

Барабинский хомячок (рис. 1 / fig. 1) – вид степного фаунистического комплекса [7]. Питается весной зелёными частями растений, летом – семенами, также поедает насекомых, делает запасы семян, зимой впадает в кратковременную спячку, роет норы. Вид встречается на юге Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока, в Монголии и Северном Китае, ареал состоит из нескольких отдельных участков [2, 12, 13]. В районе

Хинганского заповедника проходит восточная граница участка ареала этого вида в Приамурье, также хомячок встречается на юге Еврейской Автономной области [1], а самый восточный «язык» ареала расположен заметно южнее и протягивается до оз. Ханка (рис. 2 / fig. 2). В сельскохозяйственных угодьях Зейско-Буринской равнины хомячок довольно обычен, но мало числен [3].



Рис. 1. Барабинский хомячок в естественном местообитании – сухом разнотравно-полынно-злаковом лугу с горноколосниками (*Orostachys* sp). Фото А.А. Кадетовой.
Fig. 1. The Chinese striped hamster (*Cricetulus barabensis*) in its natural habitat – dry grass-wormwood-grain meadow with *Orostachys* sp. Photo by A. Kadetova.

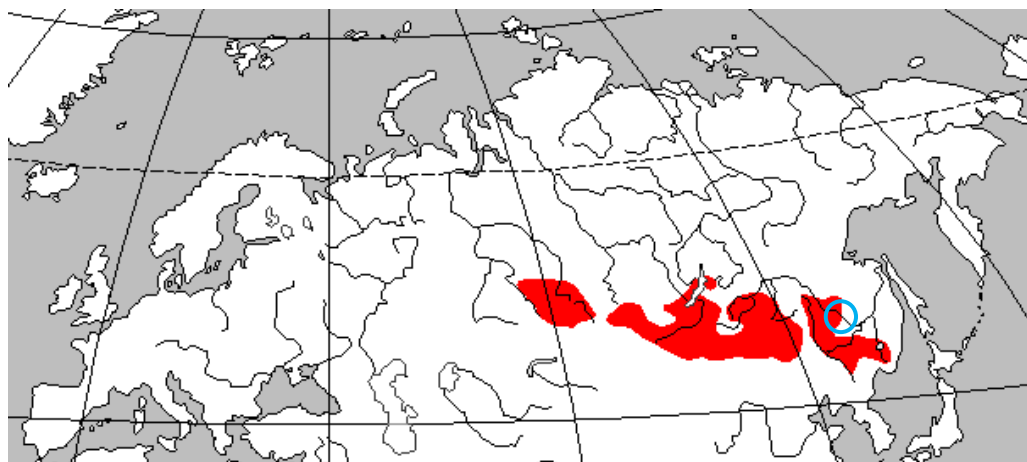


Рис. 2. Ареал барабинского хомячка (по: sevin.ru/vertebrates, 2019)*

*Примечание: Синим кружком обозначено положение Хинганского заповедника

Fig. 2. The Chinese striped hamster's range (according to: sevin.ru/vertebrates, 2019)*

*Note: The blue circle shows the Khingansky State Nature Reserve.

Хинганский заповедник расположен на юго-востоке Амурской области, занимает площадь 97,8 тыс. га и состоит из трёх лесничеств. Хинганское лесничество расположено на юго-западных отрогах Буринского хребта (высоты до 502 м над у.м.),

растительность преимущественно лесная, с лугами в долинах рек; здесь барабинский хомячок не обнаружен. Лебединское и Антоновское лесничества расположены на поймах и надпойменных террасах Амура и Буреи, их растительность луговая и болотная,

представлены луга различной степени увлажнения, доля сухих остепнённых лугов крайне мала. Сухие луга на прилегающих территориях в основном заняты сельскохозяйственными угодьями. На территории Хинганского заповедника, по данным «Летописей Природы» 1976-2005 гг. [8], отмечались единичные поимки хомячка на сухих разнотравных лугах Антоновского лесничества – западного равнинного участка заповедника.

Материалы и методы

Учёты численности мелких млекопитающих методом ловушко-линий проводятся в Хинганском заповеднике регулярно с 1982 г. Постоянные учётные линии охватывают наиболее распространённые местообитания. В 2006-2018 гг. проводились дополнительные исследования для наиболее полной характеристики населения мелких млекопитающих различных местообитаний – как фоновых, так и второстепенных, и редких, суммарный объём учётов составил более 10,1 тыс. ловушко-ночей [4], на некоторых участках исследования продолжены в последующие годы. В том числе были проведены учёты на сухих остепнённых лугах у южной границы Антоновского лесничества, где выявлена высокая численность барабинского хомячка (2008–2024 гг., за исключением 2023 г., суммарно 842 ловушко-ночи, 237 зверьков, включая 79 особей барабинского хомячка). Учёты проводились авторами преимущественно в августе.

Результаты и их обсуждение

Постоянные учётные линии Хинганского заповедника приурочены к наиболее типичным и распространённым местообитаниям. Для равнинных лесничеств это дубовые (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.) леса с лещиной (*Corylus heterophylla* Fisch. ex Trautv.) и/или леспедецей (*Lespedeza bicolor* Turcz.) на вытянутых повышениях (рёлках) и луга – влажные разнотравно-злаковые, иногда с зарослями ивы козьей (*Salix caprea* L.) («иволуга»). До 1990-х гг. барабинский хомячок не был обнаружен на территории заповедника, предполагались его заходы или обитание «по остепнённым рёлочным лугам». В 1980 г. один экземпляр был пойман на окраине соевых полей совхоза в 3 км от урочища «Цаплинское», у юго-западных границ Антоновского лесничества [3, 9]. Первое упоминание о поимке вида на территории заповедника относится к 2002 г.: «Пойман взрослый активный самец 6 июля 2002 г. на разнотравно-осоковом лугу в районе кордона Лебединого Лебединского лесничества (постоянная учётная линия мышевидных грызунов №6)» [10]. В следующем томе «Летописи...» [11] о барабинском хомячке сообщается: «Единичные особи отлавливались на разнотравных лугах в Лебединском и Антоновском лесничествах на постоянных учётных линиях», из таблиц Летописи следует, что в Антоновском лесничестве в 2003 г. поймано 7 зверьков – 4 самца и 3 самки, в Лебединском вид в 2003 г. не отмечен. В последующих томах «Летописи...» о барабинском хомячке «сведений не поступало».

Летом 2006 г. в Антоновском лесничестве выставлено несколько дополнительных ловушко-линий на левобережье р. Борзя в районе оз. Клёшенское в стороне от постоянной учётной линии. Постоянная линия расположена на разнотравно-осоково-злаковым кочкарном лугу с кустами ивы козьей, основу населения здесь составляют полевая мышь (*Apodemus agrarius*) и два морфологически сходных вида крупных серых полёвок

– большая и Максимовича (*Alexandromys fortis*, *A. maximowiczii*). На этой линии барабинского хомячка не отлавливали ни разу (по крайней мере, начиная с 2006 г.). Остепнённые луга в этой части заповедника отсутствуют, встречаются лишь небольшие сухие злаково-полынные и злаково-бобовые «островки» на микроповышениях среди злаково-разнотравных лугов. Именно в пределах этих «островков» поймано несколько хомячков, в том числе размножающиеся самки: в 2006 г. относительная численность составила 3,8 ос./100 л.-н. (особей / 100 ловушко-ночей), в 2007 г. – 0; в 2009 г. – 7,3 ос./100 л.-н.

Также хомячки отловлены на сухих злаково-полынных лугах и залежах у южной границы Лебединского лесничества (2011 г., 3,7–11,8 ос./100 л.-н.) и на соевых полях, обильно засорённых злаками и полынными, у пос. Архара (2011 г., 6,7 ос./100 л.-н.). В Лебединском лесничестве хомячки обнаружены менее чем в 3 км от берега Амура, в Антоновском – в 10-15 км. Наиболее удачная от Амура находка состоялась в окрестностях пос. Архара (35 км), находящегося в 2 км от берега р. Архары – притока Амура.

Оптимальные местообитания, где хомячки обитают постоянно и размножаются, обнаружены на сопредельной с Антоновским лесничеством территории – остепнённые полынно-келериевые, лапчатково-полынные с бобовыми луга на песчаных гривах в окрестностях оз. Долгое [5]. Мониторинг численности хомячка в этом местообитании проводится с 2008 г. (рис. 3, 4 / fig. 3, 4).

Максимальные показатели численности достигают 38–42 ос./100 л.-н. (2009 и 2018 гг.), минимальные – 1,5 в 2013 г. и 0 в 2016 г., когда депрессия численности наблюдалась у всех мышевидных грызунов. Отмечено, что хомячки предпочитают места с разреженным травяным покровом, между стеблями должны оставаться «проплешины», мест с густой высокой травой зверьки избегают. Густота и высота травостоя меняется по годам в зависимости от увлажнения и различных нарушений (рис. 5 / fig. 5).

Так, 2008 г. отличался сухой весной и засушливым летом; травяной покров на песчаных гривах в окрестностях оз. Долгое в июле-августе был разреженным, невысоким, обильны келерия (*Koeleria cristata* (L.) Pers.) и горноколосник (*Orostachys malacophylla* (Pall.) Fisch.). Депрессия численности наблюдалась у всех грызунов по всей территории Антоновского лесничества, за исключением хомячка в этом местообитании: численность вида здесь составляла 13,3 ос./100 л.-н., в среднем по лесничеству – 2,6, средняя численность всех остальных видов – 3,4 ос./100 л.-н. (из 30 особей 13 – барабинские хомячки). Молодой самец хомячка – вероятно, расселяющаяся особь – отловлен в июле 2008 г. на влажном разнотравно-вейниковом лугу у р. Джонгуль на юго-востоке Антоновского лесничества; воды между кочками не было, в отличие от лет с обычным увлажнением.

В прилегающем к этим лугам рёлочном дубовом с липой (*Tilia amurensis* Rupr.) кустарниковом разнотравно-осоковом лесу в 2010 г. отловлен молодой самец хомячка (5,9 ос./100 л.-н.), однако за 10 лет учётов на этой линии это единственный случай.

Отмечено, что численность хомячков была ниже во влажные годы, когда луга густо зарастали травой (участие келерии и полыней было меньше обычного, горноколосник отсутствовал). Для поиска коррелятивных

связей использованы данные метеостанции пос. Ар-хара о температуре воздуха и количестве осадков и показатели относительной численности барабинского хомячка и фоновых видов (восточноазиатская и полевая мыши, красная полёвка, полёвки большая и Максимовича). Среди всех рассмотренных видов у барабинского хомячка выявлена наиболее зна-

чительная отрицательная корреляция численности с количеством осадков – $-0,49$ с суммой летних осадков, $-0,43$ с годовой суммой осадков, $-0,52$ с количеством осадков в мае. Положительные значения коэффициентов получены для температур весны ($0,29$) и июня ($0,23$), для температур июля-августа – отрицательный коэффициент ($-0,40$).

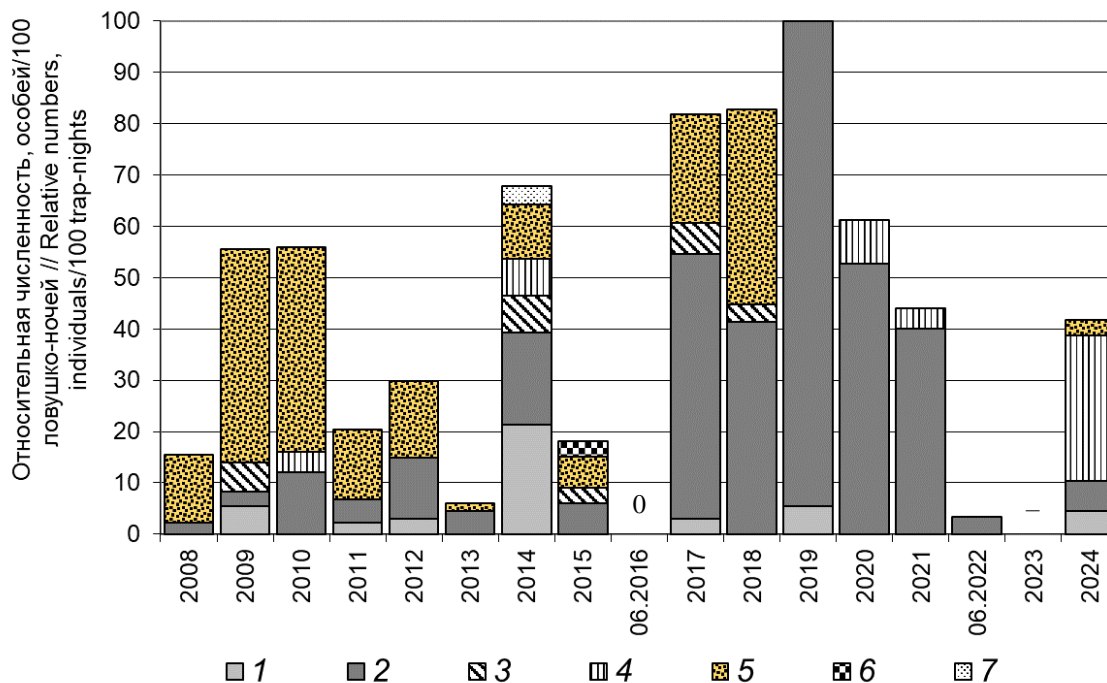


Рис. 3. Численность мелких млекопитающих на сухом лугу (ловушко-линия №15) в 2008–2024 гг.

Виды: 1 – восточноазиатская мышь (*Apodemus peninsulae*), 2 – полевая мышь (*Apodemus agrarius*), 3 – красная полёвка (*Myodes rutilus*), 4 – полёвки большая и Максимовича (*Alexandromys maximowiczii* + *A. fortis*), 5 – барабинский хомячок (*Cricetulus barabensis*), 6 – бурундук (*Tamias sibiricus*), 7 – тундрная бурозубка (*Sorex tundrensis*)

Fig. 3. Small mammals's abundance in the dry meadow (trap-line 15) in 2008-2024.

Species: 1 – *Apodemus peninsulae*, 2 – *Apodemus agrarius*, 3 – *Myodes rutilus*, 4 – *Alexandromys maximowiczii* + *A. fortis*, 5 – *Cricetulus barabensis*, 6 – *Tamias sibiricus*, 7 – *Sorex tundrensis*.

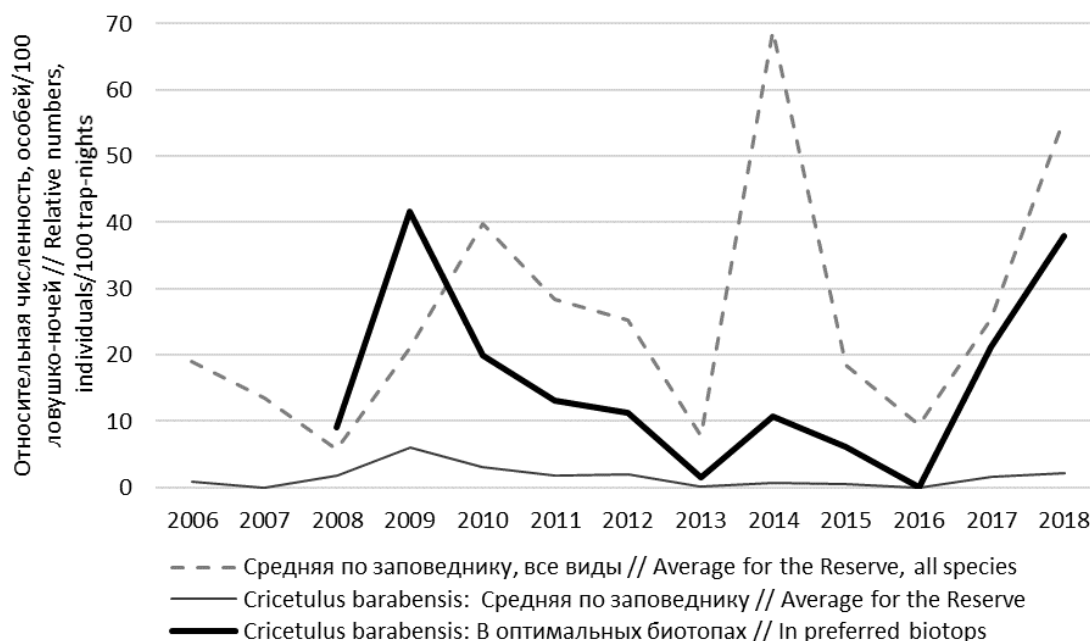


Рис. 4. Динамика численности барабинского хомячка в Хинганском заповеднике в 2006–2018 гг.

Fig. 4. The Chinese striped hamster's population dynamics in the Khingansky Nature Reserve in 2006-2018.

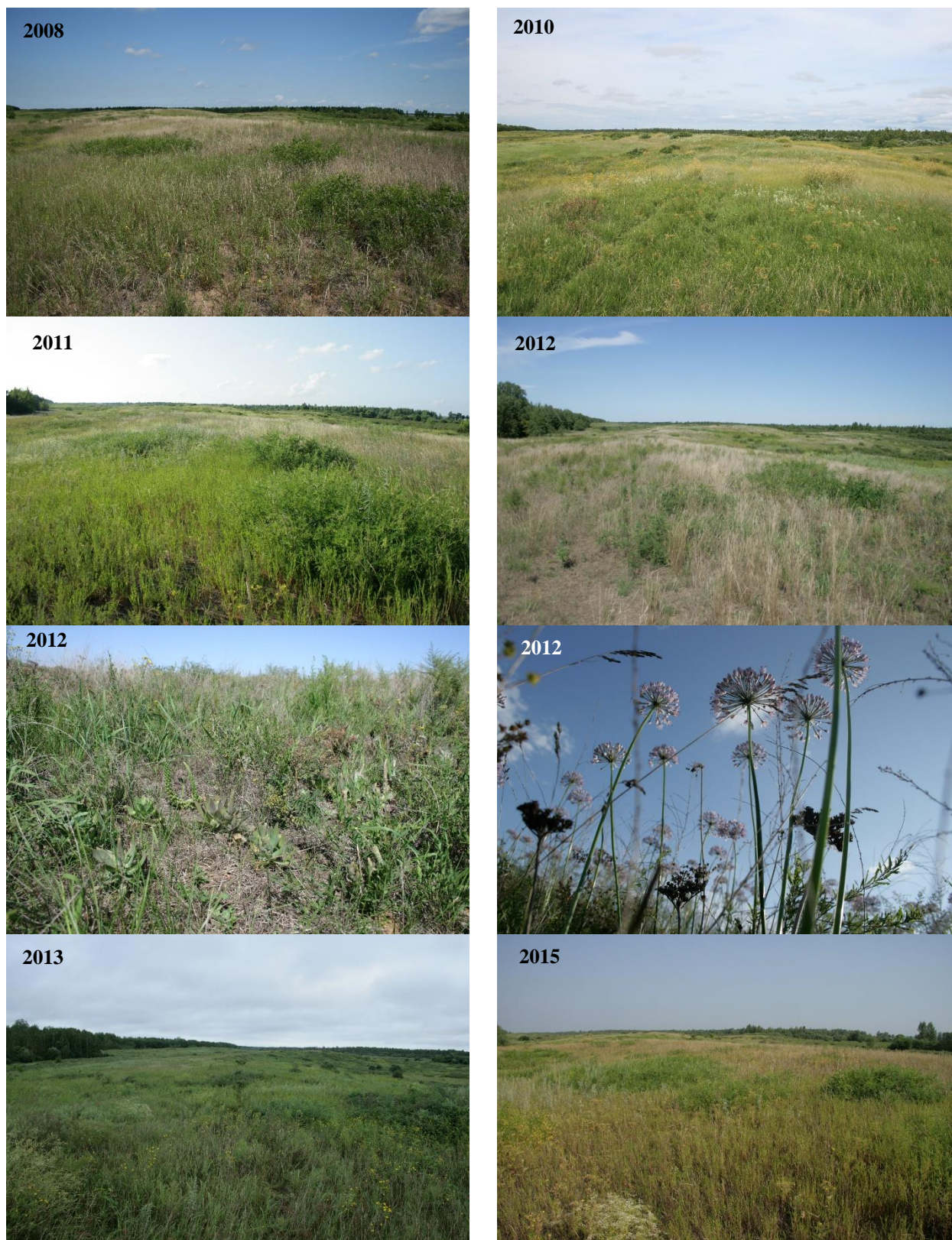


Рис. 5. Оптимальные местообитания барабинского хомячка – остепнённые полынно-келериевые, лапчатково-полынные с бобовыми луга на песчаных гривах в окрестностях оз. Долгое в 2008–2015 гг.

Fig. 5. The Chinese striped hamster's optimal habitat – steppe-like meadows (with *Artemisia* species, *Koeleria* sp and other grains, *Potentilla* sp, and leguminose plants) on sandy ridges next to Dolgoe lake in 2008-2015.

В 2016 г. луг был распахан и засеян соей (рис. 6 / fig. 6), при этом был уничтожен накопившийся за 3-4 года войлок из старой травы (ранее войлок уничтожался периодическими пожарами), в результате образовался сухой соево-злаково-полынный «луг» с обширными участками открытого песка между стеблями растений – и в 2017 и 2018 гг. наблюдался рост числен-

ности хомячка, а также взрывной рост численности полевой мыши (рис. 3 / fig. 3). В 2017 г. в травостое преобладали полыни (высота 120-180 см), в 2018 г. среди полыни стали заметны полосы сои (30-40% площади), высота травостоя 40-70 см, по понижениям более густые и высокие заросли.

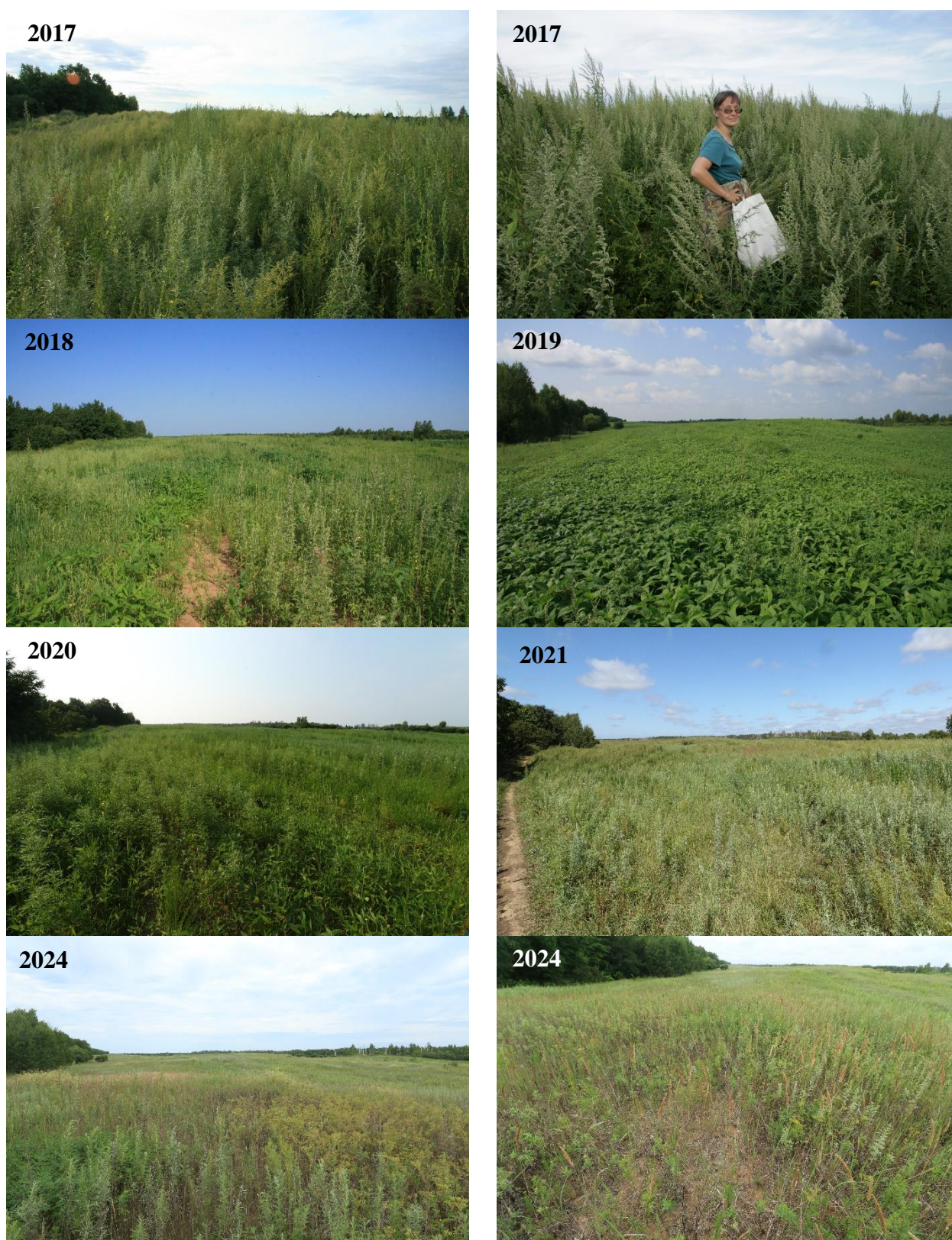


Рис. 6. Остепнённые луга (рис. 5) после распашки (2016 г.) и посадок сои (2017–2020 гг.), залежи на их месте в 2021–2024 гг.

Fig. 6. Steppe-like meadows (see fig. 5) after plowing (2016) and planting soybeans (2017–2020), and fallows on their place in 2021–2024.

В 2019 году в травостое преобладала соя, злаков и полыни меньше, чем в предыдущие годы, горноколосника нет. В населении абсолютно преобладает полевая мышь, в этот год наблюдается пик численности вида,

на сухих лугах и залежах – свыше 80 ос./100 л.-н. Хомячки не отмечены, как и в следующие три года. Неизвестно, в какие сроки и на какую глубину проводилась вспашка, то есть могло ли это повлиять на зимующих

хомячков. В 2020 г. преобладают соя, злаки и полынь, горноколосника нет (есть на дороге вдоль поля).

К 2021 г. арендаторы перестали пахать и засеивать эти холмы соей, которая быстро выпала из состава травостоя, а высокорослые сорные виды (преимущественно полыни) остались. В 2023 г. учёты не проводились.

В 2024 г. местами чувствовались борозды, на повышениях – плоский песок с разреженным, неравномерно распределённым травостоем (проективное покрытие 40-70%), единичные экземпляры горноколосника. В понижениях более густой и высокий травостой (полынь, злаки, ПП 80-100%). Впервые с 2018 г. стандартным методом учётов обнаружено присутствие барабинского хомячка – 3,0 ос./100 л.-н., 7,1% улова; ювенильные самец и самка пойманы на участках с разреженным травостоем. Основу населения составляли полёвки большая и Максимовича – летом 2024 г. наблюдался пик их численности; эти виды, наоборот, отлавливались на участках с наиболее густым травостоем.

Остаётся открытым вопрос, оставались ли барабинские хомячки на этих распаханых лугах в 2019-2022 гг., но с крайне низкой численностью, не выявляемой во время учётов, или же вернулись сюда из какого-либо рефугиума.

Заключение

Барабинский хомячок на юго-востоке Амурской области – немногочисленный, можно сказать, редкий вид со спорадическим распространением на границе ареала, высокой численности достигает только в редких растительных сообществах – остепнённых лугах. Вид не внесён в Красную книгу Амурской области [6] или Красные книги соседних регионов и, вероятно, не нуждается в особой охране, помимо природных сообществ населения сельскохозяйственные угодья. Однако актуальных сведений о распространении барабинского хомячка в Амурской области и численности его в различных местообитаниях, включая поля, нет. Неясно, насколько распространено и стабильно обитание барабинских хомячков на возделываемых полях. При этом занимаемые видом природные местообитания явно представляют собой редкие избежавшие распахки места с наличием степных видов как животных, так и растений.

Наши наблюдения за барабинским хомячком в Хинганском заповеднике и его окрестностях позволили выявить оптимальные местообитания вида, а также проследить изменения в численности, связанные с распахкой и вторичной сукцессией, начавшейся после забрасывания пашни.

Сведения об авторском вкладе

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

Ю.А. Мельникова – проведение учётов с 2012 г.

Contribution of the authors

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

Yu.A. Melnikova – trapping since 2012.

Список источников

1. Беляева Н.С. Мышевидные грызуны южной части Хабаровского края и динамика их численности //

Вопросы географии Дальнего Востока. Сб. 7. Хабаровск, 1965. С. 252-267.

2. Громов И.М., Ербаева М.А. Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий. Зайцеобразные и грызуны. СПб.: ЗИН РАН, 1995. 526 с.

3. Дарман Ю.А. Млекопитающие Хинганского заповедника. Благовещенск: АмурКНИИ ДВО РАН СССР, 1990. 164 с.

4. Кадетова А.А. Разнообразие населения мелких млекопитающих Хинганского заповедника и прилегающих территорий // Географический вестник. 2019. № 4(51). С. 129-143. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2019-4-129-143>

5. Кадетова А.А., Погорелов П.Б. Барабинский хомячок (*Cricetulus barabensis* Pallas, 1773) в Хинганском заповеднике // Териофауна России и сопредельных территорий: материалы международного совещания (IX Съезд Териологического общества при РАН). М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2011. С. 191.

6. Красная книга Амурской области: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. Благовещенск: Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2019. 499 с.

7. Кучерук В.В. Степной фаунистический комплекс млекопитающих и его место в фауне Палеарктики // География населения наземных животных и методы его изучения / под ред. А.Н. Формозова. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 45-87.

8. Летопись природы Хинганского ГПЗ. Т. 1-29. Архара, 1976-2005.

9. Летопись природы Хинганского ГПЗ. Т. 5. Архара, 1980. 96 с.

10. Летопись природы Хинганского ГПЗ. Т. 27. Архара, 2003. 73 с.

11. Летопись природы Хинганского ГПЗ. Т. 28. Архара, 2004. С. 71-89.

12. Наземные млекопитающие Дальнего Востока СССР / под ред. В.Г. Кривошеева. М.: Наука, 1984. 358 с.

13. Zhang Y., Li W., Chen L. Distribution of Mammalian Species in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 1997. 280 p.

References

1. Belyayeva, N., 1965. Myshevidnyye gryzuny yuzhnoy chasti Khabarovskogo kraia i dinamika ikh chislenosti [Mouse-like rodents of the southern part of Khabarovsk Krai and the dynamics of their numbers]. *Voprosy geografii Dal'nego Vostoka*. Collection 7. Khabarovsk, pp. 252-267. (in Russian)

2. Gromov, I. and Yerbayeva, M., 1995. *Mlekopitayushchiye fauny Rossii i sopredel'nykh territoriy. Zaytseobraznyye i gryzuny* [Mammals of the fauna of Russia and adjacent territories. Lagomorphs and rodents.]. St. Petersburg, ZIN RAS. 526 p. (in Russian)

3. Darman, Yu., 1990. *Mlekopitayushchiye Khinganskogo zapovednika* [Mammals of the Khingansky Reserve]. Blagoveshchensk, AmurKNII FEB RAS USSR. 164 p. (in Russian)

4. Kadetova, A., 2019. The diversity of small mammal population of The Khingansky state nature reserve and the adjacent territories. *Geographical bulletin*, 4(51), pp. 129-143. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2019-4-129-143> (in Russian)

5. Kadetova, A. and Pogorelov, P., 2011. *Barabinskiy khomyachok (Cricetulus barabensis Pallas, 1773) v Khinganskoy zapovednike [Barabinsk hamster (Cricetulus barabensis Pallas, 1773) in the Khingan Reserve]. In: The-riofauna of Russia and adjacent territories: Proceedings of the international meeting (IX Congress of the Theriological Society of the Russian Academy of Sciences). Moscow, Partnership of scientific publications KMK, 2011. 191 p. (in Russian)*
6. *Krasnaya kniga Amurskoy oblasti: Redkiye i nakhodyashchiyesya pod ugrozoy ischeznoeniya vidy zhivotnykh, rasteniy i gribov [The Red Book of the Amur Region: Rare and Endangered Species of Animals, Plants, and Fungi]. Blagoveshchensk: Izdatel'stvo Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2019. 499 p. (in Russian)*
7. Kucheruk, V., 1959. Stepnoy faunisticheskiy kompleks mlekopitayushchikh i yego mesto v faune Palearktiki [Steppe faunistic complex of mammals and its place in the fauna of the Palearctic]. In: Formozov, A. (ed.) *Geografiya naseleniya nazemnykh zhivotnykh i metody yego izucheniya [Geography of the population of terrestrial animals and methods of its study]. Moscow, Russia, Izd-vo AN SSSR. pp. 45-87. (in Russian)*
8. *Letopis' prirody Khinganskogo GPZ [Chronicle of Nature of the Khingan State Reserve]. Vol. 1-29. Arkhara, 1976-2005. (in Russian)*
9. *Letopis' prirody Khinganskogo GPZ [Chronicle of Nature of the Khingan State Reserve]. Vol. 5. Arkhara, 1980. 96 p. (in Russian)*
10. *Letopis' prirody Khinganskogo GPZ [Chronicle of Nature of the Khingan State Reserve]. Vol. 27. Arkhara, 2003. 73 p. (in Russian)*
11. *Letopis' prirody Khinganskogo GPZ [Chronicle of Nature of the Khingan State Reserve]. Vol. 28. Arkhara, 2004. pp. 71-89. (in Russian)*
12. Krivosheyev, V. (ed.), 1984. *Nazemnyye mlekopitayushchiye Dal'nego Vostoka SSSR [Land mammals of the USSR Far East]. Moscow, Nauka. 358 p. (in Russian)*
13. Zhang, Y., Li, W. and Chen, L., 1997. *Distribution of Mammalian Species in China*. Beijing, China Forestry Publishing House. 280 p.

Статья поступила в редакцию 22.04.2025; одобрена после рецензирования 07.05.2025; принята к публикации 16.05.2025.

The article was submitted 22.04.2025; approved after reviewing 07.05.2025; accepted for publication 16.05.2025.

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 504.062.2

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-14-22>

EDN HGMSJU

Шумовое загрязнение на участках водно-зеленого каркаса г. Перми и г. Казани

Алексей Дмитриевич Сулимов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

sulimovalesha@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена изучению концепции водно-зеленого каркаса как инструмента интеграции природной среды в городское пространство. Проведено сравнительное исследование шумового загрязнения в различных зонах водно-зеленого каркаса городов Пермь и Казань. В Перми уровень шума в зоне главного водотока варьируется от 59,2 дБ в историческом ядре, до 66,7 дБ в зоне, соседствующей с историческим центром, тогда как в зоне притока главного водотока он снижается до 46,7-59,3 дБ. В Казани показатели шума несколько выше в зоне притока: от 54,5 дБ в историческом ядре, до 64,5 дБ на прилегающей территории, тогда как в зоне главного водотока шум колеблется от 48,5 дБ во внешних зонах, до 62,7 дБ в центре. Результаты исследования подчеркивают влияние архитектурно-планировочных решений и природных характеристик на шумовое состояние городских территорий. Зеленые насаждения в составе водно-зеленого каркаса позволяют снизить уровень шума на 10-15%, что, однако, не всегда обеспечивает выполнение нормативных требований. Перспективными мерами являются формирование многоярусных озелененных «экранов», использование видов растений с высокой шумопоглощающей способностью, а также учет рельефа и планировки территорий. Опыт Перми и Казани может быть адаптирован для применения в других крупных городах с целью снижения шумового воздействия и улучшения экологической обстановки.

Ключевые слова: водно-зеленый каркас, урбанизация, шумовое загрязнение, городская экология, антропогенная трансформация, Пермь, Казань, городское планирование, шумовое загрязнение, устойчивое развитие городов

Для цитирования: Сулимов Д.А. Шумовое загрязнение на участках водно-зеленого каркаса г. Перми и г. Казани // Антропогенная трансформация природной среды. 2025. Т. 11. № 1. С. 14–22. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-14-22>. EDN HGMSJU.

Original Paper

Noise pollution in the areas of the water-green framework of Perm and Kazan

Alexey D. Sulimov

Perm State University, Perm, Russia

sulimovalesha@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the study of the concept of a water-green framework as a tool for integrating the natural environment into urban space. A comparative study of noise pollution in various zones of the water-green framework of the cities of Perm and Kazan has been conducted. In Perm, the noise level in the main watercourse area varies from 59,2 dB in the historical core to 66,7 dB in the area adjacent to the historical center, while in the tributary area of the main watercourse it decreases to 46,7-59,3 dB. In Kazan, noise levels are slightly higher in the inflow zone: from 54,5 dB in the historical core to 64,5 dB in the adjacent area, while in the main watercourse area, noise ranges from 48,5 dB in the outer zones to 62,7 dB in the center. The results of the study emphasize the influence of architectural planning solutions and natural characteristics on the noise state of urban areas. Green spaces as part of a water-green framework can reduce noise levels by 10-15%, which, however, does not always ensure compliance with regulatory requirements. Promising measures include the formation of multi-tiered landscaped "screens", the use of plant species with high noise-absorbing capacity, as well as consideration of relief and layout of territories. The experience of Perm and Kazan can be adapted for use in other large cities in order to reduce noise exposure and improve the environmental situation.

Keywords: water-green framework, urbanization, noise pollution, urban ecology, anthropogenic transformation, Perm, Kazan, urban planning, noise pollution, sustainable urban development

For citation: Sulimov, A., 2025. Noise pollution in the areas of the water-green framework of Perm and Kazan. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 11(1), pp. 14-22. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-14-22>. EDN HGMSJU. (in Russian)

Введение

Водно-зеленый каркас города представляет собой пример трансформации природной среды в урбанистических условиях. Этот комплексный подход к интеграции зеленых насаждений и водных объектов в городскую среду демонстрирует стремление человека адаптировать и оптимизировать природные элементы для улучшения качества жизни в городах.

В процессе создания водно-зеленого каркаса происходит существенное преобразование исходного ландшафта. Естественные зеленые зоны и водоемы модифицируются, дополняются искусственными элементами и интегрируются в городскую инфраструктуру. Зеленые коридоры, часто создаваемые на месте бывших промышленных территорий или заброшенных участков, становятся новыми экологическими артериями города. Пешеходные и велосипедные тропы прокладываются с учетом природных особенностей местности, но при этом значительно меняют исходный рельеф.

Трансформация природной среды особенно заметна в создании искусственных водоемов, фонтанов и прудов, которые зачастую размещаются там, где ранее не было естественных водных объектов.

Города Пермь и Казань, формируя свои водно-зеленые каркасы, демонстрируют различные подходы к трансформации природной среды, учитывая местные географические и климатические особенности. Исследование шумового загрязнения в различных зонах водно-зеленого каркаса этих городов показывает, как антропогенное вмешательство влияет на шумовое загрязнение территорий.

Целью работы является оценка уровня шумового загрязнения в различных зонах водно-зеленого каркаса городов Пермь и Казань.

Задачи:

1. Рассмотреть изученность вопроса исследования.
2. Провести замеры уровня шума в выбранных точках водно-зеленого каркаса обоих городов.
3. Сравнить полученные данные с эталонными показателями.

Изучение уровня шума на территориях водно-зеленых территориях становится неотъемлемым компонентом улучшения городской среды и обеспечения комфортного проживания в городах.

Актуальность обусловлена тем, что в современных условиях шумовое загрязнение признаётся одним из наиболее значимых факторов техногенного воздействия на окружающую среду и здоровье человека, особенно в урбанизированных районах [16]. Население городов систематически подвергается воздействию повышенных уровней шума, что негативно сказывается на качестве жизни. В связи с этим исследование проблемы шумового загрязнения направлено на выявление и оценку уровней шумового воздействия на наиболее загруженных территориях, разработку шумовых карт и формирование комплекса мероприятий, ориентированных на снижение шумового загрязнения и его вредного влияния на окружающую среду и здоровье населения [16].

Загрязнение окружающей среды шумом является опасным фактором в урбанизированных территориях. Оно характеризуется повышенным уровнем звуков и изменением их характеристик, таких как периодичность и сила. Шумовой дискомфорт обусловлен аперiodическими звуками различной интенсивности и частоты. Естественные звуки природы не вызывают негативной реакции у людей. Воздействие шумового загрязнения приводит к нарушению информационных связей, что негативно сказывается на эффективности и безопасности жизнедеятельности человека. Шум также увеличивает утомляемость, риск потери слуха и вероятность развития сердечно-сосудистых заболеваний, что влияет на продолжительность жизни жителей городов. Основной источник шумового загрязнения в городах – транспортные средства, включая автомобили, рельсовый транспорт и самолеты. Вклад наземного транспорта в общий уровень шума населенных пунктов составляет до 80%. Г.Т. Армишева и А.А. Бутузова считают, что ситуация в городе требует применения шумозащитных мероприятий, что в свою очередь связано с комплексным территориальным планированием и управлением специализированных функциональных органов, в зонах с высоким уровнем шума от транспорта [1]. Важно проводить мониторинг уровня шума на территориях, где автомобильные дороги примыкают к жилым зонам, больницам, детским учреждениям. Это позволит выявить проблемные зоны с превышением нормативных уровней звука. В настоящее время применяются различные способы защиты городских территорий от транспортного шума (рис. 1 / fig. 1).

Авторы приводят следующие рекомендации: важную роль играют конструктивные особенности автомобилей, такие как электродвигатели и солнечные батареи, которые снижают уровень шума. Также можно использовать автотормоза с низким уровнем шума и заменить шумные покрышки на более качественные материалы. Замена асфальта на специальное покрытие с высокой пористостью или использование акустических экранов также помогут снизить уровень шума. Эти мероприятия не только улучшат качество жизни и здоровье людей, но и обеспечат защиту от загрязнений.

Шумовое загрязнение оказывает негативное воздействие на здоровье человека и состояние окружающей среды. Зеленые насаждения являются эффективным средством борьбы с шумом благодаря их способности поглощать, рассеивать и отражать звуковые волны. Наибольшую эффективность показывают многоярусные посадки с плотными кронами и подъярусами кустарников, а также хвойные породы, такие как сосна и ель [6]. Лиственные деревья, особенно широколиственные, также обладают значительными шумозащитными характеристиками. Для максимального эффекта рекомендуется использовать плотные линейные насаждения и избегать продольных разрывов, которые снижают звукоизолирующую способность. Кроме защиты от шума, растения улучшают микроклимат, поглощают пыль и вредные вещества, что делает их незаменимыми в городской среде [6].

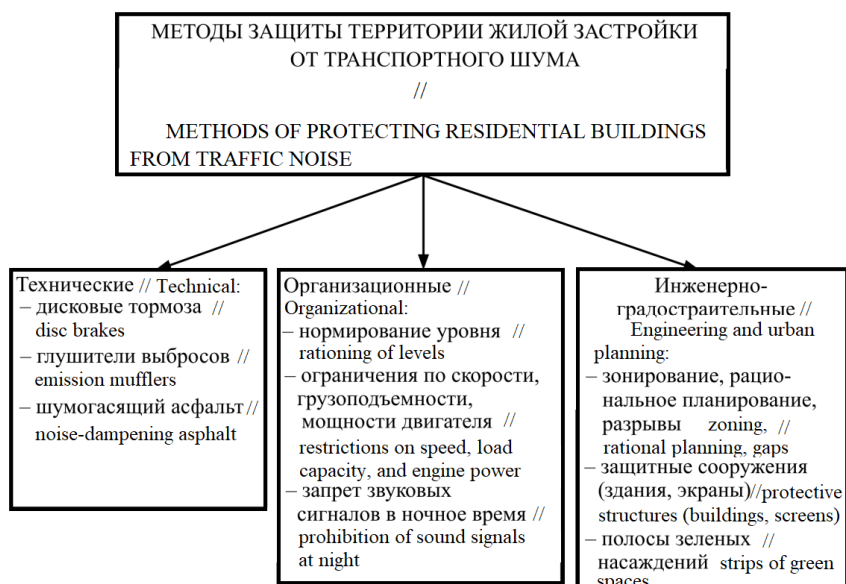


Рис. 1. Современные методы защиты территории жилой застройки от транспортного шума [1]

Fig. 1. Modern methods of protecting the territory of residential development from traffic noise [1]

В условиях урбанизации и роста транспортных потоков шумовое загрязнение становится значимой экологической и социальной проблемой современных городов. В табл. 1 / tab. 1, на основе анализа опубликованных ранее работ [2–5, 7–12, 14–15, 20], представлены данные о уровнях шумовой нагрузки в несколь-

ких российских городах, а также перечислены предложенные меры по минимизации воздействия шума на окружающую среду и здоровье человека. Приведенные примеры включают использование зеленых насаждений, установку шумозащитных экранов, оптимизацию транспортной и городской инфраструктуры.

Таблица 1

Уровни шумового загрязнения в российских городах и меры по его снижению

Table 1

Noise pollution levels in Russian cities and measures to reduce it

Город // City	Средний уровень шума, дБ // Average noise level, dB	Максимальный уровень шума, дБ // Maximum noise level, dB	Рекомендуемые меры снижения уровня шума // Recommended noise reduction measures
Санкт-Петербург // Saint-Petersburg [9]	61-65	77	Снижение транспортного потока, строительство объездных дорог, вывод промышленных предприятий из центральных районов // Reduction of traffic flow, construction of bypass roads, withdrawal of industrial enterprises from central areas
Краснодар // Krasnodar [3]	Нет данных // No data available	85	Применение шумозащитных экранов, регулярный мониторинг шума, создание зеленых зон // The use of noise barriers, regular noise monitoring, and the creation of green areas
Муром // Murom [20]	Нет данных // No data available	Нет данных // No data available	Разгрузка транспортных потоков, рациональное проектирование застройки, мероприятия по озеленению // Unloading of traffic flows, rational design of buildings, landscaping measures
Рязань // Ryazan [8]	49,4-60,7	70	Регулярный контроль акустического режима зеленых зон, пересмотр нормативов с учетом утренних часов выходного дня, создание дополнительного озеленения // Regular monitoring of the acoustic regime of green areas, revision of standards taking into account the morning hours of the weekend, creation of additional landscaping
Иркутск // Irkutsk [14]	Деревья и кустарники снижают уровень шума, в среднем, на 9,7 дБА // Trees and shrubs reduce noise levels by an average of 9.7 dBA	Нет данных // No data available	Улучшение состояния зеленых насаждений вдоль дорог, проведение комплекса мероприятий для борьбы с шумом. Созданию многорядных полос деревьев и кустарников // Improving the condition of green spaces along the roads, carrying out a set of measures to combat noise. Creating multi-row strips of trees and shrubs
Новочеркасск // Novocherkassk [7]	Нет данных // No data available	Нет данных // No data available	Создание многорядных зеленых насаждений, включающих хвойные и лиственные виды, расширение буферных зон между жилыми и промышленными территориями // Creation of multi-row green spaces, including coniferous and deciduous species, expansion of buffer zones between residential and industrial areas
Новосибирск // Novosibirsk [12]	Нет данных // No data available	81	Расширение зеленых насаждений вдоль магистралей, особенно в районах с высокой транспортной нагрузкой // Expansion of green spaces along highways, especially in areas with high traffic load
Минусинск // Minusinsk [11]	Нет данных // No data available	Нет данных // No data available	Использование древесных насаждений, таких как тополь, вяз, береза и сосна, для создания «зеленых экранов» // The use of tree stands such as poplar, elm, birch and pine to create «green screens»

Город // City	Средний уровень шума, дБ // Average noise level, dB	Максимальный уровень шума, дБ // Maximum noise level, dB	Рекомендуемые меры снижения уровня шума // Recommended noise reduction measures
Астрахань // Astrakhan [15]	Нет данных // No data available	78	Разгрузка транспортных потоков, строительство обходных дорог, установка шумозащитных экранов // Unloading of traffic flows, construction of bypass roads, installation of noise barriers
Симферополь // Simferopol [2]	35-75	Нет данных // No data available	Оптимизация городской застройки, улучшение транспортной инфраструктуры и озеленения // Optimization of urban development, improvement of transport infrastructure and landscaping
Дубна // Dubna [10]	Нет данных // No data available	85	Комплексное применение зеленых насаждений, шумозащитных экранов и организационных мероприятий // Comprehensive application of green spaces, noise barriers and organizational measures
Ростов-на-Дону // Rostov-on-Don [4]	75	100	Улучшение транспортной инфраструктуры, ограничение движения, озеленение (двухъярусная система с густыми кронами и кустарниками) // Improvement of transport infrastructure, restriction of traffic, landscaping (two-tier system with dense crowns and shrubs)
Уфа // Ufa [5]	65	95	Создание смешанных насаждений (несколько ярусов) для повышения шумозащиты, соблюдение проектных норм (СНИПы), увеличение ширины и плотности насаждений // Creation of mixed plantings (several tiers) to increase noise protection, compliance with design standards (SNIPs), increasing the width and density of plantings

Анализ данных показывает, что уровень шумового загрязнения в городах варьируется в зависимости от уровня урбанизации, интенсивности транспортных потоков и существующей инфраструктуры. Наиболее эффективными методами снижения звуковых нагрузок являются озеленение городской территории, применение искусственных шумозащитных экранов и организационные меры, такие как разгрузка дорожных магистралей. Это подчеркивает необходимость комплексного подхода к проблеме шумозагрязнения, учитывающего территориальные особенности городов.

Материалы и методика исследования

В рамках исследования водно-зеленый каркас рассматривался как часть пешеходно-променадного [13] пространства городов. На основе критериев благоприятной среды для человека был выделен важный параметр – отсутствие шумового загрязнения, который считается ключевым показателем комфорта.

Следуя методике Е.Н. Перчика [17], были определены три территории основного водотока и его притоков, являющиеся актуальными точками пешеходно-променадного каркаса [13] в трех зонах города (рис. 2 / fig. 2): историческое ядро, зона, примыкающая к историческому ядру, и внешняя зона.

Результаты

Проведение замеров шумовой обстановки на каждой из этих территорий и сравнение их с нормативным значением позволило оценить уровень комфортности данных мест [18] (табл. 2 / tab. 2). Такой подход к исследованию водно-зеленого каркаса позволяет получить комплексное представление о его роли в формировании комфортной городской среды и выявить потенциальные направления для улучшения качества жизни горожан.

В Перми уровень шума в зоне главного водотока варьируется от 59,2 дБ в историческом ядре, до 66,7 дБ в зоне, примыкающей к историческому ядру. В зоне притока главного водотока показатели ниже: от 46,7 дБ в историческом ядре, до 59,3 дБ в зоне, примыкающей к историческому ядру.

В Казани наблюдается несколько иная картина. В зоне главного водотока уровень шума колеблется от 48,46 дБ во внешней зоне, до 62,7 дБ в историческом ядре. В зоне притока главного водотока показатели варьируются от 54,5 дБ в историческом ядре, до 64,5 дБ в зоне, примыкающей к историческому ядру.

Обсуждение

В результате проведенного исследования были выявлены существенные различия в уровнях шумового загрязнения городских территорий Перми и Казани, что свидетельствует о значительной антропогенной трансформации природной среды в обоих городах. Однако, несмотря на общую тенденцию к превышению нормативного показателя в 55 дБ, наблюдаются интересные особенности, связанные с архитектурно-планировочными решениями и природными характеристиками городов.

Архитектурно-планировочные решения Казани демонстрируют определенную эффективность в снижении уровня шума. Это подтверждается тем, что в некоторых зонах, таких как внешняя зона главного водотока и историческое ядро притока, шумовые показатели находятся в пределах нормы. Однако, несмотря на положительное влияние этих решений, проблема шумового загрязнения в Казани остается актуальной, особенно в зонах, прилегающих к историческому ядру главного водотока и притока.

Специфика Перми, характеризующаяся изрезанностью территории долинами рек, играет значительную роль в формировании шумовой обстановки города. Исследование подтвердило, что в некоторых зонах, особенно во внешней зоне притока и историческом ядре притока, шумовые показатели находятся в пределах нормы. Это подчеркивает важность интеграции геоморфологических особенностей в городское планирование и необходимость сохранения и улучшения этих территорий для поддержания благоприятного акустического климата.

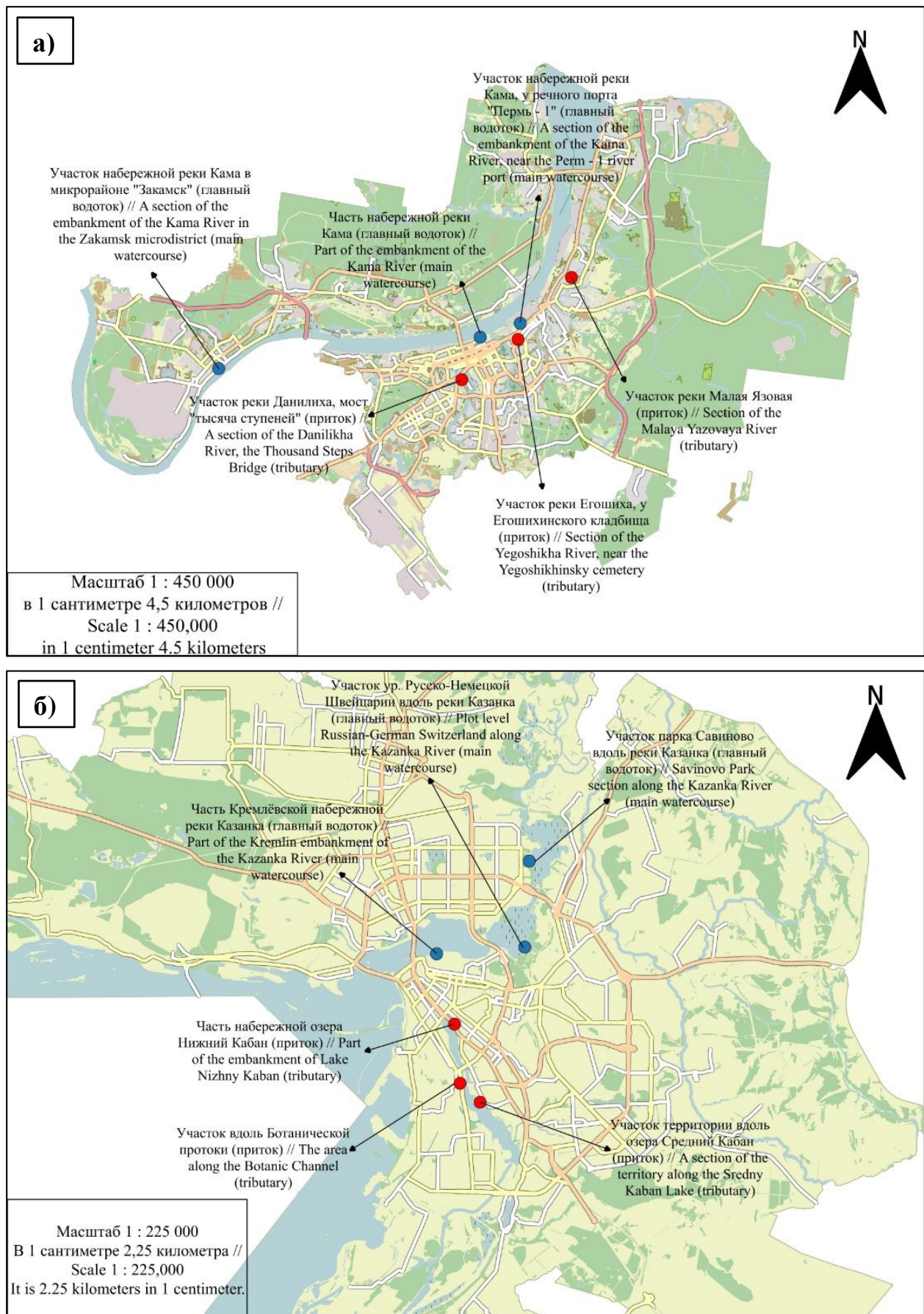


Рис. 2. Расположение участков исследования в: а) г. Перми; б) г. Казани*

Fig. 2. Location of research areas in: а) Perm; б) Kazan*

*Примечание: Синие точки – участки вдоль главного водотока. Красные точки – участки вдоль притока главного водотока.

*Note: The blue dots – areas along the main watercourse. Red dots – areas along the tributary of the main watercourse.

Таблица 2

Уровень шума на участках водно-зеленого каркаса в г. Перми и г. Казани

Table 2

Noise level in areas of the water-green framework in Perm and Kazan

Часть водотока // Part of the river	Зоны города по Е.Н. Перцику // City zones according to E.N. Pertsik [16]	Уровень шума, дБ // Noise level, dB	
		Пермь // Perm	Казань // Kazan
Главный водоток // Main river	Зона, примыкающая к историческому ядру // The area adjacent to the historical core	66,7	60,2
	Внешняя зона // The outer zone	62,0	48,5
	Историческое ядро // The historical core	59,2	62,7
Приток главного водотока // Tributary of the main river	Зона, примыкающая к историческому ядру // The area adjacent to the historical core	59,2	64,5
	Внешняя зона // The outer zone	54,0	61,2
	Историческое ядро // The historical core	46,7	54,5
Нормативный показатель // The permissible level [18]		55,0	

Результаты исследования также показывают, что на территориях, расположенных у магистральных направлений автодорог, практически невозможно достичь комфортного шумового показателя. Это наблюдается в обоих городах, где зоны, примыкающие к историческому ядру главного водотока, характеризуются наиболее высокими уровнями шума. С другой стороны, шумовая нагрузка на территории, расположенные вблизи больших зеленых массивов, оказывается в пределах нормы. Это подтверждает важность сохранения и расширения зеленых зон в городской среде, как эффективного средства борьбы с шумовым загрязнением. Особый интерес представляют территории, расположенные во врезках земной поверхности, где шумовые показатели приближаются к нормативным значениям. Это наблюдение подчеркивает потенциал использования рельефа для создания комфортной шумовой обстановки зон в городской среде.

В нашей более ранней публикации [19] использовалось мобильное приложение для измерения уровня шумового загрязнения на набережных городов Казани и Перми. Главная задача данной работы заключалась в анализе текущего уровня шумовой обстановки и её сравнении с действующими стандартами. В ходе работы была разработана методология, основанная на измерениях, проведенных в густонаселенных точках набережных, где фиксировались минимальные, максимальные и средние уровни шума. Результаты показали, что на набережной р. Казанки уровень шума колебался от 52 до 76 дБ, среднее значение составило 66,09 дБ, причем 87,5% точек превышали нормативно допустимый уровень. На набережной р. Камы значения колебались от 50 до 87 дБ со средним показателем 66,5 дБ, при этом 70% измерений также превышали норму. Данные подтверждают наличие экологической проблемы, требующей комплексного подхода к снижению шумового загрязнения, включая оптимизацию градостроительных решений и внедрение мер по озеленению. Это исследование подчеркивает важность реализации инновационных технологий для улучшения шумовой обстановки на набережных, что может существенно повысить качество городской среды, способствуя улучшению жизни горожан и повышению рекреационной привлекательности данных зон.

Проблема шумового загрязнения актуальна для многих городов России. Однако есть некоторые

особенности в пространственном распределении шума, связанные с архитектурно-планировочными решениями и природными характеристиками городов. Так, в Симферополе [2] измеренные уровни шума варьируются от 35 до 75 дБ, в целом средние показатели соответствуют санитарным нормам, хотя превышения также встречаются. В Иркутске [14] зеленые насаждения снижают уровень шума в среднем на 9,7 дБ, но не всегда до нормативного уровня (55 дБ). В Новосибирске [12] уровень шума за полосой зеленых насаждений снижается в 1,5–1,8 раз, но все равно значительно превышает допустимые нормы. Исследования в Рязани [8] показали, что 60% опрошенных недовольны шумовым режимом городских рекреационных территорий. Общая тенденция – превышение эталонного показателя в 55 дБ в большинстве городов.

Для крупных городов типичен уровень шума от 60 дБ до 75 дБ. Это подтверждается данными из различных исследований в разных городах России. Например, в Симферополе [2] измеренные уровни шума варьируются от 35 до 75 дБ, в Перми и Казани максимальные значения достигают 66–67 дБ.

Зеленые насаждения способны снижать уровень шума на 10–15%. Исследования показывают, что эффективность зеленых насаждений в снижении шума варьируется от 6% до 15% в зависимости от вида растений и плотности посадки. Например, в Иркутске [14] зеленые насаждения снижают уровень шума в среднем на 9,7 дБ, в Новосибирске [12] – в 1,5–1,8 раз (что соответствует примерно 10–15% снижению).

Пермь и Казань можно считать типичными крупными городами для Российской Федерации, с точки зрения уровня шумового загрязнения. Показатели шума в этих городах соответствуют общей тенденции превышения нормативного уровня 55 дБ, что характерно для большинства крупных российских городов.

Практики создания зеленых насаждений показали свою эффективность в таких городах, как Иркутск [14], Новосибирск [12], Минусинск [11], Санкт-Петербург [9]. В этих городах зеленые насаждения значительно снижают уровень шума, хотя не всегда до нормативных значений. Требуется более активное внедрение подобных практик в Перми и Казани, особенно в зонах с превышением допустимых уровней шума. Это может включать создание многоярусных зеленых насаждений, использование видов растений с высокой

шумопоглощающей способностью (например, тополь, вяз), а также комплексный подход к озеленению городских территорий, особенно вблизи основных источников шума.

Заключение

Уровень шума в Казани соответствует комфортному показателю только во внешней зоне главного водотока.

Историческое ядро в притоке главного водотока находится в критическом положении. Здесь наиболее перспективным представляется получить позитивные эффекты от снижения шума. В других частях водно-зелёного каркаса Казани необходима разработка и внедрение существенно проработанных шумопонижающих мероприятий.

В Перми комфортная зона по шуму охватывает историческое ядро приток главного водотока. Приоритетным местом для города является внешняя зона притока главного водотока для получения быстрого эффекта от снижения шума. В других частях водно-зелёного каркаса Перми необходима разработка и внедрение существенно проработанных шумопонижающих мероприятий.

Подход Казани заключается в создании зеленых барьеров вдоль основных транспортных магистралей и расширении существующих парковых зон.

В Перми подход основан на интеграции водных объектов в городскую среду и создании буферных зон с высокой плотностью зеленых насаждений.

Проектирование водно-зеленого городского каркаса способствует не только к повышению качества городской среды, но и даёт возможность к предотвращению шумового загрязнения. Такая структура не только эффективно снижает уровень шума, но и способствует улучшению микроклимата, повышению биоразнообразия и созданию рекреационных зон для жителей. Водные объекты, такие как реки, пруды и фонтаны, обладают естественной способностью поглощать звуковые волны, а зеленые насаждения служат дополнительным барьером для распространения шума.

Список источников

1. Армишева Г.Т., Бутузова А.А. Защита урбанизированных территорий от транспортного шума // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2017. Т. 1. С. 86–89.
2. Бобра Т.В., Каменева М.Ю. Геоэкологический анализ и картографирование шумового загрязнения урбанизированных территорий (на примере г. Симферополь) // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2022. № 4. С. 121–131.
3. Болотин С.Н., Кузнецова К.К. Анализ шумового загрязнения на территории сквера «Пограничников» г. Краснодара // Человеческий потенциал ресурсного региона – проблемы развития: сборник научных трудов. Иркутск, 20 октября 2023 г. Иркутск: Иркутский научный центр СО РАН, 2023. С. 20–25.
4. Глуховской А.В. Особенности и методы борьбы с шумом на территории острова Зелёный с учетом перспективного развития // Конкурс лучших студенческих работ: сборник статей VI Международного научно-исследовательского конкурса. Пенза, 5 декабря

2020 г. / отв. ред. Г.Ю. Гуляев. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. С. 219–221.

5. Гордеев Ю.А., Кулагин А.А. Шумозащитные свойства зеленых насаждений на урбанизированных территориях // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. 2014. № 1. С. 7–13.

6. Ефимов О.Е., Довганюк А.И., Ткачева К.Д. Влияние растений на снижение уровня шумового загрязнения // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей IX Международной научно-практической конференции. Пенза, 5 января 2018 г. / отв. ред. Г.Ю. Гуляев. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2018. С. 218–220.

7. Иванисова Н.В., Авсецин Ю.О., Асатрян А.А., Куринская Л.В. К вопросу шумозащитных функций зеленых насаждений на территории промышленных ландшафтов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2019. № 6. С. 15–19.

8. Иванов, Е.С., Блинова Э.А. Шумовое загрязнение рекреационных территорий г. Рязань в летний период // Современное состояние, проблемы и перспективы исследований в биологии, географии и экологии: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 85-летию естественно-географического факультета РГУ имени С. А. Есенина и 90-летию со дня рождения профессора Леопольда Васильевича Викторова. Рязань, 03–05 октября 2019 г. / под ред. А.В. Водорезова. Рязань: Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, 2019. С. 75–79.

9. Каурова З.Г., Зайцева И.А. Оценка шумового загрязнения рекреационных зон Санкт-Петербурга // Инновационные технологии в науке и образовании. 2016. № 4(8). С. 247–248. <https://doi.org/10.21661/r-113504>

10. Лазарева Г.А., Буфалова М.А., Жмылев П.Ю. Оценка влияния зеленых насаждений на распространение шума от автотранспорта // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие»: материалы конференций: Всероссийской (национальной) научно-практической конференции; Санкт-Петербург, 10–13 февраля 2022 г. Санкт-Петербург: Нацразвитие, 2022. С. 106–108.

11. Ларнатович П.А. Шумопонижающая способность зеленых насаждений в городской среде (на примере города Минусинска Красноярского края) // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий: материалы XXIII Международной научной школы-конференции студентов и молодых ученых. В 2-х томах. Посвящается 25-летию создания Хакасского государственного университета им. Н. Ф. Катанова, Абакан, 20–22 ноября 2019 г. Абакан: Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, 2019. С. 19–20.

12. Луговская А.Ю., Анопоченко Л.Ю. Зеленые насаждения как метод защиты от шума на урбанизированных территориях // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. № 2. 119–123. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2021-4-2-119-123>

13. Меркушев С.А. Пешеходно-променадные каркасы больших центров городов-миллионеров России. Пермь: ПГНИУ, 2023. 137 с.

14. Новикова С.А., Мартынов Д.Н. Влияние зеленых насаждений на снижение уровня шума от автотранспортных потоков в Иркутске // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2022. № 4. С. 16-25.

15. Орлова В.Г., Бородин Е.С. Мероприятия по снижению шума от транспортных потоков // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, Москва, 17-20 апреля 2023 г. Том Часть 3. Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», 2023. С. 215-219.

16. Пензер Д.А., Бармин А.Н., Коваленко С.Н. Актуальность исследований в области шумового загрязнения // Конфликт природопользования: роль в эволюции ноосферы: материалы Международной научно-практической конференции, Астрахань, 20-21 апреля 2018 г. Астрахань: Астраханский государственный университет, 2019. С. 72-74.

17. Перчик Е.Н. География городов (геоурбанистика). М.: Высш. шк., 1991. 319 с.

18. СП 51.13330.2011. Свод правил. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200084097> (дата обращения: 20.09.2024).

19. Сулимов А.Д. Оценка шумового загрязнения набережных Казани и Перми // Успехи современного естествознания. 2024. № 9. С. 31-36. <https://doi.org/10.17513/use.38307>

20. Щёлокова Т.Д. Актуальность исследования шумового загрязнения в городах // Символ науки. 2015. № 11-1. С. 72-74.

References

1. Armisheva, G. and Butuzova, A., 2017. Protection of urbanized territories from traffic noise. *Modernization and scientific research in the transport complex*, 1, pp. 86-89. (in Russian)

2. Bobra, T. and Kameneva, M., 2022. Geoecological analysis and mapping of noise pollution of urbanized territories (on the example of Simferopol). *Geopolitics and ecogeodynamics of regions*, (4), pp. 121-131. (in Russian)

3. Bolotin, S. and Kuznetsova, K., 2023. Analysis of noise pollution in the territory of the "Border Guards" park in Krasnodar. In *Human potential of a resource region – development challenges: Collection of scientific papers*, 20 October 2023, Irkutsk, Russia. Irkutsk, Irkutsk Scientific Center SB RAS, pp. 20-25. (in Russian)

4. Glukhovskaya, A., 2020. Features and methods of noise control on the territory of Zelyony Island, taking into account prospective development. In: Gulyayev, G. (ed.) *Competition of the best student papers: Collection of articles of the VI International Scientific Research Competition*, 5 December 2020, Penza, Russia. Penza, Nauka i Prosveshcheniye (IP Gulyayev G.Yu.), pp. 219-221. (in Russian)

5. Gordeev, Yu. and Kulagin, A., 2014. Noise protection properties of green spaces in urbanized territories. *Bulletin of the Udmurt University. The series "Biology. Earth Sciences"*, (1), pp. 7-13. (in Russian)

6. Efimov O.E., Dovganyuk A.I., Tkacheva K.D. The influence of plants on reducing noise pollution. In: Gulyayev, G. (ed.) *Fundamental and applied scientific research: current issues, achievements and innovations: Collection of articles of the IX International Scientific and Practical Conference*, 15 January 2018, Penza, Russia. Penza, Nauka i Prosveshcheniye (IP Gulyayev G.Yu.), pp. 218-220. (in Russian)

7. Ivanisova, N., Avsetsin, Yu., Asatryan, A. and Kurinskaya L., 2019. On the issue of noise protection functions of green spaces in industrial landscapes // *Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences*, 2019, (6), pp. 15-19. (in Russian)

8. Ivanov E. and Blinova, E., 2019. Noise pollution of recreational areas of Ryazan in the summer period. In: Vodorezov, A. (ed.). *Current state, problems and prospects of research in biology, geography and ecology: Materials of the National Scientific and Practical Conference with international participation, dedicated to the 85th anniversary of the Faculty of Natural Geography of S.A. Esenin Russian State University and the 90th anniversary of the birth of Professor Leopold Vasilievich Viktorov*, 03-05 October 2019, Ryazan, Russia. Ryazan, Ryazanskiy gosudarstvennyy universitet imeni S.A. Yesenina, pp. 75-79. (in Russian)

9. Kaurova, Z. and Zaitseva, I., 2016. Assessment of noise pollution in recreational areas of St. Petersburg. *Innovative technologies in science and education*, 4(8), pp. 247-248. <https://doi.org/10.21661/r-113504> (in Russian)

10. Lazareva, G., Bufalova, M. and Zhmylev, P., 2022. Assessment of the influence of green spaces on the propagation of noise from vehicles. In: *Collection of selected articles based on the materials of scientific conferences of the State Research Institute "National Development": Conference materials of All-Russian (national) scientific and Practical Conference*, 10-13 February 2022, St. Petersburg, Russia. Saint Petersburg, National Development, 2022. pp. 106-108. (in Russian)

11. Larnatovich, P., 2019. The noise-reducing ability of green spaces in an urban environment (on the example of the city of Minusinsk, Krasnoyarsk Territory). In: *Ecology of South Siberia and adjacent territories: Proceedings of the XXIII International Scientific School-Conference of Students and Young Scientists*. In 2 vol. Dedicated to the 25th anniversary of the establishment of the N.F. Katanov, 20-22 November 2019. Abakan, Russia. Abakan, Khakass State University, 2019, pp. 19-20. (in Russian)

12. Lugovskaya, A. and Anopchenko, L., 2021. Green spaces as a method of noise protection in urbanized areas. *Interexpo Geo-Siberia*, (2), pp. 119-123. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2021-4-2-119-123> (in Russian)

13. Merkushev, S., 2023. Pedestrian and promenade frameworks of large centers of Russian millionaire. Perm: Perm State University publ. 137 p. (in Russian) URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/mono/Merkushev-PESHEKHODNO-PROMENADNYE-KAR->

[KASY-BOLSHIH-CENTROV-GORODOV-MILLION-EROV-ROSSII.pdf](#) [Accessed 7th September 2024]. (in Russian)

14. Novikova, S. and Martynov, D., 2022. The influence of green spaces on noise reduction from traffic flows in Irkutsk. *Bulletin of the Moscow University. Series 5. Geography*, (4), pp. 16-25. (in Russian)

15. Orlova, V. and Borodina, E., 2023. Measures to reduce noise from traffic flows. In: *Innovative development of machinery and technologies in industry: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference of Young Researchers with international participation, Moscow, 17–20 April, 2023. Vol. Part 3. Moscow, Russia, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "A.N. Kosygin Russian State University (Technology. Design. Art)*, 2023. pp. 215–219. (in Russian)

16. Penzer, D., Barmin, A. and Kovalenko, S., 2019. The relevance of research in the field of noise pollution. In: *Conflict of environmental management: a role in the evolution of the noosphere: Materials of the International Scientific and Practical Conference, Astrakhan, 20-21 April 2018. Astrakhan, Russia, Astrakhan State University, 2019, pp. 72-74. (in Russian)*

17. Percik, E., 1991. Geography of cities (geo-urban studies). Moscow: Higher School of Economics publ., 319 p. (in Russian)

18. SP 51.13330.2011. A set of rules. Noise protection. Updated edition of SNiP 23-03-2003 // Electronic fund of legal and regulatory-technical documents. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200084097> [Accessed 20th September 2024]. (in Russian)

19. Sulimov, A., 2024. Assessment of noise pollution of the embankments of Kazan and Perm. *Advances in current natural sciences*, (9), pp. 31–36. <https://doi.org/10.17513/use.38307> (in Russian)

20. Shchelokova, T., 2015. Relevance of the study of noise pollution in cities. *Symbol of Science*. (11-1), pp. 72-74. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 14.10.2024; одобрена после рецензирования 10.04.2025; принята к публикации 24.04.2025.

The article was submitted 14.10.2024; approved after reviewing 10.04.2025; accepted for publication 24.04.2025.

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 504.75+691.4; 504.4.54

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-23-40>

EDN JYKGMО

**Техногенные грунты – современная среда обитания микроорганизмов
(по результатам сканирующего электронного микроскопирования)**

Валентина Сергеевна Артамонова¹, Альфия Шавелевна Шавекина²

¹ Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

² Институт нефтегазовой геологии и геодезии им. А.А. Трофимука, Новосибирск, Россия

¹ artamonovavs@yandex.ru, artamonova@issa-siberia.ru

² khusainovaas@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В статье рассматриваются экологические проблемы, существующие в районах добычи и переработки полезных ископаемых в Сибирском регионе. Приводится информация об освоении техногенных отходов рудообогатения – техногенных грунтов (ТГ) микроорганизмами, что влечёт за собой негативные и позитивные последствия. Сообщается, что в колонизации и преобразовании поверхностной толщи многолетних хранилищ сульфидных и сульфоарсенидных отходов рудообогатения, складированных в прошлом веке на дневной поверхности, в гумидной зоне Западной Сибири и в аридной зоне Южной Сибири, участвуют фотогетеротрофные микроорганизмы. Электронное микроскопирование проб техногенных субстратов свидетельствует о присутствии в них метаболически активных цианобактерий и диатомовых водорослей, характерных для первых стадий восстановительных сукцессий наземных экосистем. Сохранение микроорганизмов в жизнедеятельном состоянии обеспечивается колониальным образом жизни одноклеточных и нитчатых особей, продуцированием ими обильной слизи. Отмечается, что химический состав микроорганизмов, определённый с помощью микрозондового (спектрального) анализа элементов, включает тяжёлые металлы и неметаллы. Сообщается, что в крайне экстремальных условиях обитания в слизи и цитозоле цианобактерий в значительном количестве присутствует мышьяк. Предполагается, что он используется в анаэробном фотосинтезе для получения дополнительной энергии и азотфиксации. Диатомовые водоросли продуцируют слизь, но не участвуют в иммобилизации мышьяка, что, возможно, обусловлено механизмами биохимической защиты. Приводятся сведения о накоплении в среде обитания цианобактерий и диатомей кристаллических форм минералов – барита в гумидной зоне и мышьяковистых минералов – в аридной зоне. Зарождение минералов могло быть вызвано испарительным эффектом и микробиологическими процессами. Полученная информация может быть использована для характеристики ранних стадий почвообразования в экстремальных местообитаниях техногенных ландшафтов, учтена при создании природоподобных технологий эффективной биоремедиации загрязнённых почв, разработке экологически безопасных способов консервации грунтов, при моделировании процессов образования аутигенных минералов в разных природных условиях.

Ключевые слова: почвообразование, диатомей, цианобактерии, сканирующая электронная микроскопия

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного ИПА СО РАН и ИНГТ СО РАН по бюджетному финансированию Министерства науки и образования Российской Федерации.

Для цитирования: Артамонова В.С., Шавекина А.Ш. Техногенные грунты – современная среда обитания микроорганизмов (по результатам сканирующего электронного микроскопирования) // Антропогенная трансформация природной среды. 2025. Т. 11. № 1. С. 23–40. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-23-40>. EDN JYKGMО.

SECTION 2. POLLUTION

Original paper

**Technogenic grounds are a modern habitat for microorganisms
(according to the results of scanning electron microscopy)**

Valentina S. Artamonova¹, Aljfiya S. Shavekina²

¹ Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geodesy, Novosibirsk, Russia

¹ artamonovavs@yandex.ru, artamonova@issa-siberia.ru

² khusainovaas@ipgg.sbras.ru

© Артамонова В.С., Шавекина А.Ш., 2025



Abstract. The article examines the environmental problems existing in the mining and processing areas of the Siberian region. Information is provided on the development of man-made ore enrichment waste – man-made soils (TG) by microorganisms, which entails negative and positive consequences. It is reported that photoheterotrophic microorganisms are involved in the colonization and transformation of the surface layer of long-term storage facilities for sulfide and sulfoarsenide ore enrichment waste stored in the last century on the daytime surface, in the humid zone of Western Siberia and in the arid zone of Southern Siberia. Electron microscopy of samples of technogenic substrates indicates the presence of metabolically active cyanobacteria and diatoms in them, characteristic of the first stages of regenerative successions of terrestrial ecosystems. The preservation of microorganisms in a vital state is ensured by the colonial lifestyle of unicellular and filamentous individuals, producing abundant mucus. It is noted that the chemical composition of microorganisms, determined using microprobe (spectral) analysis of elements, includes heavy metals and non-metals. It is reported that arsenic is present in significant amounts in the mucus and cytosol of cyanobacteria in extremely extreme living conditions. It is assumed that it is used in anoxygenic photosynthesis to obtain additional energy and nitrogen fixation. Diatoms also produce mucus, but are not involved in the immobilization of arsenic, which is probably due to the mechanisms of biochemical protection. Information is provided on the accumulation of crystalline forms of barite in the humid zone and arsenic minerals in the arid zone in the habitat of cyanobacteria and diatoms. The origin of minerals could be caused by the evaporation effect and microbiological processes. The information obtained can be used to characterize the early stages of soil formation in extreme habitats of man-made landscapes, taken into account when creating nature-like technologies for effective bioremediation of contaminated soils, developing environmentally safe methods of soil conservation, and modeling the processes of autogenic formation of minerals in different natural conditions.

Key words: soil formation, diatoms, cyanobacteria, scanning electron microscopy

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the state IPA SB RAS and IPGG SB RAS on budget financing of the Ministry of Science and Education of the Russian Federation.

For citation: Artamonova, V. and Shavekina, A., 2025. Technogenic grounds are a modern habitat for microorganisms (according to the results of scanning electron microscopy). *Anthropogenic Transformation of Nature*, 11(1), pp. 23-40. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-23-40>. EDN JYKGM0. (in Russian)

Введение

Микроорганизмы, будучи древнейшими организмами на нашей планете, существующими миллиарды лет, являются самыми древними почвообразователями, действовавшими задолго до появления высшей растительности [16]. Их участие в современных процессах почвообразования на обнажённых минеральных субстратах и техногенных грунтах (далее – ТГ) предопределено былыми эпохами. Доказано, что микроорганизмы быстро заселяют вскрышные и вмещающие породы районов угледобычи в Кузбассе и на КАТЭКе (Россия, Западная и Средняя Сибирь), поскольку они не токсичны, представлены лессовидными карбонатными суглинками с примесью алевролитов, песчаников, аргиллитов. Выступая в роли почвообразующих пород, они активно вовлекаются в биогенное преобразование и к 20-25 – летнему сроку самозарастания приобретают признаки биогенности, гуматности, профилирования, характерные для молодых (первичных, примитивных, биогенно слаборазвитых почв – эмбриозёмов) [9]. Таким образом, такие техногенные грунты вовлекаются в процессы биогеохимического преобразования с трендом на восстановление утраченных экологических функций, свойственных почвам. Для ускорения их возобновления используются различные приёмы биологической рекультивации, направленные на приближение территорий к исходному состоянию, и предусматривающие возможное целевое использование: лесохозяйственное, рекреационное, в том числе туристическое, и другие.

Другая группа ТГ, представленная сульфидными и сульфидно-мышьяковистыми техногенными отходами, возникшими в процессе обогащения полиметаллических руд под воздействием высоких температур и агрессивных технологических реагентов (кислот, щелочей, цианидов, ртути), чрезвычайно проблематична

в отношении вовлечения в процессы гипергенеза и первичного (биогенного) почвообразования. Изначально такие объекты биологически стерильны и токсичны, что вызывает много дискуссий в отношении возобновления в них жизни и её роли в судьбе ТГ. Тем не менее, многолетнее нахождение ТГ в окружении природных экосистем (50-100 лет) сопровождается заселением их местными представителями педомикробиоты. Так, в отходах цианирования сульфидных Au-содержащих руд методом метагеномики выявлен пул жизнеспособных ацидофильных бактерий [22], методом обрастания мелкозёма – диссоцианты азотфиксирующей бактерии рода *Azotobacter* [1]. С помощью сканирующего электронного микроскопа (далее – СЭМ) в многолетних отходах выщелачивания полиметаллических руд цианидами в гумидной зоне и аммиачно-карбонатными растворами – в аридной зоне обнаружены метаболически активные цианобактерии и диатомеи [2]. Можно предположить, что в отдалённом будущем биогенно освоенные ТГ эволюционируют в почвоподобные твёрдофазные тела, как бы почвы – техногенные поверхностные образования (ТПО) группы квазизёмов. В Классификации почв России они частично соответствуют токсифабрикатам. Но этот процесс занимает неопределённо долгое время, отчего ТГ представляют собой современный объект, имитирующий древнее почвообразование на суше Земли и его возможное присутствие на других планетах. Как продуктивный земельный ресурс они не представляют интерес из-за присутствия высоких концентраций металлов и металлоидов (Au, Ag, Zn, Pb, As и другие), вторичного образования минералов, например, барита и мышьяковистых минералов, в образовании которых могут участвовать микроорганизмы. Барий не относится к жизненно важным элементам для биоты, но барит является стратегически значимым минеральным

сырьём, отчего осаждение барита с участием микроорганизмов в последние годы оказалось в центре внимания научного сообщества. Наряду с этим, ионы бария, барит, как и мышьяковистые соединения в той или иной степени биотоксичны. Но микроорганизмы сохраняют свою жизнедеятельность в их окружении. Более того, они участвуют в их иммобилизации и осаждении, что представляет фундаментальный и прикладной интерес к такой способности микроскопического населения токсичных ТГ.

Нужно отметить, что в текущем веке интерес к ТГ резко активизировался в экологическом и микробиологическом отношении. Во-первых, в приземном слое воздуха над отходами регистрируются летучие углерод-, азот-, серосодержащие органические соединения [28]. Эмиссия метилированных форм диметилсульфида (далее – ДМС) с многолетних хранилищ отходов сульфидсодержащих отходов Урского месторождения (Западная Сибирь) достигает 420 мкг/м^3 . Факты образования ДМС были выявлены ранее на поверхности микробных матов морских экосистем [45]. Предполагается, что ДМС образуется в результате реакции фотосинтетически полученного низкомолекулярного органического углерода и биогенного сероводорода, полученного в результате восстановления сульфатов. Существуют и другие версии, и подтверждения участия микроорганизмов в формировании ДМС, который, в свою очередь, может влиять на образование облаков, прежде всего над океанами, где продукция метаболита фитопланктоном наиболее велика. Эти процессы связываются с изменением климата Земли и химическим составом экзопланет Вселенной.

Отмечается, что ДМС образуется только в результате жизнедеятельности. Поэтому метаболит является своеобразным маркером присутствия жизни на других планетах. В 2023 г. американскими учёными НАСА на экзопланете K2-18b обнаружена молекула под названием диметилсульфид, на основании чего высказано предположение о существовании присутствия углеродсодержащих молекул, в том числе метана и углекислого газа в присутствии аммиака, что связывается с наличием водного океана под атмосферой богатой водородом. Планета в 8,6 раза массивнее Земли, вращается вокруг холодной карликовой звезды K2-18, находится в 120 световых годах от Земли [47].

Другой не менее значимый факт влияния микроорганизмов на экологию техногенных ландшафтов – это участие их в образовании летучей ртути. Высокое содержание металла обнаружено над хранилищами сульфидных отходов переработки золото-полиметаллических руд и за их пределами их складирования в Западной Сибири [10, 12]. Доказано, что количество ртути значительно усиливается в присутствии тиосульфата, который выполняет двойную роль, повышая растворение ртути за счет комплексообразования металла и обеспечивая дополнительный метаболический субстрат для тионовых бактерий [44]. Проявление сопряжённого абиотически-биотического механизма превращения $\text{Hg}(\text{II})$ в $\text{Hg}(0)$ в сульфидных субстратах с участием нейтрофильных хемосинтезирующих бактерий не исключено в сульфидных отходах рудообогащения Сибири. Содержащаяся в минеральном суб-

страте ртуть может представлять собой недооцененный источник газообразной элементарной ртути, которая мигрирует в окружающую среду, усугубляя уже существующий набор экологических проблем в районах активного функционирования предприятий горнодобывающей и металлургической промышленности. Роль микробной компоненты в образовании летучей ртути в ТГ пока до конца не изучена.

Остаются открытыми вопросы участия микроорганизмов в миграции мышьяка. Как известно, биогеохимия мышьяка сложна и включает в себя различные процессы адсорбции и десорбции. В окислительных условиях мышьяк может высвобождаться из пирита или оксидов железа, особенно при повышенном уровне pH, что имеет место в ТГ, особенно в аридной зоне. Проблема заключается в том, что в отходах рудопереработки, складированных в карты хранения на территории Республики Тыва, часть мышьяка (до 20 %) представлена в форме арсенидов металлов, не разложившихся в процессе выщелачивания [14]. Теоретически мышьяк должен был связаться с аммиачно-карбонатным комплексом и перейти в нерастворимое состояние, но в реальности существенная часть соединений мышьяка оказалась представленной его 3-х валентной формой, которая образует с водой растворимые высокотоксичные соединения. Более того, повышенные содержания мышьяка в поровых растворах шламов присущи верхним горизонтам хранилищ. По этой причине мышьяк особенно опасен в период снеготаяния и обильных дождей, поскольку транспортируется за пределы карт хранения отходов в сторону расположения водотока и населенных пунктов.

Считается, что микроорганизмы являются основными движущими силами, которые приводят к преобразованию различных форм мышьяка [48].

Трансформационные свойства As включают окисление-восстановление, метилирование и деметилирование, органическое хелатирование, поверхностную адсорбцию и диссоциацию, а также соосаждение ионов. Восстановление, деметилирование органического мышьяка и диссоциация адсорбированного As образуют высокотоксичный $\text{As}(\text{III})$, что приводит к повышению подвижности и токсичности элемента, в то время как окисление, метилирование, органическое связывание и соосаждение мышьяка образуют менее токсичные/подвижные арсенаты, летучий метилмышьяк (например, ДМА и ТМА), и остаточный сульфид As. Биоулетучивание мышьяка привлекает внимание исследователей с целью углубления знаний в области биогеохимии и охраны окружающей среды, использования процесса в биоремедиации, в том числе с участием микроорганизмов [46].

Сообщается, что почти все микроорганизмы обладают геном устойчивости к мышьяку [49]. Некоторые виды бактерий используют мышьяк для энергетических нужд, используя арсенаты в качестве доноров электронов и производя арсенаты. Существует мнение, что на протяжении истории фотосинтезирующие организмы производили арсенаты, которые позволяли бактериям, восстанавливающим их, выживать.

В этой связи, исследования метаболических реакций микроорганизмов-первопоселенцев ТГ «техноген-

ных месторождений» [6], заслуживают особого внимания. Их роль в проявлении негативных и позитивных последствий колонизации ТГ изучена недостаточно. Учитывая неизбежный рост потерь почвенно-растительных покровов в ходе добычи и переработки полезных ископаемых, особенно полиметаллических руд, метаболическую активность микроскопического населения ТГ следует принимать во внимание.

К настоящему времени суммарный удельный вес в процессе почвенных потерь с участием горнодобывающей и металлургической промышленности достиг 80 % от почти 3 тыс. га земель, нарушаемых ежегодно в Сибири [4]. Это объясняется высоким спросом на минеральное сырьё. При этом производство тонны черного металла сопровождается получением до 17 т отходов, цветных и благородных металлов – до 100 т [15], что требует постоянно новых земель отчуждения под их складирование.

В России общая площадь таких земель, уже занятых шламонакопителями, хвостохранилищами, насыпными отвалами отходов, достигла 1 тыс. км². В них содержатся в высокой концентрации цветные металлы, тяжёлые (Cu, Zn, Pb, Ni, Sn, Cr, Hg) и драгоценные (Au, Ag, Pt), а также полуметаллы (металлоиды): Si, As, Sb, B, Ge, Te. Наблюдается новообразование минералов Pb, Cu, Fe [25], вторичное золотое обогащение [26]. Отмечается, что площадь, подверженная техногенному загрязнению, в 10-15 раз превышает площадь, занимаемую самими ТГ. В Западной Сибири (Кемеровская обл.) ветровое загрязнение пылевыми наносами зарегистрировано в пределах 5-километровой зоны от расположения отходов Салаирского обогатительного комбината [5]. На прилегающую к хвостохранилищу территорию выносятся более 3000 т пыли в год. В Южной Сибири мышьяк регистрируется в почвах в количествах, превышающих ПДК вокруг локаций хранения отходов (Хову-Аксинское месторождение) [20], в донных отложениях р. Енисей – на расстоянии 160 км от хранилищ [14]. Загрязнение компонентов природной среды в ходе транзита химических элементов с воздушными и водными потоками, в том числе с паводковыми, дренажными и грунтовыми водами, обуславливает снижение запаса ценных минеральных ресурсов и в самих хранилищах ТГ.

Целесообразность вовлечения отходов производства полиметаллических концентратов в хозяйственный оборот доказана многолетней практикой во многих странах мира. Например, в сырьевом балансе США и Японии они достигают 26%, у большинства экономически развитых стран Европы этот показатель колеблется в пределах 16-20%, в СССР он составлял 15%, в современной России – не превышает 10% [15].

Ослабление негативных последствий долговременного нахождения ТГ на дневной поверхности ожидается в результате применения природоподобных технологий, необходимости развития которых высказана в 2023 году Президентом РФ [23]. При разработке таких технологий необходимо учитывать активность микроорганизмов, которые вовлекаются в биогеохимические процессы, в том числе тех, которые способствуют восстановлению или поддержанию механиз-

мов самоочищения и адаптации любой живой системы. Для природоподобных технологий, в том числе ориентированных на создание защитных систем с применением почвоподобной компоненты, где могут проявляться признаки почвоподобия и, следовательно, биогенные свойства, могут быть использованы аборигенные виды микроорганизмов, способные проявлять детоксикационную, аккумуляционную, цементирующую способность. Такие свойства микроорганизмов используются в биоремедиации и биогеотехнологиях металлов, в частности, при их извлечении микробно-индуцированным осаждением.

Микробно-индуцированное осаждение карбонатов кальция активно внедряется в практику закрепления техногенных песков в дальнем зарубежье [23, 31, 37, 38, 50]. В России микробно-индуцированное осаждение кальция рекомендовано для защиты песков в резко континентальном аридном климате Южного Приаралья [17], для цементирования техногенных грунтов в Пермском крае [24]. Ранее, на Украине, для укрепления техногенных песков отходов агломерации железной руды использовали водоросли [27].

Применительно к ТГ, складированным в прошлом веке, целесообразно использование местных видов цианобактерий и диатомей, в качестве одного из природных компонентов природоподобных технологий защиты поверхности. Эти виды уже прошли предадаптацию к повышенным концентрациям токсичных элементов благодаря развитию в экосистемах, расположенных в пределах исходных месторождений. Не исключено, что цианобактерии реализуют, сохранившийся с давних времён аноксигенный фотосинтез в случае избытка в среде обитания серы и мышьяка, цианобактерии и диатомовые водоросли – гетеротрофизм на фоне дефицита органических соединений углерода, диатомей – синтез и полный гидролиз мочевины, обеспечивающий им восполнение энергии и подщелачивание среды, окружающей клетки. Однако многие аспекты развития фотогетеротрофных микроорганизмов в ТГ отходах неприродного происхождения остаются не раскрытыми. Процесс формирования биогенности почвы чрезвычайно длителен и соизмерим с геологическими периодами, это очень уязвимый природный ресурс – настоящая «шагреновая кожа» планеты [19]. Поэтому отбор микроорганизмов для эффективных природоподобных технологий экранирования ТГ не прост, он неизбежно должен учитывать особенности развития микроорганизмов ранних этапов первичного почвообразования, протекающего в экстремальных условиях.

Наши сегодняшние и будущие комплексные работы направлены на изучение биогеохимической обстановки в ТГ неприродного генезиса. Цель данной работы – представить новые сведения о жизнедеятельности цианобактерий и диатомей *in situ* в экстремальных местообитаниях техногенных ландшафтов, а также информацию об аккумуляровании ими химических элементов, в том числе токсичных (на примере техногенных грунтов гумидной и аридной зоны Сибири, с применением СЭМ).

Материалы и методы

Объектами исследований были ТГ, представляющие собой многолетние отходы рудообогащения, расположенные в разных природных зонах и отличающиеся по происхождению. Одна группа ТГ сформирована в прошлом веке отходами цианирования сульфидных золото-полиметаллической специализации руд в пределах Западной Сибири (Кемеровская обл.) в гумидной зоне: Урское рудное поле (Ново-Урское месторождение) и Салаирское рудное поле (месторождение Талмовские Пески). Другая группа ТГ представлена отходами выщелачивания аммиачно-карбонатными растворами сульфоарсенидных руд, складированных в карты хранения в пределах Хову-Аксинского месторождения в аридной зоне Южной Сибири (Республика Тыва). Все объекты не заселены высшей растительностью, внешне представляют собой безжизненные минеральные субстраты.

Пробы для микробиологического и минералогического анализов отбирали с поверхности ТГ летом 2021 г. Они представляли собой монолиты размером 3 x 4 x 2 см. Затем в лабораторных условиях пробы заливали эпоксидной смолой, выполняли приполировки алмазными пастами по аналогии с аншлифами для последующего просмотра с применением СЭМ ИНГТ СО РАН. СЭМ приобретён в фирме TESCAN MIRA 3LMU (Tescan, Чехия). Его энергетическим спектрометр произведён в фирме OXFORD (Oxford Instruments, Великобритания), функционирует в режимах вторичных и обратно-рассеянных электронов при различных увеличениях (ускоряющее напряжение электронного пучка 20 кВ, ток зонда 1,5 нА, время набора спектров – 20 с, размер пучка – 1 мкм). Наше рабочее увеличение объектов не превышало 1500 раз.

Визуализация минералов и жизнедеятельных особей сопровождалась определением в них содержания химических элементов. Для этого использовали установку ОХА-8230 (Jeol Ltd, Япония) с ускоряющим напряжением 20 кВ и током микрозонда 70 нА, (микрорентгеновского спектра). Результаты содержания элементов (в массовых, %) фиксировали на экране монитора. Используемая техника занимает лидирующее положение в геологии, медицине, гидробиологии, палеомикробиологии, почвоведении и других науках. Следует сказать, что в текущем году исполняется 110 лет, как метод шлифов был впервые предложен Б.Б. Полюновым в почвоведении для определения минералогического состава почв. Широкое применение метод нашёл после организации в 1944 г. лаборатории минералогии почв в Почвенном институте АН СССР.

Результаты и обсуждение

Исследования показали, что все пробы ТГ, представляющих собой отходы выщелачивания сульфидных полиметаллических руд цианидами в гумидной зоне и сульфоарсенидных руд аммиачно-карбонатными растворами – в аридной зоне, обитаемы. В них присутствуют жизнедеятельные цианобактерии и диатомеи. Так, в ТГ гумидной зоны цианобактерии представлены колониями, которые образуются многокле-

точными нитевидными особями, трихомы которых плотно прилегают друг к другу, образуя прочные группировки особей. Они представлены видами родов *Microcoleus*, *Phormidium*. Такие колонии принадлежат видам с узкими трихомами, в них идентифицируются гормогонии (рис. 1 / fig. 1), способные осваивать новые микронизи. Тяжи нитей обладают механическими свойствами, обычно проявляя себя как вязкоупругие материалы. Однако до сих пор неясно, каким образом нити самоорганизуются в коллективные структуры.

Другая группа колоний цианобактерий представлена многоклеточными нитевидными особями, но объединёнными слизистыми экзометаболитами. В этой группе колонистов присутствуют структуры с общей слизью, например, представленные особями *Schizothrix* (рис. 2 / fig. 2), а также особи с индивидуальным продуцированием слизи, которая прочно соединяет особи друг с другом в колонии (рис. 3 / fig. 3). Колониальный образ жизни в экстремальных условиях имеет определённую выгоду, особи в колониях наиболее защищены от внешнего воздействия, а также избытка ультрафиолета и других абиотических факторов. Слизистые метаболиты способствуют движению особей и их гормогониев по поверхности минеральных частиц путём скольжения. Предполагается, что скольжение зависит от движущей силы, создаваемой сообществом клеток за счёт расширяющихся сил, вызванных ростом клеток внутри колонии в присутствии поверхностно-активных веществ, которые уменьшают трение между клетками и минеральной поверхностью. Разные виды таксиса – способности двигаться к раздражителям или от них позволяет слизистым колониям сохраняться, размножаться, осваивать новые локусы обитания.

Обнаруженные диатомовые водоросли представлены одиночными особями с толстым кремнезёмистым панцирем и у особи рода *Surirella* – с выраженным слоем слизи вокруг него (рис. 4 / fig. 4). Помимо слизеобразования виды этого рода способны к вращательному движению.

Слизистые экзометаболиты, окружающие нитчатые цианобактерии и одиночные клетки диатомей, по литературным данным, содержат высокополимерные соединения, преимущественно полисахариды, уроновые кислоты, белки. Полисахариды являются основными местами хранения энергии, кислотные свойства слизи обеспечивают гелеобразование [3]. У цианобактерий полисахариды включают маннозу, рибозу, глюкозу, ксиллозу, глюкуроновую кислоту и другие соединения [11]. У диатомовых водорослей полисахариды представлены полимером глюкуроновой кислоты – полиуронидом, 1,4- α -D-галактуроновой кислотой, 1,4- β -глюкуроновой кислотой, 1,4- β -D-маннуриновой кислотой [42]. Диатомеи имеют плотную слизь, цианобактерии – расплывчатую, хрящеватую. У многих представителей *Nostocales* она легко отделяется, у других, в частности у видов родов *Calothrix*, *Lyngbya*, *Phormidium*, *Tolypothrix*, *Myxosarcina* и др., сохраняются вокруг организмов практически пожизненно [11].

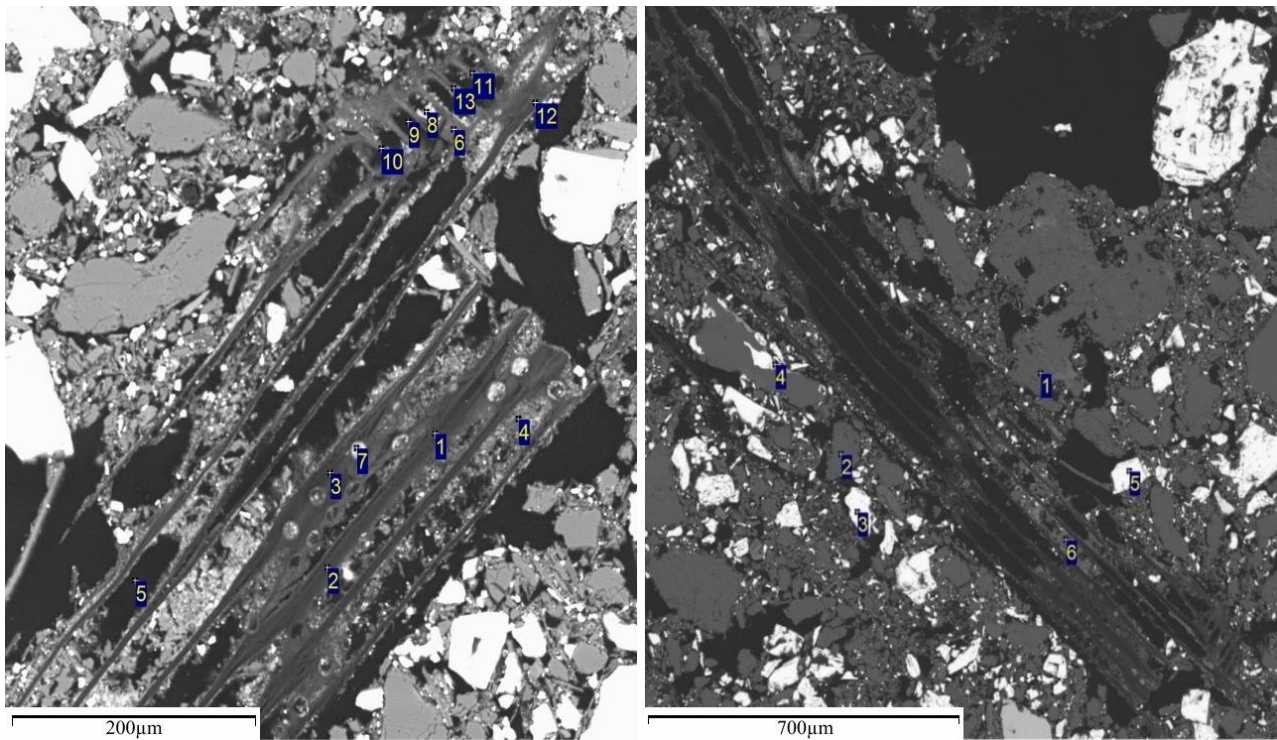


Рис. 1. Колонии нитевидных цианобактерий
Fig. 1. Colonies of filamentous cyanobacteria

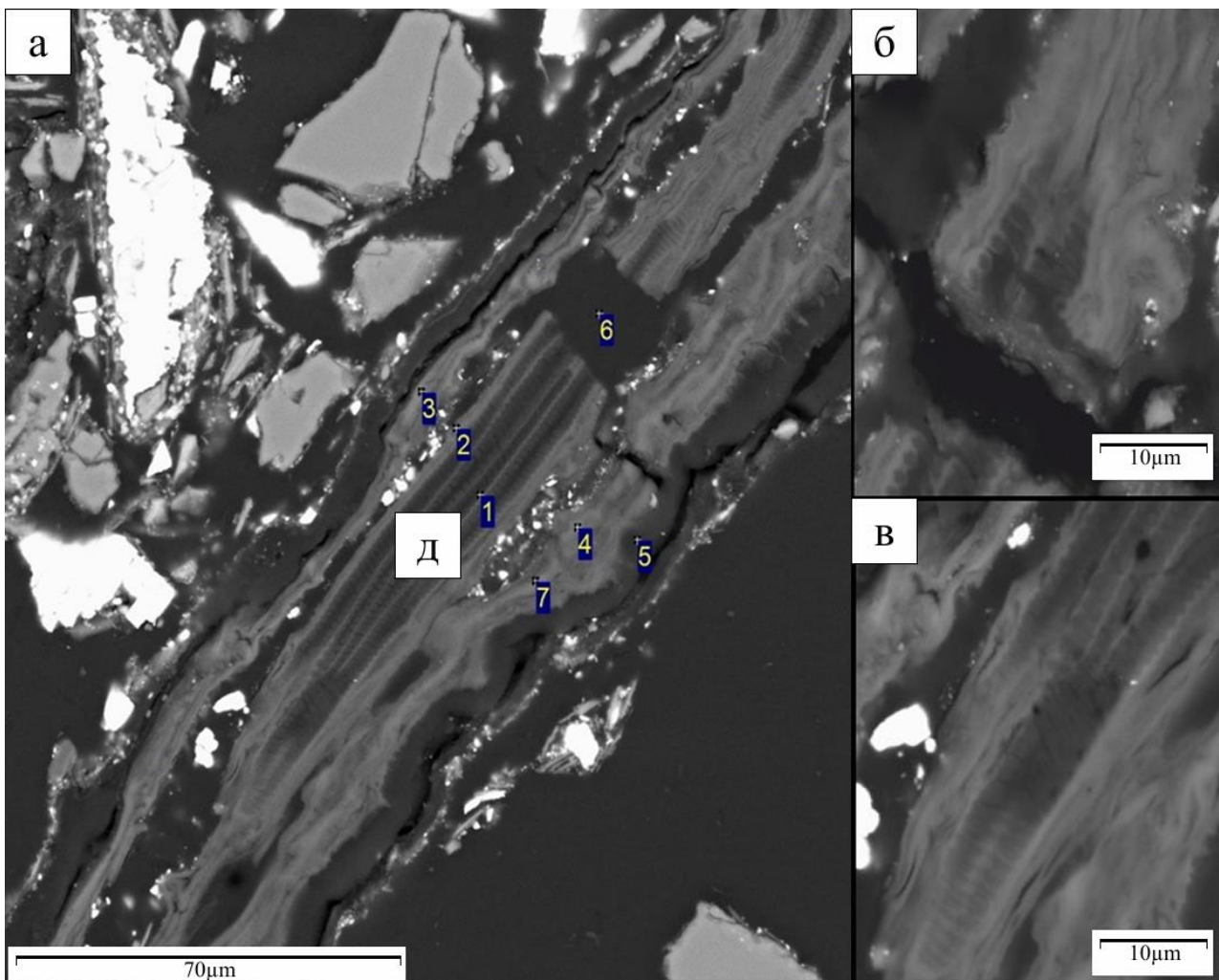


Рис. 2. *Schizothrix* sp. (а), увеличенные клетки трихомов (б, в),
расположение точек определения химических элементов (д)

Fig. 2. *Schizothrix* sp. (a), enlarged cells of trichome (б, в),
location of the chemical element detection points (д)

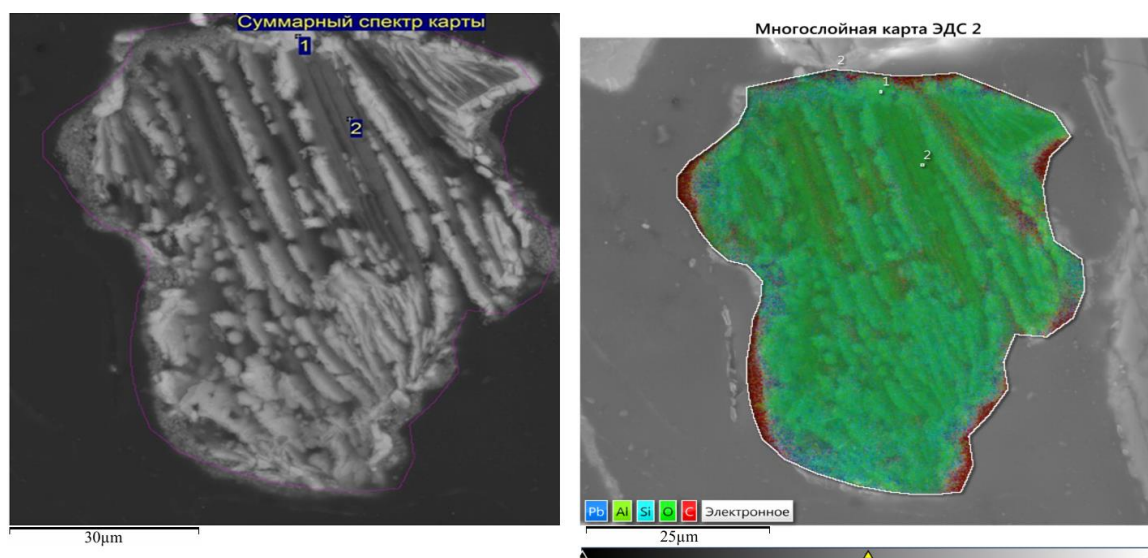


Рис. 3. Вид слизистой частично фоссилизованной колонии цианобактерии и её спектральное изображение
Fig. 3. View of a partially fossilized cyanobacterium colony and its spectral image

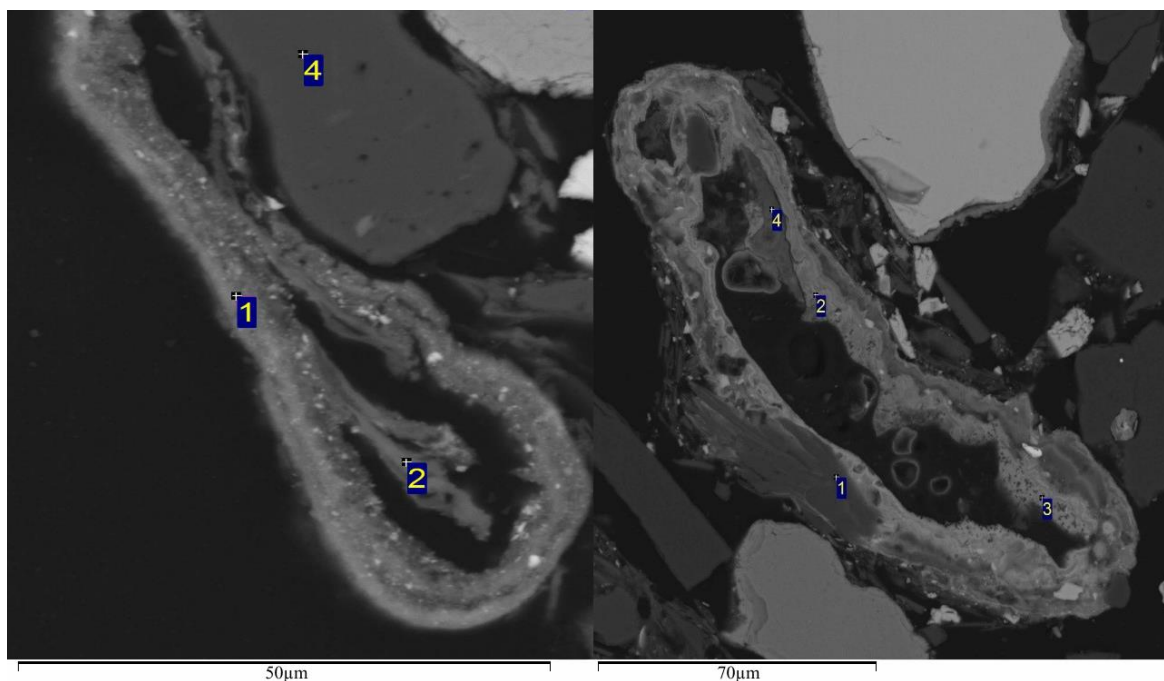


Рис. 4. Диатомей: а – *Surirella spiralis* со слизью, б – *Eunotia* sp.
Fig. 4. Diatoms: а – *Surirella spiralis* with slime, б – *Eunotia* sp.

Большинство экзополисахаридов цианобактерий имеет анионную природу из-за присутствия уроновых кислот и/или других заряженных групп, таких как пирувил или сульфат [32]. В этой связи, положительно заряженные ионы некоторых металлов и металлоидов прочно закрепляются внутри отрицательно заряженных слизей. В дальнейшем их судьба может быть разной.

Химический анализ слизей жизнедеятельных микроорганизмов в пробах ТГ показал, что они содержат широкий набор элементов. У цианобактерии рода *Schizothrix* (согласно точкам определения), представленных выше (рис. 2д / fig. 2д), в слизи преобладает большинство металлов по сравнению с трихомами (табл. 1 / tabl. 1). В слизи обнаружены наибольшие значения Са, а также ионы Ва и Al. Можно предположить, что внеклеточные аморфные карбонаты кальция депо-

нируются в слизях и цитозоле цианобактерий в качестве хранилища неорганического С и/или буфера рН. Такая стратегия выживания обеспечивает им развитие в окружении сульфидов и сульфатов, обуславливающих закисление среды обитания. Помимо этого, транзит Al и Ва в слизистый чехол сопровождается ограничением их подвижности, поскольку в цитозоле особей эти элементы не зарегистрированы.

Внеклеточное осаждение Pb, Al, Fe, P, S зафиксировано в слизистой части колонии другой цианобактерии (рис. 3 / fig. 3), где свинец преобладает (табл. 2 / tabl. 2). При этом в цитозоле присутствуют Si, Al, К и Ва. Такая иммобилизация металлов, в том числе токсичных, свидетельствует о высокой биоминерализации особи, что хорошо заметно на спектральном изображении (рис. 5 / fig. 5). Мы предполагаем, что в таком случае колония подвергается частичной фоссилизации.

Таблица 1

Химический состав цианобактерии *Schizothrix* sp.
по данным микрозондового анализа, мас. %*, точки (1-7) определения элементов в колонии

Table 1

Chemical composition of cyanobacteria *Schizothrix* sp.
according to microprobe analysis data, wt. %*, points (1-7) of determination of elements in the colony

№ точки определения // No. of the point of definition	Показатель // Indicator								
	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Fe	Ba
1			0,28	1,12	0,53		0,11	4,91	
2	0,15	0,45	0,41	1,85	0,33	0,1	0,18	7,16	1,2
3		0,21	0,49	2,17	0,18	0,13	0,27	9,51	0,77
4			0,91	3,79		0,08	0,24	14,51	0,22
5		0,21	0,17	0,91	0,17		0,18	2,23	
6		0,15		0,21	0,71			1,15	
7		0,09	0,78	3,62		0,07	0,26	12,87	

*Примечание: жирным шрифтом выделены значения накопления элементов в слизи.

*Note: the values of the accumulation of elements in the mucus are highlighted in bold.

Таблица 2

Химический состав частично фоссилизированной колонии цианобактерии
по данным спектрального анализа, мас. %*, точки (1-2) определения элементов

Table 2

Chemical composition of a clock-fossilized cyanobacterium colony
according to spectral analysis, wt. %*, element identification points (1-2)

№ точки определения // No. of the point of definition	Показатель // Indicator									
	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Fe	Ba	Pb
1		9,76	0,49	7,27	2,32	0,25	0,18	4,64		28,69
2	0,72	16,33	20,4		0,25	6,56		0,97	2,09	

*Примечание: жирным шрифтом выделены значения накопления элементов в жизнедеятельных трихомах.

*Note: the values of accumulation of elements in vital trichomes are highlighted in bold.

В составе слизи диатомеи *Surirella spiralis* обнаружено присутствие жизненно необходимых и физиологически не значимых элементов (табл. 3 / tabl. 3). Внутри клетки диатомеи присутствует Fe, Zn, Pb, Si, Al, Ba. Можно предположить, что в кислой среде обитания, как известно, неблагоприятной для диатомей, их жизнедеятельность усугубляется высоким содержанием токсичных металлов. Аморфный кремнезём панциря и слизь слабо защищают клетки от транзита в них металлов.

Следует также сказать, что развитие цианобактерий и диатомей происходит в окружении кристаллического барита (рис. 6 а-в / fig. 6 а-в). Кристаллы различаются по составу химических элементов. В одних случаях преобладает Ba на фоне убывания доли Si, S, Fe (рис. 6а / fig. 6а), в других – Ba лидирует на фоне снижения доли S, Ca, Fe (рис. 6в / fig. 6в). При этом содержание Ba в кристаллах превышает таковое в окружающей минеральной массе в десятки раз. Микробиологический анализ проб ТГ, образованных отходами выщелачивания сульфомышьяковистых полиметаллических руд в аридной зоне на горной территории Республики Тыва, показал, что в них развиваются цианобактерии и диатомеи, продуцирующие обильную слизь (рис. 7 / fig. 7). При этом цианобактерии присутствуют в колониальной форме. Колонии образуют как одиночные особи, так и многоклеточные нитевидные. В горной местности на высоте расположения хранилищ ТГ около 1000

м над уровнем моря в условиях аридизации и отсутствия высших растений наблюдаются высокие концентрации ультрафиолета и дефицит влаги.

Продуцирование экзометаболизмов обеспечивает микроорганизмам сохранность от высокой инсоляции и пересыхания среды обитания. Помимо слизи в защите колоний могут участвовать мелкодисперсные частицы железа и кремнезёма, взвешенные в поровых водах, а в будущем – по мере формирования биогенно слабозрелых почв – гуминовые кислоты. Установлено, что в моделируемых, геохимических условиях взвешенные в воде осадки оксидгидроксида железа с кремнием, поглощали до 70% бактерицидного ультрафиолетового излучения и смягчали ультрафиолетовый стресс у прокариот [8]. Помимо них цианобактерии могут проявлять механизмы противодействия повреждению ультрафиолетовым излучением, такие как восстановление ДНК, детоксицирующие ферменты, пигменты и солнцезащитные молекулы, поглощающие ультрафиолетовое излучение. Важную роль в защите клеток от радиации играет синтез УФ-поглощающих/экранирующих соединений, таких как микоспориноподобные аминокислоты и скитомелин [40].

Анализ содержания химических элементов в обнаруженных жизнедеятельных колониях одноклеточных цианобактерий р. *Gloeocapsa* sp. и *Microcoleus* sp. показал, что в них присутствуют разнообразные металлы и металлоид As (табл. 4, 5 / tabl. 4, 5).

Таблица 3

Химический состав слизи диатомеи *Surirella spiralis*.
по данным микрозондового анализа, мас. %*, точки (1-2) определения элементов

Table 3

The chemical composition of the mucus of *Surirella spiralis*.
according to microprobe analysis data, wt. %*, element identification points (1-2)

№ точки определения // No. of the point of definition	Показатель // Indicator									
	Na	Al	Si	S	Ca	Cr	Fe	Zn	Ba	Pb
1		1,86	5,14				19,44	6,27	2,75	4,22
2	1,46	0,58	8,53	1,45	1,67	0,48	13,31	6,92		5,57

*Примечание: жирным шрифтом выделены значения накопления элементов в слизи
*Note: The values of the accumulation of elements in the mucus are highlighted in bold

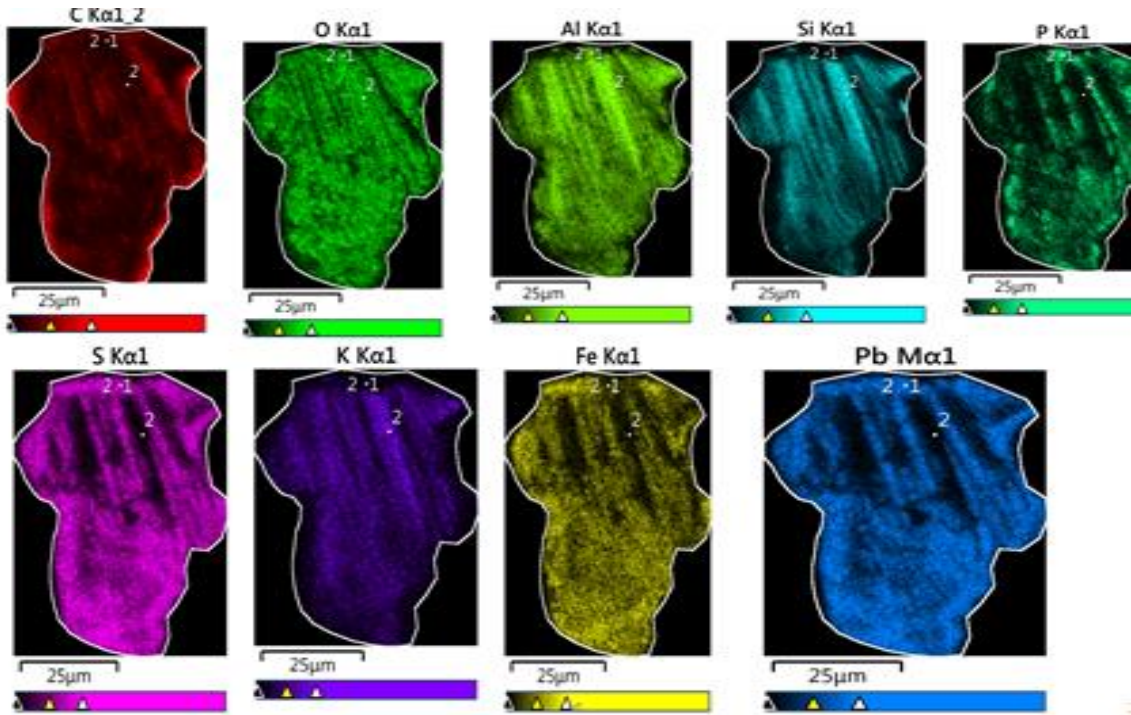


Рис. 5. Спектральное изображение химического состава колонии
Fig. 5. Spectral image of the chemical composition of the colony

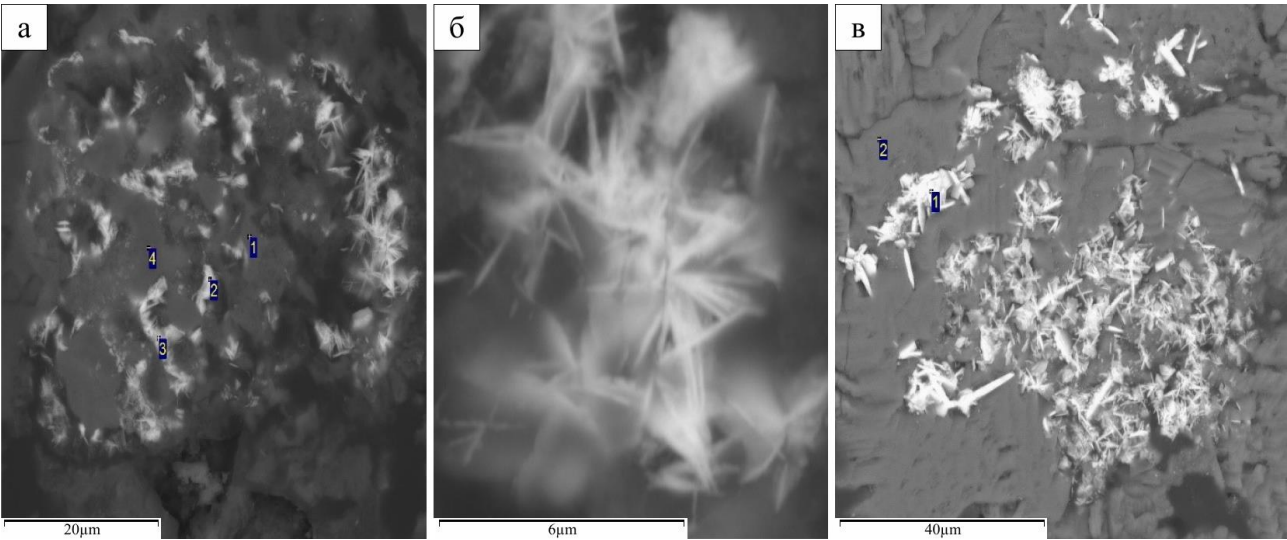


Рис. 6. Кристаллические варианты барита (Ново-Урское месторождение-НУМ);
точки (1-2) определения элементов в объекте
Fig. 6. Crystalline variants of barite (Novo-Urskoye deposit-NUM);
points (1-2) of determination of elements in the object

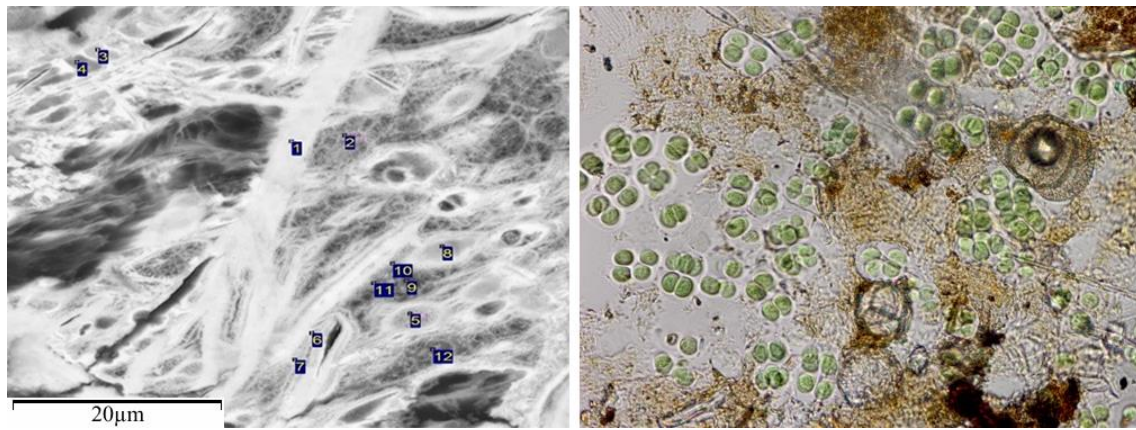
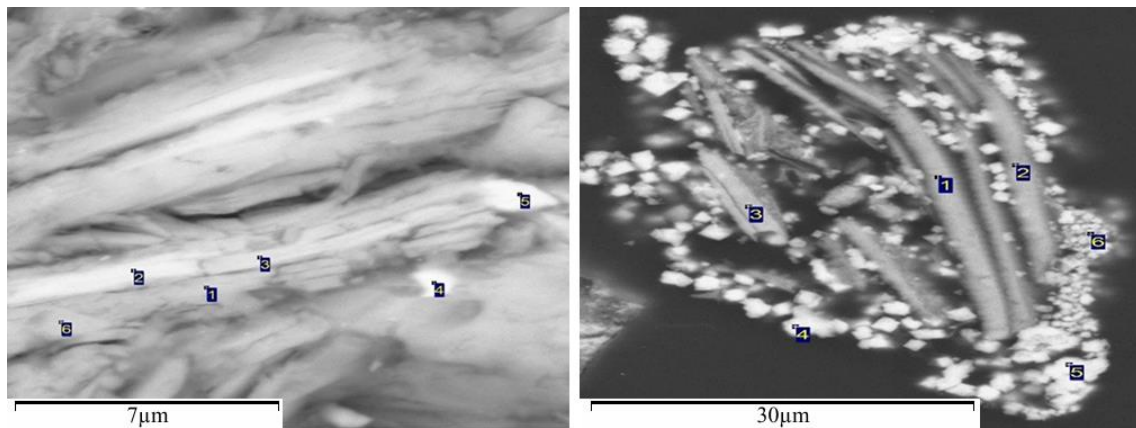
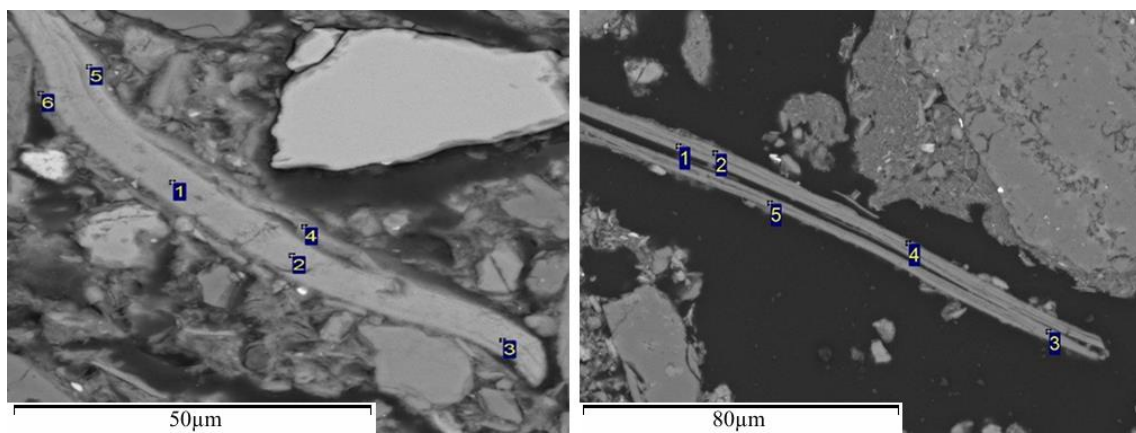
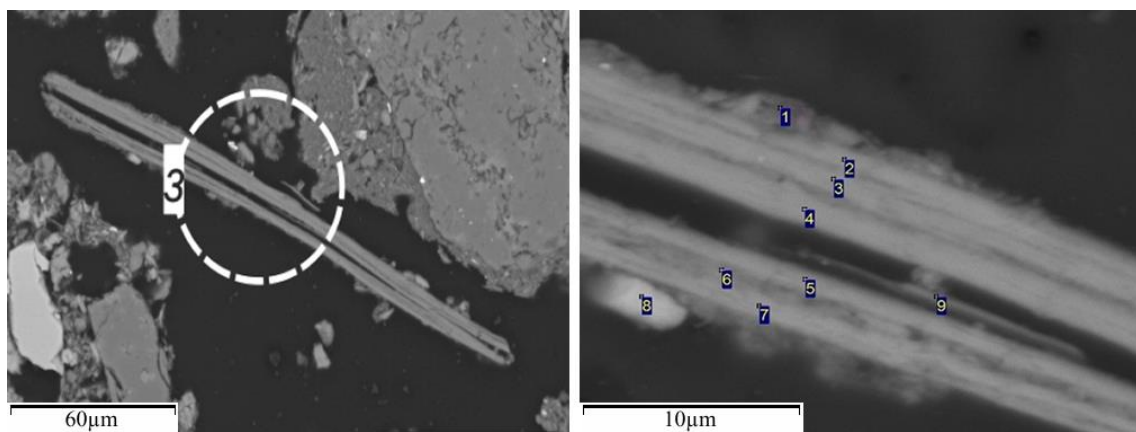
*Gloeocapsa sp.**Microcoleus sp.**Pleurosigma sp. Synedra sp.**Synedra sp.*

Рис. 7. Слизистые цианобактерии диатомей
 Fig. 7. Mucous cyanobacteria and diatoms

Таблица 4

Химический состав *Gloeocapsa* sp.
по данным микрозондового анализа, мас. %*, точки (1-12) определения элементов

Table 4

Chemical composition of *Gloeocapsa* sp.
according to microprobe analysis data, wt. %*, points (1-12) of determination of elements

№ точки определения // No. of the point of defini- tion	Показатель // Indicator										
	Mg	Si	Cl	Ca	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As
1	1,81			3,8	0,31	7,14	6,35	5,7	0,67		27,8
2	1,19		0,11	2,56	0,17	3,97	5,9	3,15	0,38		18,07
3	0,9	0,16		6,29	0,15	5,59	6,7	4,08	0,76		23,43
4	0,98			4,82	0,17	4,86	5,78	3,49	0,71		19,17
5	1,43			3,27	0,17	5,7	6,05	4,45	0,53		21,69
6	1,6			3,66	0,28	6,28	7,15	5,36	0,66		26,28
7	1,23			3,94	0,2	6,08	7,64	4,96	0,57	0,36	25,45
8	1,49			3,25		5,4	5,35	4,51	0,67		21,36
9	0,55		0,13	2,61		3,86	4,8	2,88	0,34		13,67
10	1,69			3,89	0,29	6,11	6,76	4,85	0,64		24,94
11	1,09	0,2	0,1	3,24		6,12	6,12	3,92	0,46		19,29
12	0,73		0,13	2,63	0,17	4,98	4,98	2,81	0,39		14,26

*Примечание: жирным шрифтом выделены значения накопления As слизью цианобактерией.

*Note: the values of As accumulation by mucous cyanobacteria are highlighted in bold.

При этом в живых клетках колонии р. *Gloeocapsa* sp. его количество превышает таковое в слизи (табл. 4 / tabl. 4). Не исключено, что его цианобактерии используют для осуществления аноксигенного фотосинтеза. Такое явление было обнаружено, в высокогорном озере Моно на востоке американского штата Калифорния [35]. Оно было вызвано высокими концентрациями сульфидов и солей мышьяковистой кислоты. Существует мнение, что именно с участием таких доноров электронов мог начаться процесс аноксигенного фотосинтеза на Земле, а оксигенный фотосинтез, который снабжает другие формы жизни способствует азот-фиксации, которая обеспечивается присутствием Ca и Mg. Присутствие железа в колониях, вероятно, способствует защите от действия ультрафиолета.

Экспериментально доказано, что увеличение времени воздействия низких доз As⁵ и As³ способствует адаптации современных цианопрокариот и позитивно отражается на восстановлении роста и биохимических параметрах [39].

Диатомовые водоросли, представленные в ТГ аридной зоны р. *Pleurosigma* sp. и р. *Synedra* sp. (рис. 7 / fig. 7) относятся к подвижным формам, чему способствует слизь. В ней, как внутри клеток наблюдалась иммобилизация широкого набора химических элементов (табл. 6, 7 / tabl. 6, 7). Но As отсутствовал.

Не исключено, что эти организмы проявили стратегию защиты от мышьяка, которая включает усиление регуляции транспортеров, связанных с выведением вредных соединений из клетки, и белков, участвующих в синтезе глутатиона для хелатирования внутриклеточного мышьяка, что установлено ранее в ходе транскриптомного и биохимического анализа [43].

Анализ минералогического состава в среде обитания цианобактерий и диатомей показал, что в ней присутствуют кристаллические формы мышьяковистых минералов (рис. 8 а, б / fig. 8 а, б). В их составе преобладает As: 25,9-26,9 мас. %, (рис. 8а / fig. 8а), и 26,7-26,8 мас. %, (рис. 8б / fig. 8б).

Сопутствующие элементы различаются по составу и содержанию. Ниже приводятся два варианта кристаллов: в одном присутствуют (в порядке убывания) As, Mg, Ni, Co, Cu, Ca, Mn, Fe, в другом – As, Mg, Co, Ni, Cu, Al, Si, Ca, Mn, Fe.

Не исключено, что зарождение минералов обусловлено испарительным эффектом и микробиологическими процессами. Биогеохимия мышьяка сложна и включает в себя различные процессы адсорбции и десорбции. В окислительных условиях мышьяк может высвобождаться из пирита или оксидов железа, особенно при повышенном уровне pH, что имеет место в ТГ аридной зоны. Его высокая иммобилизация происходит в слизистых колониях. Учитывая, что продуцирование слизистых экзометаболитов – процесс чрезвычайно энергозатратный, на него расходуется до 70% энергии всего запаса фотосинтеза [30], можно предположить, что важную роль в формировании АТФ играет как традиционный фотосинтез (оксигенный), так и аноксигенный, с участием арсенитов, и сульфидов, поставщиков электронов. Не исключено также, что неорганический мышьяк, присутствующий в слизях, частично подвержен хелатированию и мета-болизирован в процессе метилирования в цитозоле с образованием органических соединений мышьяка, что обеспечивает его присутствие практически в нетоксичной для биоты форме [29].

Таблица 5

Химический состав *Microcoleus* sp.
по данным микрозондового анализа, мас. %*, точки (1–6) определения элементов

Table 5

Chemical composition of *Microcoleus*
according to microprobe analysis data, wt. %*, points (1-6) of determination of elements

№ точки определения // No. of the point of definition	Показатель // Indicator														
	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	As	Sr	Ba	Bi
1	15,55		0,78	0,15	0,82		0,22	0,93	2,92	1,59	1,7	28,83			
2	9,93		0,41		0,71		0,32	2,19	4,63	9,68	0,83	25,48			
3	13,36		0,9	0,14	1,51		0,16	1,73	3,37	4,78	1,49	28,6			
4	12,78	0,57	1,44		1,03	0,26	0,39	2,77	2,16	0,76	1,52	16,86			
5	6,38	7,13	2	0,23	1,62			2,25	0,74	0,84	0,61	20,53	2,26	0,61	4,51
6	16,06		0,63		0,6		0,23	0,73	3,08	1,45	1,52	29,68			

*Примечание: жирным шрифтом выделены значения накопления As цианобактерией.

*Note: the values of As accumulation by cyanobacteria are highlighted in bold.

Таблица 6

Химический состав *Pleurosigma* sp.
по данным микрозондового анализа, мас. %*, точки (1–6) определения элементов

Table 6

Chemical composition of *Pleurosigma* sp.
according to microprobe analysis data, wt. %*, points (1-6) of determination of elements

№ точки определения // No. of the point of definition	Показатель // Indicator												
	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
1	4,36	7,41	15,81			2,8	0,99	0,57	0,35	16,6			
2	4,54	7,72	16,34			3,19	0,79	0,58	0,35	17,26	0,51	0,22	
3	4,37	8,17	17,08			4,52	0,56	0,51	0,37	17,13	0,29	0,25	
4	2,51	4,86	10,66		0,12	2,63	0,64	0,41	0,28	12,54			
5	4,16	7,26	15,5			3,57	0,61	0,52	0,37	15,93	0,43	0,2	0,23
6	1,18	10,76	19,47	0,1	0,12	0,99	0,64			3,14		0,45	0,28

*Примечание: жирным шрифтом выделены значения накопления элементов в слизи.

*Note: The values of the accumulation of elements in the mucus are highlighted in bold.

Таблица 7

Химический состав *Synedra* sp.
по данным микрозондового анализа, мас. %*, точки (1–9) определения элементов

Table 7

Chemical composition of *Synedra* sp.
according to microprobe analysis data, wt. %*, points (1-9) of determination of elements

№ точки определения // No. of the point of definition	Показатель // Indicator									
	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Ba
1	0,46	0,83	3,12	5,75	0,43	0,73	3,94		1,52	
2	0,55	1,31	10,97	17,67	0,18	5,53	0,97	0,18	2,8	
3	0,31	1,49	13,93	22,15		7,78	0,39		3,19	
4	0,34	1,57	14,96	24,34		8,13			3,22	
5	0,22	1,36	12,1	19,49	0,12	6,51	0,35	0,17	2,7	
6	0,33	1,44	12,39	20,81		7,14	0,9	0,15	3	
7	0,27	1,77	14,22	23,98		7,67	1,15	0,14	3,33	
8	0,61	6,96	5,42	22,55		1,4	7,5	0,26	10,13	
9	0,17	1,23	10,52	16,92	0,15	5,37	2,39		2,39	0,27

*Примечание: жирным шрифтом выделены значения накопления элементов в слизи.

*Note: The values of the accumulation of elements in the mucus are highlighted in bold.

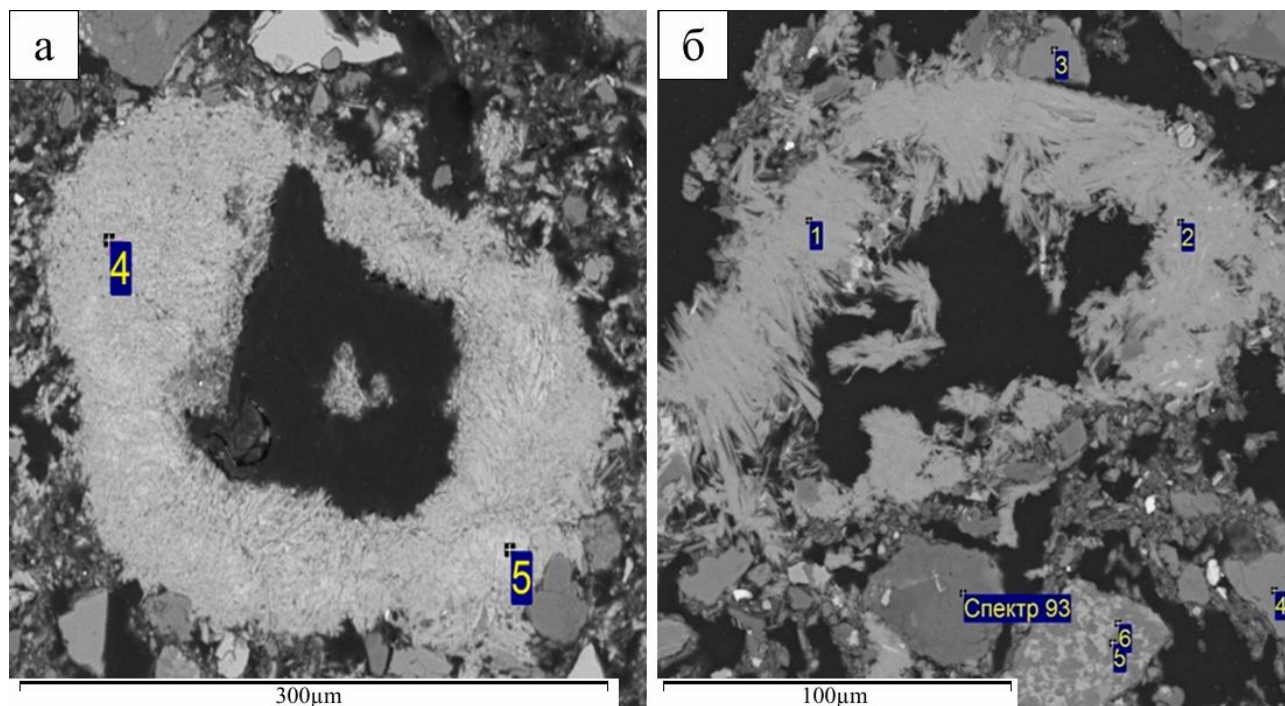


Рис. 8. Кристаллические мышьяковистые минералы (А, Б)

Fig. 8. Crystalline arsenic minerals (A, B)

Существует мнение, что такие свойства цианобактерий можно использовать в эффективном связывании токсичных элементов, в том числе мышьяка, для ускорения очистки экосистем [34]. В настоящее время для биоремедиации от мышьяка предлагаются сульфатредуцирующие бактерии [7]. Не исключено применение с этой целью штаммов цианобактерий, присутствующих в окружении мышьяка в экстремальных условиях Южной Сибири.

Заключение

Методом сканирующего электронного микроскопирования были изучены особенности биогенности ТГ, представляющие собой отходы переработки сульфидных золотосодержащих руд (гумидная зона Западной Сибири, климат резко континентальный) и сульфо-арсенидных полиметаллических руд (холодная аридная зона горной территории, юг Сибири). Установлено, что в таких крайне экстремальных местообитаниях, каковыми являются токсичные хранилища ТГ, через десятилетия их пребывания на дневной поверхности, в окисленном слое поселяются диатомовые водоросли и цианобактерии. Они обнаружены нами в жизнедеятельном состоянии, что обеспечивается формированием колоний с присутствием в большинстве случаев слизистых экзометаболитов. Химический состав слизей и талломов, определённый с помощью микрозондового (спектрального) анализа элементов, включает тяжёлые металлы и неметаллы, в том числе не являющиеся физиологически значимыми, относящихся к группе биотоксичных. Установлено, что в техногенных грунтах, представленных сульфидными отходами цианирования руд, диатомовые водоросли аккумулируют барий внутри клеток, цианобактерии в слизи. В сульфо-мышьяковистом субстрате цианобактерии иммобилизируют As внеклеточно и внутриклеточно. Предполагается, что мышьяк используется цианобактериями в анаэробном фотосинтезе для получения

дополнительной энергии и азота путём фиксации из атмосферы. Диатомовые водоросли металлоид не содержат что, возможно, обусловлено их механизмами биохимической защиты. Дефицит трофического резерва диатомеи наряду с цианобактериями, способны компенсировать гетеротрофно [36], возможно, используя собственные экзополисахариды.

Установлено, что цианобактерии и диатомеи сохраняют жизнедеятельность в окружении не только растворённых химических элементов, но и в окружении кристаллических баритовых и мышьяковистых минералов. Не исключено, что причинами зарождения кристаллов являются испарительный эффект и микробиологические процессы.

Наши сведения о жизнедеятельности этих организмов в ТГ расширяют знания о крайне экстремальных местообитаниях, пригодных для их жизни. Ранее сообщалось, что диатомеи и цианобактерии обнаружены во льдах Арктики [18, 19] наряду с бактериями и вирусами [21], цианобактерии – в песках пустыни Атакама в Чили – одном из самых засушливых мест на Земле [33], где они используют не жидкую воду, а кристаллическую – из структуры минерала ангидрида. В жизнедеятельном состоянии цианобактерии и диатомеи обнаружены и в других малоприспособленных для жизни субстратах: песчаных дюнах, на поверхности застывшей вулканической лавы, гейзеритов, солонцов и др.

Изложенные результаты о биогенности ТГ могут быть использованы для характеристики ранних стадий почвообразования в экстремальных местообитаниях техногенных ландшафтов, учтены при разработке экологически безопасных способов консервации грунтов, создании природоподобных технологий эффективной биоремедиации почв, при моделировании процессов образования минералов.

Сведения об авторском вкладе

В.С. Артамонова – постановка задачи исследования, формулировка идеи статьи, работа с иностранными источниками, написание и научное редактирование статьи.

А.Ш. Шавекина – отбор проб в полевых условиях, подготовка монолитов для сканирующего электронного микроскопирования, определение химических элементов с применением микрозондового анализа, компьютерная обработка снимков.

Contribution of the authors

V.S. Artamonova – formulation of the research task, formulation of the idea of the article, work with foreign sources, writing and scientific editing of the article.

A.Sh. Shavekina – sampling in the field, preparation of monoliths for scanning electron microscopy, determination of chemical elements using microprobe analysis, computer image processing.

Список источников

1. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. О пригодности складированных отходов переработки сульфидных руд на ранних стадиях почвообразования // Антропогенная трансформация природной среды. 2024. Т. 10. № 1. С. 24-36. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-1-24-36>

2. Артамонова В.С., Бортникова С.Б., Хусаинова А.Ш. Бактерии и водоросли – участники первичного почвообразования на отходах полиметаллических руд // Экологическая и геохимическая деятельность микроорганизмов экстремальных местообитаний: материалы III Всероссийской конференции с междунар. участием. Улан-Удэ – Байкальск, 3-5 июля 2023 г. / отв. ред. Д.Д. Бархутова, О.П. Дагурова, Т.Г. Банзаракцаева. СО РАН. Новосибирск: СО РАН, 2023. С.10-11.

3. Баулина О.И. Ультраструктурная пластичность цианобактерий. М.: Научный мир. 2010. 240 с. ISBN: 978-5-91522-166-5.

4. Белозерцева И.А., Гранина Н.И. Воздействие разведки, добычи и переработки полезных ископаемых на почвы Сибири // Фундаментальные исследования. 2015. № 10 (часть 2). С. 238-242.

5. Бортникова С.Б., Гаськова О.Л., Айриянц А.А. Техногенные озёра: формирование, развитие и влияние на окружающую среду. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2003. 120 с.

6. Бортникова С.Б., Гаськова О.Л., Бессонова Е.П. Геохимия техногенных систем. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2006. 169 с.

7. Брюханов А.Л., Хижняк Т.В. Использование сульфатредуцирующих бактерий в биоремедиации от тяжёлых металлов и металлоидов (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2023. Т. 59. № 2. С. 133-149. <https://doi.org/10.31857/S0555109923020034>

8. Влияние УФ-излучения на рост цианобактерий в архее и оксигенация Земли. 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/W5ET5gccew-CqYReQ> (дата обращения: 30.03.2025).

9. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.

10. Горбатюк Е.А., Барановская Н.В., Жданов В.А. Особенности элементного состава *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim (rosaceae) на территории Ново-Урского хвостохранилища в Кемеровской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 6. С. 116-125. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/6/2133>

11. Громов Б.В. Ультраструктура синезелёных водорослей. Л.: Наука, 1976. 91 с.

12. Густайтис М.А., Мягкая И.Н., Сарыгоол Б.Ю., Лазарева Е.В. Распределение ртути в донных отложениях водных объектов в зоне влияния Урского хвостохранилища (Кемеровская область) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. 2017. № 4. С.114-122.

13. Давыдов Д.А., Патова Е.Н., Шалыгин С.С., Вильнет А.А., Новаковская И.В. Проблема скрытого разнообразия цианопрокариот арктических территорий // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 110-116. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-1-110-116>

14. Забелин В.И. Распределение токсичных элементов в природных и антропогенных средах на территории бывшего ГОКа «Тувакобальт» // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Эколого-экономические проблемы природопользования, 2016. Вып.14. (Отв. Ред. В.И. Лебедев). Изд-во: ФГБУНТКОПР СО РАН, Кызыл. 2016. С. 119-128.

15. Кашин В.И. Возвращение к прошлому. Доклад Заместителя Председателя ЦК КПрФ, Председателя Комитета ГД ФС РФ по природным ресурсам, природопользованию и экологии, академика РАН В.И. Кашина по проблеме использования техногенных месторождений. 2016. [Электронный ресурс]. URL: https://hkprf.ru/m/900/700/t/img/2016/03/e4a2b0_152853_1.jpg (дата обращения: 30.03.2025).

16. Ковда В.А. Основы учения о почвах. Книга 1. М.: Наука, 1973. 448 с.

17. Кондрашева К.В., Умрузаков А.А., Калёнов С.В., Меркель А.Ю., Черных Н.А., Слободкин А.И., Гаврилов С.Н., Давранов К.Д. Кальцинирующие бактерии в экстремальных экосистемах Южного Приаралья // Микробиология. 2023. Т. 92. № 3. С. 335-344. <https://doi.org/10.31857/S0026365622600869>

18. Кудрявцева В.А., Белевич Т.А., Житина Л.С. Видовой состав диатомовых водорослей во льду пролива Великая Салма Белого моря перед весенним цветением // Вестник Моск. ун-та. 2017. Сер. 16. Биология. Т. 72. № 2. С. 63-69.

19. Куприянов А.Н., Уфимцев В.И. «Шагреновая кожа» Земли. Природоподобные технологии рекультивации угольных отвалов // Наука из первых рук. 2023. № 4(98). С. 48-63.

20. Лебедев В.И. Хову-Аксинское месторождение арсенидных кобальтовых руд (Республика Тыва, Россия). Новые взгляды на проблему возобновления добычи и переработки // Геология рудных месторождений. 2021. Т. 63. № 3. С. 236-264. <https://doi.org/10.31857/S0016777021030059>

21. Сажин А.Ф., Романова Н.Д., Копылов А.И., Заботкина Е.В. Бактерии и вирусы в Арктическом льду

// Океанология. 2019. Т. 59. № 3. С. 373-382. <https://doi.org/10.31857/S0030-1574593373-382>

22. Розанов А.С., Мягкая И.Н., Коржук Ф.В., Изотова Ф.Ф., Тоцаков С.В., Лазарева Е.В., Пельтек С.Е. Микробные сообщества в веществе из потока рассеяния Урского хвостохранилища (Кемеровская обл., пос. Урск) // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность: материалы Междунар. научной конференции. Севастополь, 13-18 сентября 2021 г. Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ. 2021. С. 150-152. <https://doi.org/10.21072/978-5-6044865-5-9>

23. О развитии природоподобных технологий в РФ: указ Президента РФ № 818 от 02.11.2023 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202311020021?ysclid=m8770yx2a839676631> (дата обращения 13.03.2025).

24. Хмурчик В.Н., Максимович Н.Г., Середин В.В. Биотехнологии в инженерной геологии. Пермь: ПГНИУ, 2023. 196 с.

25. Хусаинова А.Ш., Бортникова С.Б., Гаськова О.Л., Волынкин С.С., Калинин Ю.А. Вторичные минералы Fe, Pb, Cu в сульфидосодержащем хвостохранилище: последовательность образования, электрохимические реакции и физико-химическая модель (Талмовские Пески, Салаир, Россия) // Russ. J. Earth. Sci. 2023. Т. 23. ES1006. <https://doi.org/10.2205/2023ES000810>

26. Хусаинова А.Ш., Калинин Ю.А., Бортникова С.Б., Гаськова О.Л. Минералы Au и Ag в хвостохранилище переработанных сульфидных руд (Салаир, Россия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28. № 1. С. 27-39. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-1-27-39>

27. Чайка В.Е., Ластовец В.В. О возможности альгологического закрепления пьялящих шламохранилищ горнообогатительных комбинатов Кривбасса в процессе их эксплуатации // VI съезд Украинского микробиологического общества: тезисы VI Украинского микробиологического общества. Донецк, июнь 1984 г. /отв. ред. В.В. Смирнов. Ч.1. Киев: Наукова Думка. 1984. С.151-152.

28. Юркевич Н.В. Техногенные экосистемы: динамика развития и ресурсный потенциал (на примере хранилищ отходов горнорудного производства в Кемеровской области и Забайкальском крае): Автореф. ... дис. докт. геол.-минер. наук: 1.6.4. Новосибирск, 2024. 36 с.

29. Bentley R., Chasteen T.G. Microbial methylation of metalloids: arsenic, antimony, and bismuth // Microbiol. Mol. Biol. Rev. 2002. Vol. 66. № 2. P. 250-271. <https://doi.org/10.1128/MMBR.66.2.250-271.2002>

30. Bhatnagar M., Bhatnagar A. Diversity of polysaccharides in cyanobacteria. // Microbial diversity in ecosystem sustainability and biotechnological applications. Volume 1. Microbial diversity in normal & extreme environments. / In: T. Satyanarayana, B.N. Johri, S.K. Das (ed.). Singapore: Springer; 2019. pp. 447-496. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8315-1_15

31. Bian Z., Dong W., Ning Z., Song Y., Hu K. Recovery of terbium by *Lysinibacillus* sp. DW018 isolated from ionic rare earth tailings based on microbial induced calcium carbonate precipitation // Front. Microbiol. 2024. Vol. 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1416731>

32. de Philippis R., Vincenzini M. Exocellular polysaccharides from Cyanobacteria and their possible applications // FEMS Microbiology Reviews. 1998. Vol. 22. № 3. P. 151-175.

33. Huang W., Ertekin E., Wang T., Kruz L., Dailey M., Di Ruggiero J., Kisailus D. Mechanism of water extraction from gypsum rock by desert colonizing microorganisms // PNAS. 2020. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001613117>

34. Ferrari S.G., Silva P.G., González D.M., Navoni J.A., Humberto J., Silva H.J. Arsenic tolerance of cyanobacterial strains with potential use in biotechnology // Rev. Argent Microbiol. 2013. Vol. 45. № 3. P. 174-179. [https://doi.org/10.1016/s0325-7541\(13\)70021-x](https://doi.org/10.1016/s0325-7541(13)70021-x)

35. Kulp T.R., Hoeft S.E., Asao M., Madigan M.T., Holibaugh J., Fisher C., Stolz J.F., Culbertson C.B., Miller L.G., Oremland R.S. Arsenic (III) Fuels Anoxygenic Photosynthesis in Hot Spring Biofilms from Mono Lake, California // Science. 2008. Vol. 321. №5891. P. 967-970. <https://doi.org/10.1126/science.1160799>

36. Marella T.K., Bhattacharjya R., Riway A. Impact of organic carbon acquisition on growth and functional biomolecule production in diatoms // Microb. Cell. Fact. 2021. Vol. 20. № 135. <https://doi.org/10.1186/s12934-021-01627-x>

37. Maureira A., Zapata M., Olave J., Jeison D., Wong L.-S., Panico A., Hernández P., Cisternas L.A., Rivas M. MICP mediated by indigenous bacteria isolated from tailings for biocementation for reduction of wind erosion // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2024. Vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1393334>

38. Mujah D., Shahin M.A., Cheng L. State-of-the-Art Review of Biocementation by Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) for Soil Stabilization // Geomicrobiology J. 2017. Vol. 34. № 6. P. 524-537. <http://dx.doi.org/10.1080/01490451.2016.1225866>

39. Patel A., Tiwari S., Prasad S.M. The effect of the time interval on arsenic toxicity for rice field cyanobacteria, as seen from nitrogen metabolism, biochemical component, and exopolysaccharide content // Biol. Trace Elem. Res. 2021. Vol. 199. P. 2031-2046. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02289-3>

40. Rajesh P.R., Rajeshwar P.S., Sang H.M., Taek K. L., Sreejith K., Youn-Jung K., Jae-Sung R., Eun-Mi Ch., Murray T.B., Donat-Peter H., Taejun H. Ultraviolet radiation and cyanobacteria // Journal of Photochemistry and Photobiology B. 2014. Vol. 141. P. 154-169. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.09.020>

41. Rajeshwar P.S., Donat-P.H. Requirement of Calcium for the Biosynthesis of Shinorine, a Mycosporine-Like Amino Acid (MAA) in *Ananaena variabilis* PCC 7837 // Human Journals. 2016. Vol. 2. № 4. P. 1-16. [Электронный ресурс]. URL: <https://ijsrm.humanjournals.com/wp-content/uploads/2016/02/1.Shailendra-P.-Singh-Donat-P.-H%C3%A4der-and-Rajeshwar-P.-Sinha.2.pdf> (дата обращения: 30.03.2025).

42. Sanka I., Suyono E.A., Alam P. The effects of diatom pore-size on the structures and extensibilities of single mucilage molecules // Carbohydr Res. 2017. Vol. 448. P. 35-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carres.2017.05.014>

43. Xu D., Shaum S.E., Li B., Chen I., Tong S., Fu F.H., Hutchins D.A., Zhang S., Fan H., Han V., Wang I., Ye N. Acclimatization and adaptation to elevated pCO increase arsenic resistance in marine diatoms // ISME J. 2021. Vol.

15(6). P. 1599-1613. <http://dx.doi.org/10.1038/S41396-020-00873-y>

44. Vasquez-Rodriguez A.I., Hansel K.M., Zhang T., Lamborg C., Santelli K.M., Webb S.M., Brooks S.K. Microbial and thiosulfate-mediated dissolution of mercury sulfide minerals and conversion to mercury gas // *Front. Microbiol.* 2015. Vol. 6 (596). <http://dx.doi.org/10.3389/FMICB.2015.00596>

45. Visscher P. T., Quist P., van Gernerden H. Methylated sulfur compounds in microbial mats: in situ concentrations and metabolism by a colorless sulfur bacterium // *App. Environ. Microbiol.* 1991. Vol. 57. № 6. P. 1758-1763. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.57.6.1758-1763.1991>

46. Wang P., Sun G., Jia Y., Meharg A.A., Zhu Y.A. Review on completing arsenic biogeochemical cycle: Microbial volatilization of arsines in environment // *J. Environ. Sci.* 2014. Vol. 26. P. 371-381. [http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60432-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60432-5)

47. Webb Discovers Methane, Carbon Dioxide in Atmosphere of K2-18 b NASA. 2023. [Электронный ресурс]. URL: www.nasa.gov (дата обращения 27.03.2024).

48. Zhuang F., Huang J., Li H., Peng X., Xia L., Zhou L., Zhang T., Liu Z., He Q., Luo F., Yin H., Meng D. Biogeochemical behavior and pollution control of arsenic in mining areas: A review // *Front. Microbiol.* 2023. Vol. 14. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2023.1043024>

49. Zhu Y.G., Xue X.-M., Kappler A., Rosen B.P., Meharg A.A. Linking genes to microbial biogeochemical cycling: lessons from As // *Environ. Sci. Technol.* 2017. Vol. 51. P. 7326-7339. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.7b00689>

50. Zúñiga-Barra H., Toledo-Alarcón J., Torres-Aravena A., Jorquera L., Rivas M., Gutiérrez L., Jeison D. Improving the sustainable management of mining tailings through microbially induced calcite precipitation: a review // *Minerals Engineering.* 2022. Vol. 189. № 1. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.10785>

References

1. Artamonova, V., and Bortnikova, S., 2024. On the viability of stored waste from the processing of sulfide ores in the early stages of soil formation. *Anthropogenic transformation of nature.* 10(1). pp. 24-36. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-1-24-36> (in Russian)

2. Artamonova, V., Bortnikova, S. and Khusainova, A., 2023. Bacteria and algae – participants in primary soil formation on waste from polymetallic ore processing. In: Barkhutova, D., Dagurova, O., Banzaraktsaeva, T. (ed). *Ecology and geochemical activity of microorganisms in extreme habitats: Proceedings of the III All-Russian Conference with international participation dedicated to the 80th anniversary of Doctor of Biological Sciences, professor B.B. Namsaraev, the 100th anniversary of the Russian Academy of Sciences, 3-7 July 2023. Ulan-Ude-Baikalsk. Novosibirsk, SB RAS, pp. 10-11. (in Russian)*

3. Baulina, I., 2010. *Ul'trastrukturnaa plasticnost' tsyanobakteriy* [Ultrastructural plasticity of cyanobacteria]. Moscow, *Scientific World.* 240 p. (in Russian)

4. Belozertseva, I. and Granina, N., 2015. The impact of exploration, extraction and processing of minerals on the soils of Siberia. *Fundamental research.* 10(part 2), pp. 238-242. (in Russian)

5. Bortnikova, S., Gaskova, O. and Airiyants, A., 2003. *Technogennye ozera: formirovaniye, raznitie i vliyaniye na okruzhayushchuyu sredyu* [Technogenic lakes: formation, development and impact on the environment], Novosibirsk, Academic publishing house "Geo". 120 p. (in Russian)

6. Bortnikova, S., Gaskova, O. and Bessonova, E., 2006. *Geochimiya technogennyykh sistem* [Geochemistry of technogenic systems]. Novosibirsk, Academic publishing house "Geo". 169 p. (in Russian)

7. Bryukhanov, A. and Khizhnyak, T., 2023. The use of sulfate-reducing bacteria in bioremediation from heavy metals and metalloids (review). *Applied Biochemistry and Microbiology,* 59(2), pp. 133-149. <https://doi.org/10.31857/S0555109923020034> (in Russian)

8. Vliynie UF-izlucheniya na rost tsianobakteriy v arkee i oksigenatsiy Zemli [The effect of UV radiation on the growth of cyanobacteria in the Archaea and the oxygenation of the Earth]. 2018. Available from: <https://dzen.ru/a/W5ET5gccewCqYReO> [Accessed 29th March 2025] (in Russian)

9. Gerasimova, M., Stroganova, M., Mozharova, N. and Prokof'eva T., 2003. *Antropogennyye pochvy: genesis, geografiya, rekul'tivatsiya* [Anthropogenic soils: genesis, geography, reclamation]. Smolensk, Oikumena. 268 p. (in Russian)

10. Gorbatyuk, E., Baranovskaya, N. and Zhdanov, V., 2019. Features of the elemental composition of *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim (rosaceae) on the territory of the Novo-Ursky tailings dam in the Kemerovo region: *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering.* 330(6), pp. 116-125. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/6/2133> (in Russian)

11. Gromov, B., 1976. *Ul'trastruktura sine-zelenykh vodorosley* [Ultrastructure of blue-green algae]. Leningrad, Nauka. 91 p. (in Russian)

12. Gustaitis, M., Myagaya, I., Sarygool, B. and Lazareva, E., 2017. Distribution of mercury in bottom sediments of water bodies in the zone of influence of the Ursky tailings dam (Kemerovo region). *Bulletin of Voronezh State University. Series: Geology,* 4, pp. 114-122. (in Russian)

13. Davydov, D., Patova, E. Shalygin, S., Vilnet, A. and Novakovskaya, I., 2020. The problem of the hidden diversity of cyanoprokaryotes in Arctic territories. *Theoretical and applied ecology,* 1, pp. 110-116. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-1-110-116> (in Russian)

14. Zabelin, V., 2016. Distribution of toxic elements in natural and anthropogenic environments in the territory of the former GOK Tuvakobalt. *State and development of natural resources of Tuva and adjacent regions of Central Asia. Ecological and economic problems of nature management.* Kyzyl, FGBUUNTKOPR SB RAS publ. 14. pp. 119-128 (in Russian).

15. Kashin, V., 2016. Vozvrashchenie k prochshlomu. Doklad Zamestitely Predsedately ZK KPRF, Predsedately Komiteta GD, FS RF po prirodnym resursam, prirodoopol'zovaniyu i ekologii, akademika RAN po probl'eme izpol'zovaniya technogennykh mestorozhdenii [Return to

the past. Report by Deputy Chairman of the Central Committee of the Communist Party of the Russian Federation, Chairman of the State Duma Committee on Natural Resources, Environmental Management and Ecology, Academician of the Russian Academy of Sciences on the problem of the use of man-made deposits]. Available from: https://hkprf.ru/m/900/700/t/img/2016/03/e4a2b0_152853_1.jpg [Accessed 30th March 2025]. (in Russian)

16. Kovda, V., 1973. *Osnovy ucheniya o pochvack* [Fundamentals of the doctrine of soils]. Book 1. Moscow, Nauka publ. 448 p. (in Russian).

17. Kondrasheva, K., Umruzakov, A., Kalenov, S., Merkel, A., Chernykh, N., Slobodkin, A., Gavrilov, S. and Davranov K., 2023. Calcifying bacteria in extreme ecosystems of the Southern Aral Sea region. *Microbiology*, 92(3), pp. 335-344. <https://doi.org/10.31857/S0026365622600869> (in Russian).

18. Kudryavtseva, V., Belevich, T. and Zhitina, L., 2017. Species composition of diatoms in the ice of the Great Salma Strait of the White Sea before spring flowering. *Moscow Bulletin. The university. Ser. 16. Biology*, 72(2), pp. 63-69. (in Russian)

19. Kupriyanov, A. and Ufimtsev, V., 2023. The "Shagreen skin" of the Earth. Nature-like technologies for recultivation of coal dumps. *Science at first hand*, 4(98), pp. 48-63 (in Russian).

20. Lebedev, V., 2021. Khova-Aksinskoye deposit of arsenide cobalt ores (Republic of Tyva, Russia). New views on the problem of resuming mining and processing. *Geology of ore deposits*, 63(3), pp. 236-264. <https://doi.org/10.31857/S0016777021030059> (in Russian)

21. Sazhin, A., Romanova, N., Kopylov, A. and Zabolotkina, E., 2019. Bacteria and viruses in the Arctic ice. *Oceanology*, 59(3), pp. 373-382. <https://doi.org/10.31857/S0030-1574593373-382> (in Russian)

22. Rozanov, A., Myagaya, I., Korzhuk, F., Izotova, F., Toshchakov, S., Lazareva, E. and Peltek S., 2021. *Microbial communities in matter from the Ursky tailings dump scattering stream (Kemerovo region, village Ursk). In.: Study of aquatic and terrestrial ecosystems: history and modernity: Proceedings of the International Scientific Conference, 13-18 September 2021. Sevastopol, Russia. Sevastopol, FITZ InBUM, pp. 150-152. https://doi.org/10.21072/978-5-6044865-5-9/ (in Russian)*

23. O razvitii prirodopodobnykh tekhnologiy v RF [On the development of nature-like technologies in the Russian Federation]. Decree of the President of the Russian Federation № 818 from 02.11.2023. Available from: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202311020021?ysclid=m8770yxe2a839676631> (Accessed 13th March 2025). (in Russian)

24. Khmurchik, V., Maksimovich, N. and Seredin, V., 2023. *Biotehnologii v inzhenernoy geologii* [Biotechnologies in engineering geology]. Perm, Perm State National Research University. 196 p. (in Russian)

25. Khusainova, A., Bortnikova, S., Gaskova, O., Volynkin, S. and Kalinin, Yu., 2023. Secondary minerals Fe, Pb, Cu in a sulfide-containing tailings reservoir: formation sequence, electrochemical reactions, and physico-chemical model (Talmovskie Peski, Salair, Russia). *Russ. J. Earth Sci.*, 23, ES1006. <https://doi.org/10.2205/2023ES000810> (in Russian)

26. Khusainova, A., Kalinin, Yu., Bortnikova, S. and Gaskova, O., 2023. Au and Ag minerals in the tailings storage of processed sulfide ores (Salair, Russia). *Natural Resources of the Arctic and Subarctic*, 28(1), pp. 27-39. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-1-27-39> (in Russian)

27. Chaika, V. and Lastovets, V., 1984. *On the possibility of algological fixation of dusty sludge storage facilities of mining and processing plants in Kryvbas during their operation. In.: Smirnov, V. (ed). VI Congress of the Ukrainian Microbiological Society: Abstracts of the VI Ukrainian Microbiological Society, June, 1984. Part 1. Donetsk, Kiev, Naukova Dumka, pp. 151-152. (in Russian)*

28. Yurkevich, N., 2024. *Technogennyye ekosistemy: dinamika razvitiya i resursnyy potentsial (na primere ckranilishch otkodov gornorudnogo proizvodstva v Kemerovskoy oblasti i zabaykal'skom krae)* [Technogenic ecosystems: development dynamics and resource potential (on the example of mining waste storage facilities in the Kemerovo region and the Trans-Baikal Territory)]. Dr. miner. sci. diss., crystallography, geochemistry, geochemical methods of mineral prospectings. Novosibirsk, 36 p. (in Russian)

29. Bentley, R. and Chasteen, T.G., 2002. Microbial methylation of metalloids: arsenic, antimony, and bismuth. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 66(2), pp. 250-271. <https://doi.org/10.1128/MMBR.66.2.250-271.2002>

30. Bhatnagar, M. and Bhatnagar, A., 2019. Diversity of polysaccharides in cyanobacteria. In: Satyanarayana, T., Johri, B., Das, S. (ed.) *Microbial diversity in ecosystem sustainability and biotechnological applications. Vol.1. Microbial diversity in normal & extreme environments*. Singapore, Springer. pp. 447-496. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8315-1_15

31. Bian, Z., Dong, W., Ning, Z., Song, Y. and Hu, K., 2024. Recovery of terbium by *Lysinibacillus* sp. DW018 isolated from ionic rare earth tailings based on microbial induced calcium carbonate precipitation. *Front. Microbiol.*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1416731>

32. de Philippis, R. and Vincenzini, M., 1998. Exocellular polysaccharides from Cyanobacteria and their possible applications. *FEMS Microbiology Reviews*, 22(3), pp. 151-175.

33. Huang, W., Ertekin, E., Wang, T., Kruz, L., Dailey, M., Di Ruggieo, J. and Kisailus, D., 2020. Mechanism of water extraction from gypsum rock by desert colonizing microorganisms. *PNAS* <https://doi.org/10.1073/pnas.2001613117>

34. Ferrari, S., Silva, P., González, D., Navoni, J., Humberto, J. and Silva, H., 2013. Arsenic tolerance of cyanobacterial strains with potential use in biotechnology. *Rev. Argent. Microbiol.*, 45(3), pp. 174-179. [https://doi.org/10.1016/s0325-7541\(13\)70021-x](https://doi.org/10.1016/s0325-7541(13)70021-x)

35. Kulp, T., Hoeft, S., Asao, M., Madigan, M., Holibaugh, J., Fisher, C., Stolz, J.F., Culbertson, C., Miller, L. and Oremland, R., 2008. Arsenic (III) Fuels Anoxygenic Photosynthesis in Hot Spring Biofilms from Mono Lake, California. *Science*, 321(5891), pp. 967-970. <https://doi.org/10.1126/science.1160799>

36. Marella, T., Bhattcharjya, R. and Riway, A., 2021. Impact of organic carbon acquisition on growth and functional biomolecule production in diatoms. *Microb. Cell Fact.*, 20(135) <https://doi.org/10.1186/s12934-021-01627-x>

37. Maureira, A., Zapata, M., Olave, J., Jeison, D., Wong, L., Panico, A., Hernández, P., Cisternas, L. and Rivas, M., 2024. MICP mediated by indigenous bacteria isolated from tailings for biocementation for reduction of wind erosion. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1393334>
38. Mujah, D., Shahin, M. and Cheng, L., 2017. State-of-the-Art Review of Biocementation by Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) for Soil Stabilization. *Geomicrobiology J.*, 34(6), pp. 524-537. <https://doi.org/10.1080/01490451.2016.1225866>
39. Patel, A., Tiwari, S. and Prasad, S., 2021. The effect of the time interval on arsenic toxicity for rice field cyanobacteria, as seen from nitrogen metabolism, biochemical component, and exopolysaccharide content. *Biol. Trace Elem. Res.*, 199, pp. 2031-2046. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02289-3>
40. Rajesh, P., Rajeshwar, P., Sang, H., Taek, K., Sreejith, K., Youn-Jung, K., Jae-Sung, R., Eun-Mi, Ch., Murray, T., Donat-Peter, H. and Taejun, H., 2014. Ultraviolet radiation and cyanobacteria. *Journal of Photochemistry and Photobiology B.*, 141, pp. 154-169. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.09.020>
41. Rajeshwar, P. and Donat-P., H., 2016. Requirement of Calcium for the Biosynthesis of Shinorine, a Mycosporine-Like Amino Acid (MAA) in *Ananaena variabilis* PCC 7837. *Human Journals*, 2(4), pp. 1-16. Available from: <https://ijsrm.humanjournals.com/wp-content/uploads/2016/02/1.Shailendra-P.-Singh-Donat-P.-H%C3%A4der-and-Rajeshwar-P.-Sinha.2.pdf> (Accessed 13th March 2025).
42. Sanka, I., Suyono, E. and Alam, P., 2017. The effects of diatompore-size on the structures and extensibilities of single mucilage molecules. *Carbohydr. Res.*, 448, pp. 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2017.05.014>
43. Xu, D., Shaum, S., Li, B., Chen, I., Tong, S., Fu, F., Hutchins, D., Zhang, S., Fan, H., Han, V., Wang, I. and Ye, N., 2021. Acclimatization and adaptation to elevated pCO increase arsenic resistance in marine diatoms. *ISME J.*, 15(6), pp. 1599-1613. <https://doi.org/10.1038/S41396-020-00873-y>
44. Vasquez-Rodriguez, A., Hansel, K., Zhang, T., Lam-borg, C., Santelli, K., Webb, S. and Brooks, S., 2015. Micro-bial and thiosulfate-mediated dissolution of mercury sulfide minerals and conversion to mercury gas. *Front. Microbiol.*, 6(596). <https://doi.org/10.3389/FMMICB.2015.00596>
45. Visscher, P., Quist, P. and van Gernerden, H., 1991. Methylated sulfur compounds in microbial mats: in situ concentrations and metabolism by a colorless sulfur bacterium. *App. Environ. Microbiol.*, 57(6), pp. 1758-1763. <https://doi.org/10.1128/aem.57.6.1758-1763.1991>
46. Wang, P., Sun, G., Jia, Y., Meharg, A. and Zhu, Y., 2014. Review on completing arsenic biogeochemical cycle: Microbial volatilization of arsines in environment. *J. Environ. Sci.*, 26, pp. 371-381. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60432-5](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60432-5)
47. Webb Discovers Methane, Carbon Dioxide in Atmosphere of K2-18 b NASA, 2023. Available from: www.nasa.gov [Accessed 27th Mart 2024].
48. Zhuang, F., Huang, J., Li, H., Peng, X., Xia, L., Zhou, L., Zhang, T., Liu, Z., He, Q., Luo, F., Yin, H. and Meng, D., 2023. Biogeochemical behavior and pollution control of arsenic in mining areas: A review. *Front. Microbiol.*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1043024>
49. Zhu, Y., Xue, X., Kappler, A., Rosen, B. and Meharg, A., 2017. Linking genes to microbial biogeochemical cycling: lessons from As. *Environ. Sci. Technol.*, 51, pp. 7326-7339. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00689>
50. Zúñiga-Barra, H., Toledo-Alarcón, J., Torres-Ar-avena, Á., Jorquera, L., Rivas, M., Gutiérrez, L. and Jeison, D., 2022. Improving the sustainable management of mining tailings through microbially induced calcite precipitation: a review. *Minerals Engineering*, 189(1). <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.10785>

Статья поступила в редакцию 02.04.2025; одобрена после рецензирования 16.04.2025; принята к публикации 25.05.2025.

The article was submitted 02.04.2025; approved after reviewing 16.04.2025; accepted for publication 25.05.2025.

Оригинальная (исследовательская) статья

УДК 556.18 : 626.812

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-41-56>

EDN KLPPUK

Опыт экологического обоснования водохозяйственных мероприятий на примере расчистки и спрямления русла реки Алей

Михаил Сергеевич Губарев¹, Виктор Федорович Резников², Ирина Дмитриевна Рыбкина³

^{1, 2, 3} Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

¹ maik1980@bk.ru

² rvf@iwep.ru

³ Irina.rybkina@mail.ru

Аннотация. В статье обобщен опыт предпроектного экологического обоснования и оценки воздействия на компоненты окружающей среды при проведении водохозяйственных работ по расчистке и спрямлению русла реки Алей на трех участках в границах Третьяковского района Алтайского края. Представлены технико-экономические показатели проекта расчистки и спрямления русла, описаны особенности технологического процесса выполняемых работ. Проанализированы предполагаемые воздействия на такие природные компоненты, как воздух, вода, почвы и геологическая среда, растительный и животный мир. Подробно с оценкой предполагаемого ущерба выполнены расчеты образования отходов и шумового загрязнения, а также вреда водным биологическим ресурсам в период выполнения работ. Предложены компенсационные природоохранные мероприятия. Сделаны выводы о соответствии намечаемых работ экологическим требованиям.

Ключевые слова: проектирование водохозяйственных мероприятий, оценка ущерба, водные биологические ресурсы, шумовое загрязнение, образование отходов

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (проект № 0306-2021-0002), а также в рамках хозяйственной деятельности лаборатории водных ресурсов и водопользования по заказу ООО «Минерал».

Для цитирования: Губарев М.С., Резников В.Ф., Рыбкина И.Д. Опыт экологического обоснования водохозяйственных мероприятий на примере расчистки и спрямления русла реки Алей // Антропогенная трансформация природной среды. 2025. Т. 11. № 1. С. 41–56. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-41-56>. EDN KLPPUK.

Original Paper

Experience in environmental substantiation of water management measures using the example of deepening and straightening the river bed of the Alei

Mikhail S. Gubarev¹, Victor F. Reznikov², Irina D. Rybkina³

^{1, 2, 3} Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia

¹ maik1980@bk.ru

² rvf@iwep.ru

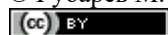
³ Irina.rybkina@mail.ru

Abstract. The article summarizes the experience of pre-project environmental justification and impact assessment on natural components during water management works on deepening and straightening the Alei River bed in three areas within the boundaries of the Tretyakovsky District of the Altai Region. The technical and economic indicators of the deepening and straightening project are presented, and the features of the technological process of the works performed are described. The expected impacts on such natural components as air, water, soil and geological environment, flora and fauna are analyzed. Detailed calculations of waste storage and noise pollution, as well as harm to aquatic biological resources during the period of work are made with an assessment of the expected damage. Compensatory environmental protection measures are proposed. Conclusions are made on the compliance of the planned works with environmental requirements.

Keywords: water management design, damage assessment, aquatic biological resources, noise pollution, waste storage

Funding: The work was carried out within the framework of the state task of the IWEP SB RAS (project No. 0306-2021-0002), as well as within the framework of the contractual activities of the Laboratory of Water Resources Management by order of Mineral LLC.

© Губарев М.С., Резников В.Ф., Рыбкина И.Д., 2025



For citation: Gubarev, M., Reznikov, V. and Rybkina, I., 2025. Experience in environmental substantiation of water management measures using the example of deepening and straightening the river bed of the Alei. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 11(1), pp. 41-56. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-41-56>. EDN KLPPUK. (in Russian)

Введение

Водохозяйственные мероприятия на территории Российской Федерации проводят территориальные органы Федерального агентства водных ресурсов (Росводресурсов). Подобные мероприятия составляют основную часть программных работ, запланированных Проектами Схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) отдельных речных бассейнов [15], и находятся в зоне ответственности бассейновых водных управлений; выполняются за счет средств федерального и регионального бюджетов; в обязательном порядке предполагают предпроектное научное обоснование и собственно этап проектирования.

Целями проведения водохозяйственных мероприятий являются снижение негативного воздействия природных вод и ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций природного характера, связанных с затоплением и подтоплением территорий, возможным весенним образованием ледовых заторов, дружным снеготаянием, береговой абразией водохранилищ и естественных водоемов, а также другими опасными гидрологическими явлениями и процессами. Проведение плановых водохозяйственных мероприятий направлено, с одной стороны, на обеспечение защищенности населения и объектов экономики от негативного воздействия вод, с другой стороны, на поддержание экологической ситуации в удовлетворительном состоянии.

Вместе с тем, в последние годы участились случаи выполнения намечаемых водохозяйственных работ за счет средств собственников и частных инвесторов, которые выделяют финансирование для получения предполагаемого экономического и экологического эффекта. Такие мероприятия могут выполняться на условиях софинансирования. Частные инвесторы стараются экономить вкладываемые финансовые ресурсы и зачастую пытаются обойти выполнение обязательных процедур проектирования, в частности предпроектное экологическое обоснование. Однако это не снимает ответственности с инвесторов за результат выполняемых работ, в связи с чем, научное обоснование и проектирование являются важным неотъемлемым этапом, составляя также предмет государственной экологической экспертизы.

В данной статье на примере длительно освоенного речного бассейна р. Алей подробно изложены вопросы экологического обоснования предпроектных решений по расчистке и спрямлению русла водотока. В результате реализации водохозяйственных мероприятий будут достигнуты и решены следующие водохозяйственные и природоохранные задачи: увеличение пропуск-

ной способности русла реки и снижение негативных последствий паводковых ситуаций; оценка и экологическое обоснование предполагаемого антропогенного воздействия на экосистему реки и прилегающую территорию на примере трех участков в пределах Третьяковского района Алтайского края; разработка компенсационных природоохранных мероприятий.

Опыт представленного экологического обоснования водохозяйственных мероприятий и оценки воздействия на отдельные природные компоненты в ходе практической реализации намеченных работ может быть полезен для специалистов экологов, практиков водохозяйственной деятельности, недр- и водопользователей.

Материалы и методы

Река Алей – левый приток р. Оби, имеет общую длину 858 км и площадь водосборного бассейна 21 100 км² (рис. 1 / fig. 1). Река берет свое начало в отрогах Тигирецкого хребта на высоте 810 м, за исток принято считать р. Восточный Алей [22], далее протекает по отрогам Колыванского хребта, в среднем и нижнем течении выходит на равнинные участки – Алейскую степь и Приобское плато, затем впадает в р. Обь в 60 км выше г. Барнаула. Среднегодовой расход в створе г. Алейска составляет 39,7 м³/с, величина среднегодового стока – около 1,9 км³. Две трети речного стока формируется в верхнем течении реки. В маловодные годы объем стока сокращается более чем в три раза – до 600 млн м³/год [2-4].

Река относится к высшей категории водных объектов рыбохозяйственного значения. Сток реки зарегулирован гидротехническими сооружениями как на самой р. Алей (Гилевский гидроузел), так и подпорной плотиной на ее притоке р. Каменка.

По характеру долины, русла и падению реки ее можно разделить на три участка: верхнее течение (от истока до плотины Гилевского гидроузла протяженностью 133 км и средним уклоном 0,0034°); среднее течение – от Гилевского водохранилища до р. Поспелихи протяженностью 362 км и средним уклоном 0,00032°; нижнее течение – от впадения р. Поспелихи до устья протяженностью более 360 км и средним уклоном 0,0001° [6].

По характеру водного режима Алей – река с весенне-летним половодьем и паводками в летне-осенний период. Для *естественного гидрологического режима* Алея характерно: высокое (до 5-7 м) продолжительное весеннее половодье (апрель-июнь) и низкие (0,2-1,0 м) редкие дождевые паводки в теплое время года; летне-осенняя и зимняя межень с низким уровнем воды.

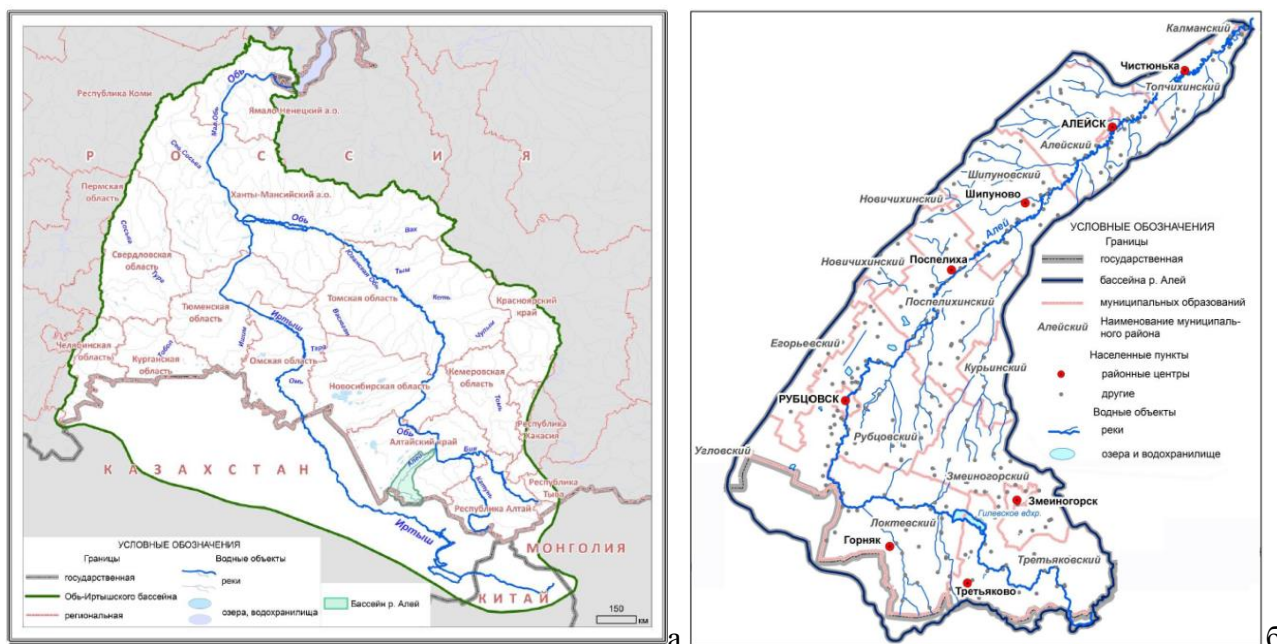


Рис. 1. Бассейн реки Алей (б) в бассейновой системе Оби и Иртыша (а) [18]

Fig. 1. Alei River basin (б) in the Ob and Irtysh basin system (а) [18]

Гидрограф годового стока имеет сложную гребенчатую форму, с острыми пиками подъёмов и спадов водности реки, особенно на волне половодья. В периоды межени острота форм гидрографа уменьшается, но общая тенденция сохраняется, отражая характер поступления воды с водосбора.

Начало половодья приходится в среднем на начало апреля (крайние сроки: середина марта – вторая декада апреля), окончание – на конец мая – середину июня.

Основным источником питания в годовом стоке реки являются атмосферные осадки. Грунтовое питание (ключи, родники) обеспечивает р. Алей в меженный период года; оно составляет от 20 до 30% годового стока реки.

Максимальная водность в реке наблюдается чаще всего в конце апреля или в начале мая. Величина максимальных расходов воды в реке на рассматриваемом участке (с. Староалейское) в эти периоды колеблется от 20 до 240 м³/с.

Половодье проходит, как правило, двумя основными и рядом второстепенных волн. Степень расчлененности гидрографа половодья, отражающая режим поступления талой воды в реку с водосбора, зависит в основном от характера весны.

После прохождения половодья на реке, на 3–4 месяца (с июля по октябрь) устанавливается летне-осенняя межень. Межень довольно устойчивая, прерывается редкими дождевыми паводками.

Уровеньный режим р. Алей в общих чертах согласуется с режимом речного стока; исключение составляют переходные периоды – установление ледостава и вскрытие реки ото льда. Высокие уровни устанавливаются в конце весеннего ледохода или в первые, после очищения реки ото льда, дни. Интенсивность подъема и спада паводочных уровней воды составляет в среднем 0,8–1,6 м в сутки, достигая в некоторые сезоны до 2,5 м в сутки. Продолжительность стояния высоких

уровней воды на пике паводков составляет 1–3 дня, редко до 5–6 суток.

Расчётные гидрологические характеристики, необходимые для обоснования проекта расчистки и регулирования русла для прохождения воды в паводочный период на р. Алей у села Староалейское Третьяковского района Алтайского края, приведены на рис. 2, 3 / fig. 2, 3 по данным Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов Росводресурсов [1].

На реке отмечено полное или частичное затопление поймы за счет высокого стока и подъема уровня воды от заторов льда. Устойчивый ледостав отмечается с середины ноября по начало апреля. По мере зарегулирования, особенно после строительства Гилевского водохранилища (1981), на всем протяжении реки (исключая верховья) произошли срезка максимальных уровней воды и уменьшение сроков половодья, сокращение частоты, площади и времени затопления поймы, усиление деформации русла, увеличение летне-осенних и зимних уровней воды (рис. 2 / fig. 2). В результате ухудшения режима затопления поймы идет ее остепнение и засоление.

Непосредственно в *районе предполагаемых работ* русло реки сильноизвилистое, преимущественно свободно меандрирующее, средний уклон реки на этом участке составляет 0,265°. Встречаются острова, осередки (рис. 4 / fig. 4).

Река в верхней части имеет горный характер; русло с развитыми аллювиальными формами, плёсами и галечными перекатами. Ширина русла 10–15 м. Ниже с. Новоалейское и до выхода с гор река по характеру течения полугорная, с неширокой плоской поймой. Русловые отложения галечно-песчаные, а на нижнем участке течения – песчаные. Река меандрирует, образуя вынужденные и адаптированные излучины.

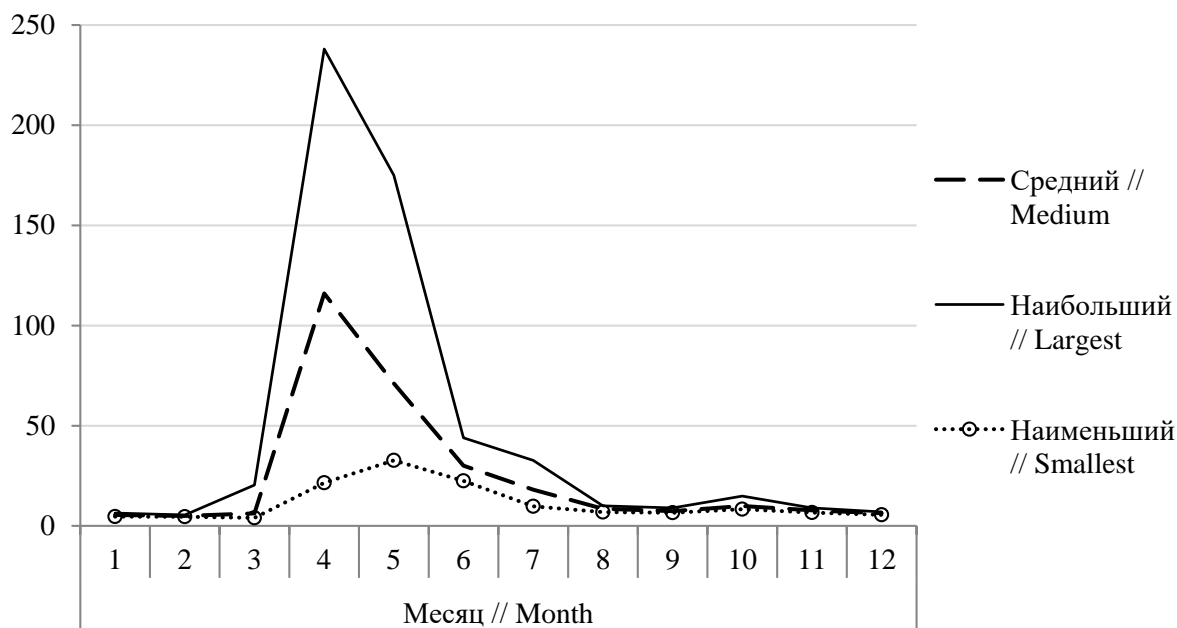


Рис. 2. Динамика расходов воды в реке Алей – с. Староалейское за 2021 год, м³/с
 Fig. 2. Dynamics of water discharge in the Alei River – Staroaleyskoye village for 2021, m³/sec

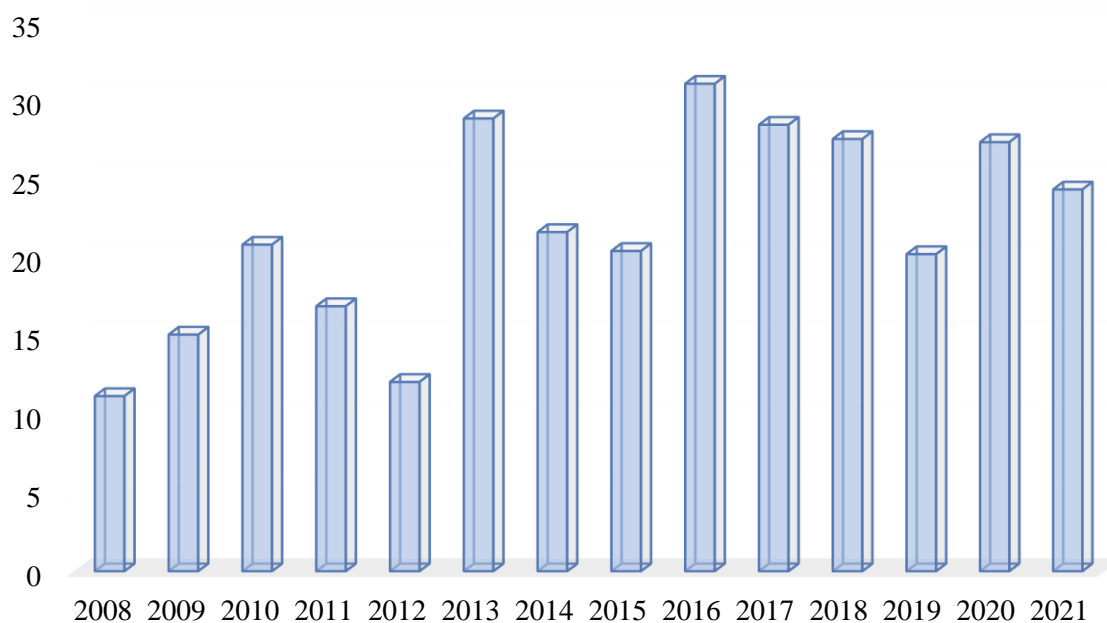


Рис. 3. Средний годовой расход воды за 2008-2021 гг. р. Алей – с. Староалейское, м³/с
 Fig. 3. Average annual water discharge for 2008-2021 Alei River – Staroaleyskoye village, m³/sec

Русловой процесс характеризуется ежегодными перестроениями, направленность и глубина которых зависят от водности и продолжительности конкретного текущего половодья. Руслообразующие наносы представлены в основном песчано-галечниковым материалом. Берега местами обрывистые, деформирующиеся, высотой до 5 м, сложены суглинками.

Дно песчано-галечниковое. Средние скорости течения воды 0,5-0,7 м/с. Долина реки открытая, пойма небольшая. Склоны долины местами обрывистые, в основном выположенные, слабовыраженные. Пойма двухсторонняя, преимущественно сухая, кустарниково-луговая. Прирусловая часть местами повышена и не затопляется.



Рис. 4. Общий вид участков производства предполагаемых работ на р. Алей [16]
Fig. 4. General view of the proposed work sites on the Alei River [16]

Работы по расчистке дна и спрямлению русла реки не выходят за пределы притеррасовой поймы. Преобладающая ширина реки здесь в межень составляет 20-40 м. Средняя скорость размыва берегов достигает 0,5-1,0 м за сезон. Размывы берегов в основном приводят к потерям площадей сельскохозяйственных земель. Интенсивные процессы переформирования речного русла и поймы р. Алей у села Староалейское происходят в периоды прохождения максимального стока – весенне-летнего половодья или дождевых паводков. Размыв берегов реки осуществляется во время подъема и спада паводочных волн, а также при уровнях высокой межени. Подъем уровней во время весеннего половодья на участке у с. Староалейское превышает 3,0 м. Согласно ст. 65 Водного кодекса РФ [5], ширина водоохранной зоны составляет 200 м, прибрежной защитной полосы – 30 м.

При разработке проектной документации рассмотрено два предварительных варианта расчистки и спрямления русла реки – расчистка земснарядом и вариант с использованием землеройной (сухойройной) техники. Признано, что первый вариант является технологически не целесообразным и экономически не выгодным. В этой связи второй вариант применен для дальнейшего проектирования работ.

Мероприятия по увеличению пропускной способности русел рек, дноуглублению и спрямлению, расчистке водоемов и водотоков являются структурным элементом отраслевого классификатора основных и дополнительных работ [11], проводимых территориальными органами Росводресурсов на водных объектах регионов. Важно, что после проведения работ по расчистке и спрямлению русла реки глубины должны остаться прежними на всех участках общей протяженностью 1,499 км.

В этой связи произведен расчет объемов вынимаемого грунта с привязкой на месте по географическим координатам (рис. 5 / fig. 5) и согласно построенным профилям поперечного сечения реки (рис. 6 / fig. 6). Выемка грунта по типам аллювиальных отложений с разными гранулометрическими характеристиками и разбивкой по видам механизированных разработок приведена в табл. 1 / tabl. 1 по ГЭСН-2001-01 [9].

Поскольку при выполнении проектных работ по расчистке и спрямлению русла реки возможны проявления негативного воздействия на окружающую среду, выполнены также оценки влияния на отдельные природные компоненты – атмосферный воздух, недра и геологическую среду, поверхностные и подземные воды, почвы и земельные ресурсы, растительность и животный мир, водные биологические ресурсы.

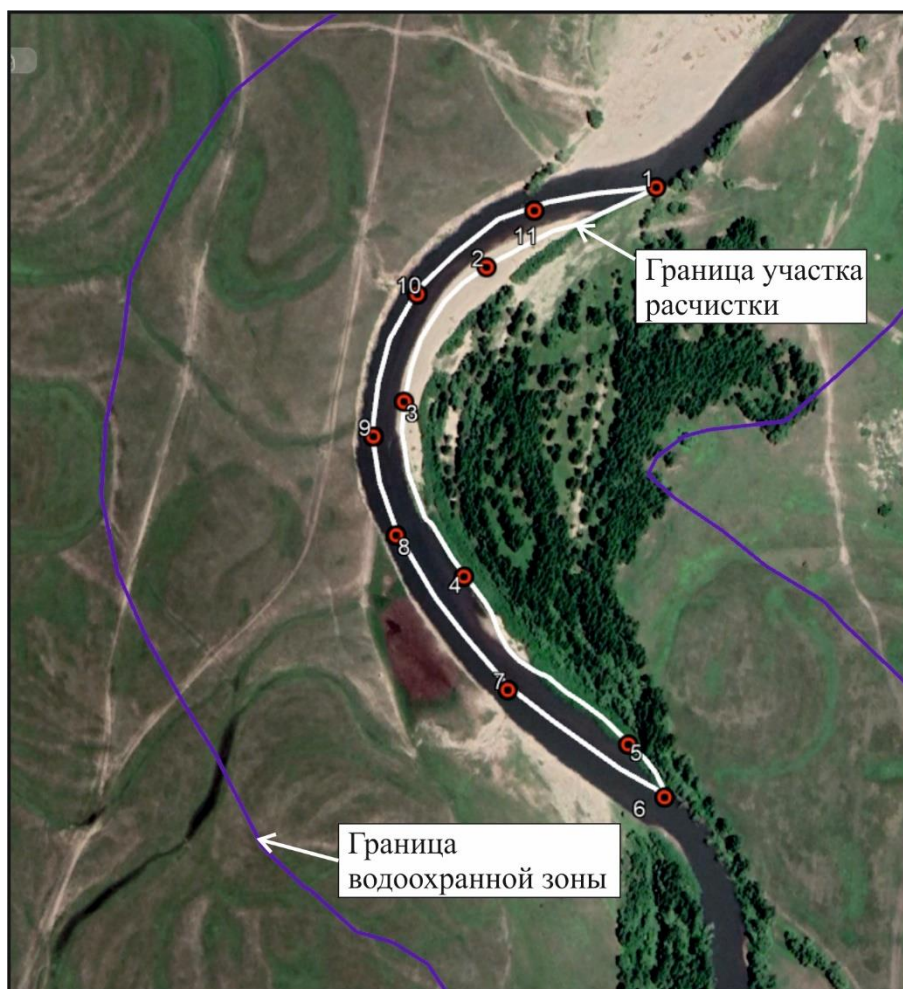


Рис. 5. Расположение участка предполагаемых работ № I

Fig. 5. Location of the proposed works site No. I

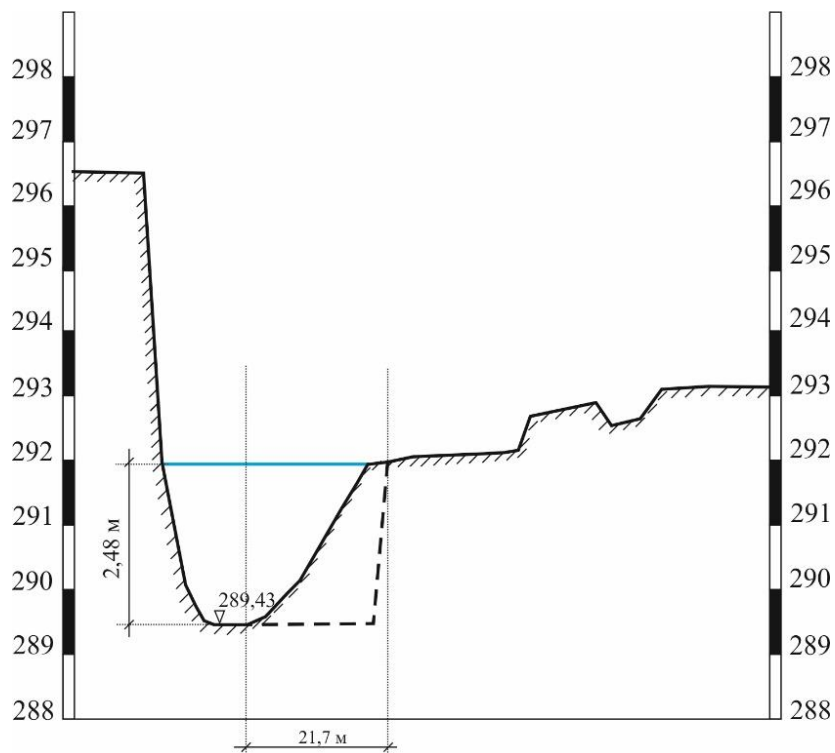


Рис. 6. Поперечный профиль высот на участке № I

Fig. 6. Transverse elevation profile at works site No. I

Таблица 1

Характеристика грунтов по трудности разработки [9]

Table 1

Characteristics of soils by complexity of excavation [9]

Наименование грунтов // Name of subsoils	Распределение грунтов по трудности разработки // Distribution of soils by complexity of excavation		
	Механизированные разработки // Mechanised excavations		вручную // manually
	одноковшовый экскаватор // single-bucket excavator	бульдозер // bulldozer	
Песок средней крупности // Medium sand	2	2	2
Галечниковый грунт // Pebble subsoil	1	2	2

Наиболее подробно представлены результаты оценки шумового загрязнения по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [19], водным биологическим ресурсам согласно «Методике определения последствий негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на восстановление их нарушенного состояния» (утв. Приказом Росрыболовства от 06.05.2020 № 238 – далее Методика 238) [12], а также разработаны мероприятия по снижению этих воздействий. Используемые методики для оценки воздействия на окружающую среду являются стандартными и нормативно утвержденными документами, в этой связи их обсуждение не имеет смысла.

Результаты и их обсуждение

Антропогенное воздействие в период выполняемых работ будет сопряжено с производством земляных работ (как в русле реки, так и на пойме), инженерной и санитарной подготовкой площадок строительства, сведением древесно-кустарниковой растительности. Так, на всех трёх участках площадь проведения культуртехнических работ составит 0,17 га. Работы будут выполняться в пределах земельного участка с кадастровым номером 22:50:060001:891,

имеющего сельскохозяйственное назначение. Расчетные объёмы вынимаемого грунта и другие технико-экономические показатели проекта проведения работ представлены в табл. 2 / tabl. 2.

Использование утвержденных методик и накопленного опыта при проведении подобных работ позволяет оценить изменения существующих параметров окружающей среды, провести сопоставление с соответствующими нормативными требованиями обеспечения качества окружающей среды и экологической безопасности.

Анализ проведенной оценки воздействия показал, что ожидаемые негативные эффекты для окружающей среды будут относительно небольшими и будут иметь в основном единовременный характер.

Участки русла реки, подлежащее расчистке, расположены на землях водного фонда. Временному отводу на период производства работ подлежит 4,517 га, в том числе для расчистки русла – 2,67 га, стройплощадки – 0,06 га, временной карты (площадки) для складирования вынимаемых отложений из реки – 1,2 га, полосы отвода – 0,587 га. Здесь и далее площади определялись по космическим снимкам, исходя из контуров природных объектов и их особенностей в пределах береговой линии водотока.

Проводимые строительные работы могут привести к изменению свойств грунтов, обусловленному рыхлением и разрушением их при расчистке русла реки, уплотнением в результате движения техники. Однако это не приведет к существенному нарушению равновесия экосистемы. Проводимые работы также не окажут отрицательного влияния на компоненты геологической среды.

Таблица 2

Технико-экономические показатели проекта проведения работ

Table 2

Technical and economic indicators of the work project

№ n/n	Наименование показателей // Name of indicators	Ед. изм. // Unit.	Количество // Quantity
Технические характеристики // Technical characteristics			
1	Протяженность участков расчистки и спрямления, всего // Length of clearing area, total	км // km	1,499
	- участок // works site № I	км // km	0,684
	- участок // works site № II	км // km	0,544
	- участок // works site № III	км // km	0,271
2	Средняя ширина участка // Average works site width	м // m	22,0
	- участок // works site № I	м // m	14,3
	- участок // works site № II	м // m	14,1
3	Площадь расчистки, всего // Clearing area, total	га // ha	2,67
	- участок // works site № I	га // ha	1,51
	- участок // works site № II	га // ha	0,78
	- участок // works site № III	га // ha	0,38

№ n/n	Наименование показателей // Name of indicators	Ед. изм. // Unit.	Количество // Quantity
4	Расчищаемый объем грунта, всего // Total subsoil volume to be cleared, total	тыс. м ³ // th. m ³	23,67
	- участок // works site № I	тыс. м ³ // th. m ³	16,43
	- участок // works site № II	тыс. м ³ // th. m ³	2,56
	- участок // works site № III	тыс. м ³ // th. m ³	4,68
5	Полоса отвода, всего // Right-of-way, total, в том числе покрытая растительностью // including covered vegetation	тыс. м ² // th. m ² тыс. м ² // th. m ²	5,87 1,66
6	Растительный грунт // Vegetative subsoil	тыс. м ³ // th. m ³	1,426
7	Площадь проведения культуртехнических работ, всего // Area of cultural and technical works, total,	га // ha	1,43
	в том числе в полосе отвода // including in the right-of-way	га // ha	0,17
<i>Стоимость и продолжительность работ по расчистке // Cost and duration of clearing works</i>			
9	Стоимость работ в ценах 2023 г. // Cost of works in 2023 prices	тыс. руб. // th. rub.	930,34
10	Продолжительность работ, расчетная // Duration of works, estimated	мес. // mon.	11
11	Максимальная численность работающих // Maximum number of employees	чел. // pers.	10

Негативное воздействие на почвенный покров может быть оказано при ненадлежащем ведении строительных работ в результате засорения и загрязнения строительной площадки и прилегающей территории отходами и горюче-смазочными веществами. При строгом соблюдении организации проведения работ это воздействие ожидается незначительным. После завершения работ земли не будут подвергнуты нарушению, затоплению, подтоплению или иссушению. Нарушений поверхностного стока и гидрогеологических условий территории не будет. Следует ожидать изменения гумусного состояния почв территорий, отведенных во временное пользование. Однако площадь таких территорий незначительна. Остаточные эффекты и последствия воздействия на почвы можно характеризовать как умеренные, интенсивность которых снижается при строгом соблюдении природоохранных мероприятий, направленных на рациональное использование почвенного слоя.

Для восстановления нарушенных земель, в том числе представленных во временное пользование, предлагается провести их рекультивацию в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.02-85 «Охрана природы. Почвы. Требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ» [7] и ГОСТ 17.5.3.06-85 «Охрана природы. Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ» [8].

Общий объем срезанного почвенно-растительного грунта составит 1,426 тыс. м³. По окончании строительных работ растительный грунт возвращается на место.

Движение строительной техники будет происходить с использованием существующей сети грунтовых дорог, что не приведет к нарушению поверхностного слоя земли и не нарушит его плодородия. Мероприятия по восстановлению (рекультивации) земельного участка решены путем посадки растительного грунта под естественное задернование.

С целью предотвращения попадания нефтепродуктов на почвенный покров заправка строительной техники предусмотрена на АЗС ближайшего населенного пункта. Загрязнение почвы жидкими или твердыми веществами может произойти только в результате нештатных (аварийных) ситуаций, связанных с нарушением технологического регламента или с несанкцио-

нированными действиями персонала, что возможно исключить при должной организации работ.

Общий объем срезанной кустарниковой растительности составит около 90 м³. Сведение древесно-кустарниковой растительности будет носить локальный характер, что значительно не повлияет в целом на состояние растительного покрова. При этом ценных пород деревьев на участках нет. В составе флоры и фауны территории строительства видов растений, внесенных в Красные книги РФ и Алтайского края, нет.

С учетом планируемой рекультивации земель и восстановления растительного покрова, значительного ущерба растительному и животному миру территории в производстве работ нанесено не будет. Проектируемые работы предполагается вести в русле реки и на узком участке низкой поймы. Животный мир представлен в единичных экземплярах, толерантных к человеку. Наличие всех этих животных указывает на относительно слабую степень трансформации системы и ее способность к саморегуляции и воспроизводству. Наиболее интенсивное воздействие на фауну рассматриваемой территории будет оказываться во время проведения работ по строительству через фактор беспокойства, так как это связано с концентрацией на определенной площади людей, различных машин и механизмов. Учитывая, что объект работ находится рядом с населенным пунктом, можно ожидать, что воздействие на животный мир будет незначительным.

Инженерно-строительные работы приведут к определенному изменению ландшафта в районе производства работ, однако они будут иметь узколинейный характер и не принесут существенного вреда окружающей среде.

Наибольшее воздействие в период работ может быть оказано тремя видами факторов – образование отходов, шумовое воздействие и причинение вреда водным биологическим ресурсам.

Перечень отходов, образующихся при производстве работ, их количество, класс опасности в соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов [21], места размещения приведены в табл. 3 / tabl. 3. Количество образованных отходов определяется на основе нормативов образования отходов исходя из удельных отраслевых норм или расчета по фактическим объемам образования отходов (статистический метод) [13, 20].

Таблица 3

Прогнозное количество отходов, образующихся в период проведения работ

Table 3

Projected amount of waste generated during the works period

Наименование отхода // Name of waste	Класс опасности // Hazard class	Кол-во, т/год // Quantity, t/year	Размещение отходов // Waste emplacement
Отходы сучьев, ветвей вершинок от лесоразработок // Waste twigs, branches of tops from forestry operations	5	5,33	Рекомендуется передавать для переработки как вторичное сырье // It is recommended to transfer for recycling as a secondary raw material
Отходы корчевания пней // Waste from stump grubbing	5	5,54	
Растительные отходы при кошении травы неопасные // Vegetative waste from grass cutting non-hazardous	5	0,3	
Мусор от бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный) // Unsorted (excluding bulky) rubbish from the household premises of organisations	4	0,24	В объекты размещения отходов, определенные органами власти муниципального образования (полигон твердых коммунальных отходов) // To waste disposal facilities determined by municipal authorities (solid municipal waste landfill)
Жидкие отходы накопительных баков мобильных туалетных кабин // Liquid waste from storage tanks of mobile toilet cubicles	4	3,54	Места, определенные органами местного самоуправления // Locations determined by local authorities
Итого // Total:		14,95	

Таким образом, при выполнении работ будут образовываться малоопасные (IV класс) и практически не опасные (V класс) отходы, степень вредного воздействия которых низкая и очень низкая.

В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [18] для непостоянного шума нормируемыми параметрами являются эквивалентный (L_a) и максимальный (L_{\max}) уровни звука.

Источниками шума в период проведения работ является автотранспорт и дорожно-строительная техника. Всего на этапе строительства может одновременно присутствовать четыре источника, эквивалентный уровень шума каждого из которых ориентировочно составляет 80 дБА.

Принимая во внимание близость расположения источников друг к другу, суммарный уровень шума в каждой точке участка строительства определен по формуле:

$$L_{\max} = 10 \cdot \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \right), \text{ [дБА]},$$

где L – уровень шума i -го источника, дБА.

Акустическое воздействие является локальным и непродолжительным. Ближайший населенный пункт – с. Староалейское – расположен в 650 м от ближайшего к нему третьего участка работ.

Уровень звука, создаваемый трактором в расчетной точке на территории жилой застройки, можно определить по формуле:

$$L_a = L_{pa} - 10 \times \lg O - A_{ar} + L_{отр} - L_{са}, \text{ [дБА]},$$

где:

L_{pa} – эквивалентный уровень звуковой мощности источника шума. Для бульдозера $L_{pa} = 86$ дБА;

O – пространственный угол, в который излучается шум, $O = 2 \times \pi$;

r – расстояние от источника шума до расчетной точки, $r = 650$ м;

A_{ar} – поправка на поглощение звука в воздухе, $A_{ar} = 20 \lg r$;

$L_{отр}$ – повышение уровня звукового давления вследствие отражения звука от ближайших поверхностей, $L_{отр} = 0$;

$L_{са}$ – дополнительное снижение уровня звука элементами окружающей природной среды, $L_{са} = 0$.

$$L_a = 86 - 10 \times \lg(2 \times 3,14) - 20 \lg 650 + 0 - 0 = 22 \text{ дБА}$$

В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21, допустимое значение уровня звука для территории, непосредственно прилегающей к жилым домам (п. 14 табл. 5.35) составляет: $L_a = 55$ дБА (с 7 до 23 часов), допустимое значение уровня звука в жилых помещениях домов с 7 до 23 часов (п. 14 табл. 5.35) составляет $L_a = 40$ дБА. В проекте для снижения уровня шума предусматриваются следующие мероприятия:

– применение рациональной технологии ведения работ, предусматривающей сокращение продолжительности одновременной работы нескольких (не более двух) строительных механизмов и транспортных машин;

– запрет работы в вечерние и ночные часы;

– для звукоизоляции двигателей машин и механизмов применять защитные кожухи и капоты с многослойными покрытиями из резины и т.п.

В этом случае выполненные расчеты уровня шума по утвержденным методикам показывают, что эквивалентный уровень звуковой мощности источника шума в жилой застройке оценивается в пределах допустимого.

Основной природный компонент, которому может быть нанесен значительный ущерб, – это водные биологические ресурсы. Ихтиофауна р. Алей представлена

такими видами рыб, как таймень, щука, окунь, ёрш, плотва, язь, серебряный карась, сибирский пескарь, голянь речной, налим обыкновенный, линь, карп. Таймень, внесен в Красную книгу Алтайского края [10].

Согласно «Правилам рыболовства для Западно-Сибирского рыбохозяйственного бассейна» [16], р. Алей имеет статус объекта рыбохозяйственного значения Алтайского края высшей категории. Исходя из вышеуказанного документа, зимовальные ямы на рассматриваемой территории трех участков отсутствуют.

В соответствии с п. 5 «Методики определения последствий негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на восстановление их нарушенного состояния» [12], последствия негативного воздействия намечаемой деятельности на состояние водных биоресурсов определяются следующими его компонентами:

– гибель водных биоресурсов (за исключением кормовых организмов);

– потеря прироста водных биоресурсов в результате гибели кормовых организмов (фитопланктона, зоопланктона, кормового зообентоса), обеспечивающих прирост и жизнедеятельность водных биоресурсов;

– ухудшение условий обитания и воспроизводства водных биоресурсов (утрата мест нереста и размножения, зимовки, нагула, нарушение путей миграции, ухудшение гидрологического режима водного объекта).

При проведении планируемых работ негативное воздействие на водные биоресурсы характеризуется:

– снижением биомассы и продукции кормовых организмов в русле при возникновении дополнительной мутности и прямого разрушения донных биотопов;

– ухудшением условий использования кормовых организмов при возникновении механических помех и возникновения стресса у рыб (производственные шумы, временные преграды в водотоках);

– нарушением условий нагула молоди рыб вследствие нарушения путей миграции на нерестилища и места зимовки, нагула (непосредственно в зоне антропогенного влияния и в верхних участках течения водотоков).

Негативное воздействие на водные биологические ресурсы может произойти в результате:

– работ по расчистке русла реки, которое производится путем извлечения донных отложений (намытых песчаных–галечниковых кос) экскаватором. В соответствии с этим способом производства работ, изменяется только донный участок русла, на котором производится расчистка;

– организации карты (кавалеры) для временного хранения поднятого донного грунта и технологического проезда к участку.

Согласно п. 11 Методики 238 [12] для исчисления размера возможного вреда, причиненного водным биоресурсам, разработки мероприятий по устранению по-

следствий негативного воздействия на водные биоресурсы и среду их обитания, учитывалась степень и характер негативного воздействия планируемой деятельности на водные биоресурсы и среду их обитания, которые определены:

а) по продолжительности воздействия как временные (планируемые работы по дноуглублению проводятся последовательно на каждом участке, чистая продолжительность работ составляет 7,0 месяцев с возможностью последующего восстановления водных биоресурсов);

б) по кратности воздействия как единовременные (разовые);

в) по площади воздействия как локальные;

г) по интенсивности воздействия: как частичная потеря компонентов водных биоресурсов;

д) по фактору воздействия как прямые;

е) по времени восстановления до исходного состояния нарушенных компонентов водных биоресурсов на участке воздействия – восстановление возможно в течение одного года.

Оценка размера вреда, наносимого ухудшением условий обитания (нагула) рыб на русловых участках, выполнена с учётом продуктивности и степени допустимого использования компонентов кормовой базы (зообентоса) рыбой.

Потери (размер вреда) водных биоресурсов (N) от гибели кормового бентоса рассчитывается в соответствии с п. 27 Методики 238 [12] по формуле:

$$N = B \times (1 + P/B) \times S \times K_E \times K_3 / 100 \times d \times \Theta \times 10^{-3},$$

где:

N – потери (размер вреда) водных биоресурсов, кг;

B – средняя в период воздействия величина биомассы кормовых организмов бентоса на участке воздействия, г/м²;

P/B – годовой коэффициент перевода биомассы кормовых организмов в продукцию кормовых организмов (продукционный коэффициент);

S – площадь зоны воздействия, где прогнозируется гибель кормовых организмов бентоса, м²;

K_E – коэффициент эффективности использования пищи на рост (доля потребленной пищи, используемая организмом на формирование массы своего тела);

K₃ – коэффициент использования кормовой базы рыбами-бентофагами и другими бентофагами, используемыми в целях рыболовства, %;

100 – показатель перевода процентов в доли единицы;

d – степень воздействия или доля количества гибнущих организмов от общего их количества, в данном случае отношение величины теряемой биомассы к величине исходной биомассы (в долях единицы);

Θ – величина повышающего коэффициента, учитывающего длительность негативного воздействия планируемой деятельности и время восстановления (до исходной биомассы) теряемых организмов кормового бентоса (определяется согласно п. 28 Методики 238 [12]);

10⁻³ – множитель для перевода граммов в килограммы.

Коэффициент использования кормовой базы (K_E) является обратной величиной кормового коэффициента (K_2):

$$K_E = \frac{1}{K_2}$$

При оценке размера вреда от потери кормовых организмов применялись значения коэффициентов K_2 , K_3 и P/B , принятые по водным объектам Западно-Сибирского рыбохозяйственного бассейна, приведённые в приложении к Методике 238, а именно:

– годовой коэффициент перевода биомассы кормовых организмов в продукцию кормовых организмов (P/B) $P/B = 3$;

– коэффициент использования кормовой базы рыбами-бентофагами (K_3) $K_3 = 50\%$.

и в приложении № 1 к приказу Минсельхоза России № 167 [14]:

– кормовой коэффициент для рыб-бентофагов (K_2) $K_2 = 5,5$.

Средняя величина биомассы кормовых организмов бентоса (B) на участке воздействия принята по результатам полученных гидробиологических исследований лаборатории гидробиологии Института водных и экологических проблем СО РАН: $B = 3,0 \text{ г/м}^2$.

Величина повышающего коэффициента, учитывающего длительность негативного воздействия планируемой деятельности и время восстановления теряемых водных биоресурсов до исходной численности биомассы, их кормовой базы (кормовой бентос) определяется по формуле (п. 28 Методики 238 [12]):

$$\Theta = T + \sum K_{B(t=i)},$$

где:

Θ – величина повышающего коэффициента;

T – показатель длительности негативного воздействия, в течение которого невозможно или не происходит восстановление водных биоресурсов и их кормовой базы, в результате нарушения условий обитания и воспроизводства водных биоресурсов, определяется в долях года, принятого за единицу (как отношение n суток/365);

$\Sigma K_{B(t=i)}$ – коэффициент длительности восстановления теряемых водных биоресурсов, определяемый как $K_{t=i} = 0,5 \times i$, где i равно числу лет с даты прекращения негативного воздействия.

Длительность восстановления с даты прекращения негативного воздействия (i лет) для бентосных кормовых организмов и нерестового субстрата составляет 3 года.

Следовательно, $\Sigma K_{B(t=i)} = 0,5 \times 3 = 1,5$.

При расчете показателя длительности негативного воздействия (T) учитывались следующие обстоятельства.

1) Деятельность по расчистке русла реки предполагается осуществить на трех участках. Планируется, что работы будут осуществляться на каждом участке отдельно, последовательно, начиная с I участка, затем на II-ом участке и далее на III-ом участке. Это позволит за счет концентрации ресурсов на одном участке минимизировать время работ, более полно учесть гидрогра-

фию реки в районе работ по дноуглублению, уменьшить вероятность появления таких форм рельефа, как переймы и тем самым снизить возможное негативное воздействие от намечаемой хозяйственной деятельности на водные биологические ресурсы.

2) В соответствии с принятым способом производства работ, нарушается только донный участок русла, поэтому воздействия на планктон при дноуглублении русла не оказывается.

3) Общий объем расчищаемого грунта (с учетом поднятого донного грунта) равняется 23,67 тыс. м^3 , в том числе: на I участке – 16,43 тыс. м^3 , на II участке – 2,56 тыс. м^3 , на III участке – 4,68 тыс. м^3 .

Среднее количество дней в месяце равняется 365 дн. / 12 мес. = 30,42 дня. Тогда общее время производства работ, согласно нормативам, составляет 7,0 месяцев или 212,94 дня или ≈ 213 дней.

При этом, исходя из объема вынимаемого грунта на каждом участке, работы по расчистке русла на I участке будут продолжаться 148 дней, на II участке – 23 дня, на III участке – 42 дня.

Площади зон воздействия (расчистки), где прогнозируется гибель кормовых организмов бентоса, составляет: I участка – 13 000 м^2 ; II участка – 6 000 м^2 ; III участка – 3 324 м^2 .

Показатели длительности негативного воздействия (T) будут равняться:

- для I участка $148/365 = 0,41$,

- для II участка $23/365 = 0,06$,

- для III участка $42/365 = 0,12$.

Θ – величина повышающего коэффициента при временном воздействии равняется:

- для I участка $\Theta = 0,41 + 1,5 = 1,91$,

- для II участка $\Theta = 0,06 + 1,5 = 1,56$,

- для III участка $\Theta = 0,12 + 1,5 = 1,62$.

Расчет возможного вреда от потери кормовых организмов представлен в табл. 4 / tabl. 4.

При проведении работ *негативное воздействие на водные биоресурсы может произойти в результате локального изменения рельефа при возможном сокращении (перераспределении) естественного стока с деформированных поверхностей* бассейна р. Алей в пределах территории производства работ.

Определение потерь водных биоресурсов в результате сокращения, перераспределения естественного стока с деформированной поверхности водосборного бассейна рассматриваемого водного объекта рассчитывается в соответствии с п. 19 Методики 238 [12] по формуле:

$$N = P_{\text{уд}} \times (Q_1 + Q_2)$$

где:

N – потери (размер вреда) водных биоресурсов, килограмм или тонн;

$P_{\text{уд}}$ – удельная рыбопродуктивность объема водной массы, равная 0,15 кг/тыс. м^3 ;

Q_1 – объем безвозвратного водопотребления на технологические процессы, хозяйственно-бытовые нужды, тыс. м^3 , в нашем случае $Q_1 = 0$;

Q_2 – потери (сокращение) объема водного стока с деформированной поверхности, тыс. м^3 .

Таблица 4

Расчёт размера вреда от ухудшения условий нагула рыб в русле

Table 4

Calculation of the amount of damage from deterioration of fish feeding conditions in the channel

Calculation of the amount of damage from deterioration of benthic feeding conditions in the channel												
№ уч.	Биотоп // Biotope	Характер воздействия // Nature of impact	Кормовые организмы // Feed organisms	B, г/м² // g/m²	I+ P/B	S, м² // m²	K₂	K _E	K₃, %	d	θ	N, кг // kg
I	русло // channel	повреждение // damage	бентос // benthos	3	4	13 000	5,50	0,18	50	1,00	1,91	27,09
II				3	4	6 000	5,50	0,18	50	1,00	1,56	10,21
III				3	4	3 324	5,50	0,18	50	1,00	1,62	5,87
Итого // Total:												43,17

Потери водного стока на деформированной поверхности (Q_2) рассчитываются по формуле:

$$Q_2 = W_{\text{стока}} \times \Theta \times K,$$

где:

$W_{\text{стока}}$ – объем стока с нарушаемой поверхностью, тыс. м³;

K – коэффициент глубины воздействия на поверхность, который составляет 0,3 при глубине воздействия от 0 м до 5 м;

Θ – величина повышающего коэффициента, учитывающего длительность негативного воздействия планируемой деятельности и время восстановления исходных характеристик водосборного бассейна, влияющих на водный сток с поверхности водосборного бассейна и общую рыбопродуктивность водных объектов в его пределах, определяется согласно п. 28 Методики 238 [12].

Для определения объема стока с нарушаемой поверхностью ($W_{\text{стока}}$) используется формулу:

$$W_{\text{стока}} = \frac{(M \times F \times 31,536 \times 10^6)}{(10^3 \times 10^3)} = M \times F \times 31,536,$$

где:

M – модуль стока, л/с \times км² ($M = 0,9$ л/с/км²);

F – площадь нарушаемой поверхности водосборного бассейна, км²;

$31,536 \times 10^6$ – число секунд в году;

$10^3 \times 10^3$ или 10^6 – показатель перевода литров в тыс. м³.

Величина повышающего коэффициента, учитывающего длительность негативного воздействия планируемой деятельности и время восстановления теряемых водных биоресурсов до исходной численности биомассы, их кормовой базы (кормовой бентос), площадей зимовки, продуктивности нерестилищ (в том числе пойменных), общей рыбопродуктивности поймы, исходных характеристик водосборного бассейна, влияющих на водный сток с поверхности водосборного бассейна и общую рыбопродуктивность водных объектов, определяется по формуле (п. 28 Методики 238 [12]):

$$\Theta = T + \sum K_{B(t=i)},$$

Θ – величина повышающего коэффициента;

T – показатель длительности негативного воздействия, в течение которого невозможно или не происходит восстановление водных биоресурсов и их кормовой базы, в результате нарушения условий обитания и воспроизводства водных биоресурсов, определяется в долях года, принятого за единицу (как отношение n суток/365), вычисляется с точностью до второго знака после запятой;

$\Sigma K_{B(t=i)}$ – коэффициент длительности восстановления теряемых водных биоресурсов, определяемый как $K_{t=i} = 0,5 \times i$, где i равно числу лет с даты прекращения негативного воздействия.

Длительность восстановления с даты прекращения негативного воздействия (i лет) для бентосных кормовых организмов и нерестового субстрата составляет 3 года. Для рыб, донных беспозвоночных и их иктиопланктона (икра, личинки, ранняя молодь) с многолетним жизненным циклом, которые являются объектами вылова, длительность восстановления их запаса приравнивается к среднему возрасту достижения ими половой зрелости. Длительность восстановления лугов (многолетние луговые травы и околосовная растительность) – 3 года, на месте сплошных вырубок, где формируются кустарники, редколесья и разновозрастные леса в течение минимум 5 лет.

При определении размера потерь водных биоресурсов с деформированной поверхности водоохранной зоны реки учитывалось негативное воздействие от сведения древесно-кустарниковой в полосах отвода (на площади 0,00166 км²) и луговой растительности (на площади 0,0126 км²), произрастающей на площадке для временного хранения поднятого донного грунта и частично стройплощадки.

При определении показателя длительности негативного воздействия (T) учитывалось, что после завершения работ все нарушенные поверхности подлежат немедленной рекультивации. Карта (площадка) для временного хранения поднятого донного грунта создается на все время производства работ (213 дней), в последующем она рекультивируется посадкой растительного грунта под естественное задернование.

В этом случае показатель длительности негативного воздействия (T) будет равняться:

- для I участка $148/365 = 0,41$,
- для II участка $23/365 = 0,06$,
- для III участка $42/365 = 0,12$,

- для строительной площадки и площадки временного хранения $213/365 = 0,58$.

Тогда Θ – величина повышающего коэффициента при временном воздействии равняется:

- на первом участке в полосе отвода сведения древесно-кустарниковой растительности:

$$\Theta = 0,41 + 2,5 = 2,91;$$

- на втором участке в полосе отвода сведения древесно-кустарниковой растительности:

$$\Theta = 0,06 + 2,5 = 2,56;$$

- на третьем участке в полосе отвода сведения древесно-кустарниковой растительности:

$$\Theta = 0,12 + 2,5 = 2,62;$$

- на участке расположения строительной площадки и площадки временного хранения:

$$\Theta = 0,58 + 1,5 = 2,08.$$

Определение размера вреда водным биоресурсам при сокращении и перераспределении поверхностного стока р. Алей при проведении планируемых работ спрямления и расчистки русла представлено в табл. 5 / tabl. 5.

В целом, общая величина возможного ущерба гидрофауне р. Алей в натуральном выражении составит:

$$N_{\text{общ}} = N_{\text{русло}} + N_{\text{вдсб}} = 43,17 + 0,039 = 43,209 \text{ кг}$$

Таблица 5

**Потери водных биоресурсов при сокращении и перераспределении поверхностного стока
(кормовые организмы – бентос)**

Table 5

Losses of aquatic bioresources during reduction and redistribution of surface runoff (feed organisms – benthos)

Характер воздействия // Nature of impact	P , кг/тыс. м ³ // kg/th. m ³	K	F , км ² // km ²	T	W , тыс. м ³ // th. m ³	i , лет // year	$\sum K_{B(t=1)}$	θ	Q_2 , тыс. м ³ // th. m ³	N , кг // kg
Удаление древесно-кустарниковой растительности в полосе отвода 1 // Scalping of woody and shrubby vegetation in the right-of-way 1	0,15	0,3	0,0012	0,41	0,03405888	5	2,5	2,91	0,029733402	0,004
Удаление древесно-кустарниковой растительности в полосе отвода 2 // Scalping of woody and shrubby vegetation in the right-of-way 2	0,15	0,3	0,000384	0,06	0,010898842	5	2,5	2,56	0,00837031	0,001
Удаление древесно-кустарниковой растительности в полосе отвода 3 // Scalping of woody and shrubby vegetation in the right-of-way 3	0,15	0,3	0,000068	0,12	0,001930003	5	2,5	2,62	0,001516983	0,000
Удаление луговой растительности с временной площадки складирования речного грунта и строительной площадки // Scalping of meadow vegetation from the temporary storage site for river deposits and construction area	0,15	0,3	0,0126	0,58	0,35761824	3	1,5	2,08	0,223153782	0,033

Закключение

Водохозяйственные мероприятия как любая экономическая деятельность априори, как считается, наносит тот или иной вред окружающей среде. Привлечение частных инвесторов создаёт дополнительные сложности в реализации подобных проектов, но при этом позволяя снизить нагрузку на бюджеты разных уровней (федеральный, региональный, муниципальный).

Проводимые водохозяйственные мероприятия имеют важное практическое значение, особенно в части снижения и ликвидации негативных последствий влияния природных вод и опасных гидрологических явлений и процессов (затопления, подтопления, абразии берегов и др.).

Предпроектное экологическое обоснование и оценка воздействий способствуют выявлению основных видов ущерба окружающей среде и позволяют уменьшить негативное влияние намечаемой водохозяйственной деятельности.

С учетом предлагаемых природоохранных мероприятий, проводимые работы по расчистке и спрямлению русла водотока р. Алей соответствуют

экологическим требованиям, установленным природоохранным законодательством Российской Федерации. Выполняемые работы не превысят допустимого уровня воздействия на окружающую природную среду и будут способствовать увеличению пропускной способности русла реки и исключению возникновения ледовых заторов в районе населенных пунктов, а также уменьшению скорости развития речной эрозии и, как следствие, уменьшению потерь площадей сельхозугодий.

При этом вид и объем восстановительных мероприятий определяются характером и масштабами последствий негативного воздействия намечаемой деятельности на водные биоресурсы и среду их обитания. Наибольшее воздействие, как следует из приведенных расчетов, предполагается водным биологическим ресурсам.

Проведение компенсационных мероприятий необходимо производить в отношении тех водных биологических ресурсов и среды их обитания, которым возможно причинение вреда в результате планируемой хозяйственной деятельности. При этом именно в том водном объекте или рыбохозяйственном бассейне, где

планируется эта деятельность с учетом существования соответствующих условий в регионе для воспроизводства водных биоресурсов. Учитывая это, а также величину теряемой рыбопродукции, подлежащей компенсации, предлагается провести рыбоводно-мелиоративные мероприятия по выпуску молоди судака или сазана в Обь-Иртышский рыбохозяйственный район Западно-Сибирского рыбохозяйственного бассейна на выбор.

В настоящее время ведется подготовка новых методических указаний по разработке и корректировке Схем комплексного использования и охраны водных объектов сотрудниками РосНИИВХ (г. Екатеринбург). Данные методические указания, по предложению авторов, должны учитывать, в том числе и обязательную процедуру предпроектного экологического обоснования и оценки воздействия на окружающую среду планируемых к реализации водохозяйственных мероприятий.

Сведения об авторском вкладе

М.С. Губарев – поиск и анализ исходных данных, выполнение графических и расчетных работ.

В.Ф. Резников – подготовка первого варианта рукописи, проверка расчетов на соответствие с нормативными требованиями.

И.Д. Рыбкина – формирование идеи и вычитка финального варианта рукописи.

Contribution of the authors

M.S. Gubarev – initial data search and analysis, performing graphic and calculation work.

V.F. Reznikov – preparation of the first edition of the manuscript, check of the calculation to the legislation rules.

I.D. Rybkina – forming an idea and proofreading of the final edition of the manuscript.

Список источников

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов Федерального агентства водных ресурсов РФ. [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniihv.ru> (дата обращения: 24.03.2024).

2. Булатов В.И., Винокуров Ю.И., Ревякин В.С. Опыт разработки схемы рационального использования, охраны и воспроизводства природных ресурсов бассейна р. Алей // Оценка и прогноз природопользования в развитии регионов: Материалы Междунар. рабочего совещ. по теме 1.3 СЭВ. М.: ИГ АН, 1989. С. 177–189.

3. Винокуров Ю.И., Малолетко А.М. Рациональное использование и охрана природных ресурсов в бассейне р. Алей // Природные ресурсы бассейна реки Алей, их охрана и рациональное использование: сб. тр. Иркутск, 1980. С. 3–36.

4. Винокуров Ю.И., Рыбкина И.Д., Стоящева Н.В. Территориальная организация водопользования в бассейне реки Алей // Региональные исследования. 2013. № 4. С. 53–59.

5. Водный кодекс Российской Федерации № 74-ФЗ от 03.06.2006.

6. Генеральная схема комплексного использования и охраны природных ресурсов бассейна р. Алей. Барнаул, 1985. 179 с.

7. ГОСТ 17.4.3.02-85 «Охрана природы. Почвы. Требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ».

8. ГОСТ 17.5.3.06-85 «Охрана природы. Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ».

9. ГЭСН-2001-01. Государственные элементные сметные нормы на строительные работы. Сборник № 1. Земляные работы от 30.01.2014 г. № 31/пр.

10. Красная книга Алтайского края. Том 2. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных / науч. ред.: Н.Л. Ирисова, Е.В. Шапетько. Барнаул, Изд-во АлтГУ, 2016. 312 с.

11. Мерзликина Ю.Б., Прохорова Н.Б., Поздина Е.А. Классификация отраслевых водохозяйственных мероприятий: необходимость и проблемы реализации // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2009. № 5. С. 49–65.

12. Методика определения последствий негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на восстановление их нарушенного состояния. Утв. Приказом Росрыболовства от 06.05.2020 № 238.

13. Методические указания по разработке проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение. Утв. приказом Минприроды России от 05.08.2014 №349.

14. Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам: приказ Минсельхоза России № 167 от 31.03.2020.

15. Правила разработки, утверждения и реализации схем комплексного использования и охраны водных объектов, внесения изменений в эти схемы. Утв. Постановлением Правительства РФ № 883 от 30.12.2006.

16. Правила рыболовства для Западно-Сибирского рыбохозяйственного бассейна. Утв. Приказом Минсельхоза России № 646 от 30.10.2020.

17. Расчистка и спрямление русла реки Алей на трех участках южнее села Староалейское Третьяковского района Алтайского края. Проектная документация. Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2024. 91 с.

18. Рыбкина И.Д., Пармонов Е.Г. Регулирование водности реки Алей за счет увеличения лесистости бассейна. Барнаул: Изд-во ООО «Бизнес-Коннект», 2022. 140 с.

19. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

20. Сборник удельных показателей образования отходов производства и потребления. М., 1999. 65 с.

21. Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО). [Электронный ресурс]. URL: <https://rpn.gov.ru/fkko/> (дата обращения 21.10.2024).

22. Чураков Д.С. Основные гидрологические характеристики стока р. Алей и их изменение под влиянием хозяйственной деятельности // Природные ресурсы бассейна р. Алей, их охрана и рациональное использование. Иркутск, 1980. С. 45–61.

References

1. Automated information system of state monitoring of water bodies of the Federal Water Resources Agency of the Russian Federation. Available from: <https://gmvo.skniivh.ru> [Accessed 24th March 2024]. (in Russian)
2. Bulatov, V., Vinokurov, Yu. and Revyakin, V., 1989. *Opyt razrabotki skhemy ratsional'nogo ispol'zovaniya, okhrany i vosproizvodstva prirodnkh resursov basseyna r. Alei* [Experience in developing a scheme of rational use, protection and reproduction of natural resources of the Alei River basin]. In: *Evaluation and forecast of natural resources use in the development of regions: Proceedings of the International Working Council on the theme 1.3 CMEA. Moscow, IG AN, 1989. pp. 177-189.* (in Russian)
3. Vinokurov, Yu. and Maloletko, A., 1980. *Ratsional'noye ispol'zovaniye i okhrana prirodnkh resursov v basseyne r. Alei* [Rational use and protection of natural resources in the Alei River basin]. In: *Natural resources of the Alei River basin, their protection and rational use: Collection of works. Irkutsk. pp. 3-36.* (in Russian)
4. Vinokurov, Yu., Rybkina, I. And Stoyashcheva, N., 2013. Territorial'naya organizatsiya vodopol'zovaniya v basseyne reki Alei [Territorial organisation of water use in the Alei River basin]. *Regional'nyye issledovaniya.* (4), pp. 53-59. (in Russian)
5. Vodnyy kodeks Rossiyskoy Federatsii [Water Code of the Russian Federation]. № 74-FZ from 03.06.2006. (in Russian)
6. *General'naya skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany prirodnkh resursov basseyna r. Alei* [General scheme of integrated use and protection of natural resources of the Alei River basin]. Barnaul, 1985, 179 p. (in Russian)
7. GOST 17.4.3.02-85 «Okhrana prirody. Pochvy. Trebovaniya k okhrane plodorodnogo sloya pochvy pri proizvodstve zemlyanykh rabot» ["Environmental protection. Soils. Requirements for protection of the fertile soil layer during excavation work"]. (in Russian)
8. GOST 17.5.3.06-85 «Okhrana prirody. Zemli. Trebovaniya k opredeleniyu norm snyatiya plodorodnogo sloya pochvy pri proizvodstve zemlyanykh rabot» ["Environmental protection. Land. Requirements for determining standards for removing the fertile soil layer during excavation work"]. (in Russian)
9. GESN-2001-01. Gosudarstvennyye elementnyye smetnyye normy na stroitel'nyye raboty. Sbornik № 1. Zemlyanyye raboty [State elemental estimate standards for construction work. Collection № 1. Earthworks] from 30.01.2014 № 31/pr. (in Russian)
10. Irisova, N. and Shapetko, E. (ed), 2016. *Krasnaya kniga Altayskogo kraya. Tom 2. Redkiye i nakhodyashchiyesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy zhivotnykh* [Red Book of Altai Krai. Volume 2. Rare and endangered species of animals]. Barnaul, AltGU publ. 312 p. (in Russian)
11. Merzlikina, Y., Prokhorova, N., and Pozdina, Y., 2009. Classification of sectoral water/economic measures: necessity and problems of implementation. *Water sector of russia: problems, technologies, management*, (5), pp. 49-65. (in Russian)
12. Metodika opredeleniya posledstviy negativnogo vozdeystviya pri stroitel'stve, rekonstruktsii, kapital'nom remonte ob'yektov kapital'nogo stroitel'stva, vnedrenii novykh tekhnologicheskikh protsessov i osushchestvlenii inoy deyatel'nosti na sostoyaniye vodnykh biologicheskikh resursov i sredi ikh obitaniya i razrabotki meropriyatiy po ustraneniyu posledstviy negativnogo vozdeystviya na sostoyaniye vodnykh biologicheskikh resursov i sredi ikh obitaniya, napravlennykh na vosstanovleniye ikh narushennogo sostoyaniya [Methodology for determining the consequences of negative impacts during construction, reconstruction, major repairs of capital construction projects, introduction of new technological processes and other activities on the state of aquatic biological resources and their habitat and development of measures to eliminate the consequences of negative impacts on the state of aquatic biological resources and their habitat, aimed at restoring their disturbed state]. Approved. by Order of the Federal Agency for Fisheries № 238 from 06.05.2020. (in Russian)
13. Metodicheskiye ukazaniya po razrabotke proyektov normativov obrazovaniya otkhodov i limitov na ikh razmeshcheniye [Methodological guidelines for the development of draft waste generation standards and limits on their placement]. Approved by order of the Ministry of Natural Resources of Russia № 349 from 05.08.2014. (in Russian)
14. Ob utverzhdenii Metodiki ischisleniya razmera vreda, prichinnnogo vodnym biologicheskim resursam [On approval of the Methodology for calculating the amount of damage caused to aquatic biological resources]. Order of the Ministry of Agriculture of Russia № 167 from 31.03.2020. (in Russian)
15. Pravila razrabotki, utverzhdeniya i realizatsii skhem kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany vodnykh ob'yektov, vneseniya izmeneniy v eti skhemy [Rules for the development, approval and implementation of schemes for the integrated use and protection of water bodies, and amendments to these schemes]. Approved by the RF Government Resolution № 883 from 30.12.2006. (in Russian)
16. Pravila rybolovstva dlya Zapadno-Sibirskogo rybokhozyaystvennogo basseyna [Fishing rules for the West Siberian fishery basin]. Approved. by Order of the Ministry of Agriculture of Russia № 646 from 30.10.2020. (in Russian)
17. *Raschistka i spryamleniye rusla reki Alei na trekh uchastkakh yuzhneye sela Staroaleyskoye Tret'yakovskogo rayona Altayskogo kraya. Proyekttnaya dokumentatsiya* [Clearing and straightening the Alei River bed in three areas south of the village of Staroaleyskoye, Tret'yakovsky District, Altai Krai. Project documentation]. Barnaul, Institute of Water Problems and Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2024. 91 p. (in Russian)
18. Rybkina, I. and Paramonov, Ye., 2022. *Regulirovaniye vodnosti reki Alei za schet uvelicheniya lesistosti basseyna* [Regulation of the water content of the Alei River by increasing the forest cover of the basin]. Barnaul, OOO «Biznes-Konnekt» publ. 140 p. (in Russian)
19. SanPiN 1.2.3685-21 «Gigiyenicheskiye normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredi obitaniya» ["Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans"]. (in Russian)
20. Sbornik udel'nykh pokazateley obrazovaniya otkhodov proizvodstva i potrebleniya [Collection of specific indicators of production and consumption waste formation]. 1999. Moscow, 65 p.

21. Federal Classification Catalog of Waste (FCCW). Available from: <https://rpn.gov.ru/fkko/> [Accessed 21th October 2024]. (in Russian)

22. Churakov, D., 1980. Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki stoka r. Aley i ikh izmeneniye pod vliyaniyem khozyaystvennoy deyatel'nosti [Main hydrological

characteristics of the Alei River runoff and their change under the influence of economic activity]. *Prirodnyye resursy basseyna r. Aley, ikh okhrana i ratsional'noye ispol'zovaniye* [Natural resources of the Alei River basin, their protection and rational use]. Irkutsk, Russia. pp. 45-61. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 23.01.2025; одобрена после рецензирования 28.03.2025; принята к публикации 16.05.2025.

The article was submitted 23.01.2025; approved after reviewing 28.03.2025; accepted for publication 16.05.2025.

Обзорная статья

 УДК 504.064.2 <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-57-70> EDN LPUGKX

Применение дистанционного зондирования Земли для выявления последствий техногенной трансформации природной среды на месторождениях нефти и газа

Леонид Сергеевич Кучин

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

kleond@bk.ru

Аннотация. В обзоре представлен анализ способов применения дистанционного зондирования Земли для выявления последствий техногенной трансформации природной среды на месторождениях нефти и газа. Дана характеристика основных видов техногенного воздействия на нефтепромысловых объектах (механогенеза, битумизации и галогенеза) и их распределение по этапам обустройства и эксплуатации месторождений. Дан обзор региональных особенностей антропогенных нарушений различного типа. Обсуждаются существенные различия в потенциале использования космической съемки (по различным спутникам) для выявления нефтепромыслового техногенеза. Они заключаются в таких характеристиках спутниковой съемки как: пространственное разрешение, периодичность и охват спектрального диапазона. Основные сферы применения космических снимков для изучения нефтепромысловой трансформации: выявление пространственных характеристик инфраструктуры месторождений, определение последствий крупных утечек нефти, оценка площади сведенного, в ходе обустройства месторождений, леса. Для беспилотных летательных аппаратов приведены наиболее перспективные типы дополнительных нагрузок: мультиспектральные и тепловизионные камеры, LIDAR, газоанализаторы. Опыт предыдущих исследований техногенных процессов трансформации при помощи БПЛА показал преимущество БПЛА по детальности дешифрируемых процессов техногенной трансформации. Предполагается возможность интеграции данных аэрофотосъемки, полевых обследований и спутниковых изображений в геоинформационную систему, направленную на выявление техногенной трансформации природной среды при разработке и эксплуатации месторождений углеводородов.

Ключевые слова: техногенное воздействие, ДЗЗ, БПЛА, добыча нефти и газа, ГИС

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Пермского края № 24-17-20025, <https://rscf.ru/project/24-17-20025/>

Для цитирования: Кучин Л.С. Применение дистанционного зондирования Земли для выявления последствий техногенной трансформации природной среды на месторождениях нефти и газа // Антропогенная трансформация природной среды. 2025. Т. 11. № 1. С. 57–70. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-57-70>. EDN LPUGKX.

Review Paper

Remote sensing application to identify the consequences of technogenic transformation of nature at oil and gas fields

Leonid S. Kuchin

Perm State University, Perm, Russia

kleond@bk.ru

Abstract. The review presents an analysis of the methods of using remote sensing of the Earth to identify the consequences of technogenic transformation of the natural environment at oil and gas fields. The characteristics of the main types of technogenic impact at oil field facilities (mechanogenesis, bitumenization and halogenesis) and their distribution by the stages of field development and operation are given. An overview of regional features of anthropogenic disturbances of various types is given. The essential differences in the potential of using space imagery (from different satellites) to identify oil field technogenesis are discussed. They consist in such characteristics of satellite imagery as: spatial resolution, periodicity and spectral range coverage. The main areas of application of space images for studying oil field transformation are: identifying the spatial characteristics of field infrastructure, determining the consequences of large oil leaks, assessing the area of forest cleared during field development. The most promising types of additional loads for unmanned aerial vehicles are given: multispectral and thermal imaging cameras, LIDAR, gas analyzers. The experience of previous studies of technogenic transformation processes using UAVs has shown the advantage of UAVs in terms of

the detail of deciphered technogenic transformation processes. It is assumed that it will be possible to integrate aerial photography data, field surveys and satellite images into a geoinformation system aimed at identifying technogenic transformation of the natural environment during the development and operation of hydrocarbon deposits.

Key words: technogenic impact, remote sensing, UAV, oil and gas production, GIS.

Funding: the study was supported by a grant from the Russian Science Foundation and the Perm region № 24-17-20025, <https://rscf.ru/project/24-17-20025/>

For citation: Kuchin, L., 2025. Remote sensing application to identify the consequences of technogenic transformation of nature at oil and gas fields. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 11(1), pp. 57-70. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-57-70>. EDN LPUGKX. (in Russian)

Введение

Наращивание темпов разработки месторождений нефти и газа приводит к возрастанию антропогенной нагрузки на природные среды. Большая площадь месторождений, их удаленность и труднодоступность являются основными проблемами при общепринятом обследовании воздействия нефтепромысловых объектов на окружающую среду [6]. Такой же проблемой является отсутствие возможности ежегодных обследований для составления хронологии развития негативного воздействия. В последнее время для решения этих проблем все чаще предлагается использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [14, 60].

Процесс добычи нефти и газа сопровождается процессами извлечения и перемещения минеральных и органических веществ, нарушает структуру функционирования круговоротов веществ природных экосистем, что проявляется в виде антропогенной трансформации природной среды. Под антропогенной трансформацией подразумевается – процесс изменения природных компонентов и комплексов под воздействием производственной и любой другой человеческой деятельности [7]. Как отмечает [25] антропогенное воздействие (трансформация) и техногенез достаточно схожи, однако следует заметить, что техногенез проявляется не просто в человеческой деятельности, а именно в производственной деятельности человека. Данное отличие наиболее четко отражено в определении данным [40] «Техногенез – процесс изменения природных комплексов под воздействием производственной деятельности человека. Заключается в преобразовании биосферы, вызываемом совокупностью геохимических процессов, связанных с технической и технологической деятельностью людей по извлечению из окружающей среды, концентрации и перегруппировке целого ряда химических элементов, их минеральных и органических соединений».

Сам термин техногенез был предложен А.Е. Ферсманом в 1930-х гг. Р.К. Баландин определял техногенез как процесс перестройки биосферы, земной коры и околоземного Космоса, вызванный человеческой деятельностью [13].

Возникающий при добыче нефти и газа техногенез природных сред, разделяют на первичный и вторичный. Первичный представляет собой нарушение природной среды, прямо связанное с эксплуатацией объектов нефтяных и газовых промыслов или их строительством. Вторичный техногенез выражается в виде реакции экосистем на техногенный пресс [30, 44].

Техногенез природной среды разделяют на механо-генез, битумизацию, галогенез и загрязнение воздуха. Под механогенезом подразумевают физические воздействия производственной деятельности. Галогенез,

битумизация и загрязнение воздуха представляют собой геохимическое воздействие [9, 50].

Техногенная трансформация при добыче нефти и газа

Техногенное воздействие на природную среду является на всех этапах нефтепромысловой деятельности. На этапе обустройства выявляют воздействия в первую очередь, вызванные строительством, прокладкой дорог, бурением скважин. Другим этапом является эксплуатация нефтепромыслов. Этот этап включает в себя два режима эксплуатации: нормальный и аварийный [44]. При нормальном режиме эксплуатации воздействие на природные экосистемы проявляется в виде работы транспорта и тяжелой техники, выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, возникающих при сжигании попутного газа. Аварийный режим эксплуатации связан с разливами нефти, пластовых и сточных вод, пожарами [45]. Помимо вышеперечисленных этапов, необходимо также выделить поисково-разведочный этап. Воздействие на этом этапе происходит при сейсморазведке, в особенности при использовании взрывов как источников волны [13].

Проявление механогенеза при нефтепромысловом воздействии наиболее активно проявляется на этапе обустройства и строительства месторождений. В первую очередь это выражается в прокладке и обустройстве инфраструктуры месторождений [44]. Отсыпка дорог и обустройство площадок скважин приводит к поступлению в базовые экосистемы нового материала (почв, растительности, загрязняющих веществ). При этом происходит изъятие и нарушение почвенного покрова, формирование техногенных почв и изменение водного режима территории месторождения нефти [43]. Механическое воздействие также может быть выявлено на этапах разведки, особенно на территориях с легкодоступными для проезда ландшафтами [33].

Основные виды механогенеза, выявленные по беспилотной аэрофотосъемке, приведены на рис. 1 / fig. 1.

На всех этапах развития месторождений нефти происходит формирование новых форм рельефа, вызванное механическими процессами. Эти формы рельефа можно разделить на две категории: положительные и отрицательные. К положительным формам рельефа относятся отвалы вскрышных пород, обваловка нефтепромысловых объектов и дорожные насыпи. Отрицательные формы рельефа включают в себя траншеи, возникающие при прокладке трубопроводов, а также карьеры [44]. Эти изменения рельефа как правило приводят к нарушению водного режима территории и возникновению вторичных форм рельефа, таких как оползни, овраги, промоины и просадки грунта [6].



Рис. 1. Изображения основных объектов механогенеза [8]

Fig. 1. Images of the main objects of mechanogenesis [8]

В результате изменения рельефа, почвенного покрова и гидрологического режима происходит угнетение растительности и изменение состава растительных сообществ на территории месторождения нефти и газа. При строительстве дорог, линий электропередачи и трубопроводов происходит вырубка деревьев и кустарников вдоль всей протяженности данных объектов инфраструктуры месторождений [13].

По данным [32] под инфраструктуру месторождений в Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО), отводится в среднем 3,7% от территории нефтяного месторождения. При этом доля земель, нарушенных инфраструктурой месторождения, варьирует от 1,05 до 10,5% от площади всего месторождения. В доле инфраструктуры нефтяных месторождений ХМАО свойственно преобладание доли линейных объектов инфраструктуры над площадными объектами. Это свидетельствует о том, что преобладающую долю механогенеза составляют: дорожная сеть, трубопроводы и линии электропередач.

Таким образом, механогенез на нефтепромысловых объектах выражен следующими типами антропогенной трансформации природной среды:

- 1) Морфологическое и физическое изменение почвенного покрова территории;
- 2) Преобразование рельефообразующих процессов и самого рельефа;
- 3) Нарушение гидрологического, гидрохимического и температурного режима территории;
- 4) Деградацию растительного покрова, включая полное уничтожение растительности.

Помимо физического воздействия на природную среду разработка месторождений нефти и газа, также выражается в геохимическом воздействии. Этот тип воздействия проявляется в виде процессов битумизации, галогенеза и загрязнения атмосферы [9].

Изменение геохимических процессов на территории месторождений углеводородов, связанное с эксплуатацией нефтепромысловых сооружений, обусловлено различными типами техногенных потоков. Основными причинами возникновения техногенных потоков являются аварии на нефтепромысловых объектах, вызванные коррозией, дефектами оборудования и несоблюдением технологических регламентов [44].

Аварии на разведочных и эксплуатационных скважинах являются одним из основных источников загрязнения нефтью и жидкостями, содержащими нефтепродукты. Процесс битумизации происходит в результате утечек загрязняющих веществ при разрывах трубопроводов, а также при некорректной эксплуатации хранилищ нефтепродуктов и пунктов подготовки нефти [11]. Данный тип загрязнения, характерный для территорий нефтепромыслов, является одним из основных [9].

Техногенные загрязнения нефтью классифицируются на поверхностные и глубинные. Поверхностные загрязнения возникают в результате нарушения технологических регламентов при добыче, транспортировке нефти, а также при работах, связанных с ремонтом и ликвидацией нефтяных скважин. Глубинные загрязнения обусловлены нарушением герметичности скважин, что приводит к выдавливанию нефти в породы за

пределы скважин из-за создания избыточного давления воды в продуктивных пластах [27].

Загрязнение почв нефтью приводит к серьезным и необратимым изменениям почвенного состава, что, в свою очередь, вызывает снижение водопроницаемости, гигроскопической влажности и влагоемкости. Помимо этого, загрязнение нефтепродуктами оказывает влияние на биологические свойства почвенного покрова, повышая фитотоксичность почв [10].

В процессе бурения скважин, помимо нефти, извлекаются пластовые воды. Эти воды характеризуются высокой минерализацией и относятся к хлоридно-натриевому или хлоридно-кальциевому типу. В результате воздействия высоко минерализованных пластовых вод на природную среду активизируется процесс техногенного галогенеза [18].

Под техногенным галогенезом понимается процесс засоления почв, грунтов, подземных и поверхностных вод. Этот вид техногенного геохимического воздействия является одним из наиболее распространенных процессов преобразования природной среды на нефтяных месторождениях [9].

Длительное воздействие галогенеза приводит к изменению растительных сообществ, что выражается в распространении растений, адаптированных к высокому содержанию солей в почве (эвривалентных). При этом доля таких растений может увеличиваться в три раза. В результате утечки высокоминерализованных вод происходит их накопление в отрицательных формах рельефа, что вызывает рост минерализации поверхностных вод [46].

Помимо процессов битумизации и галогенеза, одним из распространённых видов геохимического воздействия на природную среду является загрязнение атмосферного воздуха. Для месторождений нефти и газа одним из основных источников загрязнения атмосферы является сжигание попутного нефтяного газа в факелах. В результате этого процесса в атмосферу выбрасываются различные загрязняющие вещества, такие как угарный газ (CO), диоксид серы (SO_2), оксиды азота (NO_x), смеси углеводородов, сероводород (H_2S) и бенз(а)пирен ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$) [51].

Таким образом, техногенное геохимическое воздействие оказывается на всех этапах добычи нефти и газа. На этапе бурения скважин могут происходить разливы нефти, высоко минерализованных межпластовых вод и буровых растворов. В процессе эксплуатации нефтепромысловых объектов могут возникать аварийные утечки нефти, сточных вод и содержимого амбаров и шламонакопителей. В случае наличия на месторождении факельной установки, в атмосферу выбрасываются парниковые газы и вещества, относящиеся к высоким классам опасности, такие как угарный газ и аммиак [44]. Также установки для сжигания попутного нефтяного газа оказывают тепловое воздействие на окружающую их природную среду и выбрасывают несгоревшие нефтепродукты, которые при попадании в почву могут привести к процессу битумизации верхних почвенных слоев [41].

Добыча и транспортировка нефти и газа, во многих случаях происходит в труднодоступных районах. К таким территориям могут быть отнесены районы со

сложным рельефом и очень суровыми климатическими условиями. В подобных условиях качество проведения мониторинга нефтепромысловых объектов снижается [38].

Заболоченные территории также представляют собой условия, ограничивающие проведение полноценного мониторинга нефтепромыслового воздействия. Болотные экосистемы характеризуются высокой чувствительностью к техногенным процессам, связанным с разведкой и добычей нефти. Установлена низкая устойчивость болотных почв к геохимическому техногенному воздействию, поскольку они способны накапливать загрязняющие вещества, поступающие с межпластовыми водами и буровыми растворами, такие как K^+ , Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , HCO_3^- и Ca^{2+} [20].

Контроль техногенных процессов в болотных экосистемах имеет большое значение, поскольку болота являются резервуарами пресной воды и оказывают косвенное влияние на геолого-геоморфологические процессы. Они уменьшают интенсивность эрозии, ослабляя инфильтрацию поверхностных вод в грунт, и увеличивают горизонтальный сток в речную сеть. Кроме того, болотные экосистемы характеризуются уникальными растительными сообществами [1, 17].

Для мониторинга подобных, труднодоступных экосистем в последнее время все чаще предлагается использование дистанционного зондирования Земли. Особенно при условии возможности получения хронологически длинных рядов данных [38].

Съемка Земли из космоса

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса позволяет получать актуальные данные о состоянии поверхности Земли, атмосферного воздуха, поверхностных вод, а также объектах, находящихся на Земной поверхности.

Под ДЗЗ принято подразумевать метод оценки свойств объектов на поверхности земли при помощи, как спутниковой съемки, так и различных воздушных летательных аппаратов [54].

Процесс определения объектов, изучения их характеристик и взаимосвязей на основе данных, полученных с помощью ДЗЗ, называется дешифрированием. Основная цель дешифрирования данных ДЗЗ – получение информации о структуре, составе, метрических характеристиках, состоянии объектов и явлений, а также о динамике процессов, характерных для этих объектов. Для успешного дешифрирования исследуемые объекты должны иметь четко выраженные дешифровочные признаки. Дешифровочные признаки можно разделить на прямые, которые присущи непосредственно изображениям исследуемых объектов (спектральные и метрические характеристики), и косвенные, проявляющиеся посредством другого компонента окружающей среды [53].

В настоящее время наблюдается активное развитие области ДЗЗ, что приводит к увеличению разнообразия систем ДЗЗ и повышению качества их оснащения. Современные искусственные спутники Земли способны осуществлять съемку в десятках различных диапазонов электромагнитного спектра с разрешением от одного километра до нескольких десятков сантиметров. Кроме того, применяются гиперспектральные системы

ДЗЗ, которые охватывают большое количество спектральных зон шириной по 10 нм [54].

Выделяют несколько основных технических характеристик спутниковых данных ДЗЗ: разрешение, сезонность съемки и ширина полосы обзора. Для спутниковых снимков можно выделить три типа разрешений: пространственное, отражающее детальность съемки, спектральное характеризующееся шириной спектра

съемки, и временное, определяющее периодичность получения конкретной территории [52].

Пространственное разрешение выражается размером участка земной поверхности, приходящимся на минимальный элемент цифрового снимка (пиксел) [69]. В табл. 1 / tabl. 1 приведена классификация спутниковых снимков в соответствии с пространственным разрешением.

Таблица 1

Классификация спутниковых снимков по пространственному разрешению [53, 66]

Table 1

Classification of satellite images by spatial resolution [53, 66]

Категории разрешений // Resolution Categories	Разрешение, м // Resolution, m
Сверхвысокое // Ultra-high	<1
Высокое // High	1-10
Среднее // Average	10-30
Низкое // Low	30-250
Очень низкое // Very low	250-3000

Характеристика спектрального разрешения снимка определяется шириной спектральных полос, количеством и типом спектральных каналов. Наименьшее разрешение данного типа (до 400 нм) характерно для снимков в видимом диапазоне или панхроматических снимков. Наивысшее спектральное разрешение свойственно гиперспектральным снимкам, имеющим спектральные зоны шириной 10 нм [53].

Временное разрешение представляет собой периодичность выполнения съемки объектов на определен-

ной территории. Периодичность съемки со спутника определяется протяженностью и формой орбиты, по которой движется космический аппарат. Орбита рассчитывается таким образом, чтобы обеспечить наиболее полное покрытие поверхности Земли [54].

Наиболее доступными и часто используемыми источниками данных ДЗЗ являются спутники серии Landsat и Sentinel. Данные спутники предоставляют снимки среднего разрешения. Характеристики спутниковых комплексов представлены в табл. 2 / tabl. 2.

Таблица 2

Характеристика наиболее часто используемых спутниковых комплексов [24, 31, 53]

Table 2

Characteristics of the most frequently used satellite systems [24, 31, 53]

Спутник // Satellite	Разрешение, м // Resolution, m		Ширина полосы съемки, км // Width of survey strip, km	Периодичность съемки // Frequency of shooting
	Панхроматическая // Panchromatic	Гиперспектральная // Hyperspectral		
Landsat 5	—	30-120	185	1 раз в 16 дней // 1 time in 16 days
Landsat 7/8	15	30-100	185	1 раз в 16 дней // 1 time in 16 days
Sentinel-2	20	60	290	От 5 дней на экваторе до 3 в средних широтах // From 5 days at the equator to 3 in mid-latitudes

С помощью космической съемки в панхроматическом спектре проводится оценка инфраструктуры месторождений нефти и газа, ее воздействия на природную среду. При этом выделяют степень деградации земель и уровень распространения механогенеза [33].

Данные, полученные с помощью спутникового комплекса Landsat, позволяют проводить оценку изменений территории за длительный период времени, поскольку первый спутник этого комплекса был запущен в 1984 году. Большой объем материалов за длительный период времени даёт возможность анализировать динамику экосистем на различных этапах обустройства и эксплуатации нефтепромыслов. Снимки со спутников могут быть получены не только в видимом, но и

в мультиспектральном диапазоне, что позволяет оценивать различные характеристики, которые не столь очевидно воспринимаются глазом [57].

Мультиспектральная съемка позволяет проводить синтез различных каналов и формировать из них индексы, отображающие те или иные явления в окружающей среде. Для повышения полноты оценки воздействия добычи нефти все чаще используют комплекс данных ДЗЗ [15]. Как в России, так и за рубежом предлагается использовать комплекс видимого спектра с различными вегетационными индексами [34, 67]. Наиболее часто используют синтез нормализованного относительного индекса растительности (NDVI), благодаря которому определяют особенности развития

растительности, степень покрытия растительностью, а также временные изменения растительного покрова [48].

Синтез NDVI активно используется для оценки динамики ландшафтных изменений, происходящих на нефтяных месторождениях, поскольку для данного типа техногенного воздействия свойственно нарушение растительного покрова при прямом или косвенном сведении растительности [68].

Наиболее качественно оценивать состояние экосистем по данным ДЗЗ можно на основе комплекса мультиспектральных индексов. Таким образом оценку состояния древостоя рекомендуется проводить по относительному показателю, включающему NDVI, GNDVI (показатель содержания хлорофилла), NBR (показатель пирогенных повреждений растительности), SWVI (показатель содержания влаги и хлорофилла в зеленых фракциях растений). Считается, что данный комплекс позволит снизить влияние сезонных и межгодовых колебаний вегетации [16].

Помимо оценки состояния растительности можно получать более точную информацию о расположении и площади нефтяных загрязнений почвы и инфраструктуры нефтяных месторождений, при помощи комплекса канала SWIR (коротковолновый инфракрасный канал) с NDVI и SAVI (почвенно скорректированный индекс растительности) [39]. Кроме этого SWIR, применяют для получения достаточно точных данных содержания CO_2 и CH_4 в нижней тропосфере. Данные, полученные в этом канале, могут быть использованы для контроля выбросов парниковых газов в атмосферу [4].

Значения NDVI дают возможность отслеживать процессы рекультивации нефтепромысловых объектов. Применение мультиспектральных спутниковых данных и ГИС-технологий позволяют проводить картографирование и пространственный анализ труднодоступных территорий, и повысить скорость принятия решений, направленных на устранение и профилактику загрязнения природных сред [37].

Спутники Landsat-7/8 оснащены каналом, дающим термальные характеристики поверхности земли [55]. Изучение теплового режима месторождений нефти и газа имеет важное значение, поскольку изменения температурного режима подстилающей поверхности в районах с интенсивным влиянием инфраструктуры могут привести к серьезным экологическим последствиям [26].

Кроме съемки в различных спектральных диапазонах, спутниковое ДЗЗ включает в себя радиолокационную съемку, которая является основой для построения цифровых моделей рельефа и местности [52]. Цифровые модели позволяют получать морфометрические показатели рельефа, в которые входят длина водотоков, крутизна склонов, кривизна поверхности рельефа, водосборные бассейны водных объектов. Эти данные являются полезными для учета особенностей миграции углеводородов [2]. Что особенно важно для обеспечения экологической безопасности месторождений нефти и газа, расположенных в сложных горно-геологических условиях [22].

Беспилотная аэрофотосъемка

В последнее время в области ДЗЗ наблюдается увеличение использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в различных областях деятельности,

включая добычу нефти и газа [9]. Основными преимуществами БПЛА являются простота использования, компактность, небольшой вес, возможность установки оборудования для отбора проб и проведения съемки. Беспилотники квадрокоптерного типа также не требуют специальных условий для взлета и посадки. В отличие от спутникового зондирования, применение БПЛА обеспечивает более высокое пространственное разрешение, что повышает точность определения объектов техногенного воздействия [76]. Однако снимки, полученные с помощью БПЛА, имеют ограниченную площадь покрытия по сравнению со снимками, полученными со спутников. Кроме того, сильные перепады высот могут ограничивать дальность полета БПЛА [35].

Первоначально БПЛА использовались в военных целях. Однако после их появления в гражданском секторе мониторинг состояния атмосферы, гидросферы, объектов природной среды и техносферы стал значительно проще. БПЛА применяются в различных областях, таких как оценка качества воздуха, выявление разливов опасных веществ, обнаружение несанкционированных свалок, оценка целостности инфраструктуры и выявление других нарушений [61].

На борт БПЛА можно устанавливать разнообразные приборы, для мультиспектральной или гиперспектральной съемки, а также для зондирования при помощи лидаров [59]. Данные приборы позволяют производить дополнительные измерения, которые дополняют спектр получаемой информации об объекте исследования.

Оптическая аэрофотосъемка широко используется для оценки состояния лесных массивов, включая вырубки, возникающие в процессе строительства объектов нефтегазовой промышленности [71]. Панхроматическая съемка позволяет определить сухостой, а также проводить учет отдельных деревьев [42].

БПЛА могут быть оборудованы дополнительной нагрузкой для осуществления мультиспектральной съемки и съемки в инфракрасном диапазоне [3]. Мультиспектральная съемка основана на использовании данных, полученных в различных диапазонах электромагнитного спектра, включая невидимые для человеческого глаза участки спектра. Поскольку различные типы земной поверхности отражают свет с разной интенсивностью и частотой, данный метод особенно эффективен для сбора информации об изменениях в лесном покрове [29].

Благодаря снимкам, полученным с БПЛА, в видимом и инфракрасном диапазонах можно оценить успешность рекультивационных работ, выполненных на территориях, ранее использовавшихся для добычи нефти и газа [70]. Съемка в видимом спектре, как и мультиспектральная съемка, применяются для идентификации разливов нефти в водных объектах [67].

Тепловизионная аэрофотосъемка используется для оценки техногенных и природных объектов [28]. Она позволяет обнаруживать тепловые аномалии с высоким пространственным и температурным разрешением. Этот метод применяется для выявления разливов нефти. Однако при увеличении количества анализируемых объектов качество выделения разлива из общего фона температур снижается [58]. Наиболее качественно определяются разливы нефти на воде

с точностью до 89%, при этом разработаны программы машинного обучения для определения разливов [62]. Помимо разливов нефти, тепловизионная аэрофотосъемка используется для обнаружения утечек газа, нефти и воды из трубопроводов [56], можно предупреждать и контролировать пожары и долгосрочные горения, возникающие при авариях на нефтедобывающих участках [73].

Поскольку важным аспектом для изучения процессов, происходящих в природных средах, является рельеф, то очень полезным применением БПЛА является проведение зондирования LIDAR (Light Identification Detection and Ranging) [23]. Применение технологии LIDAR позволяет создавать высокоточную цифровую модель рельефа местности. Важной характеристикой данного вида съемки является его низкая чувствительность к кронам деревьев, кустарникам и травянистому покрову, что позволяет учитывать особенности рельефа в условиях лесного массива. Этот метод особенно полезен при создании моделей рельефа в труднодоступных районах [19]. В отличие от наземного сканирования, преимуществом сканеров LIDAR установленных на борту БПЛА является большая по площади зона сканирования. Однако точность и детальность получаемых результатов пока что остается ниже, чем у наземного лазерного сканирования [12].

Беспилотная аэрофотосъемка довольно широко используется в области регистрации нефтепромыслового техногенеза. В основном БПЛА применяют для фиксации разливов нефти и расчетов площади инфраструктуры месторождений [74]. Наиболее удобно использовать беспилотники для мониторинга таких линейных объектов инфраструктуры как трубопроводы, поскольку они могут пролетать в труднодоступных условиях. Таким образом, БПЛА могут проводить мониторинг объектов нефтепромысла, расположенных в горах или на болотах [65].

Выявлять загрязнение окружающей среды можно не только по съемке, но и при помощи интеграции на БПЛА газоанализаторов способных определять места утечки газа [47]. Основные проблемы, ограничивающие использование газоанализаторов на борту БПЛА являются: слабая дифференциация газов, направленная на регистрацию всех метаногенных образований, а также фиксация только высоких концентраций газов [49]. Проектировать бортовые газоанализаторы для мониторинга состояния атмосферы начали сравнительно недавно, это связано с появлением недорогих датчиков используемых, как правило в сочетании с традиционным оборудованием для контроля качества воздуха. Такие датчики можно откалибровать на концентрации близкие к фоновым [75]. В настоящее время наиболее коммерчески успешным газоанализатором для мониторинга является Sniffer 4D, который может быть интегрирован на БПЛА компании DJI. С помощью данной дополнительной нагрузки производился мониторинг за вулканическими выбросами, в составе которых фиксировались: O_2 , SO_2 , CO , CO_2 , NO_2 , O_3 , NO_2 и взвешенные частицы [64]. Также преимуществом этих газоанализаторов для мониторинга месторождений нефти и газа является низкий порог фиксации газов. Большинство газов, фиксируемых в ходе

газогеохимических обследований, не имеют нижнего предела регистрации [72].

Наиболее полно оценить последствия техногенных процессов на территории месторождений нефти позволяет комплекс данных ДЗЗ. Применение комплекса данных, полученных при помощи ДЗЗ как со спутников, так и с БПЛА позволило провести комплексный мониторинг состояния государственного заповедника «Болоньский». При этом выделено преимущество БПЛА для мониторинга ландшафтной структуры в труднодоступных болотистых местностях [36].

Комплекс данных ДЗЗ и полевых обследований может быть объединен в геоинформационную систему. Геоинформационная система (ГИС) – информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных (пространственных данных) [5]. Использование ГИС становится ключевым инструментом для обеспечения экологической безопасности территорий. Геоинформационные технологии позволяют объединить результаты прямых полевых наблюдений за состоянием окружающей среды с лабораторными исследованиями устойчивости основных компонентов экосистем к природному и антропогенному воздействию [9].

Геоинформационные технологии обеспечивают: сбор пространственных данных, их обработку, отображение в едином пространстве, интеграцию данных о территории для анализа, моделирования, прогнозирования, управления сохранением целостности природной среды [21]. Прикладная значимость ГИС для отрасли добычи, транспортировки и переработки нефти и нефтепродуктов заключается в мониторинге объектов и ближайшей зоны моделирования угроз разлива нефти и нефтепродуктов, предупреждении возможных чрезвычайных ситуаций [63].

Заключение

Масштаб техногенной трансформации связанной с воздействием добычи нефти и газа постоянно растет. Для снижения степени нагрузки на природные среды необходимо выявление очагов техногенного воздействия, особенно на труднодоступных для классических методов мониторинга территориях. Поэтому актуально использовать дистанционное зондирование Земли, как по спутниковым снимкам, так и при помощи БПЛА.

В проведенной работе установлено, что основными видами техногенного воздействия на нефтепромысловых объектах являются механогенез, битумизация и галогенез. Данные типы антропогенного воздействия распространены на всех этапах обустройства и эксплуатации месторождений нефти и газа. Самые часто применяемые для выявления нефтепромыслового техногенеза источники данных ДЗЗ представлены группами спутников Landsat и Sentinel. Выявлено что наиболее часто космические снимки в видимом диапазоне используют для выявления объектов инфраструктуры месторождений. Наиболее информативным для оценки качества среды является индекс NDVI, который используется как основа комплексов мультиспектральных индексов, получаемых при использовании гиперспектральной съемки. Для моделирования харак-

теристик рельефа и гидрологической сети на месторождениях нефти и газа можно использовать цифровые модели рельефа, построенные на основе радиолокационной спутниковой съемки.

Все чаще предлагается оценка качества природной среды при помощи БПЛА. При этом основными преимуществами беспилотной съемки над спутниковой являются более высокое разрешение и возможность использования различной по функционалу дополнительной нагрузки. Наиболее перспективной дополнительной нагрузкой для оценки техногенной трансформации на месторождениях нефти и газа, помимо мультиспектральных камер, являются аппараты Lidar и газоанализаторы. Комплекс всех этих приборов позволит дополнить и уточнить данные космических спутников.

Данные дистанционного зондирования Земли, полученные как с космических спутников, так и с БПЛА являются качественной основой для формирования геоинформационных систем, направленных на мониторинг и прогнозирование техногенной трансформации природной среды, вызванной негативным воздействием на различных этапах эксплуатации месторождений углеводородов. Данные ДЗЗ могут быть использованы для верификации признаков техногенеза, обнаруженных в ходе полевых обследований. Что позволит применять эти признаки для анализа других территорий месторождений нефти и газа, обследование которых осложнено в связи с их труднодоступностью.

Список источников

1. Абдулманова И.Ф., Игошева Е.А. Сопоставление параметров экотопов болотных фитоценозов и глубин торфяной залежи белого болота (Пермский край, Россия) // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2021. № 1. С. 48–64.
2. Агибалов А.О., Зайцев В.А., Сенцов А.А., Полежук А.В., Мануилова Е.А. Морфометрические параметры рельефа и локализация месторождений углеводородов Волго-уральской антеклизы // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2021. № 4. С. 116–128.
3. Аникаева А.Д., Мартюшев Д.А. Оценка потенциала применения беспилотных летательных аппаратов в нефтегазовой отрасли // *Недропользование*. 2020. № 4. С. 344–355. <https://doi.org/10.15593/2712-8008/2020.4.4>
4. Асадов И.Х., Рамазанов А.М. Методика оценки объемов сжигаемого в факелах неувлажненного метана и его эмиссионных составляющих // *Электронный научный журнал нефтегазовое дело*. 2020. № 5. С. 39–51. <https://doi.org/10.17122/ogbus-2020-5-39-51>
5. Ахметзянова Л.Г., Селивановская С.Ю., Латыпова В.З. Лабораторное моделирование рекультивации нефтезагрязненных почв для определения допустимого остаточного содержания нефтепродуктов // *Ученые записки Казанского университета. Естественные науки*. 2010. Т. 152. № 4. С. 68–77.
6. Бредихин А.В., Еременко Е.А., Харченко С.В., Беляев Ю.Р., Романенко Ф.А., Болысов С.И., Фузеина Ю.Н. Районирование Российской Арктики по типам антропогенного освоения и сопутствующей трансформации рельефа на основе кластерного анализа // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. № 1. С. 42–56.
7. Бузмаков С.А. Антропогенная трансформация природной среды // *Географический вестник*. 2012. № 4. С. 46–50.
8. Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Кучин Л.С., Игошева Е.А., Абдулманова И.Ф. Применение беспилотной аэрофотосъемки для диагностики техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения // *Записки Горного института*. 2023. № 260. С. 180–193. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.22>
9. Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Сивков Д.Е., Дзюба Е.А., Хотяновская Ю.В., Егорова Д.О. Разработка геоинформационных систем для управления окружающей средой и экологической безопасностью в районах эксплуатируемых нефтяных месторождений // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2021. Т. 7. № 1. С. 102–127. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-1-102-127>
10. Булуктаев А.А. Аварийный разлив нефти на территории Тенгутинского нефтегазового месторождения, расположенного в пределах заповедника «Черные земли» // *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2022. Т. 7. № 3. С. 43–51. <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2022-3-4>
11. Васильев А.В. Анализ источников загрязнения биосферы нефтепродуктами и особенности оценки их экологического воздействия // *Академический вестник ЕЛРПТ*. 2022. Т. 7. № 2(20). С. 15–20.
12. Васильева Е.А. Эффективность воздушного лазерного сканирования территории при мониторинге городских зеленых насаждений // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2021. № 2. С. 31–34. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2021-4-2-31-34>
13. Глебова Л.В., Буданов А.Б., Михайлова Е.А. Развитие регионального техногенеза при освоении нефтяных и газовых месторождений в Западной Сибири // *Геология, география и глобальная энергия*. 2020. № 3. С. 89–96.
14. Гордиенко А.С. Исследование возможности выявления негативного воздействия разливов нефти на окружающую растительность по данным дистанционного зондирования Земли // *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*. 2021. Т. 26. № 6. С. 48–55. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2021-26-6-48-55>
15. Гулиев А.Ш., Хлебникова Т.А. Выявление мест нефтезагрязнений шельфовой зоны по материалам космических съемок (на примере акватории нефтяных Камней (Каспий)) // *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*. 2019. Т. 24. № 3. С. 52–64. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2019-24-3-52-64>
16. Гусев А.П. Дистанционные индикаторы деградации лесных геосистем юго-востока Беларуси // *Весці БДПУ. Серыя 3. Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія*. 2020. № 1(103). С. 46–50.
17. Двинских С.А., Ларченко О.В. Экологическая характеристика особо охраняемой природной территории местного значения «Утиное болото», г. Пермь // *Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле»*. 2019. № 1. С. 63–70.
18. Двуреченская Е.Б. Техногенный галогенез в торфяных болотных верховых почвах средней тайги Западной Сибири // *Географический вестник*. 2020.

№ 3(54). С. 148–158. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-3-148-158>

19. Демидов В.Э. Применение воздушного лазерного сканирования для картирования рельефа, поиска следов антропогенного воздействия и изучения растительного покрова на территории Приокско-Террасного государственного природного биосферного заповедника // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. 2021. № 28. С. 74–82.

20. Дитц Л.Ю., Дудина Т.Н., Цусман Е.И., Катункина Е.В. Геоэкологические проблемы территорий нефтедобычи // Успехи современного естествознания. 2020. № 3. С. 72–77. <https://doi.org/10.17513/use.37348>

21. Долгополов Д.В., Мелкий В.А., Верхотуров А.А. Геоинформационное обеспечение безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта // Известия ТПУ. 2021. № 12. С. 52–63. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/12/3028>

22. Егорова Д.О., Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Шестаков И.Е., Хотяновская Ю.В. Биоремедиационный потенциал природного микробиоценоза в условиях хронического нефтяного загрязнения // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 11. С. 60–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-10-60-65>

23. Ерин А.А., Хомоненко А.Д. Расчет предельно измеряемой дальности лидара на беспилотном летательном аппарате для задач распознавания объектов // Бюллетень результатов научных исследований. 2020. № 2. С. 45–59. <https://doi.org/10.20295/2223-9987-2020-2-45-59>

24. Кабанов А.Н., Оспаналиев А.С., Кабанова С.А., Кочегаров И.С., Бекбаева А.М., Данченко М.А. Применение ГИС-технологий при обследовании состояния лесных культур в зеленой зоне г. Астаны // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 3. С. 361–372. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2023-18-3-361-372>

25. Карлович И.А. Современный техногенез. Владимир: ВлГУ, 2015. 165 с.

26. Карсаков А.А., Пономарёв Е.И. Дистанционный мониторинг теплового состояния подстилающей поверхности в контексте техногенных трансформаций // Биосфера. 2024. Т. 16. № 1. С. 20–29. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v16i1.890>

27. Катаев В.Н. Особенности углеводородного загрязнения сульфатно-карбонатных карстовых массивов // Сергеевские чтения: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Пермь, 02–04 апреля 2019 г. / под ред. В.И. Осипова, Н.Г. Максимовича, А.А. Баряха, Е.В. Булдаковой, А.Д. Деменева, О.Н. Ереминой, В.Г. Заиканова, В.Н. Катаева, Ю.А. Мамаева, О.Ю. Мещеряковой. Выпуск 21. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет. 2019. С. 309–314.

28. Катковский Л.В. Расчет параметров тепловизионной съемки объектов с беспилотных авианосителей // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2020. № 2. С. 53–61. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-2-53-61>

29. Керимов И.А., Эзирбаев Т.Б. Использование мультиспектральной съемки при наблюдении за состоянием лесного покрова Земли // Геология и геофизика Юга России. 2022. Т. 12. № 3. С. 182–194. <https://doi.org/10.46698/VNC.2022.58.33.001>

30. Масляев В.Н., Маскайкин В.Н., Егорова К.Д., Шабайкина В.А. Техногенез как фактор формирования техносферы // Научное обозрение. Международный научно-практический журнал. 2022. № 2 [Электронный ресурс]. URL: <https://srjournal.ru/2022/id363/> (дата обращения: 19.03.2025).

31. Мелкий В.А., Верхотуров А.А. Геоинформационное и картографическое обеспечение мониторинга для оценки состояния природно-техногенных комплексов Сахалинской области // Геоконтекст. 2016. № 4. С. 30–44.

32. Московченко Д.В., Бабушкин А.Г., Идрисов И.Р. Оценка техногенной нарушенности нефтяных месторождений Среднего Приобья с использованием спутниковых снимков // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 5. С. 53–61. <https://doi.org/10.31857/S0869780920050069>

33. Мячина К.В. Особенности воздействия объектов нефтегазодобывающей инфраструктуры на подзональные ландшафты Волго-Уральского степного региона // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2019. № 4. С. 21–29. <https://doi.org/10.24411/2304-9081-2019-15021>

34. Новохатин В.В., Осипова Н.Г. Космический мониторинг аварийных нефтеразливов в пределах лицензионных участков на территории Западной Сибири // Московский экономический журнал. 2021. № 3. С. 57–63. <https://doi.org/10.24412/2413-046X-2021-10167>

35. Овчинникова Н.Г., Медведков Д.А. Применение беспилотных летательных аппаратов для ведения землеустройства, кадастра и градостроительства // Экономика и экология территориальных образований. 2019. Т. 3. № 1. С. 98–108. <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2019-3-1-98-108>

36. Остроухов А.В., Климина Е.М., Купцова В.А. Ландшафтное картографирование труднодоступных территорий на примере государственного природного заповедника «Болоньский» (Россия) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2020. Т. 5. № 2. С. 47–63. <https://doi.org/10.24189/ncr.2020.015>

37. Перемитина Т.О., Яценко И.Г. Использование вегетационных индексов NDVI для оценки динамики растительности нефтедобывающих территорий Западной Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. № 4. С. 154–163.

38. Прохоров А.В., Носков И.В. Мониторинг магистральных нефте-газопроводов при помощи беспилотных летательных аппаратов // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 6 [Электронный ресурс]. URL: <https://esj.today/PDF/40NZVN622.pdf> (дата обращения: 20.03.2025).

39. Разакова М.Г. Выявление и картирование нефтяных загрязнений почв по данным дистанционного зондирования // Проблемы информатики. 2017. № 4. С. 4–15.

40. Реймерс Н.Ф. Природопользование. М.: Мысль, 1990. 637 с.

41. Рустамов З.А., Брюхова К.С. Проблема утилизации попутного нефтяного газа. Анализ и современное состояние // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2019. № 58. С. 102-109. <https://doi.org/10.15593/2224-9982/2019.58.08>
42. Санников П.Ю., Андреев Д.Н., Бузмаков С.А. Выявление и анализ сухостоя при помощи беспилотного летательного аппарата // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. № 3. С. 103-113. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-3-103-113>
43. Соколов А.Н. Геоэкологические условия воздействия на почвенные ресурсы, на территории нефтяного месторождения Томской области // Московский экономический журнал. 2020. № 6. С. 20-29. <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2020-10374>
44. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 376 с.
45. Соромотин А.В. Экологические последствия различных этапов освоения нефтегазовых месторождений в таежной зоне Тюменской области // Сибирский экологический журнал. 2011. Т. 18. № 6. С. 813-822
46. Соромотин А.В., Казанцева М.Н., Кремлева Т.А., Елизарова Д.П., Бродт Л.В., Фефилов Н.Н. Техногенный галогенез поверхностных вод и растительных сообществ в результате сброса минеральных вод на водосбор малой реки // Проблемы региональной экологии. 2020. № 1. С. 45-53. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2020-11045>
47. Табарин В.А., Шестаков А.В., Чжан Ю.В., Ермаков А.А., Палант А.И. Дистанционный лазерный газоанализатор нового поколения, размещаемый на беспилотном летательном аппарате // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4(40). С. 52-57.
48. Токарева О.С., Пасько О.А., Маджид С.М., Кабраль П. Мониторинг состояния растительного покрова территории центрального Ирака с использованием спутниковых данных Landsat-8 // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 6. С. 19-31. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/6/2671>
49. Топчиев А.Г. Методы и технические средства охраны окружающей среды в зоне технической ответственности предприятий нефтегазового комплекса // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. № 5. С. 46-53.
50. Хасанова Г.Ф. Исследования техногенных процессов в промышленных и урбанизированных территориях // Вестник науки. 2024. № 2. С. 581-585. <https://doi.org/10.24412/2712-8849-2024-271-581-585>
51. Хетагурова Э.О., Борзыкина Е.А. Исследование воздействия сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках // Вестник науки. 2021. Т. 5. № 5-1(38). С. 135-140.
52. Шихов А.Н., Абдуллин Р.К. Фонд космических снимков для создания карт. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2024. 115 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/SHihov-Abdullin-Fond-kosmicheskikh-snimkov-dlya-sozdaniya-kart.pdf> (дата обращения: 13.04.2025).
53. Шихов А.Н., Герасимов А.П., Пономарчук А.И., Перминова Е.С. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения Пермь: ПГНИУ, 2020. 191 с.
54. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2013. 592 с.
55. Шураков С.А., Чащин А.Н. Использование данных дистанционного зондирования Landsat 8 в оценке температурных условий в предгнездовой и гнездовой периоды озерной чайки (*Larus Ridibundus* L.) // СНВ. 2020. Т. 9. № 4. С. 184-191. <https://doi.org/10.17816/snv202094128>
56. Эльсункаева Э.В., Эзирбаев Т.Б. Мониторинг состояния окружающей среды в зонах влияния промышленных предприятий с помощью дистанционного зондирования // Мониторинг. Наука и технологии. 2020. № 2. С. 47-52. <https://doi.org/10.25714/MNT.2020.44.007>
57. Якутин М.В., Шарикалов А.Г. Экологическая обстановка на территории Муравленковского нефтегазового месторождения (Западная Сибирь, ЯНАО) по данным дистанционного зондирования // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2019. Т. 24. № 4. С. 93-103. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2019-24-4-93-103>
58. Al-Shammari A., Levin E., Shults R. Oil spills detection by means of UAS and low-cost airborne thermal sensors // ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2018. Vol. IV-5. P. 293-301. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-5-293-2018>
59. Banerjee B., Raval S. Mapping Sensitive Vegetation Communities in Mining Eco-space using UAV-LiDAR // International Journal of Coal Science & Technology. 2022. Vol. 9. Article Number 40 <https://doi.org/10.1007/s40789-022-00509-w>
60. Buchan C., Gilroy J., Catry I., Hewson Ch., Atkinson Ph., Franco A. Combining remote sensing and tracking data to quantify species' cumulative exposure to anthropogenic change // Global Change Biology. 2023. Vol. 29. Iss. 23. P. 6679-6692 <https://doi.org/10.1111/gcb.16974>
61. Danilov A., Smirnov Ur., Pashkevich M. The System of the Ecological Monitoring of Environment which is Based on the Usage of UAV // Russian Journal of Ecology. 2015. Vol. 46. Iss. 1. P. 14-19. <https://doi.org/10.1134/S1067413615010038>
62. De Kerf T., Gladines J., Sels S., Vanlanduit S. Oil Spill Detection Using Machine Learning and Infrared Images // Remote Sensing. 2020. Vol. 12(24). Article Number 4090 <https://doi.org/10.3390/rs12244090>
63. Eccles K.M., Paul B.D., Chan H.M. The Use of Geographic Information Systems for Spatial Ecological Risk Assessments: An Example from the Athabasca Oil Sands Area in Canada // Environmental Toxicology and Chemistry. 2019. Vol. 38. Iss. 12. P. 2797-2810. <https://doi.org/10.1002/etc.4577>
64. Godfrey I., Avarð G., Brenes J.P.S., Cruz M.M., Meghraoui K. Using Sniffer4D and SnifferV portable gas detectors for UAS monitoring of degassing at the Turrialba Volcano Costa Rica // Advanced UAV. 2023. Vol. 3(1). P. 54-90.

65. Grib N., Melnikov A., Grib G., Kachaev A. Use of unmanned aerial systems for assessing the dynamics of hazardous engineering and geocryological processes on linear facilities // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 192. Article Number 04006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019204006>
66. Han H., Feng Z., Du W., Guo S., Wang P., Xu T. Remote Sensing Image Classification Based on Multi-Spectral Cross-Sensor Super-Resolution Combined With Texture Features: A Case Study in the Liaohe Planting Area // IEEE Access. 2024. Vol. 12. PP. 16830-16843. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3358812>
67. Hassani B., Sahebi M., Asiyabi R. Oil Spill Four-Class Classification Using UAVSAR Polarimetric Data // Ocean Science Journal. 2020. Vol. 55. P. 433-443. <https://doi.org/10.1007/s12601-020-0023-9>
68. Koshim A., Sergeyeva A., Yegizbayeva A. Impact of the Tengiz Oil Field on the State of Land Cover // Quaestiones Geographicae. 2022. Vol. 41. P. 83-93. <https://doi.org/10.2478/quageo-2022-0022>
69. Mani V.R.S. A Survey of Multi Sensor Satellite Image Fusion Techniques // International Journal of Sensors and Sensor Networks. 2020. Vol. 8. Iss. 1. P. 1-10 <https://doi.org/10.11648/j.jissn.20200801.11>
70. Negara T., Jaya I., Kusmana C., Mansur I., Santi N. Drone image-based parameters for assessing the vegetation condition the reclamation success in post-mining oil exploration // Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control). 2021. Vol. 19. Iss. 1. P. 105-114. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.V19I1.16663>
71. Singh A., Kushwaha S.K.P. Forest Degradation Assessment Using UAV Optical Photogrammetry and SAR Data // Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 2020. Vol. 49. P. 559-567. <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01232-2>
72. Sniffer4D – Mobile Air Pollutant Mapping System – Drone-based Air pollutant Mapping System [Электронный ресурс]. URL: <http://sniffer4d.eu/> (дата обращения: 20.03.2025).
73. Sousa M.J., Moutinho A., Almeida M. Thermal Infrared Sensing for Near Real-Time Data-Driven Fire Detection and Monitoring Systems // Sensors. 2020. Vol. 20. Article Number 6803. <https://doi.org/10.3390/s20236803>
74. Wanasinghe T., Gosine R., Silva O., Mann G., James L., Warrian, P. Unmanned Aerial Systems for the Oil and Gas Industry: Overview, Applications, and Challenges // IEEE Access. 2020 Vol. 8. P. 166980-166997. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3020593>
75. Yang L., Lei Ch., Shurui F., Yan Zh. Design of Gas Monitoring Terminal Based on Quadrotor UAV // Sensors. 2022. Vol. 22. Article Number 5350. <https://doi.org/10.3390/s22145350>
76. Zhou R., Yang C., Li E., Cai X., Yang J., Xia Y. Object-Based Wetland Vegetation Classification Using Multi-Feature Selection of Unoccupied Aerial Vehicle RGB Imagery // Remote Sensing. 2021. Vol. 13. Article Number 4910. <https://doi.org/10.3390/rs13234910>
77. Agibalov, A., Zaitsev, V., Sentsov, A., Poleshchuk, A. and Manuilova, E., 2021. Morphometric parameters of relief and localization of hydrocarbon deposits within the Volga-Ural anticline. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Geografiya*, 4, pp. 116-128. (in Russian)
78. Anikaeva, A. and Martyushev, D., 2020. Assessment of the Unmanned Aerial Vehicle Potential Application in the Oil and Gas Industry. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 20(4), pp. 344-355. <https://doi.org/10.15593/2712-8008/2020.4.4> (in Russian)
79. Asadov, I. and Ramazanov, V., 2020. Methodology for estimating the volumes of unmolded methane burned in torches and its emission components. *Oil and Gas Business*, 5, pp. 39-51 <https://doi.org/10.17122/ogbus-2020-5-39-51> (in Russian)
80. Akhmetzyanova, L., Selivanovskaya, S. and Latypova, V., 2010. Laboratory Modeling of Oil Polluted Soil Remediation for Determination of Permissible Residual Content of Oil Products. *Scientific notes of Kazan University. Natural sciences*, 152(4), pp. 68-77. (in Russian)
81. Bredikhin, A., Eremenko, E., Kharchenko, S., Belyaev, Yu., Romanenko, F., Bolysov, S. and Fuzeina, Yu., 2020. Regionalization of the Russian Arctic according to the types of anthropogenic development and associated relief transformation by applying the cluster analysis. *Lomonosov Geography Journal*, (1), pp. 42-56. (in Russian)
82. Buzmakov, S., 2012. Antropogenic transformation of environment, *Geographical Bulletin*, (4), pp. 46-50 (in Russian)
83. Buzmakov, S., Sannikov, P., Kuchin, L., Igosheva, E. and Abdulmanova, I., 2023. The use of unmanned aerial photography for interpreting the technogenic transformation of the natural environment during the oilfield operation. *Journal of Mining Institute*, 260, pp. 180-193. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.22> (in Russian)
84. Buzmakov, S., Sannikov, P., Sivkov, D., Dziuba, E., Khotyanovskaya, Y. and Egorova, D., 2021. Development of geoinformation systems for environmental management and environmental safety in the areas of exploited oil deposits. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 7(1), pp. 102-127. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-1-102-127> (in Russian)
85. Buluktaev, A., 2022. Tengutinsky oil and gas field: exploring one emergency oil spill in the Chyornye Zemli Nature Reserve. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 7(3), pp. 43-51. <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2022-3-4> (in Russian)
86. Vasilyev, A., 2022. Analiz istochnikov zagryazneniya biosfery nefteproduktami i osobennosti ocenki ih ekologicheskogo vozdejstviya [Analysis of sources of biosphere pollution by oil products and specifics of their environmental impact assessment]. *Akademicheskij vestnik ELPIT*, 7(2), pp. 15-20. (in Russian)
87. Vasil'eva, E., 2021. Efficiency of aerial laser scanning of the territory when monitoring urban green spaces. *Interespo Geo-Siberia*, (2), pp. 31-34. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2021-4-2-31-34> (in Russian)

References

1. Abdulmanova, I. and Igosheva, E., 2021. Comparison of bog phytocenosis ecotopes parameters and peat de-

13. Glebova, L., Budanov, A. and Mikhailova, E., 2020. Development of technogenesis at the regional development of oil and gas fields in Western Siberia. *Geologiya, Geografiya i Globalnaya Energiya (Geology, Geography and Global Energy)*, 3(78), pp. 89-96. (in Russian)
14. Gordienko, A., 2021. Research of the possibility of detecting the negative impact of oil spills on the surrounding vegetation based on remote sensing data. *Vestnik SSUGT*, 26(6), pp. 48-55. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2021-26-6-48-55> (in Russian)
15. Guliev, A. and Khlebnikova, T., 2019. Revealing oil pollution spots on shelf zone with help of space survey (on the example of oil stones water area, Caspian Sea). *Vestnik SSUGT*, 24(3), pp. 52-64. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2019-24-3-52-64> (in Russian)
16. Gusev, A., 2020. Distance indicators of degrading forest geosystems in the south-east of Belarus. *Vestnik BDPU. Seryya 3. Fizika. Matematyka. Infarmatyka. Biyalogiya. Geografiya*, (1), pp. 46-50. (in Russian)
17. Dvinskikh, S. and Larchenko, O., 2019. Ecological characteristic of specially protected natural area of local significance "Utinoye boloto" ("Duck swamp"), Perm. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, 29(1), pp. 63-70. (in Russian)
18. Dvurechenskaya, E., 2020. Halogenesis in oligotrophic soils of the middle taiga of Western Siberia. *Geographical bulletin*, 3(54), pp. 148-158. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-3-148-158> (in Russian)
19. Demidov, V., 2021. LIDAR 3d laser scanning of the Prioksko-terrasny nature reserve territory for the purpose of terrain mapping, searching for areas of anthropogenic impact, vegetation structure studies. *Proceedings of the Mordovian State Nature Reserve named after P.G. Smidovich*, (28), pp. 74-82. (in Russian)
20. Ditz, L., Dudina, T., Tsuskman, E. and Katunkina, E., 2020. Geoecological problems of oil production territories. *Advances in current natural sciences*, (3), pp. 72-77. <https://doi.org/10.17513/use.37348> (in Russian)
21. Dolgoplov, D., Melkiy, V. and Verkhotur, A., 2021. Geoinformation support for safe operation of pipeline transport. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 332(12), pp. 52-63. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/12/3028> (in Russian)
22. Egorova, D., Buzmakov, S., Sannikov, P., Shestakov, I. and Khotyanovskaya, Yu., 2022. Bioremediation Potential of Natural Microbiocenosis under Conditions of Chronic Oil Contamination. *Ecology and Industry of Russia*, 26(10), pp. 60-65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-10-60-65> (in Russian)
23. Erin, A. and Khomonenko, A., 2020. Calculation of the maximum LIDAR range measurement on an unmanned aerial vehicle for object recognition tasks. *Bulletin of scientific research results*, (2), pp. 45-59. <https://doi.org/10.20295/2223-9987-2020-2-45-59> (in Russian)
24. Kabanov, A., Ospangaliev, A., Kabanova, S., Kochegarov, I., Bekbaeva, A. and Danchenko, M., 2023. Application of GIS technologies in surveying the state of forest crops in the green zone of Astana. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 18(3), pp. 361-372. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2023-18-3-361-372>
25. Karlovich, I., 2015. *Sovremennyy tekhnogenez* [Modern technogenesis]. Vladimir: VLGU publ. 165 p. (in Russian)
26. Karsakov, A. and Ponomarev, E., 2024. Remote monitoring of the thermal condition of underlying surface under the conditions of anthropogenic transformation. *Biosphere*, 16(1), pp. 20-29. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v16i1.890> (in Russian)
27. Kataev, V., 2019. Osobennosti uglevodorodnogo zagryazneniya sul'fatno-karbonatnykh karstovykh massivov [Features of hydrocarbon pollution of sulfate-carbonate karst massifs]. In: *Osipova, V., Maksimovich, N., Baryakha, A., Buldakovo, E., Demeneva, A., Ereminov, O., Zaikanova, V., Kataeva, V., Mamaeva, Yu. and Meshcheryakovo, O. (ed.) Sergeevskie chteniya: Materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology, 02-04 April 2019, Perm, Russia. Perm, PSU*, pp. 309-314. (in Russian)
28. Katkovsky, L., 2020. Calculation of objects thermal imaging parameters from unmanned aerial vehicles. *Doklady BGUIR*, 18(2), pp. 53-61. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-2-53-61> (in Russian)
29. Kerimov, I. and Ezirbaev, T., 2022. Experiences in the application of multispectral imagery in land cover observation. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii. Geology and Geophysics of Russian South*, 12(3), pp. 182-194. <https://doi.org/10.46698/VNC.2022.58.33.001> (in Russian)
30. Maslyayev, V., Maskajkin, V., Egorova, K. and Shabaikina, V., 2022. Technogenesis as a factor in the formation of the technosphere. *Scientific review: an international scientific and practical journal*, (2). Available from: <https://srjournal.ru/2022/id363/> [Accessed 19th March 2025]. (in Russian)
31. Melkij, V. and Verkhotur, A., 2016. Geoinformacionnoe i kartograficheskoe obespechenie monitoringa dlya ocenki sostoyaniya prirodno-tekhnogennykh kompleksov Sakhalinskoj oblasti [Geoinformation and cartographic monitoring support for assessing the state of natural and man-made complexes in the Sakhalin region]. *Geoccontext*, (4), pp. 30-44. (in Russian)
32. Moskovchenko, D., Babushkin, A. and Idrisov, I., 2020. Assessment of the technogenic disturbance of oil fields within the middle Ob river region, Russia, by the use of satellite imagery. *Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology*, (5), pp. 53-61. <https://doi.org/10.31857/S0869780920050069> (in Russian)
33. Myachina, K., 2019. Features of impact of oil-and-gas production objects on subzonal landscapes of the Volga-Ural steppe region. *Bulletin of the orenburg scientific center of URO RAN*, (4), pp. 21-29. <https://doi.org/10.24411/2304-9081-2019-15021> (in Russian)
34. Novokhatin, V. and Osipova, N., 2021. Space monitoring of emergency oil spills within license areas in Western Siberia. *Moscow Economic Journal*, (3), pp. 57-63 (in Russian)

35. Ovchinnikova, N. and Medvedkov, D., 2019. The use of unmanned aerial vehicles for land management, cadastre and urban planning. *Economy and ecology of territorial formations*, 3(1), pp. 98-108. <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2019-3-1-98-108> (in Russian)
36. Ostroukhov, A., Klimina, E. and Kuptsova, V., 2020. Landscape mapping of hard-to-reach areas. A case study for the Bolonsky state nature reserve (Russia). *Nature Conservation Research*, 5(2), pp. 47-63. <https://doi.org/10.24189/ncr.2020.015> (in Russian)
37. Peremitina, T. and Yashchenko, I., 2018. Evaluating the dynamics of vegetation of oil-extracting territories in western Siberia based on vegetation NDVI indices. *Interexpo Geo-Siberia*, (4), pp. 154-163. (in Russian)
38. Prokhorov, A. and Noskov, I. 2022. Monitoring of main oil and gas pipelines using UAVs. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(6). Available from: <https://esj.today/PDF/40NZVN622.pdf> [Accessed 20th March 2025]. (in Russian)
39. Razakova, M., 2017. Identification and mapping of oil contamination of soils using remote sensing data. *Problems of Informatics*, (4), pp. 4-15. (in Russian)
40. Reijmers, N., 1990. *Prirodopolzovanie* [Environmental management]. Moscow: Mysl publ. 637 p. (in Russian)
41. Rustamov, Z. and Bryukhova, K., 2019. The problem of associated oil gas utilization, analysis and current status. *Bulletin of PNIPU. Aerospace engineering*, (58), pp. 102-109. <https://doi.org/10.15593/2224-9982/2019.58.08> (in Russian)
42. Sannikov, P., Andreev, D. and Buzmakov, S., 2018. Identification and analysis of deadwood using an unmanned aerial vehicle. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 15(3), pp. 103-113. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-3-103-113> (in Russian)
43. Sokolov, A., 2020. Geoecological conditions of influence on soil resources, in the territory of oil deposit of Tomsk region. *Moscow Economic Journal*, (6), pp. 20-29. (in Russian)
44. Solntseva, N., 1998. *Dобыча нефти и геохимия природных ландшафтов* [Oil production and geochemistry of natural landscapes]. Moscow: Publishing House of Moscow University. 376 p. (in Russian)
45. Soromotin, A., 2011. Ecological Consequences of Different Stages of the Development of Oil and Gas Deposits in the Taiga Zone of the Tyumen Region. *Contemporary Problems of Ecology*, 18(6), pp. 813-822. (in Russian)
46. Soromotin, A., Kazantseva, M., Kremleva, T., Elizarova, D., Brodt, L. and Fefilov, N., 2020. Technogenic halogenesis of surface waters and vegetation communities as a result of mineral water discharge into a minor river water catchment area. *Problems of regional ecology*, (1), pp. 45-53. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2020-11045> (in Russian)
47. Tabarin, V., Shestakov, A., Zhang, Yu., Ermakov, A. and Palant, A., 2014. Distancionnyj lazernyj gazoanalizator novogo pokoleniya, razmeshchaemyj na bespilotnom letatel'nom apparate [Remote laser gas analyzer of a new generation placed on an unmanned aerial vehicle]. *Alternative fuel transport*, 4(40), pp. 52-57. (in Russian)
48. Tokareva, O., Pasko, O., Majid, S. and Cabral, P., 2020. Monitoring vegetation state in the central Iraq using Landsat-8 satellite data. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 331(6), pp. 19-31 <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/6/2671> (in Russian)
49. Topchiev, A., 2014. Metody i tekhnicheskie sredstva okhrany okruzhayushchej sredy v zone tekhnicheskoy otvetstvennosti predpriyatij neftegazovogo kompleksa [Methods and technical means of environmental protection in the area of technical responsibility of enterprises of the oil and gas complex]. *Environmental protection in the oil and gas complex*, (5), pp. 46-53. (in Russian)
50. Khasanova, G., 2024. Studies of technogenic processes in industrial and urbanized territories. *Bulletin of science*, 1(2), pp. 581-585. <https://doi.org/10.24412/2712-8849-2024-271-581-585> (in Russian)
51. Khetagurova, E. and Borzykina, E., 2021. Study of the impact of combustion associated petroleum gas on torch plants. *Bulletin of science*, 5(5), pp. 135-140. (in Russian)
52. Shikhov, A., Gerasimov, A., Ponarchuk, A. and Perminova, E., 2020. *Tematicheskoe deshifirovanie i interpretaciya kosmicheskikh snimkov srednego i vysokogo prostranstvennogo razresheniya* [Thematic decoding and interpretation of satellite images of medium and high spatial resolution]. Perm, PSU. 191 p. (in Russian)
53. Shikhov, A. and Abdullin, R., 2024. *Fond kosmicheskikh snimkov dlya sozdaniya kar* [The Satellite Imagery Fund for creating maps]. Perm. 115 p. Available from: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/SHihov-Abdullin-Fond-kosmicheskikh-snimkov-dlya-sozdaniya-kart.pdf> [Accessed 13th March 2025]. (in Russian)
54. Schowengerdt, R., 2010. *Remote Sensing. Models and Methods for Image Processing*. Moscow, Thnosphere. 560 p. (in Russian)
55. Shurakov, S. and Chashchin, A., 2020. The use of Landsat 8 remote sensing data for assessing the temperature conditions of the *Larus ridibundus* L. habitat. *Samara Journal of Science*, 9(4), pp. 184-191. <https://doi.org/10.17816/snv202094128> (in Russian)
56. Elsunkaeva, E. and Ezirbaev, T., 2020. Environmental monitoring in the industrial areas by remote sensing in order to identify the risk of pollution. *Monitoring. Science and Technology*, (2), pp. 47-52. <https://doi.org/10.25714/MNT.2020.44.007> (in Russian)
57. Yakutin, M. and Sharikalov, A., 2019. Ecological situation on the territory of Muravlenko oil field (Western Siberia, YANAO) based on remote sensing data. *Vestnik SSUGT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)*, 24(4), pp. 93-103. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2019-24-4-93-103> (in Russian)
58. Al-Shammari, A., Levin, E. and Shults, R., 2018. Oil spills detection by means of UAS and low-cost airborne thermal sensors. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, pp. 293-301. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-5-293-2018>
59. Banerjee, B. and Raval, S., 2022. Mapping Sensitive Vegetation Communities in Mining Eco-space using UAV-LiDAR. *International Journal of Coal Science &*

Technology, 9, Article Number 40. <https://doi.org/10.1007/s40789-022-00509-w>

60. Buchan, C., Gilroy, J., Catry, I., Hewson, Ch., Atkinson, Ph. and Franco, A., 2023. Combining remote sensing and tracking data to quantify species' cumulative exposure to anthropogenic change. *Global Change Biology*, 29(23), pp. 6679-6692 <https://doi.org/10.1111/gcb.16974>

61. Danilov, A., Smirnov, Ur. and Pashkevich, M., 2015. The System of the Ecological Monitoring of Environment which is Based on the Usage of UAV. *Russian Journal of Ecology*, 46(1), pp. 14-19. <https://doi.org/10.1134/S1067413615010038>

62. Kerf, T., Gladines, J., Sels, S. and Vanlanduit, S., 2020. Oil Spill Detection Using Machine Learning and Infrared Images. *Remote Sensing*, 12(24), Article Number 4090. <https://doi.org/10.3390/rs12244090>

63. Eccles, K., Paul, B. and Chan, H., 2019. The Use of Geographic Information Systems for Spatial Ecological Risk Assessments: An Example from the Athabasca Oil Sands Area in Canada. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(12), pp. 2797-2810. <https://doi.org/10.1002/etc.4577>

64. Godfrey, I., Avard, G., Brenes, J., Cruz, M. and Mehraoui, K., 2023. Using Sniffer4D and SnifferV portable gas detectors for UAS monitoring of degassing at the Turrialba Volcano Costa Rica. *Advanced UAV*, 3(1), pp. 54-90.

65. Grib, N., Melnikov, A., Grib, G. and Kachaev, A., 2020. Use of unmanned aerial systems for assessing the dynamics of hazardous engineering and geocryological processes on linear facilities. *E3S Web of Conferences*, 192, Article Number 04006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019204006>

66. Han, H., Feng, Z., Du, W., Guo, S., Wang, P. and Xu, T., 2024. Remote Sensing Image Classification Based on Multi-Spectral Cross-Sensor Super-Resolution Combined With Texture Features: A Case Study in the Liaohe Planting Area. *IEEE Access*, 12, pp. 16830-16843. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3358812>

67. Hassani, B., Sahebi, M. and Asiyabi, R., 2020. Oil Spill Four-Class Classification Using UAVSAR Polarimetric Data. *Ocean Science Journal*, 55, pp. 433-443. <https://doi.org/10.1007/s12601-020-0023-9>

68. Koshim, A., Sergeyeva, A. and Yegizbayeva, A., 2022. Impact of the Tengiz Oil Field on the State of Land Cover. *Quaestiones Geographicae*, 41, pp. 83-93. <https://doi.org/10.2478/quageo-2022-0022>

69. Mani, V., 2020. A Survey of Multi Sensor Satellite Image Fusion Techniques. *International Journal of Sensors and Sensor Networks*, 8(1), pp. 1-10. <https://doi.org/10.11648/j.ijssn.20200801.11>

70. Negara, T., Jaya, I., Kusmana, C., Mansur, I. and Santi, N., 2021. Drone image-based parameters for assessing the vegetation condition the reclamation success in post-mining oil exploration. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 19(1), pp. 105-114. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.V19I1.16663>

71. Singh, A. and Kushwaha, S., 2020. Forest Degradation Assessment Using UAV Optical Photogrammetry and SAR Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49, pp. 559-567. <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01232-2>

72. Sniffer4D – Mobile Air Pollutant Mapping System – Drone-based Air pollutant Mapping System. Available from: <http://sniffer4d.eu/> [Accessed 20th March 2025].

73. Sousa, M., Moutinho, A. and Almeida, M., 2020. Thermal Infrared Sensing for Near Real-Time Data Driven Fire Detection and Monitoring Systems. *Sensors*, 20, Article Number 6803. <https://doi.org/10.3390/s20236803>

74. Wanasinghe, T., Gosine, R., Silva, O., Mann, G., James, L. and Warrian, P., 2020. Unmanned Aerial Systems for the Oil and Gas Industry: Overview, Applications, and Challenges. *IEEE Access*, 8, pp. 166980-166997. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3020593>

75. Yang, L., Lei, Ch., Shurui, F. and Yan, Zh., 2022. Design of Gas Monitoring Terminal Based on Quadrotor UAV. *Sensors*, 22, Article Number 5350. <https://doi.org/10.3390/s22145350>

76. Zhou, R., Yang, C., Li, E., Cai, X., Yang, J. and Xia, Y., 2021. Object-Based Wetland Vegetation Classification Using Multi-Feature Selection of Unoccupied Aerial Vehicle RGB Imagery. *Remote Sensing*, 13, Article Number 4910. <https://doi.org/10.3390/rs13234910>

Статья поступила в редакцию 21.01.2025; одобрена после рецензирования 07.05.2025; принята к публикации 16.05.2025.

The article was submitted 21.01.2025; approved after reviewing 07.05.2025; accepted for publication 16.05.2025.

Обзорная статья

 УДК 504.054 <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-71-82> EDN UXLLQH

Современное представление о техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяных месторождений и роли территорий режима особого природопользования

Сергей Александрович Чайкин¹, Артём Сергеевич Бузмаков², Владислав Эдуардович Симонов³

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

¹ chaykinsa@hotmail.com

² buzmartem@gmail.com

³ simonovvladislav71@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена современному представлению о техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяных месторождений. В работе анализируется масштаб и последствия антропогенного воздействия на экосистемы, связанные с добычей и переработкой нефти. Особое внимание уделяется проблемам деградации земель, водных ресурсов, изменениям почвенного и растительного покрова, а также влиянию на биоразнообразие. Современные исследования показывают, что традиционные подходы к управлению природопользованием при нефтедобыче часто недостаточны для обеспечения сохранения природных экосистем. В статье рассматриваются ключевые факторы, определяющие интенсивность и характер техногенного воздействия: глубина залегания, тип месторождения, технологии добычи, а также инфраструктура. Важным аспектом является роль территорий режима особого природопользования (ООПТ) в минимизации негативных последствий. Статья аргументирует, что эффективная охрана экосистем и компенсация ущерба возможна только при комплексном подходе, включающем строгое соблюдение экологических норм, внедрение современных технологий, а в ряде случаев, присвоение статуса особой охраны (ООПТ) для повышения эффективности сохранения и восстановления нарушенных экосистем. Работа подчеркивает необходимость научно обоснованного подхода к планированию и регулированию деятельности по освоению нефтяных месторождений, направленного на сведение к минимуму негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, нефтяное месторождение, биоремедиация, ООПТ, техногенез

Для цитирования: Чайкин С.А., Бузмаков А.С., Симонов В.Э. Современное представление о техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяных месторождений и роли территорий режима особого природопользования // Антропогенная трансформация природной среды. 2025. Т. 11. № 1. С. 71–82. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-71-82>. EDN UXLLQH.

Review Paper

Modern understanding of technogenic transformation of nature during exploitation of oil fields and the role of special nature management regime areas

Sergei A. Chaikin¹, Artem S. Buzmakov², Vladislav E. Simonov³

^{1,2,3} Perm State University, Perm, Russia

¹ chaykinsa@hotmail.com

² buzmartem@gmail.com

³ simonovvladislav71@gmail.com

Abstract. The article is devoted to the modern idea of technogenic transformation of the nature during exploitation of oil fields. The paper analyzes the scale and consequences of anthropogenic impact on ecosystems associated with oil production and processing. Special attention is paid to the problems of land degradation, water resources, changes in soil and vegetation cover, as well as the impact on biodiversity. Current research shows that traditional approaches to environmental management in oil production are often insufficient to ensure the conservation of natural ecosystems. The article discusses the key factors that determine the intensity and nature of anthropogenic impacts: depth of occurrence, type of field, extraction technologies, and infrastructure. An important aspect is the role of special nature management areas (protected areas) in minimizing negative consequences. The article argues that effective protection of ecosystems and compensation for damage is possible only with an integrated approach, including strict compliance with environmental regulations, introduction of modern technologies, and in some cases, assigning special conservation status (protected areas) to increase the effectiveness of preserving and restoring damaged ecosystems. The paper emphasizes the need for

a science-based approach to the planning and regulation of oil field development activities aimed at minimizing the negative impact to the environment.

Key words: anthropogenic impact, oil field, bioremediation, protected areas, technogenesis

For citation: Chaikin, S., Buzmakov, A. and Simonov, V. 2025. Modern understanding of technogenic transformation of nature during exploitation of oil fields and the role of special nature management regime areas. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 11(1), pp. 71-82. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2025-1-71-82>. EDN UXLLQH. (in Russian)

Введение

Термин «техногенез» впервые был использован академиком А.Е. Ферсманом в 1934 г. Работы А.Е. Ферсмана основаны на учении В.И. Вернадского о ноосфере, где основным признаком ноосферы является техногенная миграция химических элементов в географической оболочке или техногенез. Техногенез – это совокупность геохимических и минералогических процессов, связанных с промышленной деятельностью человека. Техногенез включает в себя извлечение, концентрацию, перераспределение и рассеивание химических элементов в окружающей природной среде [35].

Потребность изучения техногенного воздействия на наземные экосистемы вызвана необходимостью создания экологической теории сохранения, восстановления и использования природной среды, выявления закономерностей трансформации и принятием неотложных мер по регулированию отрицательного влияния промышленности на природные компоненты и комплексы [15-17].

Соединение подходов биогеографии, экологии и ландшафтоведения позволяет получить новые представления, как о пространственно-временных, так и о структурно-функциональных закономерностях существования преобразованных экосистем. Современное изучение наземных экосистем базируется на комплексе географических и экологических методов, позволяющих выявлять закономерности природно-техногенных процессов [15, 16].

Разработка и применение единого комплекса сбора, анализа и обобщения информации о состоянии природной среды, включающего в себя методы слежения и экспериментирования за распространением техногенных воздействий, обеспечивает изучение направления, последовательности состояний и обратимости природно-техногенных процессов трансформации наземных экосистем с учетом географических особенностей региона.

Полученные экспериментальные данные, результаты полевых обследований, анализ литературных источников позволяют описать различные особенности техногенной трансформации экосистем.

Техногенная трансформация экосистем (природной среды) – это процесс изменения природных компонентов и комплексов под воздействием производственной деятельности [13].

Вместе с тем проблема исследования техногенной трансформации природно-техногенных экосистем на территории эксплуатируемых нефтяных месторождений в различных регионах РФ остается актуальной [31]. Усиливающееся влияние техногенеза на природные процессы, несовершенство способов его изучения, нередко затрудняют, делают невозможным точное определение генезиса тех или иных явлений, вызыва-

ющих существенные изменения состояния экологической обстановки в различных регионах. Но в тоже время, вопросы, связанные с экогеохимической характеристикой трансформации ПТЭ исследованы слабо, особенно на территориях с особым режимом хозяйственной деятельности (ТОР).

Техногенная трансформация

Нефтяная промышленность является ведущей отраслью РФ и включает в себя процессы добычи, переработки, хранения, транспортировки и сбыта готовой продукции [48]. На разных этапах добычи нефти в окружающую среду поступают различные химические элементы природного (газ, нефтесодержащие породы и жидкость, минерализованные пластовые воды) и техногенного происхождения (буровые растворы, химические реагенты и кислоты, горюче-смазочные материалы), вместе с выходом высокоминерализованных пластовых вод, зоны добычи нефти загрязняются такими тяжелыми металлами, как *Cd, Cu, Hg, Mo, Pb, Sb* и *Zn* [57].

В результате проведенного исследования, описанного в работе [51] определено, что наиболее опасные процессы трансформации и накопления загрязняющих веществ сосредоточены в зоне влияния установок первичной подготовки нефти (УППН).

Нефть, как и любое вещество имеет определенный состав компонентов, известны индексы классификации сырой нефти, описанные в исследовании [54]. Индекс рассчитывался на основе водного и масляного состава, именно состав сырой нефти важно учитывать при изучении нефтезагрязнения.

Исследование техногенной миграции веществ в атмосферном воздухе, водных объектах и почвенном покрове, позволяет выделить основные природно-техногенные экосистемы (ПТЭ), формирующиеся на территории эксплуатируемых месторождений нефти [16]. В работе [36], авторы для обозначения техногенных экосистем используют понятие «техногеосистема», которая является частной категорией техногенных геосистем. Под техногеосистемой предлагается понимать целостные совокупности модифицированных природных компонентов и технических сооружений, функционирующих как единое целое в процессе освоения и разработки нефтегазового месторождения.

Вопросы техногенного воздействия нефтедобывающих предприятий на природную среду характеризуются неравномерной изученностью в отношении влияния промышленности на природные компоненты [9], а изучение геохимической трансформации почв в районах нефтедобычи осложнено многокомпонентностью потоков, поступающих в природную среду, и мозаичностью почвенного покрова, принимающего загрязнитель [25].

В разное время изучением вопросов, связанных с изменением природных компонентов на территориях

нефтепромыслов занимались различные авторы: подробно проанализированы проблемы, связанные с изменением геологической среды [19], почвенного покрова [43], процессов деградации нефти в окружающей среде [38], восстановлением нарушенных земель. Существуют сведения по мелкомасштабному районированию потенциала устойчивости ландшафтных комплексов к нефтепромысловому воздействию [21]. Оценены последствия подземных ядерных взрывов на территории месторождений [2].

На территории Пермского края хорошо изучены проблемы, связанные с загрязнением водных объектов и почвенного покрова [30]. Менее подробно оценены параметры влияния на атмосферу [16]. Изучение природных компонентов проводилось на локальном уровне.

Для территории Пермского края по результатам исследования [14] установлены показатели допустимого содержания нефти в различных типах почв, варьирующие в пределах 1,0-5,3 г/кг.

В Пермском крае сложились устоявшиеся научные традиции в изучении трансформации природных комплексов и компонентов, влияния нефтедобывающей промышленности на окружающую среду [19]. Исследование географических объектов опирается на системный подход [24]. Достаточно подробно описано фоновое состояние природных компонентов [33, 45, 46], ландшафтов [32].

Территории с особым режимом хозяйственной деятельности

Различные территории с особым режимом хозяйственной деятельности можно разделить на три крупных блока: природные, антропогенные и техногенные, и разграничить их по степени возможности природопользования, с учетом статуса территорий и режима природопользования. Развитие нефтедобычи на ТОР может быть ограничено природно-климатическими, горно-геологическими, техногенными, экологическими, социально-экономическими, правовыми и другими условиями.

Разработка месторождений нефти и газа сопровождается авариями и утечками нефти, что ведет к возникновению на прилегающих территориях неблагоприятных экологических ситуаций, проявляющихся в формировании загрязненных грунтовых вод и, соответственно, лито- и гидрогеохимических ореолов загрязнения [29], но в любом случае нагрузки на природную среду связаны с физическими воздействиями (механогенез) и с геохимическими воздействиями (атмосферное загрязнение, битумизация, галогенез), возникающих не только при авариях на технологических объектах, но и связанных с технологическими выбросами [43]. Дополнительно С.А. Бузмаков и С.М. Костарев разделяют техногенные нагрузки на предусмотренные и обусловленные технологией нефтедобычи (несовершенство технологий, нарушение регламентного режима работы и др.) [16].

Выявление техногенных трансформаций можно определять по дешифровке съемки с БПЛА, фиксирующей такие последствия техногенной трансформации природной среды, как механогенез, битумизация и галогенез. Под техногенным механогенезом принимается физическое нарушение целостности экосистем,

перемещение почв и грунтов; битумизация выражается в миграции указанных нефтяных углеводородов по почвам, грунтам, поверхностным, внутрипочвенным и подземным водам и их разрушении; миграция солей в указанных средах определена как галогенез [17].

В качестве методов оценки нефтезагрязненных территорий выступают методы биотестирования и фитотестирования. Научная обоснованность методов доказывается во многих проведенных исследованиях.

В исследовании [14] эффективность фитотестирования подтверждена благодаря выявлению уровней токсичности типов почв для сельскохозяйственных и лесообразующих растений.

В работе [28] для оценки состояния вод проведено биотестирование в лабораторных условиях, в качестве тест-объектов использовались рачки дафнии (*Daphnia magna* Straus) и водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer). Для определения степени загрязненности почв проводилось фитотестирование на пшенице (*Triticum sp.*) и кресс-салате (*Lepidium sativum*). Для оценки состояния экосистемы применен метод расчета относительного показателя замедленной флуоресценции хлорофилла и индекса флуктуирующей асимметрии на хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

В исследовании [49] проведен эксперимент эффективности семян вигны посевной (*Vigna*) для мониторинга почв, загрязненных легкой нефтью.

Помимо методов биотестирования, также может быть применим метод использования спектрального индекса для оценки сорбционных явлений в нефтезагрязненных почвах на микро- и макроуровнях [50]. Загрязнение нефтью снижает фильтрационные способности и испарение в почве [55].

Техногенная трансформация, в изученных случаях представляет собой загрязнение почвы нефтяными углеводородами, в частности эти почвы надо восстанавливать. При добыче полезных ископаемых очень важно сохранять биологическую продуктивность почвы. Биологически продуктивные почвы – это невозобновляемый природный ресурс. Он формируется сотни лет под влиянием природных и антропогенных факторов почвообразования [1].

Для восстановления нефтезагрязненных почв, используется метод биоремедиации и фиторемедиации, они направлены на свойства организмов поглощать те или иные компоненты нефти. В работе [42] приведены примеры таких методов, авторами проанализировано 47 запатентованных технологий. Чаще всего в фиторемедиации используются виды, относящиеся к семейству бобовых, а в биоремедиации организмы, азотобактеры.

Органическое загрязнение окружающей среды является серьезной проблемой, которая влияет на почву, воду и воздух планеты, представляя значительную угрозу для экосистем и живых организмов. Биоремедиация стала многообещающим решением для борьбы с органическим загрязнением почвы благодаря своей низкой стоимости и простоте [58].

Микробная реабилитация стала важным направлением в борьбе с загрязнением почвы из-за ее экологичности, экономичности и высокой эффективности. Различные микроорганизмы используют разные механизмы обработки загрязняющих веществ, включая

поверхностную адсорбцию, внутриклеточное накопление и биоминерализацию [60].

В исследовании [53] идентифицированы некоторые почвенные микроорганизмы, связанные с деградацией масла и стимулированием роста растений, такие как *Cavicella*, *C1_B045*, *Sphingomonas*, *MND1*, *Bacillus* и *Ramlibacter*.

В исследовании [59] метод биоремедиации был усовершенствован и проведен с помощью наночастиц с внедрением в процесс искусственного интеллекта (ИИ). Таким образом, сочетание нано- и биоремедиации может привести к появлению подходящей технологии, получившей название «нанобиоремедиация», которая, как ожидается, устраним недостатки биоремедиации.

В работе [52] объектами исследования стали два разных типа почв. Скорость и интенсивность биodeградации нефти в песчаном подзоле за счет деятельности микроорганизмов, а также скорость и степень восстановления растительного покрова были значительно ниже по сравнению с дерново-подзолистой почвой, несмотря на одинаковый уровень нефтяного загрязнения.

Помимо использования живых организмов для рекультивации, известны и другие подходы. Например, эффективным методом очистки можно считать термическую промывку нефтесодержащих шламов персульфатом натрия с добавлением поверхностно-активного вещества лигносульфоната натрия [56].

Изучая опыт работы зарубежных нефтяных компаний на ТОН [3], можно отметить стремление найти нестандартные решения возникающих экологических и производственных проблем при совместном использовании таких территорий.

Например, при строительстве и эксплуатации Трансальпийского нефтепровода для рекультивации поверхности, высевали специально отобранные для данной природно-климатической зоны, сорта быстрорастущих трав. Трубопровод на ряде участков обходит места обитания редких животных и птиц, нерестилища рыб, стоянки древних людей. На естественных путях миграции диких животных, путем поднятия трубы на высоту 4-5 м или заглубления ее в грунт, были построены переходы. Строительные работы проводились на расстоянии более 800 м от заповедников, зон отдыха, зарегистрированных национальных исторических мест или национальных парков [22].

Компания Western Geophysical в 1998 г., планируя выполнить сейсмическую трехмерную разведку в экологически чувствительной переходной зоне штата Луизиана, разработала программу обеспечения экологической безопасности, основанную на мониторинге и соответствующем экологическом обучении персонала. Необходимость разработки специальной программы была обусловлена требованиями частных землевладельцев, государственных управляющих организации и группы натуралистов к деятельности в экологически чувствительных зонах. Нарушение этих требований могло привести к значительным убыткам, штрафам, приостановке или даже к запрету деятельности. Для предупреждения такого нежелательного развития событий и с учетом возрастающего воздействия на окружающую природную среду сейсмические подрядчики

сконцентрировали внимание на мониторинге и внесении корректив в экологическое обучение персонала. С этой целью компания разработала двухэтапную программу защиты окружающей среды при обследовании заказника в дельте р. Миссисипи в юго-восточной части США. Целью программы являлся системный подход к региональной защите природной среды, который мог быть реализован в основном экологически обученными членами сейсмической партии посредством бережного отношения к окружающей среде. [30].

В то же время уникальным примером является деятельность компании Occidental Exploration and Production (OEP) в Эквадоре. Для работы в экологически чувствительных лесных районах компания разработала стратегию в отношении защиты окружающей среды и оказания поддержки местным жителям в обеспечении их безопасности, сохранении здоровья, повышения культуры земледелия, обучения ремеслам, просвещения. Специалистами компании разработаны методы, обеспечивающие сохранность действующих сложных экологических систем и их быстрое восстановление в случаях негативного воздействия. Для сохранения растительности уменьшается число дорог, площадей под бурение и мест для размещения оборудования. Вся промысловая вода закачивается обратно в пласт, твердые отходы вывозятся в специально отведенные места. Сжигание газа на факелах производится в горизонтальном положении. Если возникает необходимость удаления дерева при проведении операции, оно регистрируется. После окончания операции высаживается новое дерево такого же вида. Деревья компания OEP берет из самостоятельно поддерживаемых природных питомников.

При разработке крупного месторождения на берегу Ла-Манша компании British Petroleum пришлось в течение двух лет провести почти 400 различных конференций и переговоров с более чем 40 организациями. Значительная часть обсуждавшихся проблем была нацелена на снижение риска, связанного с разработкой месторождения вблизи важнейшего морского коридора Европы.

Компания «Архангельскгеолдобыча» при проведении поисковых работ на архипелаге Шпицберген проводила оценку влияния шума вертолетов на состояние морских птиц. В результате исследований были разработаны маршруты и определена высота полетов вертолетов с учетом мест и периодов гнездования и линьки гаги, гусей и морских птиц, что позволило минимизировать фактор беспокойства и исключить шумовое воздействие на среду обитания птиц.

Нефтяная компания Arco при содействии департамента по рыболовству и охране дичи штата Калифорния открыла заповедник в районе разработки нефтяных и газовых месторождений Норт и Саут Коулз Леви. Заповедник позволяет сохранить редкие и вымирающие виды животных и растений в округе Керн. Совместные усилия в организации заповедника со стороны компании и ведомства штата дали возможность развивать нефтедобычу в условиях сохранения редких видов животных и растений. Меры по сохранению исчезающих видов животных включали установку изгородей и решеток, удаление с территории заповедника

неиспользуемого оборудования. По окончании разработки месторождений заповедник будет сохранен.

Для территории Российской Федерации развитие нефтедобычи на ТОР характерно для многих регионов страны [4, 6, 7, 23, 26, 37, 41, 48].

На севере РФ лицензионные участки недр ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» затрагивают территории следующих ООПТ: ихтиологический заказник республиканского значения «Сынинский» (Леккерское и Пыжьельское месторождения, Шарьюсская площадь); ихтиологический заказник республиканского значения «Усинский» (Шарьюсская площадь); комплексный заказник «Сэбысь» (Западно-Аресское месторождение); ботанический (кедровый) памятник природы «Кременьель» (Северо-Кожвинское месторождение).

При выполнении мероприятий по соблюдению экологического равновесия возможно совместное использование территорий.

В Саратовской области по заказу ЗАО «ЛУКОЙЛ-Саратов», в пределах Карпенского лицензионного участка, включающего площадь «Черная Падина» и прилегающие территории были пробурены параметрические и структурные скважины (скв. 1 Солнечная, скв. 1 Жулидовская, скв. 6 Ждановская, скв. 5 Ершовская, скв. 1 Тимофеевская и др.). Особенностью данных нефтяных объектов является расположение вблизи ООПТ – государственного степного зоологического заказника «Саратовский». Он создан для сохранения среды обитания дрофы – редкого вида птиц отряда журавлеобразных, занесенного в Красную книгу России. Кроме этого, на этой же площади, но вне зоны влияния строительства скв. 1-ЧП находится памятник природы областного значения «Тюльпанная степь».

Аналогичные проблемы возникли при строительстве поисковой скв. 1-Грозненской, заложённой в 17 км к востоку от г. Грозного вблизи Аргунского заказника, непосредственно в районе выхода Сунженских подземных источников, играющих немаловажную роль в водоснабжении г. Грозного. Расположение буровой площадки в водоохранной зоне и крайне неблагоприятные гидрогеологические условия обусловили применение полного комплекса природоохранных мероприятий, включая лучший вариант безамбарного метода сбора отходов бурения, систему замкнутого оборотного водоснабжения с дублирующими устройствами очистки буровых сточных вод, экологический мониторинг с использованием наблюдательной сети для контроля возможного изменения качества поверхностных и подземных вод, почв и атмосферного воздуха в санитарно-защитной зоне.

ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» ведет разработку месторождений, расположенных в Волгоградской области, в пределах Иловатовского, Потемкинского и Левобережного лицензионных участков. Данная территория сопряжена с акваторией Волгоградского водохранилища высшей рыбохозяйственной ценности и наличием водоохранных зон. Кроме того, на исследуемой площади находятся ООПТ, представленные водно-болотными угодьями и ключевыми орнитологическими территориями. Дополнительные требования и ограничения при открытии промышленных залежей углеводородов устанавливаются для обустрой-

ства и разработки месторождений с объемным содержанием в продукции более 6% сероводорода. Для таких объектов должна быть установлена буферная (защитная) зона. На ее территории не допускается проживание населения.

В уникальных экологически уязвимых зонах Северного Кавказа и Нижнего Поволжья, на Северном и Среднем Каспии, на Азовском море расположены следующие нефтяные объекты: скв.156 Правобережная в затопляемой зоне р. Терек; скв. 1 и 2 Басс в заповедной зоне Чеченской республики; скв. 2 Центрально-Астраханская в затопляемой зоне Волго-Ахтубинской поймы; скв. 3 Палласовская, скв. 90, 97, 104, 108 Белокаменного месторождения, скв. 147 Антиповско-Балыклейская в водоохранной зоне Волгоградского водохранилища.

Компания «Урайнефтегаз» разрабатывает Тальниковское газонефтяное месторождение на территории Ханты-Мансийского автономного округа. Лицензионный участок данного месторождения частично совпадает с территорией государственного природного парка окружного значения «Кондинские озера». Он создан для сохранения водной системы озер Арантур, Пон-Тур, Ранге-Тур Кондинского речного бассейна и прилегающих территорий с расположенными на них природными ландшафтами, историческими и археологическими памятниками культуры. Отличительной особенностью природного парка является сравнительно высокая озерность, что привлекает большое число разнообразных водоплавающих птиц. Для развития нефтедобычи в границах ООПТ утверждены особые условия, предусматривающие применение новейших технологий и высокую культуру производства.

АО РИТЭК осваивает Луговое месторождение (Республика Татарстан), которое находится в лесопарковой и природоохранной зонах. Проложенный через Уральские горы участок трассы магистрального газопровода «Сияние Севера», оказался на территории национального парка «Югд Ва», что накладывает дополнительную ответственность на ООО «Севергазпром» в части соблюдения природоохранного законодательства на территории парка. В пределах ООПТ проводятся регулярные комплексные экологические обследования.

ОАО «Сургутнефтегаз» ведет разработку Тянского нефтяного месторождения, расположенного на севере Сургутского района. На территории нефтедобычи для коренного населения выделены родовые угодья, где учитываются интересы местного населения.

На территории деятельности «ЛУКОЙЛ-Лангепаснефтегаз» в Нижневартовском районе расположены более 50 этнографических и археологических объектов.

НГДУ «Альметьевскнефть» проводит бурение и эксплуатацию нефтяных скважин Ромашкинского месторождения, в черте города Альметьевск. Особенность бурения в городской черте состоит в следующем: применяется наклонно-направленное бурение, со смещением более 1100 м от устья, конструкция скважин усилена дополнительными технологическими колоннами, вместо открытых амбаров применяется закрытая циркуляционная система очистки бурового

раствора, буровой шлам вывозится на пределы городской черты.

Особым примером развития нефтедобычи на ТОР является освоение месторождений углеводородов компанией «ЛУКОЙЛ» в заповедной северной части Каспийского моря [5, 20, 40, 41]. Акватория лицензионного участка характеризуются непосредственной близостью к границам водно-болотного угодья «Дельта реки Волги» и Астраханского государственного биосферного заповедника.

В целях сохранения уникального природного комплекса Каспийского моря от последствий нефтяного загрязнения выделяются зоны приоритетной защиты. В основу работы по выявлению экологических особенностей и пространственно-временного распространения биоты прибрежной территории и акватории Северного Каспия положен анализ современного состояния наземных и морских ценозов, ареалов и районов массовых скоплений птиц, а также состояния ихтиофауны в сезонной динамике и их взаимосвязи с биопродуктивностью морских экосистем на основе экологических исследований. Зонами приоритетной защиты, или экологической уязвимости, природно-ресурсного потенциала Каспия являются районы, которые обладают высокими продукционными показателями на всех уровнях организации наземных и морских сообществ, а также места наибольшей концентрации рыб, животных и птиц в различные периоды года. Зоны приоритетной защиты определяются на основе градации экологической ценности морских биосистем и островных биотопов с учетом сезонной динамики морских и наземных экосистем.

Природные особенности Каспия вызвали необходимость разработки специальных экологических и рыбохозяйственных требований в этом районе моря. Такие требования устанавливают правила, особые условия и ограничения проведения геологического изучения, разведки, добычи и транспортировки углеводородного сырья в заповедной зоне в северной части Каспийского моря в целях сохранения биоразнообразия и продуктивности водных и прибрежных экосистем и рыбохозяйственного потенциала Каспийского бассейна, как уникального рыбопромыслового региона страны.

В основе экологической политики компании «ЛУКОЙЛ» для Северного Каспия заложен принцип «нулевых сбросов». Это определило спектр научных исследований и как их результат – соответствующие природоохранные технические и технологические решения. В соответствии с принципом «нулевых сбросов» осуществляется проектирование строительства поисковых скважин, выбор технических средств и технологий, разработаны программы экологического мониторинга и проведены комплексные исследования гидрометеорологических, гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических, геохимических, микробиологических, териологических и ихтиологических показателей экосистемы.

Классифицирование ТОР, с учетом воздействия хозяйственной деятельности на окружающую природную среду, является актуальным направлением по систематизации исследуемых территорий.

Классификация необходима для понимания исследуемых процессов и явлений, связанных с хозяйственной деятельностью человека и средоохранной ролью ТОР. Следует отметить, что классификация с картографическим сопровождением – это наилучшая форма подведения итогов любого географического исследования [27]. Научная систематика требует от любой классификации разделения совокупности по естественным признакам, заложенным в самой природе вещей или явлений [39]. В данной работе систематизированы ТОР с позиции экологизации хозяйственной деятельности, или рассматривая более узко, с позиции экологизации нефтедобычи.

Главный вопрос – критерии классифицирования. Их оказывается много, они разнокачественные, разномасштабные, неравнозначные. Очевидно, что при любом решении классификация должна быть многоступенчатой, и возникает проблема приоритетности, очередности критериев, последовательности их ввода в классификацию через систему таксономических единиц [27]. С учетом воздействия и ограничения хозяйственной деятельности можно выделить следующие критерии классифицирования ТОР: происхождение (природное, антропогенное, техногенное); цель создания; статус ТОР (федеральный, региональный, локальный, муниципальный и др.); режим природопользования ТОР; степень ограничения хозяйственной деятельности (невозможна, возможна с ограничениями); продолжительность ограничений (постоянное, временное); характер ограничений (экологические, горно-геологические, производственно-технические).

Проблема классификации природных охраняемых территорий не нова. Наиболее полно данная проблематика проанализирована в монографии Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка «Особо охраняемые природные территории» [39]. Авторы, в своей работе, подробно останавливаются на классификациях [8] «Сводка международных и национальных классификаций, заповедных территорий» и «Функциональная классификация охраняемых площадей» и, также, предлагают свою классификационную схему «Природные и природно-антропогенные охраняемые территории». Данные классификации систематизируют ООПТ и другие охраняемые объекты по различным критериям и показателям, но совершенно не затрагивают техногенные территории, где хозяйственная деятельность интенсивна и степень изменения природной среды высока.

Кроме того, в нормативных документах созданы одноуровневые классификации различных ТОР (ВЗ, защитные леса, СЗЗ, ЗСО), которые основаны на одном таксономическом признаке или параметре (размеры, степень охраны, класс бонитета и т.п.).

Заключение

Техногенная трансформация природной среды при эксплуатации нефтяных месторождений выражается в увеличении поступления в водотоки хлоридов, sporadической или хронической миграции углеводородов, закислении атмосферного воздуха. В результате механизмов, галогенеза, битумизации и закисления атмосферы формируются природно-технические системы, природно-техногенные экосистемы.

В современных условиях интенсификации добычи нефти существенно возрастает нагрузка на природные

экосистемы. Использование технологий глубокого бурения, гидравлического разрыва пластов, закачка химикатов и попутная добыча токсичных веществ приводят к значительным изменениям природных ландшафтов и ухудшению качества окружающей среды. Особенно остро эта проблема проявляется на территориях с повышенной чувствительностью к внешним воздействиям – заповедники, национальные парки.

Для минимизации негативных последствий разрабатываются специальные меры охраны природы и ограничения хозяйственной деятельности на особо охраняемых территориях. Такие территории играют важную роль в сохранении биоразнообразия, поддержании устойчивости экосистем и создании условий для устойчивого развития регионов.

Современные технологии позволяют значительно снизить нагрузку на окружающую среду. Применение экологически чистых методов разработки нефтяных месторождений, применение передовых способов очистки сточных вод и утилизации отходов способствуют улучшению экологической обстановки и сохранению уникальных природных комплексов. Важна также работа по реабилитации нарушенных земель и восстановлению нарушенной растительности и животного мира.

Рассмотренные исследования подчеркивают актуальность изучения техногенной трансформации экосистем в контексте нефтедобывающей промышленности. От теоретических основ, заложенных А.Е. Ферсманом и В.И. Вернадским, до современных комплексных исследований, прослеживается эволюция понимания воздействия человеческой деятельности на природные комплексы. Выявлена необходимость разработки единых подходов к оценке и мониторингу изменений, происходящих в наземных экосистемах под влиянием техногенных факторов.

Проблема исследования техногенной трансформации природно-техногенных экосистем на территориях нефтегазовых месторождений остается острой, требующей дальнейших исследований и разработки эффективных методов управления и минимизации негативного воздействия. Особое внимание следует уделять территориям с особым режимом хозяйственной деятельности, где баланс между экономическим развитием и сохранением природной среды становится критически важным.

Обзор современных подходов к рекультивации нефтезагрязненных территорий демонстрирует многообразие и сложность решаемых задач. От инновационных методов нанобиоремедиации, сочетающих возможности нанотехнологий и искусственного интеллекта, до традиционных способов термической промывки и биodeградации. Выбор оптимальной стратегии зависит от множества факторов, включая тип почвы, степень загрязнения и климатические условия.

Опыт зарубежных и отечественных нефтяных компаний подчеркивает важность комплексного подхода к освоению территорий с особыми условиями природопользования. Успешная деятельность в таких регионах требует не только применения передовых технологий, но и проведения масштабных экологических исследований, разработки программ мониторинга, а также ак-

тивного взаимодействия с местным населением и природоохранными организациями. Примерами служат организация заповедников, разработка маршрутов полетов, минимизирующих воздействие на дикую природу, и стратегии, направленные на поддержку местных сообществ.

В условиях расширения нефтедобычи на территориях с высокой экологической ценностью, совместное использование территорий и минимизация воздействия на окружающую среду становятся ключевыми приоритетами. Успешная реализация проектов в таких регионах требует тщательного планирования, внедрения наилучших доступных технологий и постоянного контроля за состоянием окружающей среды, чтобы обеспечить устойчивое развитие и сохранить природное наследие для будущих поколений.

Сведения об авторском вкладе

С.А. Чайкин – формирование структуры обзора, подбор и систематизация литературных источников, написание основных разделов статьи.

А.С. Бузмаков – подбор и анализ источников, обобщение данных, формулирование заключения.

В.Э. Симонов – дополнение основных разделов статьи, подбор и проверка достоверности цитируемых источников, оформление в соответствии с требованиями журнала.

Contribution of the authors

S.A. Chaikin - forming the structure of the review, selection and systematisation of literature sources, writing the main sections of the article.

A.S. Buzmakov - selection and analysis of sources, summarising data, formulating the conclusion.

V.E. Simonov - completion of the main sections of the article, selection and validation of cited sources, design in accordance with the requirements of the journal.

Список источников

1. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Некоторые аспекты экологии рекультивации почв на отвалах вскрышных пород в районах угледобычи // Антропогенная трансформация природной среды. 2022. Т. 8. № 1. С. 48–57. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-48-57>

2. Бачурин Б.А. Подземные ядерные взрывы в районах нефтедобычи Пермского Прикамья: Радиоэкологические аспекты // Проблемы безопасности при эксплуатации месторождений полезных ископаемых в зонах градопромышленных агломераций: материалы Международного симпозиума. Екатеринбург, 1997 г. С. 420-427.

3. Безродный Ю.Г. Концепция малоотходной технологии строительства скважин и ее практическая реализация на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье // Нефтегазовые технологии. 2000. № 4. С. 7-10.

4. Безродный Ю.Г. Обеспечение экологической безопасности поисков залежей углеводородов в левобережной части Волгоградской области // Нефтяное хозяйство. 2006. № 6. С. 126-131.

5. Безродный Ю.Г. Особенности обеспечения охраны окружающей среды при проектировании и строительстве скважин на территориях с ограничен-

ным режимом природопользования // *Охрана окружающей среды и промышленная безопасность на объектах нефтегазового комплекса: тезисы докладов конференции*. Москва, 2009 г. С. 18-20.

6. Безродный Ю.Г., Акимов А.А., Глоzman С.М. Проектирование и строительство скв.1 на площади Черная Падина вблизи особо охраняемой природной территории. // *Нефтяное хозяйство*. 1999. № 8. С. 50–52.

7. Безродный Ю.Г., Глоzman С.М. Результаты комплексного экологического сопровождения бурения скважины 1 Черная Падина // *Нефтяное хозяйство*. 2001. № 6. С. 82–85.

8. Борисов В.А. Вопросы классификации заповедных территорий (с учетом зарубежного опыта) // *Научные основы охраны природы: сборник научных трудов*. Вып. 2. Москва, 1973 г. С. 342–352.

9. Бузмаков С.А. Геоэкологические закономерности техногенной трансформации наземных экосистем под воздействием эксплуатации месторождений нефти: дис. ... докт. геогр. наук: 25.00.36. Пермь, 2005. 405 с.

10. Бузмаков С.А. Геоэкологический способ разработки нормативов предельно допустимого содержания нефтепродуктов в почвах: Свидетельство о регистрации интеллектуального продукта № 7320030012 от 30.10.2003. М.: ВНИИЦ, 2003.

11. Бузмаков С.А. Закономерности техногенной трансформации наземных экосистем // *Антропогенная динамика природной среды: материалы международной научно-практической конференции*. Пермь, 16-20 октября 2006 г. / отв. ред. П.Г. Богатырев. 2006. С. 14–18.

12. Бузмаков С.А. Классификация техногенной трансформации наземных экосистем на территории нефтепромыслов // *Современные глобальные и региональные изменения геосистем: мат. Всерос. науч. конф., посвященной 200-летию Казанского университета*. Казань, 2004 г. С. 137–138.

13. Бузмаков С.А. Экспериментальное определение основных фаз техногенной трансформации экосистемы // *Вестник пермского университета*. Серия Биология. 2004. № 2. С. 133-138.

14. Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Назаров А.В., Дзюба Е.А., Шестаков И.Е., Хотяновская Ю.В. Разработка экологических критериев для допустимого содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах Пермского края // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25. № 9. С. 62-67. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-9-62-67>

15. Бузмаков С.А., Башин Г.П. Предельно допустимое содержание нефтепродуктов в почвенных экосистемах Пермской области // *Известия вузов. Нефть и газ*. 2004. № 2. С. 91-96.

16. Бузмаков С.А., Костарев С.М. Техногенные изменения компонентов природной среды в нефтедобывающих районах Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. Ун-та, 2003. 171 с.

17. Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Кучин Л.С., Игошева Е.А., Абдулманова И.Ф. Применение беспилотной аэрофотосъемки для диагностики техногенной трансформации природной среды при эксплуатации

нефтяного месторождения // *Записки Горного института*. 2023. Т. 260. С. 180-193. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.22>

18. Бурение в условиях морского заповедника (Caught between two 15000-year-old coral reefs? / (ed.) Tubb M.) // *Ocean Industry*. 1992. № 1. С. 8.

19. Быков В.Н. Экология недропользования. Пермь: ПГУ, ПГПУ, 2000. 372 с.

20. Гагаев Ю.К., Карпюк М.И., Туркина Г.И. Экологические приоритеты в защите акватории северного Каспия от аварийных разливов нефти // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2003. № 7. С.18-24.

21. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Изд-во МГУ, 1988. 328 с.

22. Голик В.И., Мартынов В.Г., Комащенко В.И. Экологические, экономические и правовые аспекты разработки месторождений полезных ископаемых. М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012. 281 с.

23. Гулько Н.Н. Новый подход к разработке месторождений, находящихся в природоохранных зонах // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2001. № 1. С. 13-14.

24. Двинских С.А., Бельтюков Г.В. Возможности использования системного подхода в изучении географических пространственно-временных образований. Иркутск: Изд-во Иркут. Ун-та, 1992. 245 с.

25. Двуреченская Е.Б. Опыт полевого экспериментального моделирования воздействия разливов нефти и высокоминерализованных вод в средней тайге Западной Сибири // *Региональные геосистемы*. 2021. Т. 45. № 4. С. 576-589. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-4-576-589>

26. Ельников В.В., Куциль О.В. Деятельность ООО «Севергазпром» на территории национального парка «Югыд Ва» // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2005. № 9. С. 51-54.

27. Исаченко А.Г. Принципы классификации ландшафтов по их устойчивости к антропогенным воздействиям // *География и окружающая среда = Geography and the Environment*. М.: ГЕОС, 2000. С. 41–50.

28. Кабинзянова А.О., Дзюба Е.А., Симонов В.Э. Оценка техногенной трансформации природной среды в зоне влияния добычи нефти методами биотестирования и биоиндикации // *Экологический Вестник Северного Кавказа*. 2024. Т. 20. № 4. С. 125-135.

29. Кожевникова М.В. Исследование трансформации грунтовых вод в зоне воздействия нефтепромыслов // *Записки горного института*. 2007. Т. 170. № 1. С 111-114.

30. Костарев С.М., Чайкин С.А., Морозов М.Г. Организация и проведение геоэкологических исследований при поисках, разведке и эксплуатации нефтяных залежей на территориях с особыми условиями природопользования // *Нефтегазовое дело*. 2006. С. 1-19.

31. Мячина К.В., Чибилева А.А. Геоэкологическое районирование нефтегазоносной территории Оренбургской Области // *Поволжский экологический журнал*. 2005. № 2. С. 157-157.

32. Назаров Н.Н. Физико-географическое районирование Пермского Прикамья // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. 1998. С. 12-21.
33. Овеснов С.А. Конспект флоры Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. Ун-та, 1997. 252 с.
34. Охрана окружающей среды при сооружении магистральных трубопроводов на Аляске // НТО. Серия: Проектирование и строительство трубопроводов и газонефтепромысловых сооружений. Москва, 59 с.
35. Паффенгольц К.Н. Геологический словарь. М.: Изд-во: Недра, 1978. 487 с.
36. Петрищев В.П., Мячина К.В., Чибилёв А.А., Краснов Е.В. Особенности формирования и принципы функционирования техногосистем нефтегазовых месторождений // География и природные ресурсы. 2021. № 1 С. 16-24. <https://doi.org/10.15372/GIPR20210102>
37. Печеркин М.Ф., Беспалова Т.Л. Особые условия разработки Тальниковского месторождения // Нефтяное хозяйство. 2002. № 10. С. 78-80.
38. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1993. 206 с.
39. Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978. 295 с.
40. Решетняк Е.М., Григорьева Н.В. Природоохранная концепция компании «ЛУКОЙЛ» при освоении месторождений нефти и газа на Каспийском шельфе // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2001. № 3-4. С. 14-23.
41. Сербина Е.В. Геоэкология и нефтегазоносность Среднего Каспия // Геология, бурение и разработка нефтяных месторождений Прикаспия и Каспийского моря: сборник статей ООО «ЛУКОЙЛ-Волгоград-НИИП Иморнефть». 2003. С. 167-175.
42. Симонов В.Э., Леконцева Т.А. Технологии биоремедиации нефтезагрязненных почв и грунтов: обзор патентов // Антропогенная трансформация природной среды. 2024. Т. 10. № 2. С. 65-81. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-2-65-81>
43. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 376 с.
44. Солодовников А.Ю., Ивачев И.В., Хатту А.А., Соромотин А.М. Этно-социальные и эколого-технологические особенности освоения Тянского месторождения ОАО «Сургутнефтегаз» // Нефтяное хозяйство, 2002. № 8. С.125-129.
45. Шепель А.И. Хищные птицы и совы Пермского Прикамья. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1992. 296 с.
46. Шкляев А.С., Балков В.А. Климат Пермской области. Пермь, 1963. 91 с.
47. Шрам В.Г., Безбородов Ю.Н., Ковалева М.А., Шупранов Д.А., Агафонов Е.Д., Гуров Н.А., Лысянникова Н.Н., Кравцова Е.Г., Шаршембиев Ж.С. Аспекты нормативно-правового регулирования в области экологического контроля объектов нефтяной промышленности Красноярского края // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 8. С. 65-71.
48. Яндулова Р.Б. Сохранение историко-культурного наследия в Нижневартовском районе // Проблемы экологической безопасности нефтегазового комплекса Среднего Приобья и эколого-экономическое сбалансированное развитие Ханты-Мансийского автономного округа: избр. науч.-практ. материалы 11 рег. совещ. Нижневартовск, 2001 г. С. 94-96.
49. Alavi E., Tajadod G., Jafari Marandi S., Arbabian S. Vicia faba seed: a bioindicator of phytotoxicity, genotoxicity, and cytotoxicity of light crude oil // Environmental science and pollution research. 2023. Vol. 30. Iss. 8. P. 21043-21051. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23244-w>
50. Bingari H.S., Gibson A., Teeuw R. Sorption modeling of crude oil-contaminated soils using a derived spectral index // Geoderma. 2024. Iss. 447. Article number 116935. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116935>
51. Buzmakov S.A., Khotyanovskaya Y.V. Degradation and pollution of lands under the influence of oil resources exploitation // Applied geochemistry. 2020. Iss. 13. P. 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104443>
52. Chugunova M.V., Bakina L.G., Mayachkina N.V., Polyak Yu.M., Gerasimov A.O. Features of the processes of detoxification and self-restoration of oil-contaminated soils – a field study // Journal of soils and sediments. 2022. Iss. 12. P. 52-59. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03272-2>
53. Fang X., Zhang M., Zheng P., Wang H., Wang K., Lv Ju., Shi F. Biochar-bacteria-plant combined potential for remediation of oil-contaminated soil // Frontiers in microbiology. 2024. Iss. 15. P. 67-73. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1343366>
54. Haghighi A., Eslami A., Nobahar M. Various approaches for assessment of crude oil mixed soil behavior using cone penetration test records // Transportation infrastructure geotechnology. 2025. Vol. 12. Iss. 1. Article number 24. <https://doi.org/10.1007/s40515-024-00484-6>
55. Li G., Wang L., Zhen Q., Zheng J. Petroleum induces soil water repellency and impedes the infiltration and evaporation processes in sandy soil // Journal of hydrology. 2024. P. 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131990>
56. Ma Yu., Liu H., Zhu L., Xie Yi., Ren Ch., Mo X., Liu X., Liang Ch., Deng G., Yao Sh., Qin Ch. Insight into the thermal washing mechanism of sodium lignosulfonate alkyl/sodium persulfate compound on oily sludge // International journal of molecular sciences. 2024. Iss. 23. P. 58-67. <https://doi.org/10.3390/ijms252312542>
57. Mokhtarzadeh Z., Keshavarzi B., Moore F., Marsan F.A., Padoan E. Potentially toxic elements in the middle east oldest oil refinery zone soils: source apportionment, speciation, bioaccessibility and human health risk assessment // Environmental science and pollution research. 2020. Iss. 32. P. 49-56. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09895-7>
58. Mokrani S., Houali K., Yadav K.K., Arabi A.A., Eltayeb L.B., Awjanalreshidi M., Benguerba Ya., Cabral-Pinto M.M., Nabti E.H. Bioremediation techniques for soil organic pollution: mechanisms, microorganisms, and technologies – a comprehensive review // Ecological engineering. 2024. Iss. 207. P. 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107338>
59. Patowary R., Devi A., Mukherjee A.K. Advanced bioremediation by an amalgamation of nanotechnology and modern artificial intelligence for efficient restoration of crude petroleum oil-contaminated sites: a prospective study // Environmental science and pollution research.

2023. Iss. 30. P. 123-130. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27698-4>

60. Zhao Sh., Yuan X.T., Wang X.H., Ai Ya.Ju., Li Fu.P. Research progress and hotspots in microbial remediation for polluted soils // Sustainability. 2024. № 17. P. 169-175. <https://doi.org/10.3390/su16177458>

References

1. Artamonova, V. and Bortnikova, S., 2022. Some aspects of the ecology of soil reclamation on overburden dumps in coal mining areas. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 8(1), pp. 48-57. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-48-57> (in Russian).
2. Bachurin, B., 1997. *Underground nuclear explosions in the oil production areas of Perm Prikamye: Radioecological aspects. In: Problems of safety in the exploitation of mineral deposits in the zones of urban-industrial agglomerations: Materials of the International Symposium, Yekaterinburg, pp. 420-427. (in Russian).*
3. Bezrodnyj, Yu., 2000. Konceptiya malootodnoj tehnologii stroitelstva skvazhin i ee prakticheskaya realizaciya na Severnom Kavkaze i v Nizhnem Povolzhe [The concept of low-waste well construction technology and its practical implementation in the North Caucasus and Lower Volga region]. *Neftgazovye tehnologii*. (4), pp. 7-10. (in Russian)
4. Bezrodnyj, Yu., 2006. Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti poiskov zalezhej uglevodorodov v levoberezhnoj chasti Volgogradskoj oblasti [Ensuring environmental safety of hydrocarbon prospecting in the left-bank part of Volgograd Oblast]. *Neftyanoe hozyaistvo*. (6), pp. 126-131. (in Russian)
5. Bezrodny, Yu., 2009. *Features of environmental protection in the design and construction of wells in the territories with a limited regime of natural resources. In: Environmental protection and industrial safety at the objects of oil and gas complex: Theses of conference reports, Moscow, pp. 18-20. (in Russian)*
6. Bezrodnyj, Yu., Akimova, A. and Glozman, S., 1999. Proektirovanie i stroitelstvo skv.1 na ploshadi Chernaya Padina vblizi osobo ohranyaemoj prirodnoj territorii [Design and construction of well 1 at Chernaya Padina near the specially protected natural area]. *Neftyanoe hozyaistvo*. (8), pp. 50-52. (in Russian)
7. Bezrodnyj, Yu. and Glozman, S., 2001. Rezultaty kompleksnogo ekologicheskogo soprovozhdeniya bureniya skvazhiny 1 Chernaya Padina [Results of integrated environmental support of drilling well 1 Chernaya Padina]. *Neftyanoe hozyaistvo*. (6), pp. 82-85. (in Russian)
8. Borisov, V., 1973. *Voprosy klassifikacii zapovednyh territorij (s uchedom zarubezhnogo opyta) [Summary of international and national classifications, protected areas]. In: Scientific foundations of nature conservation: Collection of scientific papers. Iss. 2. Moscow, pp. 342-352.*
9. Buzmakov, S., 2005. *Geoekologicheskije zakonornosti tehnogennoj transformacii nazemnyh ekosistem pod vozdejstviem ekspluatatsii mestorozhdenij nefti [Geo-ecological regularities of technogenic transformation of terrestrial ecosystems under the impact of oil field exploitation]. Dr. geo sci. diss. Perm, 405 p.*
10. Buzmakov, S., 2003. *Geoekologicheskij sposob razrabotki normativov predelno dopustimogo sodержaniya nefteproduktov v pochvah [Geo-ecological method of development of norms of maximum permissible content of petroleum products in soils]: Svidetelstvo o registracii intellektualnogo produkta №7320030012 at 30.10.2003.*
11. Buzmakov, S., 2006. *Laws of technogenic transformation of terrestrial ecosystems. In: Anthropogenic dynamics of the natural environment: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, 16-20 October, 2006, Perm, Russia, pp. 14-18. (in Russian)*
12. Buzmakov, S., 2004. *Classification of technogenic transformation of terrestrial ecosystems on the territory of oil fields. In: Modern global and regional changes in geosystems: Math. All-Russian scientific conference devoted to the 200th anniversary of Kazan University. Kazan, pp. 137-138. (in Russian)*
13. Buzmakov, S., 2004. Eksperimentalnoe opredelenie osnovnyh faz tehnogennoj transformacii ekosistemy [Experimental determination of the main phases of technogenic ecosystem transformation]. *Bulletin of Perm University. Biology*. (2), pp. 133-138. (in Russian)
14. Buzmakov, S., Andreev, D., Nazarov, A., Dzyuba, E., Shestakov, I. and Khotyanovskaya, Yu., 2021. Development of Environmental Criteria for the Permissible Content of Oil and Products of its Transformation in the Soils of the Perm Region. *Ecology and Industry of Russia*, 25(9), pp. 62-67. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-9-62-67> (in Russian)
15. Buzmakov, S. and Bashin, G., 2004. Predelno dopustimoe sodержanie nefteproduktov v pochvennyh ekosistemah Permskoj oblasti [Maximum permissible content of petroleum products in soil ecosystems of the Perm region]. *Izvestiya vuzov. Neft i gaz*. (2), pp. 91-96. (in Russian)
16. Buzmakov, S. and Kostarev, S., 2003 *Tehnogennye izmeneniya komponentov prirodnoj sredy v nefte dobyvayushih rajonah Permskoj oblasti [Technogenic changes of natural environment components in oil-producing areas of Perm region]. Perm, Izd-vo Perm. Un-ta. 171 p. (in Russian)*
17. Buzmakov, S., Sannikov, P., Kuchin, L., Igoshcheva, E. and Abdulmanova, I., 2023. The use of unmanned aerial photography for interpreting the technogenic transformation of the natural environment during the oilfield operation. *Journal of Mining Institute*, 260, pp. 180-193. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.22> (in Russian)
18. *Burenie v usloviyah morskogo zapovednika [Drilling in a marine reserve / (ed.) Tubb M.]. Caught between two 15000-year-old coral reefs? Ocean Industry. 1992. 27 (1). 8 p. (in Russian)*
19. Bykov, V., 2000. *Ekologiya nedropolzovaniya [Ecology of subsoil use]. Perm: PSU, PSPU. 372 p. (in Russian)*
20. Gagaev, Yu., Karpyuk, M. and Turkina, G., 2003. *Ekologicheskie prioritety v zashite akvatorii severnogo Kaspiya ot avariynih razlivov nefti [Environmental priorities in protecting the northern Caspian Sea from oil spills]. Zashita okruzhayushej sredy v neftegazovom komplekse. (7), pp. 18-24. (in Russian)*
21. Glazovskaya, M., 1988. *Geohimiya prirodnyh i tehnogennyh landshaftov SSSR [Geochemistry of natural and anthropogenic landscapes of the USSR]. M., MGU. 328 p. (in Russian)*

22. Golik, V., Martynov, V. and Komashenko, V., 2012. *Ekologicheskie, ekonomicheskie i pravovye aspekty razrabotki mestorozhdenij poleznykh iskopayemykh* [Ecological, economic and legal aspects of the development of mineral deposits]. M., RGU nefti i gaza imeni I.M. Gubkina. 281 p. (in Russian)
23. Gulko, N., 2001. Novyy podhod k razrabotke mestorozhdenij, nahodyashihsya v prirodoohrannnykh zonah [A new approach to the development of fields located in protected areas]. *Zashita okruzhayushej sredy v neftegazovom komplekse*. (1), pp. 13-14. (in Russian)
24. Dvinskih, S. and Beltyukov, G., 1992. Vozmozhnosti ispolzovaniya sistemnogo podhoda v izuchenii geograficheskikh prostranstvenno-vremennykh obrazovaniy [Possibilities of using a systems approach in the study of geographical spatio-temporal entities]. Irkutsk, Irkut. Un-t. 245 p. (in Russian)
25. Dvurechenskaya, E., 2021. Opyt polevogo eksperimentalnogo modelirovaniya vozdejstviya razlivov nefti i vysokomineralizovannykh vod v srednej tajge Zapadnoj Sibiri [Experience of field experimental modeling of the impact of oil spills and highly mineralized water in the middle taiga of Western Siberia]. *Regionalnye geosistemy*. 45(4), pp. 576-589. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-4-576-589> (in Russian)
26. Elnikov, V. and Kucil, O., 2005. Deyatel'nost' OOO "Severgazprom" na territorii nacionalnogo parka "Yugyd Va" [Activities of Severgazprom in the Yugyd Va National Park] *Zashita okruzhayushej sredy v neftegazovom komplekse*. (9), pp. 51-54. (in Russian)
27. Isachenko, A., 2000. *Principy klassifikatsii landshaftov po ih ustojchivosti k antropogennym vozdejstviyam* [Principles of classifying landscapes according to their resistance to anthropogenic impacts]. *Geography and the Environment*. M., GEOS. 492 p. (in Russian)
28. Kabipzyanova, A., Dzyuba, E. and Simonov, V., 2024. Ocenka tehnogennoj transformatsii prirodnoy sredy v zone vliyaniya dobychi nefti metodami biotestirovaniya i bioindikatsii [Assessment of technogenic transformation of the natural environment in the zone of influence of oil production using biotesting and bioindication methods]. *Ekologicheskij Vestnik Severnogo Kavkaza*. 20(4), pp. 125-135. (in Russian)
29. Kozhevnikova, M., 2007. Issledovanie transformatsii gruntovykh vod v zone vozdejstviya neftepromyslov [Investigation of groundwater transformation in the zone of oilfields impact]. *Journal of Mining Institute*. 170, pp. 111-114. (in Russian)
30. Kostarev, S., Chajkin, S. and Morozov, M., 2006. Organizatsiya i provedenie geoekologicheskikh issledovaniy pri poiskakh, razvedke i ekspluatatsii neftyanykh zalezhej na territoriyah s osobymi usloviyami prirodopolzovaniya [Organization and carrying out of geo-ecological researches at search, exploration and exploitation of oil deposits on the territories with special conditions of nature use]. *Neftegazovoe delo*, pp. 1-19. (in Russian)
31. Myachina, K. and Chibileva, A., 2005. Geoekologicheskoe rajonirovanie neftegazonosnoj territorii Orenburgskoy Oblasti [Ecological zoning of the oil and gas bearing territory of the Orenburg Oblast]. *Povolzhskij ekologicheskij zhurnal*. (2), pp. 157-157. (in Russian)
32. Nazarov, N., 1998. Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie Permskogo Prikamya [Physical-geographical zoning of the Perm Prikamye]. *Voprosy fizicheskoy geografii i geoekologii Urala*, pp. 12-21. (in Russian)
33. Ovesnov, S., 1997. *Konspekt flory Permskoj oblasti* [Prospectus of the flora of the Perm region]. Perm, Izd-vo Perm. Un-ta. 252 p.
34. *Ohrana okruzhayushej sredy pri sooruzhenii magistralnykh truboprovodov na Alyaske* [Environmental protection during construction of trunk pipelines in Alaska]. NTO. Seriya: Proektirovanie i stroitel'stvo truboprovodov i gazoneftepromyslovyykh sooruzhenij. Moscow, 59 p.
35. Paffengolc, K., 1978. *Geologicheskij slovar* [Geological Dictionary]. M., Nedra. 487 p. (in Russian)
36. Petrishchev, V., Myachina, K., Chibilyov, A. and Krasnov, E., 2021. Features of formation and principles of functioning of technogeosystems of oil and gas fields. *Geography and Natural Resources*, (1), pp. 16-24. <https://doi.org/10.15372/GIPR20210102> (in Russian)
37. Pecherkin, M. and Bespalova, T., 2002. Osobyie usloviya razrabotki Talnikovskogo mestorozhdeniya [Special conditions for the development of the Talnikovskoye field]. *Neftyanoe hozyajstvo*. (10), pp. 78-80. (in Russian)
38. Pikovskij, Yu., 1993. Prirodnye i tehnogennyye potoki uglevodorodov v okruzhayushej srede [Natural and anthropogenic hydrocarbon fluxes in the environment]. M., MGU. 206 p. (in Russian)
39. Rejmers, N. and Shtilmark, F., 1978. *Osobo ohranyaemye prirodnye territorii* [Protected areas]. Moscow, Mysl. 295 p. (in Russian)
40. Reshetnyak, E. and Grigoreva, N., 2001. Prirodnoohrannnaya koncepciya kompanii «LUKOIL» pri osvoenii mestorozhdenij nefti i gaza na Kaspijskom shelfe [LUKOIL's environmental concept for oil and gas field development on the Caspian shelf]. *Zashita okruzhayushej sredy v neftegazovom komplekse*. (3-4), pp. 14-23. (in Russian)
41. Serbina, E., 2003. *Geocology and oil and gas content of the Middle Caspian*. In: *Geology, drilling and development of oil fields in the Caspian and Caspian Sea: Collection of Articles*, pp. 167-175. (in Russian)
42. Simonov, V. and Lekontseva, T., 2024. Bioremediation technologies of oil-contaminated soils and sub-soils: patent review. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 10(2), pp. 65-81. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2024-2-65-81> (in Russian)
43. Solnceva, N., 1998. *Dobycha nefti i geokhimiya prirodnykh landshaftov* [Oil production and geochemistry of natural landscapes]. M., MGU. 376 p. (in Russian)
44. Solodovnikov, A., Ivachev, I., Hattu, A. and Soromotin, A., 2002. Etno-socialnye i ekologo-tehnologicheskie osobennosti osvoeniya Tyanskogo mestorozhdeniya OAO «Surgutneftegaz» [Ethno-social and environmental-technological peculiarities of development of the Tyanskoye field of Surgutneftegaz OJSC]. *Neftyanoe hozyajstvo*. (8), pp. 125-129. (in Russian)
45. Shepel, A., 1992. *Hishnye ptitsy i sovy Permskogo Prikamya* [Birds of prey and owls of the Permian Kama region]. Irkutsk, Irkut. un-t. 296 p. (in Russian)
46. Shklyayev, A. and Balkov, V., 1963. *Klimat Permskoj oblasti* [Climate of the Perm region]. Perm. 91 p. (in Russian)

47. Shram, V., Bezborodov, Yu., Kovaleva, M., Shupranov, D., Agafonov, E., Gurov, N., Lysyannikova, N., Kravtsova, E. and Sharshembiev, Zh., 2023. Regulatory and Legal Aspects of Environmental Supervision of Oil Facilities in the Krasnoyarsk Territory. *Ecology and Industry of Russia*, 27(8), pp. 65-71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-8-65-71> (in Russian)
48. Yandulova, R.B. Preservation of historical and cultural heritage in Nizhnevartovsk district. In: *Problems of environmental safety of oil and gas complex of the Middle Priobie and ecological and economic balanced development of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug: izbr. nauch.-prakt. materials of the 11th reg. sovesh. Nizhnevartovsk, 2001. pp. 94-96. (in Russian)*
49. Alavi, E., Tajadod, G., Jafari Marandi, S. and Arbabian, S., 2023. Vicia faba seed: a bioindicator of phytotoxicity, genotoxicity, and cytotoxicity of light crude oil. *Environmental science and pollution research*, 30(8), pp. 21043-21051. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23244-w>
50. Bingari, H., Gibson, A. and Teeuw, R., 2024. Sorption modelling of crude oil-contaminated soils using a derived spectral index. *Geoderma*, (447). Article number 116935. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116935>
51. Buzmakov, S. and Khotyanovskaya, Y., 2020. Degradation and pollution of lands under the influence of oil resources exploitation. *Applied geochemistry*, (13), pp. 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104443>
52. Chugunova, M., Bakina, L., Mayachkina, N., Polyak, Yu. and Gerasimov, A., 2022. Features of the processes of detoxification and self-restoration of oil-contaminated soils – a field study. *Journal of soils and sediments*, (12), pp. 52-59. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03272-2>
53. Fang, X., Zhang, M., Zheng, P., Wang, H., Wang, K., Lv, Ju. and Shi, F., 2024. Biochar-bacteria-plant combined potential for remediation of oil-contaminated soil. *Frontiers in microbiology*, (15), pp. 67-73. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1343366>
54. Hagh, A., Eslami, A. and Nobahar, M., 2025. Various approaches for assessment of crude oil mixed soil behavior using cone penetration test records. *Transportation infrastructure geotechnology*, (1). Article number 24. <https://doi.org/10.1007/s40515-024-00484-6>
55. Li, G., Wang, L., Zhen, Q. and Zheng, J., 2024. Petroleum induces soil water repellency and impedes the infiltration and evaporation processes in sandy soil. *Journal of hydrology*, (643), pp. 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131990>
56. Ma, Yu., Liu, H., Zhu, L., Xie, Yi., Ren, Ch., Mo, X., Liu, X., Liang, Ch., Deng, G., Yao, Sh. and Qin, Ch., 2024. Insight into the thermal washing mechanism of sodium lignosulfonate alkyl/sodium persulfate compound on oily sludge. *International journal of molecular sciences*, 25(23), pp. 58-67. <https://doi.org/10.3390/ijms252312542>
57. Mokhtarzadeh, Z., Keshavarzi, B., Moore, F., Marzan, F. and Padoan, E., 2020. Potentially toxic elements in the middle east oldest oil refinery zone soils: source apportionment, speciation, bioaccessibility and human health risk assessment. *Environmental science and pollution research*, (32), pp. 49-56. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09895-7>
58. Mokrani, S., Houali, K., Yadav, K., Arabi, A., Eltayeb, L., Awjanalreshidi, M., Benguerba, Ya., Cabral-Pinto, M. and Nabti, E., 2024. Bioremediation techniques for soil organic pollution: mechanisms, microorganisms, and technologies – a comprehensive review. *Ecological engineering*, (207), pp. 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107338>
59. Patowary, R., Devi, A. and Mukherjee, A., 2023. Advanced bioremediation by an amalgamation of nanotechnology and modern artificial intelligence for efficient restoration of crude petroleum oil-contaminated sites: a prospective study // *Environmental science and pollution research*, (30), pp. 123-130. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27698-4>
60. Zhao, Sh., Yuan, X., Wang, X., Ai, Ya. and Li, Fu., 2024. Research progress and hotspots in microbial remediation for polluted soils. *Sustainability*, 16(17), pp. 169-175. <https://doi.org/10.3390/su16177458>

Статья поступила в редакцию 21.04.2025; одобрена после рецензирования 05.05.2025; принята к публикации 16.05.2025.

The article was submitted 21.04.2025; approved after reviewing 05.05.2025; accepted for publication 16.05.2025.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Кадетова А.А.	
Мельникова Ю.А.	6
Сулимов А.Д.	14
Артамонова В.С.	
Шавекина А.Ш.	23
Губарев М.С.	
Резников В.Ф.	
Рыбкина И.Д.	41
Кучин Л.С.	57
Чайкин С.А.	
Бузмаков А.С.	
Симонов В.Э.	71

Научное издание

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Том 11, № 1
2025

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

Подписано в печать 17.06.2025. Дата выхода: 28.06.2025
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 9,77. Тираж 100 экз. Заказ 71

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