



ВЕСТНИК РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ. СЕРИЯ: ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

2026 Том 34 № 1

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1
<http://journals.rudn.ru/ecology>

Научный журнал
Издается с 1993 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-61176 от 30.03.2015 г.

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Главный редактор

Савенкова Елена Викторовна, доктор экономических наук, профессор, директор института экологии РУДН, Москва, Российская Федерация

Заместители главного редактора

Киричук Анатолий Александрович, доктор биологических наук, профессор, проректор по хозяйственной деятельности, директор департамента экологии человека и биоэлементологии института экологии РУДН, Москва, Российская Федерация

Редина Маргарита Михайловна, доктор экономических наук, профессор, профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции института экологии РУДН, Москва, Российская Федерация

Ответственный секретарь редколлегии

Яценко Елена Борисовна, кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе института экологии РУДН, Москва, Российская Федерация

Члены редакционной коллегии

Аньези Валерио, профессор, директор Итало-Российского экологического института, Университет Палермо, Палермо, Италия

Бобровницкий Игорь Петрович, член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, заместитель начальника по научной работе филиала № 2 ФГБУ «НМИЦ ВМТ им. А.А. Вишневого» Министерства обороны РФ, Красногорск, Российская Федерация

Валеева Наиля Гарифовна, кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой иностранных языков института экологии РУДН, Москва, Российская Федерация

Ванг Дели, профессор, декан школы наук об окружающей среде Северо-Восточного педагогического университета, Чанчунь, Китай

Джан Шупинь, доктор наук, профессор Шаньдунского университета, Цзинань, Китай

Розенберг Геннадий Самуилович, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, главный научный сотрудник Института экологии Волжского бассейна, Самарский федеральный исследовательский центр, Российская академия наук, Тольятти, Российская Федерация

Савин Игорь Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик, заведующий отделением генезиса, географии, классификации и цифровой картографии Почвенного института имени В.В. Докучаева, Российская академия наук, профессор департамента рационального природопользования института экологии РУДН, Москва, Российская Федерация

Сабьков Владислав Александрович, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией катализаторов глубокого окисления Института катализа имени Г.К. Борескова, Сибирское отделение Российской академии наук, отдел гетерогенного катализа, Новосибирск, Российская Федерация

Скальный Анатолий Викторович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской элементологии медицинского института РУДН, Москва, Российская Федерация

Хаустов Александр Петрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции института экологии РУДН, Москва, Российская Федерация

Широкова Вера Александровна, доктор географических наук, профессор, заведующая отделом истории наук о Земле Института истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова, Российская академия наук, Москва, Российская Федерация

ВЕСТНИК РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ. СЕРИЯ: ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ISSN 2313-2310 (Print), ISSN 2408-8919 (Online)

Периодичность: ежеквартально

Языки публикаций: русский, английский.

Журнал индексируется в РИНЦ, DOAJ, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, Cyberleninka, Dimensions.

Цели и тематика

Цели журнала «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности» – повышение эффективности научных исследований в области охраны окружающей среды и экологии человека и распространение современных методов исследования и новейших достижений в области рационального природопользования.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ по научным специальностям 1.5.15. Экология (биологические науки), 1.5.15. Экология (технические науки), 1.6.21. Геоэкология (географические науки), 1.6.21. Геоэкология (геолого-минералогические науки), 1.6.21. Геоэкология (технические науки).

Начиная с 1993 г. в журнале публикуются результаты фундаментальных и прикладных работ ученых, преподавателей, аспирантов в виде научных исследовательских и обзорных статей, научных сообщений по следующим направлениям: общая экология, природопользование, устойчивое развитие, экологическая безопасность, защита окружающей среды, экология человека, экологическая экспертиза, радиоэкология и радиационный контроль, оценка состояния окружающей среды и экологическое образование. К рассмотрению принимаются материалы по результатам оригинальных научных исследований представителей высших учебных заведений и научных центров России и зарубежных стран.

Кроме научных статей публикуется хроника научной жизни, включающая рецензии, обзоры, информацию о конференциях, научных проектах и т. д. Для привлечения к научным исследованиям и повышения качества квалификационных работ журнал предоставляет возможность публикации статей, написанных по материалам лучших магистерских работ.

Правила оформления статей, архив и дополнительная информация размещены на сайте: <http://journals.rudn.ru/ecology>

Редактор И.Л. Панкратова
Редактор англоязычных текстов К.Л. Уланова
Компьютерная верстка Т.Н. Селивановой

Адрес редакции:

Российская Федерация, 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3
Тел.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: publishing@rudn.ru

Адрес редакционной коллегии журнала:

Российская Федерация, 113093, Москва, Подольское шоссе, д. 8, корп. 5
Тел.: +7 (495) 952-70-28; e-mail: ecoj@rudn.ru

Подписано в печать 20.01.2026. Выход в свет 27.01.2026. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 17,15. Тираж 500 экз. Заказ № 10. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отпечатано в типографии ИПК РУДН
Российская Федерация, 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3
Тел.: +7 (495) 955-08-61; e-mail: publishing@rudn.ru



RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

2026 VOLUME 34 NO. 1

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1

<http://journals.rudn.ru/ecology>

Founded in 1993

Founder: Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba

Editor-in-Chief

Elena V. Savenkova, Dr. of Sciences in Economics, Professor, Director of the Institute of Environmental Engineering, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Deputy Editors-in-Chief

Anatoly A. Kirichuk, Dr. of Sciences in Biology, Docent, Vice-Rector for Economic Activity, Director of the Department of Human Ecology and Bioelementology, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Margarita M. Redina, Doctor of Sciences in Economics, Docent, Professor of the Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Executive Secretary

Elena B. Yatsenko, Cand. of Technical Sciences, Deputy Director on Scientific Work, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Editorial Board

Valerio Agnesi, Professor, Director of the Italian-Russian Ecological University, Professor at University of Palermo, Palermo, Italy

Igor P. Bobrovnikskii, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Science in Medicine, Professor, Deputy Head on Scientific Work in Branch No. 2 "National Medical Research Center for High Medical Technologies — A.A. Vishnevsky Central Military Clinical Hospital" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Krasnogorsk, Russian Federation

Nailya G. Valeeva, Cand. of Pedagogical Sciences, Docent, Head of the Department of Foreign Languages, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Deli Wang, Ph.D., Professor, Dean of the School of Life Science, Northeast Normal University, Changchun, China

Shuping Zhang, Ph.D., Professor, Shandong University, Jinan, China

Gennadiy S. Rozenberg, Dr of Biological Sciences, Professor, Chief Scientist of the Institute of Ecology of Volga River Basin, — branch of Samara Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Ecosystem Modeling, Tolyatti, Russian Federation

Igor Yu. Savin, Dr of Science in Agriculture, Professor, Academic, Head of the Department of Genesis, Geography, Classification and Digital Cartography of Soils, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of Environmental Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Vladislav A. Sadykov, Dr. of Science in Chemistry, Professor, Head of the Laboratory of Deep Oxidation Catalysts, Boreskov Institute of Catalysis, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

Anatoly V. Skalny, Doctor of Science Medicine, Professor, Head of the Department of Medical Elementology, Institute of Medicine, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Aleksandr P. Khaustov, Dr. of Science in Geology, Professor, Leading Specialist at Institute of Environmental Engineering, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Vera A. Shirokova, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of the History of Earth Sciences, S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY
Published by the Peoples' Friendship University of Russia
named after Patrice Lumumba (RUDN University)

ISSN 2313-2310 (Print), ISSN 2408-8919 (Online)

Frequency: Quarterly

Publication languages: Russian, English

The Journal is indexed: *Russian Index of Science Citation, DOAJ, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, Cyberleninka, Dimensions.*

Aims and Scope

An efficiency increase in the field of environmental protection and scientific research of human ecology, as well as the spread of modern methods of research and the latest achievements in the field of environmental management are the aims of RUDN Journal of Ecology and Life Safety. Since 1993, the journal has published the results of fundamental and applied works of scientists, teachers, postgraduates in the form of scientific research and review articles, scientific reports in the following areas: general ecology, nature management, sustainable development, environmental safety, environmental protection, human ecology, environmental expertise, radioecology and radiation control, environmental assessment environment and environmental education. Materials based on the results of original scientific research of representatives of higher educational institutions and scientific centers of Russia and foreign countries are accepted for consideration.

In addition to scientific articles, a chronicle of scientific life is published, including reviews, reviews, information about conferences, scientific projects, etc. To attract to scientific research and improve the quality of qualifying papers, the journal provides the opportunity to publish articles written based on the materials of the best master's papers.

Chronicle of scientific events, including reviews, information about conferences, research projects, etc. are published in addition to scientific articles.

Journal allows publication of articles based on the best master's thesis for the purpose of intensification of research activity and improving the quality of qualification works.

Author guidelines, archive and other information are available on the website: <http://journals.rudn.ru/ecology>

Copy Editor *I.L. Pankratova*
English Text Editor *K.L. Ulanova*
Layout Designer *T.N. Selivanova*

Address of the editorial office:

3 Ordzhonikidze St, Moscow, 115419, Russian Federation
Tel.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: publishing@rudn.ru

Address of the editorial board of the journal:

8 Podolskoye Shosse, bldg 5, Moscow, 113093, Russian Federation
Tel.: +7 (495) 952-70-28; e-mail: ecoj@rudn.ru

Printing run 500 copies. Open price.

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation

Printed at RUDN Publishing House
3 Ordzhonikidze St, Moscow, 115419, Russian Federation
Tel.: +7 (495) 955-08-61; e-mail: publishing@rudn.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ

- Булавина М.К., Назипова Н.Н., Зимин А.А.** Биоаккумуляция бактериофагов T4 и RB43 в моллюсках *Unionidae*: сравнительный анализ..... 7
- Руденко И.В., Пикалова Н.А., Алейникова А.М.** Новые местонахождения редкого вида *Ostorya carpinifolia* Scop. на Западном Кавказе 26
- Ахтямов М.Х., Катин В.Д., Потетюрин М.А.** Авторские инновационные решения по разработке установок и устройств для очистки водных поверхностей от нефтяных загрязнений 37
- Дьякова Н.А.** Эколого-гигиенические исследования корней одуванчика лекарственного синантропной флоры Центральной России 49
- Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Коваль Ю.Н.** Принципы долгосрочного прогнозирования природных процессов на примере азиатской территории России..... 62
- Лебедев Я.О., Карпиченко А.А., Юрманов А.А., Кокорина Н.С., Лец М.Н., Гаазов В.Л., Лебедева-Георгиевская А.Я., Молодых К.В., Рогачев А.А., Махмудов М.Р., Соболев Н.Р., Гиголов А.Г., Некрасов В.М., Василенко З.А.** Эколого-геохимическое состояние почв центральной части полуострова Куршская коса, Калининградская область, Российская Федерация 84
- Нгуен Т.Ф., Парахина Е.А.** Исследование изменений городских зеленых насаждений с использованием данных Sentinel-2 в городе Тхайбинь, Вьетнам 112

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

- Гусев А.В., Шахраманьян М.А.** Разработка программного комплекса для определения ключевых параметров водных объектов, необходимых для построения сети экологического мониторинга..... 129
- Васильков П.Ф., Мосина Л.В.** Коэффициент биологического поглощения свинца кукурузой как фактор экологической безопасности..... 138
- Шешнёв А.С.** Нефтепродукты в балочном аллювии на территории Саратова: сезонная динамика и геоэкологическая оценка..... 154

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Топорина В.А., Овакимян А.В.** Рекреационная деятельность в котловине озера Малый Вудъявр: последствия и ресурсы..... 165
- Выродов О.С., Токач Ю.Е., Рубанов Ю.К., Пендюрин Е.А., Федюк Г.Р.** Оценка биотоксичности строительных материалов на основе отходов бурения Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения 184

CONTENTS

ECOLOGY

Bulavina M.K., Nazipova N.N., Zimin A.A. Bioaccumulation of bacteriophages T4 and RB43 in <i>Unionidae</i> mollusks: a comparative analysis	7
Rudenko I.V., Pikalova N.A., Aleynikova A.M. New locations of a rare species <i>Ostrea carpinifolia</i> Scop. in The Western Caucasus	26
Akhtyamov M.Kh., Katin V.D., Potetyurin M.A. Author's innovative solutions for development of installations and devices for cleaning water surfaces from oil pollution.....	37
Dyakova N.A. Ecological and hygienic studies of the roots of the dandelion of the medicinal synanthropic flora of central Russia.....	49
Kholoptsev A.V., Shubkin R.G., Koval Yu.N. Principles of long-term forecasting of natural processes: case study of the Asian territory of Russia	62
Lebedev Y.O., Karpichenka A.A., Iurmanov A.A., Kokorina N.S., Letz M.N., Gaazov V.L., Lebedeva-Georgievskaya A.Y., Molodykh K.V., Rogachev A.A., Makhmudov M.R., Sobolev N.R., Gigolov A.G., Nekrasov V.M., Vasilenko Z.A. Ecological and geochemical state of soils in the central part of the Curonian Spit Peninsula, Kaliningrad Region, Russian Federation	84
Nguyen T.P., Parakhina E.A. Study of urban green space changes using Sentinel-2 data in Thai Binh City, Vietnam	112

ENVIRONMENTAL MONITORING

Gusev A.V., Shakhramanyan M.A. Development of a software package for determining key parameters of water bodies required for building an environmental monitoring net-work	129
Vasilkov P.F., Mosina L.V. Coefficient of biological absorption of lead by corn as a factor of environmental safety.....	138
Sheshnev A.S. Oil products in gully alluvium in the territory of Saratov: seasonal dynamics and geocological assessment.....	154

GEOECOLOGY

Toporina V.A., Ovakimyan A.V. Recreational activities in the basin of Lake Maly Wood-yavr: resources and consequences	165
Vyrodov O.S., Tokach Yu.E., Rubanov Yu.K., Pendency E.A., Fediuk G.R. Assessment of the biotoxicity of drilling waste from the Yamburgsky oil and gas condensate field.....	184

ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-7-25

EDN: YVZFXM

УДК 578.4

Научная статья / Research article

Биоаккумуляция бактериофагов T4 и RB43 в моллюсках *Unionidae*: сравнительный анализ

М.К. Булавина^{1,2,3}  , Н.Н. Назипова⁴ , А.А. Зимин¹ 

¹Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН,
Федеральный исследовательский центр Пуцинский научный центр биологических
исследований РАН, 142290, Пуцино, Россия

²Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика
Е.И. Чазова Минздрава России, г. Москва, Российская Федерация

³Институт экспериментальной кардиологии им. ак. В.Н. Смирнова, г. Москва,
Российская Федерация

⁴Институт математических проблем биологии РАН — филиал Института прикладной
математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук, г. Пуцино, Российская
Федерация

 ruffusramone@yandex.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью понимания роли двустворчатых моллюсков как естественных резервуаров вирусных частиц в водных экосистемах. Проблема заключается в недостаточной изученности механизмов избирательной биоаккумуляции бактериофагов моллюсками и ее экологических последствий. Цель работы — сравнительное исследование кинетики накопления бактериофагов T4 (род *Tequatrovirus*) и RB43 (род *Pseudotevenvirus*) в пресноводных моллюсках *Unio pictorum* и *Anodonta cygnea* и выявление молекулярного обоснования различий этого процесса. В ходе экспериментов проведен сравнительный анализ динамики титра фагов в среде, который показал принципиально разные стратегии их взаимодействия с моллюском и средой. Установлено, что бактериофаг T4 активно реплицируется и прочно сорбируется в моллюске, тогда как RB43 демонстрирует слабую адгезию к фильтрационному аппарату и подвержен постоянной миграции обратно в среду. Выявлена корреляция этих различий со структурой капсидных белков: T4 экспонирует в 8,6 раза больше Ig-подобных доменов (за счет белка Нос), чем RB43 (за счет белка Wac), что предположительно определяет эффективность связывания с муцином слизи моллюска и соответственно удержания в организме моллюска. Научная значимость работы заключается в обнаружении зависимости биоаккумуляции от наличия специфических Ig-подобных доменов

© Булавина М.К., Назипова Н.Н., Зимин А.А., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

в декорирующих белках фагов, что расширяет фундаментальные представления об эволюции и экологической дифференциации вирусов бактерий. Практическая значимость связана с тем, что фаг RB43, в отличие от T4, является эффективным трансдюсером генов антибиотикорезистентности. Слабая сорбция RB43 в моллюске и его постоянная миграция могут способствовать широкому распространению плазмид резистентности в водной среде. Перспективы дальнейших исследований заключаются в изучении роли моллюсков как экологической ниши, способствующей горизонтальному переносу генов между бактериями при посредничестве бактериофагов.

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, *Unio pictorum*, *Anodonta cygnea*, белок Нос и Was, муцин, Ig-подобные домены

Вклад авторов. Булавина М.К. — проведение экспериментов, написание статьи, подготовка иллюстраций. Назипова Н.Н. — биоинформатическая поддержка, редактирование текста. Зимин А.А. — идея эксперимента, планирование и проведение исследования, подготовка иллюстраций, научное руководство. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00205, <https://rscf.ru/project/24-26-00205/>

Благодарности. Авторы выражают признательность за приготовление микробиологических сред и подготовку посуды Ю.Н. Дручковой, за подготовку и передачу исходного штамма T4 и RB43 А.Н. Никулиной, за сбор моллюсков Н.А. Никулину и П.В. Машкину.

История статьи: поступила в редакцию 08.09.2025; доработана после рецензирования 17.11.2025; принята к публикации 02.12.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Булавина М.К., Назипова Н.Н., Зимин А.А. Биоаккумуляция бактериофагов T4 и RB43 в моллюсках *Unionidae*: сравнительный анализ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 7–25. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-7-25> EDN: YVZFXM

Bioaccumulation of bacteriophages T4 and RB43 in *Unionidae* mollusks: a comparative analysis

Maria K. Bulavina^{1,2,3}  , Nafisa N. Nazipova⁴ , Andrey A. Zimin¹ 

¹Pushchino Scientific Center for Biological Research Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russian Federation

²National Medical Research Centre of Cardiology Named After Academician E.I. Chazov of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

³Institute of Experimental Cardiology named after ac. V.N. Smirnov, Moscow, Russian Federation

⁴Institute of Mathematical Problems of Biology RAS — the Branch of Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russian Federation

 ruffusramone@yandex.ru

Abstract. The relevance of this study stems from the need to understand the role of bivalve mollusks as natural reservoirs of viral particles in aquatic ecosystems. The problem lies in the insufficient knowledge of the mechanisms behind the selective bioaccumulation of bacteriophages

ges by mollusks and its ecological consequences. The aim of this work was a comparative study of the accumulation kinetics of bacteriophages T4 (genus *Tequatrovirus*) and RB43 (genus *Pseudotevenvirus*) in the freshwater mollusks *Unio pictorum* and *Anodonta cygnea*, and to identify the molecular basis for the differences in this process. During the experiments, a comparative analysis of the phage titer dynamics in the environment was conducted, revealing fundamentally different strategies in their interaction with the mollusk and the surrounding water. It was established that bacteriophage T4 actively replicates and is firmly sorbed within the mollusk, whereas RB43 demonstrates weak adhesion to the filtration apparatus and is subject to constant migration back into the environment. A correlation was found between these differences and the structure of their capsid proteins: T4 exposes 8.6 times more Ig-like domains (via the Hoc protein) than RB43 (via the Wac protein). This presumably determines the efficiency of binding to mollusk mucus mucin and, consequently, the retention within the mollusk's body. The scientific significance of the work lies in discovering the dependence of bioaccumulation on the presence of specific Ig-like domains in the decorating proteins of phages, which expands the fundamental understanding of the evolution and ecological differentiation of bacterial viruses. The practical significance is related to the fact that phage RB43, unlike T4, is an efficient transducer of antibiotic resistance genes. The weak sorption of RB43 in mollusks and its constant migration could facilitate the widespread dissemination of resistance plasmids in aquatic environments. Prospects for further research involve studying the role of mollusks as an ecological niche that promotes the bacteriophage-mediated horizontal gene transfer between bacteria.

Keywords: bacteriophages T4 and RB43, bioaccumulation, bivalve mollusks, *Unio pictorum*, *Anodonta cygnea*, Hoc and Wac proteins, mucin, Ig-like domains

Authors' contribution. M.K. Bulavina — conducting experiments, writing the article, preparing illustrations. N.N. Nazipova — bioinformatics support, editing the text. A.A. Zimin — idea of the experiment, planning and conducting the research, preparing illustrations, scientific supervision. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Funding. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation No. 24-26-00205, <https://rscf.ru/project/24-26-00205/>

Acknowledgements. The authors express their gratitude to Yu.N. Druchkova for the preparation of microbiological media and the preparation of glassware, to A.N. Nikulina for the preparation and transfer of the original strain T4 and RB43, and to N.A. Nikulin and P.V. Mashkin for the collection of mollusks.

Article history: received 08.09.2025; revised 17.11.2025; accepted 02.12.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Bulavina MK, Nazipova NN, Zimin AA. Bioaccumulation of bacteriophages T4 and RB43 in *Unionidae* mollusks: a comparative analysis. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):7–25. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-7-25> EDN: YVZFXM

Введение

Двустворчатые моллюски *Bivalvia* — одна из самых распространенных групп беспозвоночных, живущих в пресных водоемах, где они могут быть мажорным компонентом бентоса. Этот класс организмов включает множество видов, отличающихся по своим биологическим свойствам, большая часть представителей класса принадлежит к пресноводному семейству *Unionidae*.

Они могут быть не только ценным источником белка для животных, но и причиной заражения различными кишечными инфекциями. Представители семейства широко распространены, их легко отловить и содержать в лабораторных условиях; они малоподвижны, что делает их идеальными экспериментальными животными для изучения биоаккумуляции. Фильтрующий аппарат моллюска и жабры с большой поверхностью — мишень для оседания различных веществ, мелких и микроскопических организмов и частиц. Взаимодействие представителей этого семейства с бактериофагами, учитывая фильтрационный тип питания *Unionidae*, представляет большой интерес, так как фаги могут накапливаться в теле моллюска, оказывая влияние на его микрофлору.

Бактериофаги оказывают влияние на разнообразие и метаболизм бактериального сообщества посредством контроля численности и горизонтального переноса генов. Они играют большую роль в экосистемах, разрушая бактериальные клетки и высвобождая органические и неорганические вещества и возвращая их в цикл развития пресноводной микробиоты. Бактериофаги используются как индикаторы биологического загрязнения в пище и водоемах [2]. Они являются индикаторами не только бактериальной, но и вирусной контаминации [3].

Бактериофаг T4 — самый изученный вирус бактерий, он отличается литическим жизненным циклом, сокращающимся чехлом хвоста, икосаэдрической головкой и довольно большим геномом размером около 170 тыс. нуклеотидных пар (н. п.). Данных о его биоаккумуляции в моллюсках мало [4]. RB43 изучен значительно хуже, он также является колифагом и относится к типу T4, имеет морфологически сходные с бактериофагом T4 частицы [5]. Его геном имеет длину около 180 тыс. н. п., на его воротничке находятся фибриллы, экспонирующие иммуноглобулин-подобные (Ig-подобные) домены [5]. Механизмы его биоаккумуляции в моллюсках не изучены.

Слизь у многоклеточных животных — это барьер между организмом и внешней средой, она обеспечивает защитную функцию, одновременно являясь средой обитания микробиоты, в том числе вирусной. Один из главных компонентов слизи — это гликопротеин муцин, именно он является основой матрицы слизи и образует первую линию обороны против патогенов. Предполагается, что именно с этим гликопротеином связываются бактериофаги в слизи, используя для этого Ig-подобные домены [6].

Ig-подобный домен — белковая структура, участвующая в иммунном ответе, клеточной адгезии и других процессах. Ig-подобные домены есть у хвостатых бактериофагов, они обладают большим разнообразием. Бактериофаги являются важным вектором передачи подобных доменов между бактериями. Однако функции Ig-подобных доменов у фагов малоизучены [7].

На поверхности капсида бактериофага T4 присутствуют структуры в виде коротких волокон, образуемых белком Нос. Он не является обязательным компонентом для сборки T4, но дает преимущество фагу перед другими вирусами, повышая его концентрацию вблизи хозяина, обеспечивая эффективное

рассеивание вирионов и повышение вероятности контакта с бактерией-хозяином [8]. В этом белке присутствует три Ig-подобных домена, позволяющих T4 эффективно прикрепляться к гликопротеинам муцина в составе слизи многоклеточных [9]. Подобные белки обнаруживаются у других родственных T4 бактериофагов семейства *Straboviridae* [10; 11]. Еще один капсидный белок, Soc, также прикрепляется на заключительной стадии сборки, соединяя капсомеры и образуя структуру в виде «сеточки», которая укрепляет капсид.

Существует предположение, что бактериофаги формируют своеобразный иммунитет на поверхности слизи многоклеточных, лизируя клетки чужеродных бактерий. Экспериментальная модель слизистой многоклеточного животного показала, что бактериофаг T4 на ее поверхности значительно снижает бактериальную колонизацию эпителия. В кишечнике животного между фагами и средой образуются сложные малоизученные отношения. T4-подобные фаги прикрепляются к слизистой кишечника путем взаимодействия белка Нос и компонента слизи MUC2, сайты связывания различаются для каждого конкретного представителя [12].

В белке Wac воротничка RB43 обнаружена последовательность длиной 323 аминокислоты (а.к.), гомологичная Нос T4, содержащему Ig-подобные домены, что может указывать на специфичную адаптацию этого вируса к связыванию муцина слизи [11]. Точно неизвестно, отвечают ли Ig-домены Wac за адгезию к слизи многоклеточных, суммарно их в несколько раз меньше на поверхности частицы RB43, чем у T4.

Данное исследование ставит целью сравнить кинетику биоаккумуляции фагов T4 (род *Tequatrovirus*) и RB43 (род *Pseudotevenvirus*) у двустворчатых моллюсков, а также выявить связь между этим процессом и структурными особенностями фаговых декорирующих белков Нос и Wac.

Материалы и методы

Для проведения эксперимента по ранее использованной методике [13] использовали два вида моллюсков — перловица обыкновенная *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758) и беззубка обыкновенная *Anodonta cygnea* (Linnaeus, 1758), которые являются представителями семейства *Unionidae*, отряда *Unionida*, класса *Bivalvia*.

Животные содержались в аквариумах объемом от 15 до 40 литров с хорошей аэрацией на протяжении 1–8 месяцев. Моллюски помещались в стаканы со стерильной аквариумной водой объемом 200 мл. Аэрация среды достигалась с помощью воздушных компрессоров (рис. 1).

Эксперимент начинался после открытия раковины моллюском. В воду добавлялась суспензия бактериофага в исходной концентрации 1×10^3 или 1×10^4 БОЕ/мл (БОЕ — бляшкообразующая единица) в количестве 2 мл. Сразу, а затем через 1, 3, 6 и 24 ч отбирались пробы среды. Позже были добавлены пробы через 5, 15 и 30 мин, 48 и 72 ч. Образцы титровались по методу Грациа

и вносились на среду LB, затем следовал период культивации в течение ночи при 37 °С. На следующий день производился подсчет образовавшихся бляшек, и вычислялось среднее значение для каждой пробы.



Рис. 1. *Unio pictorum* в экспериментальных условиях:
1 — воздушный компрессор; 2 — раковина моллюска
Источник: фото выполнено М.К. Булавиной.

Figure 1. *Unio pictorum* under experimental conditions: 1 — air compressor; 2 — mussels shell
Source: the photo was taken by M.K. Bulavina.

Классификация исследованных бактериофагов: *Escherichia virus* T4, род *Tequatrovirus* и *Escherichia phage* RB43, род *Tequatrovirus* (оба фага *Tevenvirinae*, *Straboviridae*, *Caudoviricetes*). Фаги T4 и RB43 получали, используя штамм кишечной палочки *Escherichia coli* B. Температура воды измерялась с помощью ртутного аквариумного градусника.

Результаты и обсуждение

Согласно результатам исследования, у обоих бактериофагов есть ряд общих особенностей биоаккумуляции. Как у фага T4, так и у RB43 можно заметить циклическое изменение титра (рис. 2). Количество свободных фагов в воде постоянно менялось, что можно объяснить способом питания моллюсков. Циклические колебания титра обоих фагов коррелируют с фильтрационной активностью *Unionidae*.

Двустворчатые моллюски приспособлены к изменениям внешней среды. Существует механизм, с помощью которого моллюск избавляется от нежелательных частиц. Он проявляется в акте «выброса», когда моллюск извергает сильный пульсирующий поток. Возможно, этой пульсацией и обусловлено циклическое изменение титра [14]. Похожий паттерн поведения мы заметили в предыдущих исследованиях [4; 13].

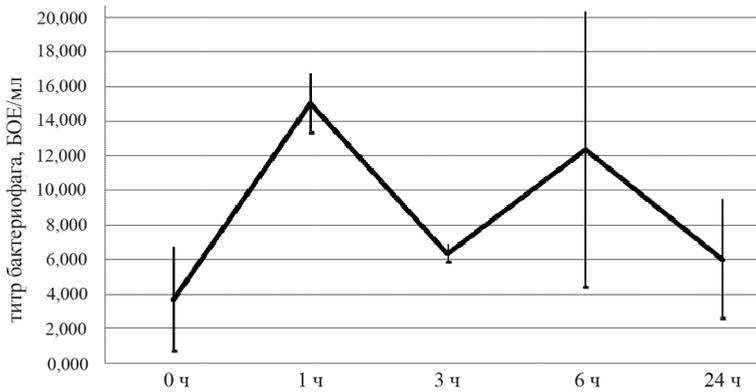


Рис. 2. Циклические изменения титра в одном из опытов с бактериофагом Т4

Источник: составлено М.К. Булавиной, Н.Н. Назиповой, А.А. Зиминим.

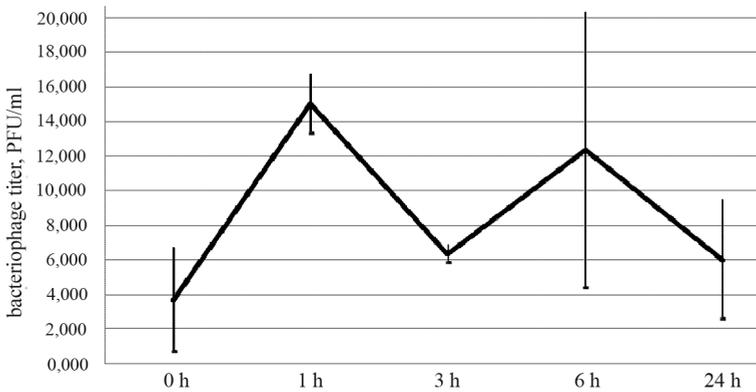


Figure 2. Cyclic titer fluctuations of Escherichia virus T4 in one of experimental trials

Source: compiled by M.K. Bulavina, N.N. Nazipova, A.A. Zimin.

Нами замечены периоды, когда титр фага не менялся с течением времени, образуя плато на графике. В этот момент активность моллюска была минимальна, и процесс «замирал». Однако некоторое время спустя моллюск снова начинал пропускать через себя воду, и значения титра становились динамичными. В поведении моллюсков описаны случаи, когда при стрессе, например при изменении солености среды, активность животного сильно снижается и фильтрация на некоторое время приостанавливается. Возможно, смена условий, а именно отсутствие питания во время опыта негативно отразились на конкретном моллюске, и он задействовал стрессовые механизмы. Значения титра фага могут превышать первоначальную точку, что говорит о том, что в микрофлоре моллюсков присутствует популяция бактерий *E. coli*, на которой паразитируют бактериофаги Т4 и RB43. Так происходит размножение фагов, что влияет на результаты опытов. Отмечается большой разброс между первоначальными и последующими значениями (табл. 1).

Таблица 1. Изменение титра бактериофага Т4 в пробах в одном из экспериментов с *Unio pictorum* в промежутке времени с начала эксперимента

Фаг Т4	Титр бактериофага в разные промежутки времени от начала опыта				
	0 ч	1 ч	3 ч	6 ч	24 ч
Титр в разных точках, БОЕ/мл	5	8	8	0	15
	5	9	6	5	10
	6	11	7	12	12
Ср. значение	5,37	9,57	7,00	5,70	12,17
Ст. отклонение	0,70	1,32	1,40	6,02	2,75
Ст. ошибка	0,41	0,76	0,81	3,48	1,59

Примечание. Ср. значение — среднее значение; ст. отклонение — стандартное отклонение; ст. ошибка — стандартная ошибка.

Источник: составлено М.К. Булавиной, Н.Н. Назиповой, А.А. Зиминим.

Table 1. Changes in the titer of bacteriophage T4 in samples in one of the experiments with *Unio pictorum* in time intervals from the beginning of the experiment

Phage T4	Bacteriophage titer at different time intervals from the beginning of the experiment				
	0 h	1 h	3 h	6 h	24 h
Titer at different points, PFU/ml	5	8	8	0	15
	5	9	6	5	10
	6	11	7	12	12
Mean value	5.37	9.57	7.00	5.70	12.17
Std deviation	0.70	1.32	1.40	6.02	2.75
Std error	0.41	0.76	0.81	3.48	1.59

Note. Std deviation — Standard deviation; Std error — Standard error.

Source: compiled by M.K. Bulavina, N.N. Nazipova, A.A. Zimin.

В других случаях нами было замечено снижение титра от первоначальных значений, что указывает на удержание моллюском некоторого количества бактериофагов. Титр снизился вдвое к концу опыта (табл. 2).

Таблица 2. Изменение титра бактериофага Т4 в одном из экспериментов с *Anodonta cygnea* в зависимости от времени

Фаг Т4	Титр бактериофага в пробах в разных временных промежутках времени от начала опыта				
	0 ч	1 ч	3 ч	6 ч	24 ч
Титр в разных точках, БОЕ/мл	7	13	13	11	2
	9	23	9	14	2
	5	7	16	15	3
Среднее значение	7,00	14,33	12,67	13,33	2,33
Ст. откл.	2,00	8,08	3,51	2,08	0,58
Ст. ошибка	1,15	4,67	2,03	1,20	0,33

Источник: составлено М.К. Булавиной, Н.Н. Назиповой, А.А. Зиминим.

Table 2. The average of the titer change as a function of time in one of the experiments with bacteriophage T4 and *Anodonta cygnea*

Phage T4	The titer of bacteriophage in samples at different time intervals from the beginning of the experiment				
	0 h	1 h	3 h	6 h	24 h
Titer at different points, PFU/ml	7	13	13	11	2
	9	23	9	14	2
	5	7	16	15	3
Mean	7.00	14.33	12.67	13.33	2.33
Std deviation	2.00	8.08	3.51	2.08	0.58
Std error	1.15	4.67	2.03	1.20	0.33

Source: compiled by M.K. Bulavina, N.N. Nazipova, A.A. Zimin.

Важно отметить различия в биоаккумуляции фагов T4 и RB43. На графиках (рис. 3) можно заметить, что у RB43 сохраняются низкие концентрации титра, однако разброс значений заметный. T4 показал большие концентрации, что указывает на то, что T4 гораздо активнее размножается в моллюске и успешнее заражает *E. coli*. Наблюдаемая у фагов цикличность различается тем, что у RB43 циклы короче, а фаза повышения титра сменяется понижением чаще, чем это можно наблюдать у T4. Из-за особенностей поверхности капсида RB43 не удерживается моллюском так же сильно, как T4, и подвержен перемещению из моллюска в среду при каждом заборе или сбросе воды.

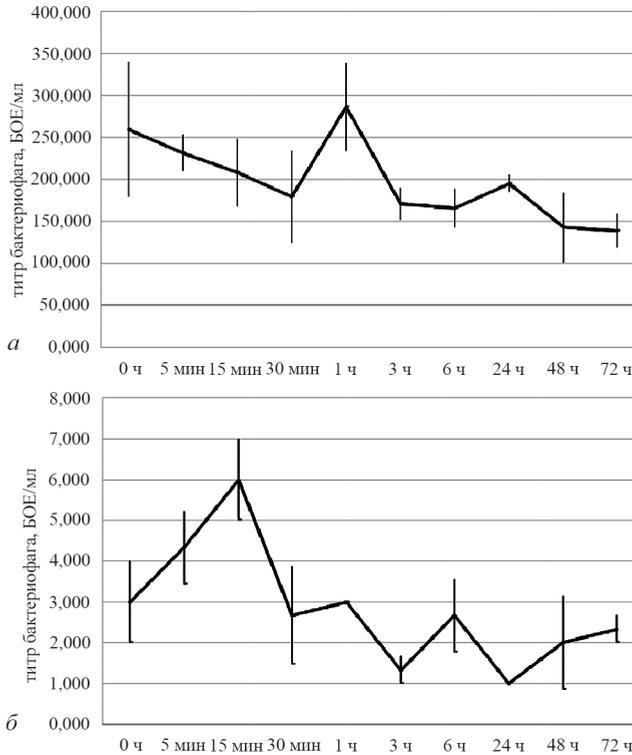


Рис. 3. Сравнение частоты циклов у бактериофага T4 (а) и RB43 (б)

Источник: составлено М.К. Булавиной, Н.Н. Назиповой, А.А. Зиминым.

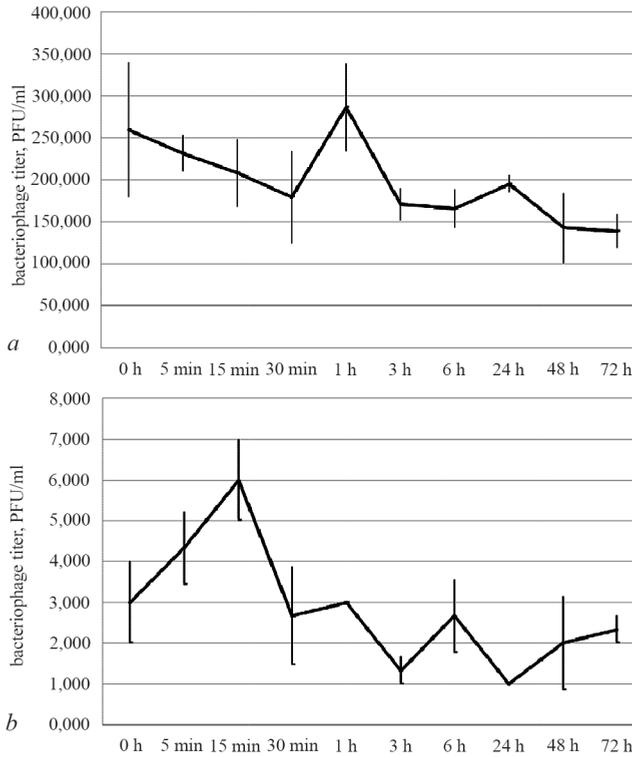


Figure 3. Comparison of cycle frequencies in *Escherichia* virus T4 (a) and *Escherichia phage* RB43 (b)

Source: compiled by M.K. Bulavina, N.N. Nazipova, A.A. Zimin.

Значения концентрации фага RB43 стремятся к 0, что в случае T4 почти не выражено. Предположительно, вся суспензия бактериофага в среде мигрирует в моллюск и легко возвращается обратно. Это может свидетельствовать о том, что заражение *E. coli* в микрофлоре моллюска этим фагом происходит не так успешно, как в случае T4, а адгезия фага к слизи слабая (табл. 3).

Таблица 3. Изменение титра бактериофага RB43 в одном из экспериментов с *Anodonta cygnea* в зависимости от времени в трех разных точках

Фаг RB43	Титр бактериофага в пробах в разные промежутки времени от начала опыта									
	0 ч	5 мин	15 мин	30 мин	1 ч	3 ч	6 ч	24 ч	48 ч	72 ч
Титр в разных точках сосуда, БОЕ/мл	8	6	5	0	0	1	0	1	2	0
	2	4	0	1	3	11	0	0	1	3
	3	3	3	1	1	1	0	1	5	4
Среднее значение	7,55	5,86	5,18	1,24	2,86	10,11	0,00	1,24	4,75	4,41
Ст. откл.	4,33	4,33	2,67	0,67	1,33	4,33	0,00	0,67	2,67	2,33
Ст. ошибка	1,12	2,81	0,15	0,09	0,00	0,00	0,00	0,09	0,59	0,25

Источник: составлено М.К. Булавиной, Н.Н. Назиповой, А.А. Зиминым.

Table 3. Change in the titer of bacteriophage RB43 in one of the experiments with *Anodonta cygnea* depending on time at three different points

Phage RB43	The titer of bacteriophage in samples at different time intervals from the beginning of the experiment									
	0 h	5 min	15 min	30 min	1 h	3 h	6 h	24 h	48 h	72 h
Titer at different points (PFU/ml)	8	6	5	0	0	1	0	1	2	0
	2	4	0	1	3	11	0	0	1	3
	3	3	3	1	1	1	0	1	5	4
Mean	7.55	5.86	5.18	1.24	2.86	10.11	0.00	1.24	4.75	4.41
Std deviation	4.33	4.33	2.67	0.67	1.33	4.33	0.00	0.67	2.67	2.33
Std error	1.12	2.81	0.15	0.09	0.00	0.00	0.00	0.09	0.59	0.25

Source: compiled by M.K. Bulavina, N.N. Nazipova, A.A. Zimin.

Спустя сутки после начала эксперимента было замечено еще одно различие. Титр Т4 на 24-й час опыта и далее чаще снижался, циклы становились менее заметными либо отсутствовали. Концентрация RB43 через сутки могла увеличиться. Далее она повышалась, спустя 48 и 72 ч эксперимента, циклы сохранялись (рис. 4). Это подтверждает наше предположение о том, что моллюск не удерживает RB43, так же как Т4.

Еще одно важное отличие — повышение титра спустя час, часто встречающееся в опытах с Т4, но редко наблюдающееся в экспериментах с RB43, где эта особенность может как присутствовать, так и отсутствовать. В случае RB43 нет «взрыва» активности размножения бактериофага спустя час. Это можно объяснить тем, что RB43 дает меньший урожай, чем Т4, инфицируя *E. coli* в микрофлоре моллюска.

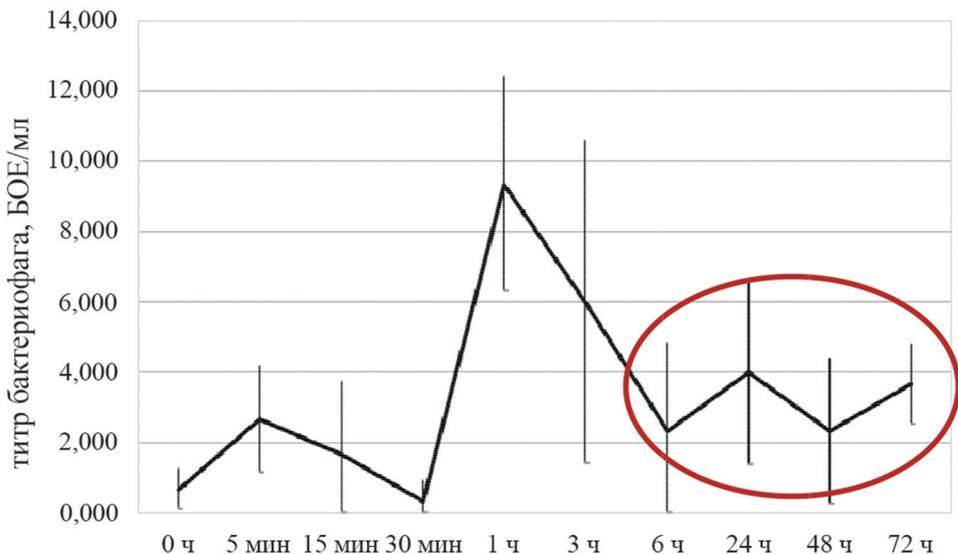


Рис. 4. Циклические изменения титра спустя 24 ч в одном из опытов с бактериофагом RB43

Источник: составлено М.К. Булавиной, Н.Н. Назиповой, А.А. Зиминым.

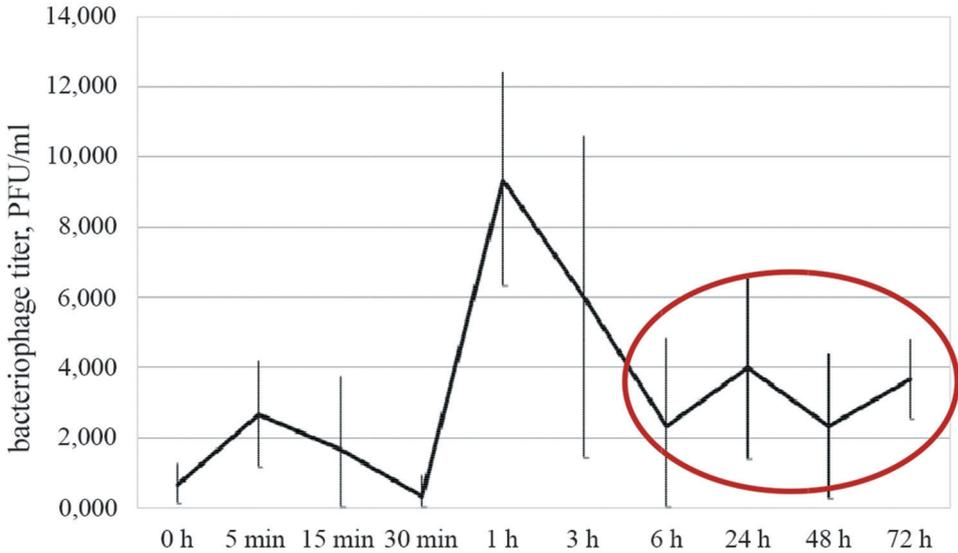


Figure 4. Cyclic titer fluctuations of *Escherichia phage* RB43 after 24-hour incubation in experimental trials
Source: compiled by M.K. Bulavina, N.N. Nazipova, A.A. Zimin.

Таким образом, мы наблюдали, что RB43 активнее мигрирует из моллюска в среду и плохо удерживается его фильтрационным аппаратом. Это различие может быть связано с тем, что поверхностные белки частиц этих бактериофагов содержат в своей структуре и экспонируют на поверхности Ig-подобные домены, обеспечивающие аффинное связывание с гликопротеинами слизи различных полостей моллюска. В случае T4 предположительно эту функцию несут I и II Ig-подобные домены белка Нос, однако, какие из трех Ig-подобных доменов Was играют аналогичную роль, пока остается неясным. На поверхности частицы фага T4 находится 155 единиц Нос-белка, белков Was в структуре частицы фага RB43 только 18. То есть в случае Was Ig-подобных доменов на поверхности частицы меньше в 8,6 раза, чем у Нос T4 [15].

Мутантные бактериофаги T4, лишенные белка Нос, меняют поведение в слизи, выделенной из кишечника мыши. Частицы T4, лишенные белка Нос, демонстрировали нормальную диффузию, обусловленную случайным броуновским движением. Бактериофаг T4 дикого типа показал субдиффузионное движение в слизи [9]. Если предположить, что именно I и II Ig-подобные домены белка Нос T4 отвечают за успешное прикрепление к слизи, то RB43, у которого их нет, будет демонстрировать другую стратегию. RB43 склонен к более слабой адгезии к слизи моллюска, что объясняет его постоянную миграцию, в то время как T4 прочнее закрепляется в теле моллюска. Удаление Нос у бактериофага или MUC2 из слизи не отменяет способность бактериофага к адгезии. Это позволяет предположить, что у RB43 могут быть альтернативные механизмы закрепления внутри полостей моллюска.

На С-конце белка Wac RB43 нами обнаружены участки, схожие с тремя Ig-подобными доменами на N-конце Нос Т4. Предполагается, что II домен белка Нос бактериофага Т4 является участком связывания с полигликанами. Если сравнить этот сайт белка с Wac RB43, можно заметить некоторое сходство (рис. 5). Мы нашли несколько идентичных участков, которые могут быть довольно крупными. Это наталкивает на мысль о том, что, хотя RB43 не обладает таким же Нос со вторым, критическим доменом, он может замещать часть его функций своим белком Wac [11]. Прикрепление к слизи, однако, остается достаточно непрочным, что может отражать своеобразный компромисс между подвижностью и адгезией.

Score	Expect	Method	Identities	Positives	Gaps
39.7 bits(91)	1e-05	Compositional matrix adjust.	41/142(29%)	68/142(47%)	25/142(17%)
Query 131	TYQMYVDDSQVGGETNSTFSYPTTSGVKRIKCVAQVTATDYDALSVTSNEVSLTVNKKT				190
Sbjct 623	TYEWFKDNSVIGETSATFTKSAVTS-----DAGEY-VVSVTD---AMNNQNS				668
Query 191	MNPQVTLTP-PSINVQDASATFTANVTGAPEEAQI-----TYSWKKDSSPVEGST				240
Sbjct 669	VT+TP P++ D SAT ++ TGA + + TY W KD++ + G T				727
Query 241	NWYTVDTSSVGSQTIEVTATVT				262
Sbjct 728	+ G +EVT +T				749
	GASLTTVAEDGVYKVEVDALT				

Рис. 5. Выравнивание белка Нос бактериофага Т4 и белка Wac бактериофага RB43, полученное с помощью алгоритма BLASTp на сервере NCBI: Query — фрагмент, включающий аминокислоты (а.к.) 131–262 в белке Нос фага Т4, Subject — 623–749 а.к. Wac RB43.

Для этих последовательностей обнаружено сходство в 29 % идентичных а. к. и 47 % синонимических замен при значимости $E = 1e-05$.

Источник: составлено М.К. Булавиной, Н.Н. Назиповой, А.А. Зиминим.

Figure 5. Alignment of bacteriophage T4 Hoc protein and bacteriophage RB43 Wac protein, generated using the BLASTp algorithm on the NCBI server: Query — fragment 131–262 of the T4 phage Hoc protein sequence; Subject — fragment 623–749 of the RB43 Wac protein. The sequences showed a similarity of 29 % identical amino acids and 47% synonymous substitutions, $E = 1e-05$.

Source: compiled by M.K. Bulavina, N.N. Nazipova, A.A. Zimin.

Если учитывать разную способность к сорбции в организме моллюска, у этих двух фагов будут разные шансы на успешное заражение бактерий, так как чем дольше фаг остается в моллюске, тем больше у него шансов заразить *E. coli* внутри организма на поверхности слизистой. Субдиффузионное движение бактериофага Т4 позволяет ему концентрироваться в оптимальной зоне слизи, что увеличивает его шанс на встречу с бактерией-хозяином [9]. Можно предположить, что разные стратегии создают разграничение экологических ниш, у Т4 бактериофага наблюдается долговременное закрепление и заражение бактерий-хозяев, либо входящих в микрофлору, либо поступающих извне. У RB43 «транзитная» стратегия: он находится и внутри организма, и вне него, инфицируя бактерии в обеих средах и паразитируя на популяциях *E. coli* вне организма.

Возможно белок Soc, характерный для Т4, но не обнаруженный у RB43, может давать ему преимущество. Soc позволяет выдерживать агрессивные

кислые среды [16]. В пищеварительной железе моллюска может сохраняться $\text{pH} < 5$ [17], поэтому численность RB43, возможно, снижается. А большинство вирусных частиц накапливаются именно там [9]. Это поддерживает гипотезу о разных экологических нишах этих двух бактериофагов.

При выращивании RB43 на культуре *E. coli* B тенденция к низким титрам и плохому росту сохранялась [11]. Возможно, данный фаг имеет специфические генетические особенности, снижающие его продуктивность, либо обладает более узким кругом хозяев, чем T4. Зависимости интенсивности фильтрации моллюсков от температуры, колебавшейся в пределах от $+19\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$, выявлено не было. Вместе с тем литературные данные указывают, что на скорость фильтрации может влиять температура. Так, некоторые виды моллюсков снижают свою активность при нагреве воды свыше $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ [18]. Для *Unio pictorum* можно сделать вывод, что во время нашего эксперимента моллюск находился в своем комфортном диапазоне температур [19]. Следовательно, колебания температуры воды значительно не влияли на его активность, что позволяет исключить ее как существенный фактор. Другая ситуация с *Anodonta cygnea*, чей оптимальный температурный диапазон не превышает $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ [20]. В ходе наших опытов не было выявлено необычного поведения животных при превышении этого порога. Возможно, температура зависела от комнатной и повышалась постепенно, что дало возможность моллюску адаптироваться и сохранить свои привычные ритмы активности.

Бактериофаг T4 и другие представители рода *Tequatrovirus* содержат 5'-гидроксиметилцитозин вместо цитозина и не способны к трансдукции, горизонтальному переносу генов бактерий [21; 22]. В отличие от них бактериофаг RB43 из рода *Pseudotevenvirus* имеет ДНК канонического состава и является эффективным трансдьюсером, переносчиком плазмид с генами резистентности к антибиотикам между штаммами *E. coli*, что было показано нами ранее [21].

Выводы

В рамках исследования на титр бактериофага в среде влияла особенность типа питания моллюска, а именно фильтрация. Таким образом, создавались циклы попеременного повышения и понижения титра фагов в воде. Часть фагов удерживалась фильтрационным аппаратом животных, другая мигрировала из среды в моллюск и обратно. Бактериофаги T4 и RB43 подвержены этому по-разному: T4 активнее размножается, и оседает в моллюске, фаг RB43 сильнее подвержен миграции, слабо сорбируется в фильтрационном аппарате и плохо размножается.

Эти различия могут быть связано с Ig-подобными доменами, которые взаимодействуют со слизью в различных полостях моллюска. Если предположить, что именно I и II Ig-подобные домены белка Нос T4 отвечают за успеш-

ное прикрепление к слизи, то RB43, у которого их нет, имеет другую стратегию. RB43 склонен к слабой адгезии к слизи моллюска, что и объясняет его постоянную миграцию, T4 же более прочно закрепляется в теле моллюска.

На С-конце белка Was также имеются три Ig-подобных домена, что наталкивает на мысль, что RB43, не обладая Нос с важным для связывания с полигликанами доменом, может замещать часть его функции своим белком Was.

Рассматриваемые бактериофаги обитают в разных экологических нишах, о чем говорит их разный подход в аккумуляции. Фаг T4 закрепляется в организме моллюска на долгое время, что позволяет ему заражать бактерий, входящих в постоянную микрофлору либо поступающих извне в процессе питания животного. RB43 постоянно мигрирует из организма в среду и обратно, захватывая бактерий-хозяев как внутри, так и вне моллюска.

Можно предположить, что белок Soc фага T4, не обнаруженный у RB43, может давать ему преимущество. При выращивании RB43 на культуре *E. coli* B тенденция к плохому росту сохранялась. Возможно, данный фаг имеет специфические генетические особенности, снижающие его продуктивность, либо обладает более узкой специализацией хозяев.

Заключение

Моллюски могут служить естественной средой для бактериофагов, они способны паразитировать на микрофлоре моллюска, а также на тех бактериях, которые могут быть захвачены в процессе фильтрационного питания. Таким образом, моллюски могут служить моделью для исследования поведения бактериофагов как части микрофлоры многоклеточного животного. В этой работе показано существенное различие в стратегии аккумуляции двух родственных бактериофагов семейства *Straboviridae* двустворчатыми пресноводными моллюсками. Экологическая стратегия взаимодействия RB43 с фильтрующими гидробионтами может обеспечивать широкое распространение антибиотикорезистентности в пресных водоемах и аквакультуре.

Список литературы

- [1] Voigt E., Rall B.C., Chatzinotas A., Brose U., Rosenbaum B. Phage strategies facilitate bacterial coexistence under environmental variability // PeerJ. 2021. Vol. 9. Article no. e12194. <https://doi.org/10.7717/peerj.12194> EDN: LNUOPQ
- [2] Rogovski P., Cadamuro R.D., da Silva R., de Souza E.B., Bonatto C., Viancelli A., Michelon W., Elmahdy E.M., Treichel H., Rodríguez-Lázaro D., Fongaro G. Uses of bacteriophages as bacterial control tools and environmental safety indicators // Frontiers in Microbiology. 2021. Vol. 12. Article no. 793135. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.793135> EDN: GCTNTM
- [3] Arredondo-Hernandez L.J.R., Diaz-Avalos C., Lopez-Vidal Y., Castillo-Rojas G., Mazari-Hiriart M. FRNA bacteriophages as viral indicators of faecal contamination in Mexican tropical aquatic systems // PLoS One. 2017. Vol. 12. No. 1. Article no. e0170399. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170399>

- [4] *Karmanova A.N., Zimin A.A.* Experimental model for study bacteriophage bioaccumulation by a bivalve *Unio pictorum* (L.1758) // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1701. Article no. 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1701/1/012012> EDN: EHNZSR
- [5] *Ayala R., Street M., Moissenko A., Kulikov E., Kuznetsov A., Sokolova O., Wolf M., Letarov A.* Reconstruction of the Entire RB43 Bacteriophage by Single Particle Cryo-EM // *Microscopy and Microanalysis*. 2023. Vol. 29. No. S1. P. 928–929. <https://doi.org/10.1093/micmic/ozad067.460> EDN: CHZWQY
- [6] *Almeida G.M.F., Laanto E., Ashrafi R., Sundberg L.R.* Bacteriophage adherence to mucus mediates preventive protection against pathogenic bacteria // *mBio*. 2019. Vol. 10. No. 6. Article no. 1984. <https://doi.org/10.1128/mbio.01984-19>
- [7] *Fraser J.S., Yu Z., Maxwell K.L., Davidson A.R.* Ig-like domains on bacteriophages: a tale of promiscuity and deceit // *Journal of Molecular Biology*. 2006. Vol. 359. No. 2. P. 496–507. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2006.03.043> EDN: MIKGLH
- [8] *Sathaliyawala T., Islam M.Z., Li Q., Fokine A., Rossmann M.G., Rao V.B.* Functional analysis of the highly antigenic outer capsid protein, Hoc, a virus decoration protein from T4-like bacteriophages // *Molecular Microbiology*. 2010. Vol. 77. Iss. 2. P. 444–455. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2010.07219.x> EDN: MYEMEN
- [9] *Barr J.J., Auro R., Furlan M., Whiteson K.L., Erb M.L., Pogliano J., Stotland A., Wolkowicz R., Cutting A.S., Doran K.S., Salamon P., Youle M., Rohwer F.* Bacteriophage adhering to mucus provide a non-host-derived immunity // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2013. Vol. 110. No. 26. P. 10771–10776. <https://doi.org/10.1073/pnas.1305923110>
- [10] *Зимин А.А., Никулина А.Н., Никулин Н.А., Хо Ся, Юнь Лу, Осепчук Д.В., Коцаев А.Г.* Гомологи основного антигена капсида бактериофага RB30 из метабенома компоста // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 97. № 4. С. 215–227. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-97-215-227> EDN: AEKWRP
- [11] *Zimin A.A., Mikoulinskaia G.V., Nigmatullina L.R., Nazipova N.N.* Comparative Analysis of Individual Domains of Hoc Proteins in Subfamily *Teequatrovirinae* Bacteriophages // *Mathematical Biology and Bioinformatics*. 2018. Vol. 13. P. T39–T61. <https://doi.org/10.17537/2018.13.t39> EDN: VRPDFU
- [12] *Wu J., Fu K., Hou C., Wang Y., Ji C., Xue F., Ren J., Dai J., Barr J.J., Tang F.* Bacteriophage defends murine gut from *Escherichia coli* invasion via mucosal adherence // *Nature Communications*. 2024. Vol. 15. Article no. 4764. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48560-2> EDN: QUYWHY
- [13] *Булавина М.К., Абашина Т.Н., Сузина Н.Е., Поливцева В.Н., Зимин А.А.* Биоаккумуляция бактериофагов T4 и RB43 пресноводными двустворчатými моллюсками в стерильной аквариумной воде // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2025. Т. 33. № 1. С. 7–20. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-7-20> EDN: AEMDOT
- [14] *Wang L., Song J., Bi H., Gray M., Fan Ch., Liu M., Mao X.-Z.* Adaptive feeding in the American oyster *Crassostrea virginica*: Complex impacts of pulsatile flow during pseudofecal ejection events // *Limnology and Oceanography*. 2020. Vol. 65. Iss. 9. P. 2010–2023. <https://doi.org/10.1002/lno.11433> EDN: VUZWMS
- [15] *Fokine A., Islam M.Z., Fang Q., Chen Zh, Sun L., Rao V.B.* Structure and function of Hoc-A novel environment sensing device encoded by T4 and other bacteriophages // *Viruses*. 2023. Vol. 15. Iss. 7. Article no. 1517. <https://doi.org/10.3390/v15071517> EDN: EUGPIG
- [16] *Qin L., Fokine A., O'Donnell E., Rao V.B., Rossmann M.G.* Structure of the small outer capsid protein, Soc: a clamp for stabilizing capsids of T4-like phages // *Journal of*

- Molecular Biology. 2010. Vol. 395. Iss. 4. P. 728–741. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2009.10.007> EDN: MZUBKB
- [17] Bastos P., Fracalossi D.M., Chimal M.E., Sánchez A., Rosas C. Digestive enzymes and timing of digestion in *Octopus vulgaris* type II // Aquaculture Reports. 2020. Vol. 16. Article no. 100262. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100262> EDN: HRFZIE
- [18] Anestis A., Pörtner H.O., Karagiannis D., Angelidis P., Staikou A., Michaelidis B. Response of *Mytilus galloprovincialis* (L.) to increasing seawater temperature and to martellosis: metabolic and physiological parameters // Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology. 2010. Vol. 156. Iss. 1. P. 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2009.12.018> EDN: YVOKVJ
- [19] Вербицкий В.Б., Шаров А.Н., Холодкевич С.В. Определение терморезистентности двустворчатых моллюсков *Unio pictorum* по кардиоактивности // Труды Института биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН. 2020. № 89 (92). С. 50–57. <https://doi.org/10.24411/0320-3557-2020-10005> EDN: SLAEIS
- [20] Rodland D.L., Schöne B.R., Baier S., Zhang Z., Dreyer W., Page N.A. Changes in gape frequency, siphon activity and thermal response in the freshwater bivalves *Anodonta cygnea* and *Margaritifera falcata* // Journal of Molluscan Studies. 2009. Vol. 75. No. 1. P. 51–57. <https://doi.org/10.1093/mollus/eyn038>
- [21] Тяняшин В.И., Зимин А.А., Шляпников М.Г., Боронин А.М. Трансдукция детерминант антибиотикорезистентности плазмид псевдо-Т-четными бактериофагами // Генетика. 2003. Т. 39. № 7. С. 914–926. EDN: OPSGLF
- [22] Тяняшин В.И., Зимин А.А., Боронин А.М. Котрансдукция плазмид системы рЕТ мутантами бактериофагов Т4 и RB43 // Микробиология. 2003. Т. 72. № 6. С. 785–791. EDN: OOGJER

References

- [1] Voigt E, Rall BC, Chatzinotas A, Brose U, Rosenbaum B. Phage strategies facilitate bacterial coexistence under environmental variability. *PeerJ*. 2021;9:e12194. <https://doi.org/10.7717/peerj.12194> EDN: LNUOPQ
- [2] Rogovski P, Cadamuro RD, da Silva R, de Souza EB, Bonatto C, Viancelli A, et al. Uses of bacteriophages as bacterial control tools and environmental safety indicators. *Frontiers in Microbiology*. 2021;12:793135. <http://10.3389/fmicb.2021.793135> EDN: GCTNTM
- [3] Arredondo-Hernandez LJR, Diaz-Avalos C, Lopez-Vidal Y, Castillo-Rojas G, Mazari-Hiriart M. FRNA bacteriophages as viral indicators of faecal contamination in Mexican tropical aquatic systems. *PLoS One*. 2017;12(1):e0170399. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170399>
- [4] Karmanova AN, Zimin AA. Experimental model for study bacteriophage bioaccumulation by a bivalve *Unio pictorum* (L.1758). *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1701:012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1701/1/012012> EDN: EHNZSR
- [5] Ayala R, Street M, Moissenko A, Kulikov E, Kuznetsov A, Sokolova OS, et al. Reconstruction of the entire RB43 bacteriophage by single particle cryo-EM. *Microscopy and Microanalysis*. 2023;29(S1):928-929. <https://doi.org/10.1093/micmic/ozad067.460> EDN: CHZWQY
- [6] Almeida GMF, Laanto E, Ashrafi R, Sundberg LR. Bacteriophage adherence to mucus mediates preventive protection against pathogenic bacteria. *mBio*. 2019;10(6):e 01984-19. <https://doi.org/10.1128/mbio.01984-19>

- [7] Fraser JS, Yu Z, Maxwell KL, Davidson AR. Ig-like domains on bacteriophages: a tale of promiscuity and deceit. *Journal of Molecular Biology*. 2006;359(2):496–507. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2006.03.043> EDN: MIKGLH
- [8] Sathaliyawala T, Islam MZ, Li Q, Fokine A, Rossmann MG, Rao VB. Functional analysis of the highly antigenic outer capsid protein, Hoc, a virus decoration protein from T4-like bacteriophages. *Molecular Microbiology*. 2010;77(2):444-455. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2010.07219.x> EDN: MYEMEN
- [9] Barr JJ, Auro R, Furlan M, Whiteson KL, Erb ML, Pogliano J, et al. Bacteriophage adhering to mucus provide a non-host-derived immunity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2013;110(26):10771–10776. <https://doi.org/10.1073/pnas.1305923110>
- [10] Zimin AA, Nikulina AN, Nikulin NA, Xia H, Lu Y, Osepchuk DV, et al. Homologs of the Major antigen of bacteriophage RB30 from compost methagenome. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2022;97:(4):215–227. (In Russ.) <https://doi.org/10.21515/1999-1703-97-215-227> EDN: AEKWRF
- [11] Zimin AA, Mikoulskaia GV, Nigmatullina LR, Nazipova NN. Comparative analysis of individual domains of Hoc proteins in subfamily *Teequatrovirinae* bacteriophages. *Mathematical Biology and Bioinformatics*. 2018;13(Suppl.):t39-t58. <https://doi.org/10.17537/2018.13.t39> EDN: VRPDFU
- [12] Wu J, Fu K, Hou C, Wang Y, Ji C, Xue F, Ren J, Dai J, Barr JJ, Tang F. Bacteriophage defends murine gut from *Escherichia coli* invasion via mucosal adherence. *Nature Communications*. 2024;15:4764. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48560-2> EDN: QUYWHY
- [13] Bulavina MK, Abashina TN, Suzina NE, Polivtseva VN, Zimin AA. Bioaccumulation of bacteriophages T4 and RB43 by freshwater bivalvesmolluscs in sterile aquarium water. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(1):7–20. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-7-20> EDN: AEMDOT
- [14] Wang L, Song J, Bi H, Gray M, Fan C, Liu M, et al. Adaptive feeding in the American oyster *Crassostrea virginica*: complex impacts of pulsatile flow during pseudofecal ejection events. *Limnology and Oceanography*. 2020;65(9):2010-2023. <https://doi.org/10.1002/lno.11433> EDN: VUZWMS
- [15] Fokine A, Islam MZ, Fang Q, Chen Z, Sun L, Rao VB. Structure and function of Hoc-a novel environment sensing device encoded by T4 and other bacteriophages. *Viruses*. 2023;15(7):1517. <https://doi.org/10.3390/v15071517> EDN: EUGPIG
- [16] Qin L, Fokine A, O'Donnell E, Rao VB, Rossmann MG. Structure of the small outer capsid protein, Soc: a clamp for stabilizing capsids of T4-like phages. *Journal of Molecular Biology*. 2010;395(4):728-741. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2009.10.007> EDN: MZUBKB
- [17] Bastos P, Fracalossi DM, Chimal ME, Sánchez A, Rosas C. Digestive enzymes and timing of digestion in *Octopus vulgaris* type II. *Aquacult Rep*. 2020;16:100262. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100262> EDN: HRFZIE
- [18] Anestis A, Pörtner HO, Karagiannis D, Angelidis P, Staikou A, Michaelidis B. Response of *Mytilus galloprovincialis* (L.) to increasing seawater temperature and to martellosis: metabolic and physiological parameters. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2010;156(1):57–66. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2009.12.018> EDN: YVOKVJ
- [19] Verbitsky VB, Sharov AN, Kholodkevich SV. Determination of the bivalve *Unio pictorum* critical temperature maximum by cardioactivity. *Transactions of Papanin institute for biology of inland waters RAS*. 2020;89:50–57. (In Russ.) <http://10.24411/0320-3557-2020-10005> EDN: SLAEIS

- [20] Rodland DL, Schöne BR, Baier S, Zhang Z, Dreyer W, Page NA. Changes in gape frequency, siphon activity and thermal response in the freshwater bivalves *Anodonta cygnea* and *Margaritifera falcata*. *Journal of Molluscan Studie*. 2009;75(1):51–57. <https://doi.org/10.1093/mollus/eyn038>
- [21] Tanyashin VI, Zimin AA, Shlyapnikov MG, Boronin AM. Transduction of plasmid antibiotic resistance determinants with pseudoT-even bacteriophages. *Russian Journal of Genetics*. 2003;39(7):761–772. (In Russ.) EDN: OPSGLF
- [22] Tanyashin VI, Zimin AA, Boronin AM. The cotransduction of pET system plasmids by mutants of T4 and RB43 bacteriophages. *Microbiology*. 2003;72(6):694–700. (In Russ.). EDN: OOGJER

Сведения об авторах:

Булавина Мария Константиновна, аспирант, ФГБУ «НМИЦК им. ак. Е.И. Чазова» Минздрава России, Российская Федерация, 121552, г. Москва, ул. Академика Чазова, д. 15а. ORCID: 0009-0005-2361-8975; eLIBRARY SPIN-код: 6064-5938. E-mail: ruffusramone@yandex.ru

Назипова Нафиса Наилевна, кандидат физико-математических наук, Институт математических проблем биологии РАН — филиал института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, лаборатория биоинформатики, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, ул. Профессора Виткевича, д. 1. ORCID: 0000-0003-0162-7967; eLIBRARY SPIN-код: 9748-7520. E-mail: nafisa.nazipova@gmail.com

Зимин Андрей Антонович, кандидат биологических наук, Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, ФИЦ Пушкинский научный центр биологических исследований РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, Институтская улица, д. 5. ORCID: 0000-0003-0578-9963; eLIBRARY SPIN-код: 3598-9078. E-mail: dr.zimin8@yandex.ru

Bio notes:

Maria K. Bulavina, Postgraduate Student, Federal State Budgetary Institution “National Medical Research Centre of Cardiology Named After Academician E.I. Chazov” of the Ministry of Health of the Russian Federation. 15a Akademika Chazova St, Moscow, 121552, Russian Federation. ORCID: 0009-0005-2361-8975; eLIBRARY SPIN-code: 6064-5938. E-mail: ruffusramone@yandex.ru

Nafisa N. Nazipova, Ph.D. in Physics and Mathematics, Institute of Mathematical Problems of Biology RAS, Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences, Bioinformatics Laboratory. 1 Vitkevich St, Pushchino, Moscow Region, 142290, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0162-7967; eLIBRARY SPIN-code: 9748-7520. E-mail: nafisa.nazipova@gmail.com

Andrey A. Zimin, Ph.D. in Biology, G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms RAS, Federal Research Center Pushchino Scientific Center for Biological Research, Russian Academy of Sciences, 5 Institutskaya St, Pushchino, Moscow Region, 142290, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0578-9963; eLIBRARY SPIN-code: 3598-9078. E-mail: dr.zimin8@yandex.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-26-36

EDN: YXYIFE

УДК 581.95+581.5

Научная статья / Research article

Новые местонахождения редкого вида *Ostrya carpinifolia* Scop. на Западном Кавказе

И.В. Руденко¹, Н.А. Пикалова², А.М. Алейникова¹¹Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация²Кубанский государственный университет, Краснодар, Российская Федерацияrudenkoilya706@gmail.com

Аннотация. Приведены результаты исследования ареала редкого вида хмелеграба обыкновенного *Ostrya carpinifolia* Scop. Помимо уточнения данных о произрастании вида в известных местообитаниях на Скалистом и Пастбищном хребтах обнаружено две популяции, ранее не указанные в литературных источниках. Одна из них представлена единичными особями на каменистых склонах хр. Шахан. Вторая популяция, самая крупная из известных на Западном Кавказе, обнаружена на Черноморском хребте, на высоте более 800 м над ур. м. Зафиксировано 107 экз., диаметр ствола на высоте 1,3 м достигает 46 см. Данная территория выступает рефугиумом для *O. carpinifolia* на Западном Кавказе. Необходимо оперативное введение в научный оборот данных о новых местонахождениях редкого вида для подготовки четвертого издания Красной книги Краснодарского края и продолжение мониторинга популяций для выработки стратегии сохранения редкого вида в естественных условиях.

Ключевые слова: флора, Красная книга, редкие растения, сосудистые растения, Скалистый хребет, флористические находки, эндемы

Вклад авторов. Руденко И.В. — концептуализация, формальный анализ, проведение исследования, создание черновика рукописи. Пикалова Н.А. — методология, проведение исследования. Алейникова А.М. — визуализация. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

Благодарности и финансирование. Авторы выражают признательность В.В. Крыленко и М.В. Крыленко за помощь в организации и проведении экспедиционных исследований.

История статьи: поступила в редакцию 19.09.2025; доработана после рецензирования 14.10.2025; принята к публикации 26.11.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Руденко И.В., Пикалова Н.А., Алейникова А.М. Новые местонахождения редкого вида *Ostrya carpinifolia* Scop. на Западном Кавказе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 26–36. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-26-36> EDN: YXYFFE

New Locations of a Rare Species *Ostrya carpinifolia* Scop. in the Western Caucasus

Илья В. Руденко¹, Natalia A. Pikalova², Anna M. Aleynikova¹

¹RUDN University

²Kuban State University

rudenkoilya706@gmail.com

Abstract. The research presents the results of a range study of the rare hop hornbeam species *Ostrya carpinifolia* Scop. In addition to clarifying data on the species' growth in known habitats, two populations previously unreported were discovered on the Skalisty and Pastbishchny Ridges. One of these populations consists of isolated individuals on the rocky slopes of the Shakhan Ridge. The second population, the largest known in the Western Caucasus, was discovered on the Chernomorsky Ridge, at an altitude of over 800 m above sea level. A total of 107 specimen were recorded, with a trunk diameter of up to 46 cm at an altitude of 1.3 m. This area serves as a refugium for *O. carpinifolia* in the Western Caucasus. It is necessary to promptly introduce data on new locations of this rare species into scientific circulation to prepare the fourth edition of the Red Data Book of the Krasnodar region and to continue monitoring the populations to develop a conservation strategy for this rare species in the wild.

Keywords: flora, Red Data Book, rare plants, vascular plants, Skalisty Ridge, floristic finds, endemic species

Acknowledgements and Funding. The authors are grateful to V.V. Krylenko and M.V. Krylenko for their help in organizing and conducting the field research.

Authors' contribution. I.V. Rudenko — conceptualization, formal analysis, investigation, writing — original draft. N.A. Pikalova — methodology, investigation. A.M. Aleynikova — visualization. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Article history: received 19.09.2025; revised 14.10.2025; accepted 26.11.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Rudenko IV, Pikalova NA, Aleynikova AM. New locations of a rare species *Ostrya carpinifolia* Scop. in the Western Caucasus. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):26–36. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-26-36> EDN: YXYFFE

Введение

В пределах северного макросклона Большого Кавказа субпараллельно Главному Кавказскому хребту простирается Скалистый хребет. Западная его часть разделена на массивы реками, такими как Белая, Малая и Большая Лаба, Уруп, Большой Зеленчук. Абсолютные высоты на данном участке достигают

1751 м (г. Больше, бассейн р. Большой Зеленчук). Сложен Скалистый хребет преимущественно мощными толщами осадочных пород юрского и мелового периода: известняками, доломитами, мергелями, песчаниками и глинистыми сланцами (рис. 1). Для хребта характерны карстовые процессы, распространены пещеры [1].



Рис. 1. Скалистый хребет, бассейн р. Уруп, южный край массива Большой Шелох
Источник: фото выполнено И.В. Руденко.

Рельеф Скалистого хребта представлен куэстами: южный склон очень крутой (до $50\text{--}60^\circ$ и более), обрывистый, часто формирует скальные стены высотой в сотни метров; северный склон пологий, длинный, ступенчатый, сложен моноклинально залегающими пластами пород [2]. Скалистый хребет выполняет роль важного климатического барьера за счет резкого контраста увлажнения склонов, имеет большое значение как водораздел, источник пресной воды, район с высоким биологическим и ландшафтным разнообразием, а также рекреационный объект.

Южные склоны представлены скальными обнажениями и осыпями с фрагментарной растительностью. На северных и восточных склонах, а также на выровненных участках зональным типом растительности выступают широколиственные леса с преобладанием дуба, бука, граба, клена. Довольно большие площади занимают среднегорные и низкогорные луга, большей ча-

стью остепненные с отдельными участками горных степей [3]. Согласно ботанико-географическому районированию Ю.Л. Меницкого, граница Западного Кавказа проходит по западным отрогам Большого Кавказа, восточная — по Кубано-Терскому и Кубано-Кумскому водоразделам, южная — по водоразделу Главного Кавказского хребта, а северная — по предгорьям от ст. Варениковской до Курсавки [4].

Цель исследования — дополнение имеющейся информации об ареале редкого и охраняемого *O. carpinifolia* на Западном Кавказе для сохранения вида в естественных условиях.

Материалы и методы

Материал собран в 2023–2025 гг. в ходе экспедиционных исследований в весенне-летний период на территории Краснодарского края, Республики Адыгея и Карачаево-Черкесской Республики. Исследования проводились в среднегорном поясе Западного Кавказа, по большей части на Скалистом хребте. Пешеходными маршрутами охвачена вся западная часть исследуемого хребта от бассейна р. Белой до р. Большой Зеленчук. Также исследованы Пастбищный хребет (бассейны рек Белая, Большая и Малая Лаба, Уруп), Передовой хребет (горы Большой и Малый Тхач, Западный и Восточный Ачешбок, Малые Бамбаки, балка Капустина), Главный Кавказский хребет (г. Фишт) (рис. 2).

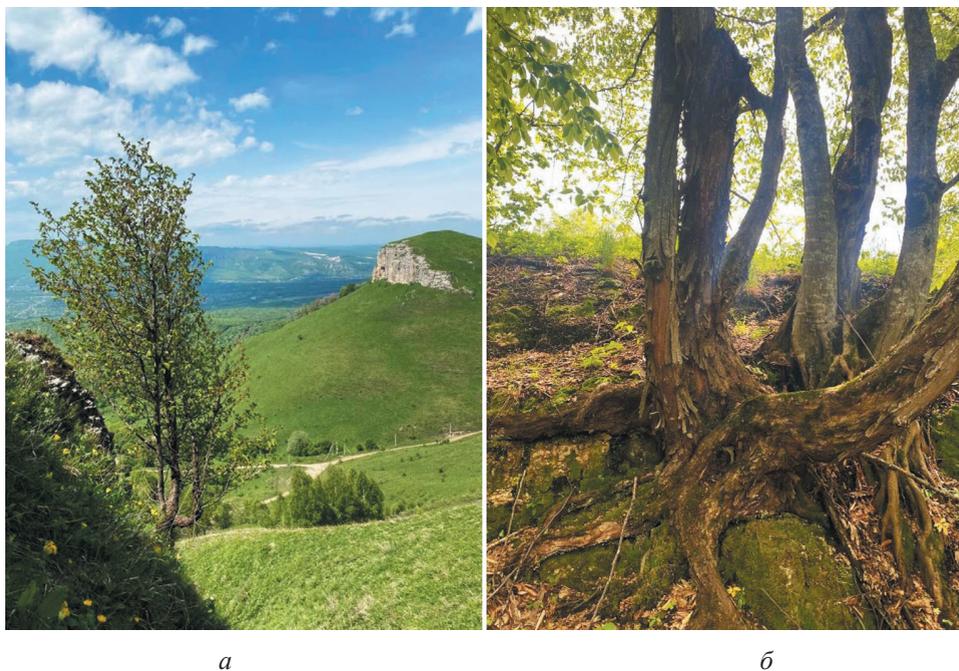


Рис. 2. Места произрастания *O. carpinifolia* на Западном Кавказе:
а — Скалистый хребет, Шахан 2-й, участок под скальной поверхностью останца;
б — Пастбищный хребет, лесное сообщество с доминированием *Fagus orientalis*

Источник: фото выполнено И.В. Руденко.

Для обнаруженных особей измерен диаметр ствола на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$) с точностью до целых см [5], указана численность и особенности местообитаний. При подготовке публикации проанализированы материалы цифрового гербария Московского государственного университета (MW), гербария Кубанского государственного университета, онлайн-ресурсов «Плантариум»¹ и iNaturalist². Фотографии обнаруженных растений с точными координатами и диапазоном точности геопривязки размещены в открытом доступе на портале iNaturalist в формате наблюдений и экспортируются в глобальную информационную систему о биоразнообразии GBIF [6].

Результаты и обсуждение

Ostrya carpinifolia Scop. (1771) — хмелеграб обыкновенный: кустарник или листопадное древесное растение с яйцевидно-продолговатыми листочками (рис. 3), достигающее 25 м в высоту [7]. Предпочитает скалы, произрастает на известняковых субстратах, хорошо переносит сухость почвы, встречается на лесных опушках и каменистых склонах.



а



б

Рис. 3. Генеративные органы *Ostrya carpinifolia*, Черноморский хребет, окр. ст. Ахметовской: а — сережковидные соцветия; б — соплодия

Источник: фото выполнено Н.А. Пикаловой.

¹ Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. URL: www.plantarium.ru (дата обращения: 10.09.2025).

² iNaturalist. URL: https://www.inaturalist.org/observations?iconic_taxa=Plantae&nelat=44.34196546313074&nelng=41.519702433681914&subview=map&swlat=43.95174348348722&swlng=39.885486125088164&taxon_id=334194&verifiable=any (accessed: 31.08.2025).

Относится к древним видам, спорадично распространен, ограниченное распространение обусловлено стенотопностью и узкой экологической валентностью. Сравнительно крупные скопления образует до 300 м над ур. м., выше обычно встречается единично, чаще всего произрастает в сообществах дуба, ясеня, граба и бука [8].

Согласно некоторым данным, таксон относят к третичным реликтам [9; 10]. Мы же разделяем точку зрения А.Г. Еленевского, В.И. Радыгиной и А.С. Зернова: реликтовый вид — это исторический компонент флоры, ареал которого сильно удален от близких видов и для которого наблюдается несоответствие современных условий его потребностям [11; 12]. С одной стороны, другие сохранившиеся до настоящего времени виды *Ostrya* территориально удалены от Кавказа: *O. virginiana* (Mill.) K. Koch распространен в Америке, *Ostrya trichocarpa* D. Fang & Y.S. Wang и *Ostrya rehderiana* Chun в Китае, *Ostrya japonica* Sarg. в Японии, Китае и Корее. Но, с другой стороны, к роду *Ostrya* Scop. близки роды *Carpinus* L. и *Corylus* L., которые широко распространены на Кавказе (причем *Carpinus* и *Ostrya* различаются лишь по строению плюски) [12]. Таким образом, род *Ostrya* не является реликтом, а характеризуется как древний вид, поскольку имеет арктотретичное происхождение.

Таксон описан в Италии, встречается в Малой Азии, Восточном Средиземноморье, на Кавказе [9]. В Российской Федерации встречается на Северном Кавказе и Черноморском побережье, от Туапсе до р. Псоу [13]. На Западном Кавказе охраняется на региональном и федеральном уровнях, включен в Красную книгу Российской Федерации (2024) с природоохранным статусом 2 И – сокращающийся в численности и/или распространении вид, исчезающий, по шкале МСОП EN B2ab(iii,iv,v), в Красном списке МСОП – LC и III приоритетом природоохранных мер [7], Красную книгу Краснодарского края (2017) со статусом 2 ИС «Исчезающие» [14], Республики Адыгея (2023) 1 Б, находящийся под угрозой исчезновения [15], Карачаево-Черкесии (2024) 2 а, сокращающийся в численности вид, имеющий узколокальное распространение в регионе [16].

На произрастание *O. carpinifolia* в границах Западного Кавказа указывают несколько источников. В Конспекте Флоры Кавказа отмечен для Бело-Лабинского и Уруп-Тебердинского р-нов Западного Кавказа [4]. А.С. Зернов указывает в границах Абинского и Майкопского флористических р-нов Северо-Западного Кавказа [8], а также в Джегутинском и Учкуланском (без подтверждения) р-нах Карачаево-Черкесской Республики [17]. Произрастание таксона в Бело-Лабинском р-не Западного Кавказа и Майкопском р-не Северо-Западного Кавказа подтверждается гербарными сборами в Республике Адыгея – окр. с. Хамышки (MW0659981) и хр. Пшекиш (MW0659982). Нахождение в Уруп-Тебердинском р-не Западного Кавказа и Джегутинском р-не Карачаево-Черкесской Республики подтверждается гербарными сборами А.С. Зернова, южный склон Пастбищного хребта, между пос. Усть-Джегута

и пос. Новая Дзегута (MW0659988), а также в Краснодарском крае, р. Уруп, окр. х. Ильич (MW1006250). В Красной книге Краснодарского края на Западном Кавказе таксон отмечен для г. Джуга, г. Фишт, г. Хрустальная, руч. Водопадный, балки Капустина и хр. Герпегем (Скалистый хребет) [14]. В Красной книге Республики Адыгея на Западном Кавказе *O. carpinifolia* приводится для г. Большой Тхач; г. Фишт; хр. Азиш-Тау, плато Лаго-Наки; долины рек Дах и Цица; Скалистого хр., хр. Уна-Коз, окр. п. Каменноостского, ст. Даховской, п. Победа [15].

Исходя из типичных мест произрастания, маршруты были запланированы по Скалистому хребту от п. Каменноостского до р. Большой Зеленчук. Кроме того, были исследованы известные и потенциально возможные места произрастания таксона на сопредельных территориях: на Пастбищном, Передовом и Главном Кавказском хребтах. Общая протяженность пешеходных маршрутов превысила 500 км. Указанные местонахождения приведены с запада на восток, номер точки наблюдения на карте соответствует номеру указанного в тексте местообитания.

В соответствии с проведенными исследованиями на г. Фишт, г. Большой Тхач и в балке Капустина не удалось обнаружить *O. carpinifolia*. Несмотря на то, что хмелеграб – это древесное растение, он произрастает обычно в труднодоступных местах, чаще всего на скалах, останцах и в трещинах.

Популяции *O. carpinifolia* в известных местах произрастания

1) Р. Адыгея, хр. Азиш-Тау, юго-восточный склон, 44°7'11.028» с.ш. 40°1'59.484» в.д., граница леса *Abies nordmanniana* (Steven) Spach и *Fagus orientalis* Lipsky, над каменистым склоном, 1532 м над ур. м., 23.V 2025, 9 экз. с диаметром ствола от 9 до 24 см (рис. 4).

2) Р. Адыгея, хр. Азиш-Тау, Ведьмин холм, над пещерой Нежной, 44°9'25.920» с.ш. 40°4'25.752» в.д., каменистый склон, 1351 м над ур. м., 4.VII 2024, 12 экз. с диаметром ствола от 8 до 16 см.

3) Р. Адыгея, хр. Скалистый, хр. Уна-Коз, южный склон, 44°14'21.480» с.ш. 40°14'14.820» в.д., на скалах и останцах, 993 м над ур. м., 5.VII 2024, 24.V 2025. Исследован участок хр. Уна-Коз от п. Каменноостский до п. Победа, всего зафиксировано 23 экз. Из них 6 единичных особей между п. Каменноостский и ст. Даховской, на скалах над склоном, диаметр ствола до 14 см. Также отмечена популяция из 17 экз. вблизи скалы Чёртов палец с $d_{1,3}$ от 9 до 18 см. В последние годы скала набрала популярность у туристов, особенно после открытия канатной дороги на хр. Уна-Коз в 2014 г. Поскольку тропа узкая и за деревья удобно держаться, чтобы добраться до смотровой площадки, произрастающие вблизи тропы на останец деревья находятся в угнетенном состоянии. Здесь также отмечено 4 взрослых погибших *O. carpinifolia* с диаметром ствола от 14 до 19 см.

4) Краснодарский край, хр. Скалистый, хр. Герпегем, юго-западный склон, 44°8'14.748» с.ш. 40°44'49.848» в.д., в трещинах между скалами и на скалах, 1165 м над ур. м., 4.VII 2024, 3 экз. с диаметром ствола 6–15 см.

5) Краснодарский край, Отрадненский р-н, северный макросклон Скалистого хребта, скала Утюг, юго-западная экспозиция склона, 44°3'45.144» с.ш. 41°20'32.136» в.д., на скале, 772 м над ур. м., 23.VI 2024, обнаружил В.В. Крыленко в совместной с авторами экспедиции³, 1 экз. с диаметром ствола 11 см [18].

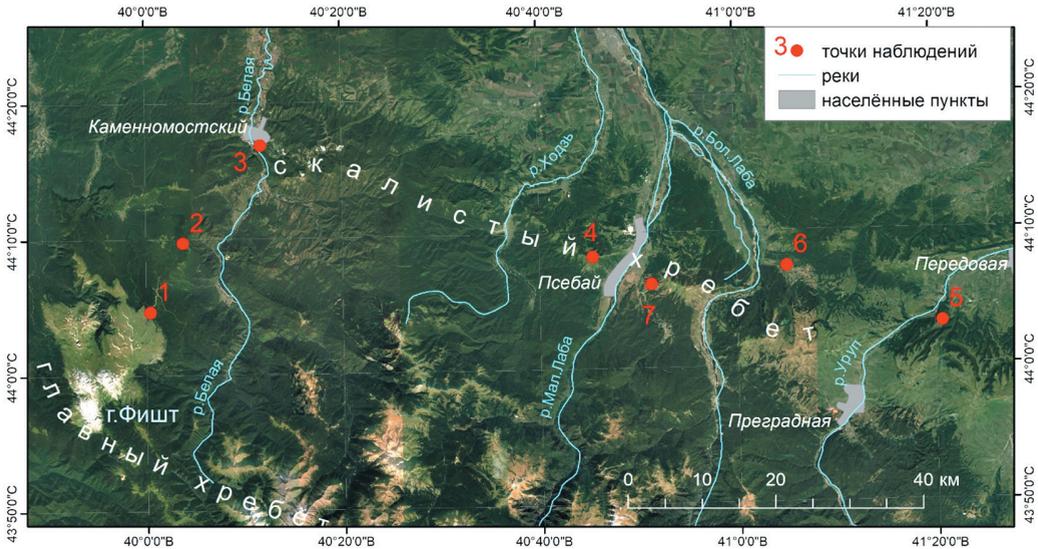


Рис. 4. Карта местообитаний *O. carpinifolia* в районе исследования

Источник: составлено А.М. Алейниковой с использованием спутниковых снимков Landsat.
 URL: <https://science.nasa.gov/mission/landsat/> (accessed: 31.08.2025).

Новые местонахождения *O. carpinifolia* на Западном Кавказе

6) Краснодарский край, Лабинский р-н, хр. Пастбищный, хр. Черноморский, 44°7'11.712» с.ш. 41°6'3.672» в.д., в лесу *Fagus orientalis* и на опушке, южная, юго-восточная и восточная экспозиция склона, над оз. Круглое, 833 м над ур. м., 14.VII 2024, 107 экз. Согласно проанализированным данным, это крупнейшая популяция из известных на Западном Кавказе. В данном биотопе *O. carpinifolia* выступает эдификатором вместе с *Fagus orientalis*, произрастает на известняковом склоне и в ущельях над озером, наиболее крупные деревья отмечены в лесу, диаметр ствола достигает 46 см (у самых больших экземпляров $d_{1,3} = 46, 35$ и 31 см). На лесной опушке зафиксировано 38 деревьев, остальные 69 произрастают в лесу, на склоне над озером. Обнаруженные особи по диаметру ствола разделены на 7 интервалов (рис. 5): 1-й интервал — 3–4 см (10 экз.), 2-й интервал — 5–9 см (9 экз.), 3-й интервал — 10–14 см (36 экз.), 4-й интервал — 15–19 см (15 экз.), 5-й интервал — 20–24 см (21 экз.), 6-й интервал — 25–29 см (13 экз.), 7-й интервал — более 30 см (3 экз.).

³ iNaturalist. URL: <https://www.inaturalist.org/observations/226444701> (accessed: 31.08.2025).

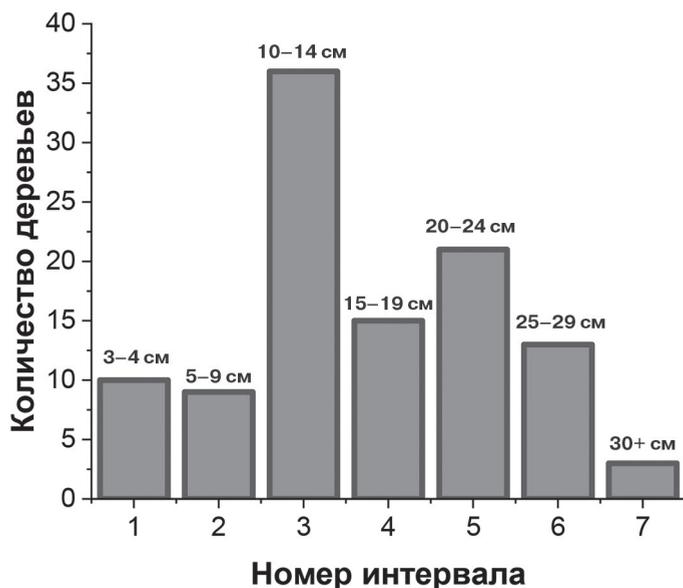


Рис. 5. Распределение количества особей *O. carpinifolia* на Черноморском хр. в зависимости от диаметра ствола на высоте 1,3 м

Источник: составлено И.В. Руденко, Н.А. Пикаловой, А.М. Алейниковой.

Из диаграммы (рис. 5) видно, что наибольшее число особей имеет диаметр ствола 10–14 см и 20–24 см. Причем, по нашим данным, крупные деревья (20+ см) распространены в лесу на склоне, а особи поменьше (до 20 см) в основном произрастают в ущельях и на опушке, где конкуренция ниже. Отдельно следует отметить, что указанная популяция зафиксирована на известняковом склоне на высоте более 800 м над ур. м., хотя обычно крупные скопления *O. carpinifolia* фиксируются до 300 м [8]. Обнаруженная популяция находится в границах памятника природы регионального значения «Озеро Круглое», однако в материал комплексного экологического обследования территории при учреждении ООПТ вид не включен [19].

7) Краснодарский край, Мостовской р-н, хр. Скалистый, хр. Шахан: 44°6'29.124» с.ш. 40°53'4.164» в.д., Шахан 2-й, западная экспозиция склона, в трещинах на каменистом склоне, 1149 м над ур. м., 10.V 2025, 6 экз. с диаметром ствола от 6 до 13 см; Шахан 3-й, юго-западная экспозиция склона, 44°6'13.428» с.ш. 40°53'24.936» в.д., под скальной поверхностью останца, на скалах, 1097 м над ур. м., 17.VII 2025, 3 экз. с диаметром ствола 7, 7 и 18 см. В данном биотопе *O. carpinifolia* облюбовал останцы, трещины и крутые каменистые склоны, представлен низкорослыми одиночными деревьями. Другие древесные таксоны встречаются только в низинах под скалами. На скальных обнажениях и в трещинах 2-го и 3-го Шаханов преобладают *Rhamnus erythroxylodes* Hoffmanns., *Astragalus somcheticus* K. Koch, *Seseli petraeum* M. Bieb., *Echinops sphaerocephalus* L., *Campanula pendula* M. Bieb., *Scrophularia rupestris* M. Bieb. ex Willd., *Juniperus communis* L. и др.

Заключение

Проведенные исследования позволяют обобщить и дополнить ареал *O. carpinifolia* на Западном Кавказе. Помимо уточнения данных о произрастании вида в известных местообитаниях, на Скалистом хребте обнаружено две популяции, ранее не указанные в литературных источниках. Одна из них представлена 9 экз. на каменистых склонах хр. Шахан. Как и во всех ранее известных местах произрастания, здесь *O. carpinifolia* приурочен к известняковым склонам, единично встречается на скалах и в трещинах. Вторая популяция обнаружена на Черноморском хребте, в границах памятника природы регионального значения «Озеро Круглое». Это самая крупная популяция из известных на Западном Кавказе, в которой отмечено 107 экз. на высоте более 800 м над ур. м. Данная территория выступает рефугиумом для *O. carpinifolia* на Западном Кавказе. Необходимо оперативное введение в научный оборот данных о новых местонахождениях редкого вида для подготовки четвертого издания Красной книги Краснодарского края и продолжение мониторинга популяций для сохранения редкого вида в естественных условиях.

Список литературы

- [1] Гвоздецкий Н.А., Голубчиков Ю.Н. Горы. Москва : Мысль, 1987. 400 с.
- [2] Думитришко Н.В., Антонов Б.А., Ширинов Н.Ш. Общая характеристика и история развития рельефа Кавказа. Москва : Наука, 1977. 288 с.
- [3] Шифферс Е.В. Растительность Северного Кавказа и его природные кормовые угодья. Москва ; Ленинград : Изд-во Акад. наук СССР, 1953. 400 с.
- [4] Тахтаджян А.Л. Конспект флоры Кавказа : в 3 томах. Т. 3, ч. 1. Санкт-Петербург; Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2008. 458 с.
- [5] Атрохин В.Г. Лесоводство и дендрология. Москва : Лесная промышленность, 1982. 368 с.
- [6] Серегин А.П., Бочков Д.А., Шнер Ю.В. и др. «Флора России» на платформе iNaturalist: большие данные о биоразнообразии большой страны // Журнал общей биологии. 2020. Т. 81. № 3. С. 223–233. EDN: HMETBS
- [7] Тимухин И.Н., Туниев Б.С. Хмелеграб обыкновенный *Ostrya carpinifolia* Scop. // Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [и др.] ; отв. ред.: д-р биол. наук Д. В. Гельтман. 2-е офиц. изд. Москва : ВНИИ «Экология», 2024. С. 159–160.
- [8] Зернов А.С. Флора Северо-Западного Кавказа. Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2006. 664 с.
- [9] Туниев Б.С., Тимухин И.Н., Алиев Х.У. Хмелеграб обыкновенный (*Ostrya carpinifolia*, Betulaceae) — живое ископаемое Армении // Ботанический вестник Северного Кавказа. 2016. № 4. С. 41–48. EDN: YMVSPU
- [10] Малеев В.П. Третичные реликты во флоре Западного Кавказа и основные этапы четвертичной истории его флоры и растительности // Материалы по истории флоры и растительности СССР. Вып. 1. Москва ; Ленинград : Изд-во Академии наук СССР, 1941. С. 61–144.

- [11] Еленевский А.Г., Радыгина В.И. О понятии «реликт» и реликтомании в географии растений // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. Москва : Изд-во Московского Университета, 2002. Т. 107. Вып. 3. С. 39–49.
- [12] Зернов А.С. Опыт анализа колхидского флористического комплекса в Северо-Западном Закавказье // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2002. Т. 107. № 3. С. 50–57.
- [13] Маслов Д.А. Оценка состояния популяций хмелеграба обыкновенного (*Ostrya carpinifolia* Scop.) на Северном Кавказе // Социально-экономические проблемы развития курортов России. Сочи : Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сочинский научно-исследовательский центр Российской академии наук (Сочи), 2015. С. 152–154. EDN: WYPQHF
- [14] Маслов Д.А. Хмелеграб обыкновенный *Ostrya carpinifolia* Scop. // Красная книга Краснодарского края. Краснодар, 2017. С. 170–171.
- [15] Толстикова Т.Н. Хмелеграб обыкновенный *Ostrya carpinifolia* Scop. // Красная книга Республики Адыгея. Ч. 1 : Растения и грибы / авторы-составители очерков: А. И. Абазова и др. Майкоп : Майкопский государственный технологический университет, 2023. С. 113–114.
- [16] Зернов А.С. Хмелеграб обыкновенный *Ostrya carpinifolia* Scop. // Красная книга Карачаево-Черкесской Республики. Черкесск : Нартиздат, 2024. С. 334.
- [17] Зернов А.С., Алексеев Ю.Е., Онинченко В.Г. Определитель сосудистых растений Карачаево-Черкесской Республики. Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2015. 576 с. EDN: YTPSGQ
- [18] Руденко И.В., Криворотов С.Б., Пикалова Н.А. Новые и редко встречающиеся в Краснодарском крае виды сосудистых растений в окрестностях х. Ильич (Отраденский район) // Естественные и технические науки. 2024. № 8 (195). С. 81–91. EDN: WEGEZW
- [19] Литвинская С.А. Заповедная природа Кубани. Т. 2 : Природные парки, рекреационные зоны, памятники природы. Белгород : Общество с ограниченной ответственностью «КОНСТАНТА», 2023. 456 с.

Сведения об авторах:

Руденко Илья Владимирович, ассистент, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, Москва, Подольское шоссе, д. 8/5. ORCID: 0000-0001-6688-1945; eLIBRARY SPIN-код: 6982-0232. E-mail: rudenkoilya706@gmail.com

Пикалова Наталья Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент, Институт географии, геологии, туризма и сервиса, Кубанский государственный университет, Российская Федерация, 350040, Краснодар, Ставропольская ул., д. 149. ORCID: 0000-0003-2438-6457; eLIBRARY SPIN-код: 9052-0687. E-mail: pna678@mail.ru

Алейникова Анна Михайловна, кандидат географических наук, доцент, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, Москва, Подольское шоссе, д. 8/5. eLIBRARY SPIN-код: 6510-1601. E-mail: anshur@mail.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-37-48

EDN: YYUYXN

УДК 504.5

Научная статья / Research article

Авторские инновационные решения по разработке установок и устройств для очистки водных поверхностей от нефтяных загрязнений

М.Х. Ахтямов, В.Д. Катин, М.А. Потетюрин 

*Дальневосточный государственный университет путей сообщений», г. Хабаровск,
Российская Федерация
Potetyurin97@mail.ru*

Аннотация. В условиях нарастающей антропогенной нагрузки и участвовавших в чрезвычайных ситуациях техногенного характера проблема загрязнения водных объектов нефтяными разливами становится одной из наиболее актуальных экологических задач. Аварии при транспортировке и хранении нефтепродуктов приводят к образованию масштабных нефтяных пятен, вызывая гибель водных организмов, деградацию природных экосистем и ухудшение качества жизни населения. Законодательство в области охраны окружающей среды предусматривает регулярный мониторинг водоемов, внедрение инновационных технологий очистки и оперативные меры по ликвидации последствий разливов. В работе проанализированы современные технические решения для сбора и удаления нефтепродуктов с водной поверхности. Представлены усовершенствованные конструкции устройств для реагирования на аварийные ситуации, отличающиеся мобильностью, возможностью тонкой регулировки рабочих параметров и интеграцией цифровых систем контроля заполнения. Эффективность описанных технических средств подтверждена в ходе ликвидации реальных аварий в Дальневосточном регионе, что позволило существенно снизить экологический и экономический ущерб, повысить оперативность реагирования и минимизировать долгосрочные нарушения экосистемы. Внедрение новейших мобильных установок и использование эффективных сорбентов способствует сокращению потерь биоресурсов, снижению затрат на восстановительные работы и обмену опытом между регионами. Полученные результаты подчеркивают важность дальнейшего развития и внедрения инноваций для повышения экологической безопасности и защиты водных ресурсов от нефтяных загрязнений.

Ключевые слова: техногенные чрезвычайные ситуации, разливы нефти и нефтепродуктов, загрязнение гидросферы, очистка акваторий от нефтяных загрязнений, новые устройства для очистки водной поверхности

Вклад авторов. *Ахтямов М.Х.* — ресурсы, верификация данных. *Катин В.Д.* — формальный анализ, научное руководство исследованием. *Потетюрин М.А.* — подготовка черновика рукописи, проведение исследования, администрирование проекта, создание

© Ахтямов М.Х., Катин В.Д., Потетюрин М.А., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

рукописи и ее редактирование. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

История статьи: поступила в редакцию 10.03.2025; доработана после рецензирования 08.08.2025; принята к публикации 18.11.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: *Ахтямов М.Х., Катин В.Д., Потетьурин М.А.* Авторские инновационные решения по разработке установок и устройств для очистки водных поверхностей от нефтяных загрязнений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 37–48. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-37-48> EDN: YYUYXN

Author's innovative solutions for developing installations and devices for cleaning water surfaces from oil pollution

Midhat Kh. Akhtyamov, Viktor D. Katin, Maxim A. Potetyurin 

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Far Eastern State University of Railways, Khabarovsk, Russian Federation

Potetyurin97@mail.ru

Abstract. In the context of increasing anthropogenic load and more frequent man-made emergencies, the problem of pollution of water bodies by oil spills is becoming one of the most urgent environmental tasks. Accidents during transportation and storage of petroleum products lead to the formation of large-scale oil slicks, causing the death of aquatic organisms, degradation of natural ecosystems and deterioration of the quality of life of the population. Environmental legislation provides for regular monitoring of water bodies, implementation of innovative treatment technologies, and operational measures to deal with to spills. The paper analyzes modern technical solutions for collecting and removing petroleum products from the water surface. Improved designs of emergency response devices are presented, characterized by mobility, the ability to fine-tune operating parameters and the integration of digital filling control systems. The effectiveness of the described technical means has been confirmed during the elimination of real accidents in the Far Eastern region, which made it possible to significantly reduce environmental and economic damage, increase the efficiency of response and minimize long-term ecosystem disturbances. The introduction of the latest mobile installations and the use of effective sorbents contribute to reducing the loss of biological resources, reducing the cost of restoration work and exchange experience between regions. The results obtained emphasize the importance of further development and implementation of innovations to improve environmental safety and protect water resources from oil pollution.

Keywords: Man-made emergencies, oil and oil products spills, hydrosphere pollution, cleaning of water areas from oil pollution, new devices for water surface cleaning

Authors' contribution. *M.Kh. Akhtyamov* — resources, data verification. *V.D. Katin* — formal analysis, scientific leadership of the study. *M.A. Potetyurin* — preparation of a draft manuscript, conducting the study, project administration, manuscript creation and editing. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Article history: received 10.03.2025; revised 08.08.2025; accepted 18.11.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Akhtyamov MKh, Katin VD, Potetyurin MA. Author's innovative solutions for development of installations and devices for cleaning water surfaces from oil pollution. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):37–48. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-37-48> EDN: YYUYXN

Введение

В современных условиях антропогенная нагрузка на окружающую среду достигает критических масштабов, что приводит к возникновению экологических угроз в различных секторах жизнедеятельности. Одной из острых и актуальных проблем остается загрязнение водных объектов, обусловленное, прежде всего, аварийными разливами нефти и нефтепродуктов (НиНП). Нефтяные разливы могут возникать в результате отказа технологических систем, неправильной эксплуатации транспортных и резервуарных систем, а также вследствие других обстоятельств. С каждым годом наблюдается рост числа подобных инцидентов, что ставит перед общественными и научными организациями практическую задачу совершенствования методов контроля, предупреждения и ликвидации последствий нефтяных аварий [1; 2].

Особую опасность для гидросферы представляют аварийные разливы НиНП, возникающие в результате техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС), таких как утечки при транспортировке нефти, аварии на нефтепроводах или разрывы емкостей хранения. Наиболее значительными источниками загрязнения являются аварийные разливы на морских и речных акваториях, которые приводят к образованию обширных нефтяных пятен, угрожающих экосистемам. Кроме того, одной из причин загрязнения может быть утечка НиНП при их транспортировке из железнодорожных цистерн. Такие инциденты приводят к негативным экологическим последствиям, включая гибель водных организмов, деградацию экосистем и снижение уровня жизни населения, проживающего вблизи данных территорий.

Кроме того, значительное количество нефтесодержащих продуктов попадает на водную поверхность при их разливе во время транспортировки, например из железнодорожных цистерн [3].

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» является краеугольным камнем в системе регулирования вопросов, связанных с охраной и восстановлением природной среды. Закон содержит комплекс мер, направленных на предупреждение и ликвидацию последствий воздействия вредных веществ на окружающую среду. В его основе лежат принципы устойчивого развития, сохранения природного баланса и рационального использования природных ресурсов.

На практике данный закон требует от субъектов хозяйственной деятельности проведения регулярного мониторинга состояния водных объектов,

применения современных технологий очистки от ННП и введения оперативных мер по ликвидации последствий разливов. Важной составной частью этих мер становится применение инновационных технических решений, направленных на быстрое и качественное устранение загрязнений. Закон закрепляет ответственность как государственных органов, так и частных компаний за своевременное принятие мер в случае аварийных ситуаций, что несомненно способствует сдерживанию экологических катастроф.

История аварий, связанных с разливами нефти, насчитывает множество случаев, когда целые экосистемы подвергались угрозе уничтожения. Причинами таких инцидентов могут быть как естественные катастрофы, так и техногенные аварии. В ходе транспортировки нефти, в частности железнодорожными цистернами, танкерами или трубопроводами, всегда существует риск возникновения утечек в результате механических повреждений, коррозии оборудования или человеческого фактора.

Характеристика примеров техногенных ЧС, связанных с аварийными разливами ННП

Одним из типичных примеров является авария, произошедшая в результате разрыва нефтепровода, которая привела к утечке большого объема нефти в водоем. Несмотря на внедрение систем автоматического контроля и аварийного отключения, человеческий фактор и технологические сбои способны привести к катастрофическим последствиям. Разливы подобного рода не только наносят вред водной флоре и фауне, но и приводят к длительному ухудшению качества воды, что пагубно влияет на здоровье населения.

На Дальнем Востоке нашей страны произошло несколько крупных аварий, связанных с разливами нефти.

Так, в 2021 г. в одном из районов Хабаровского края произошел крупный разлив нефти в районе реки Амур. Вследствие разрыва нефтепровода значительное количество нефти попало в водную систему. Экстренные службы, оперативно приближавшиеся к месту происшествия, были вынуждены провести комплексные мероприятия по локализации разлива, используя барьеры, сорбенты и насосное оборудование. Этот случай потребовал участия множества специалистов, а также значительных материальных затрат. После ликвидации разлива и проведенного анализа его последствий специалисты установили, что восстановление экосистемы реки может занять несколько лет, а также потребуются дополнительные меры по реабилитации пострадавших участков береговой линии.

В Приморском крае возникла аналогичная ЧС, когда авария на одном из нефтехранилищ привела к разливу нефтепродуктов в акваторию бухты Находка. Данный разлив негативно сказался на рыболовстве региона, поскольку загрязненная вода стала непригодной для разведения рыбы и других водных организмов. Национальные и региональные службы ликвидации ЧС внедрили современные методы очистки, используя комбинацию механических устройств,

инновационных сорбентов и химических реагентов для нейтрализации нефтепродуктов. Благодаря оперативным действиям удалось минимизировать масштабы разлива и сократить негативное влияние на близлежащие экосистемы.

Помимо крупных аварий, в Дальневосточном регионе случались и менее масштабные разливы, которые происходили в результате утечек из резервуаров и транспортных средств. Такие случаи нередко фиксируются на водных объектах в прибрежных районах, где небольшие, хотя и локальные, разливы могут складываться с последующими крупными инцидентами, создавая условия для длительного негативного воздействия на природу. Именно поэтому важным аспектом работы аварийных служб является не только ликвидация последствий крупных разливов, но и постоянный мониторинг состояния водных объектов вблизи мест хранения и транспортировки НИПП.

Современные методы ликвидации разливов нефтепродуктов можно разделить на несколько основных категорий, каждая из которых имеет свои особенности и применимость в зависимости от специфики аварии. Основные направления включают [2; 4]:

Механические способы. Эти методы ориентированы на быструю локализацию и сбор разлитой нефти с поверхности воды. Для этого используются специальные барьеры, сорбенты, блокираторы и насосное оборудование. Механические устройства способны за короткий промежуток времени собрать значительное количество загрязнений, что позволяет предотвратить дальнейшее распространение нефти. К таким методам можно отнести использование съемных сеток с датчиками заполнения, которые оперативно дают сигнал о насыщении устройства нефтепродуктами.

Химические методы. Химические реагенты, применяемые для разложения или транспортировки нефтепродуктов, могут использоваться в комплексе с механическими средствами. Эти реагенты способствуют разложению тяжелых фракций нефти, ускоряя процессы ее распада, что облегчает последующее удаление загрязнений. Однако применение химических методов требует тщательного контроля, поскольку сами вещества могут оказывать негативное воздействие на экосистему.

Биоремедиация. Биологические методы очистки основаны на использовании микроорганизмов и растений, способных разлагать нефтепродукты до безвредных соединений. Биоремедиация является экологически чистым методом, однако требует значительного времени для достижения существенного эффекта. Этот метод часто применяется в случаях, когда необходимо восстановление пострадавших участков водоемов с минимальным вмешательством в их природное равновесие. Для ускорения процесса могут использоваться дополнительные ферменты и питательные вещества, стимулирующие рост и активность биологических агентов.

Комбинированные методы. Сочетание и комбинация нескольких методов для достижения наилучшего результата. Например, первоначальная механи-

ческая локализация и сбор ННП может быть дополнена химическими возбудителями разложения и последующей биоремедиацией для полного восстановления водной среды. Такой комплексный подход дает возможность значительно сократить время ликвидации последствий аварии и минимизировать ущерб для экосистемы.

Процесс ликвидации последствий нефтяных разливов условно делится на несколько этапов. На первом этапе осуществляется локализация разлива, что позволяет предотвратить дальнейшее распространение нефтяного пятна. Второй этап включает сбор и извлечение нефтепродуктов с использованием специальных устройств и материалов. На третьем этапе собранные нефтепродукты подвергаются транспортировке и утилизации. Для повышения эффективности каждого этапа применяются разнообразные технические решения, включая использование сорбентов, которые способны аккумулировать нефть на своей поверхности или внутри пористой структуры.

Сорбенты играют важнейшую роль в процессе ликвидации разливов нефти. Универсальный сорбент должен обладать рядом ключевых характеристик, таких как высокая сорбционная способность, надежное удержание нефти в насыщенном состоянии, возможность регенерации, экологическая безопасность, экономическая эффективность и простота в производстве и утилизации. Одним из основных показателей эффективности сорбентов является их нефтеемкость — способность поглощать определенное количество нефти на единицу массы или объема сорбента. Кроме того, важными характеристиками остаются скорость поглощения нефти, удобство транспортировки и возможность использования сорбента непосредственно на месте аварии [4].

На российском рынке представлен широкий спектр сорбентов, которые можно условно разделить на несколько категорий: материалы минерального происхождения, продукты животного или растительного происхождения, а также синтетические материалы и полимеры. Каждая из этих категорий имеет свои особенности и области применения. Например, минеральные сорбенты являются доступными и экономичными, но они уступают синтетическим материалам по нефтеемкости и скорости поглощения. Синтетические сорбенты, в свою очередь, обладают высокой эффективностью, но их производство и утилизация могут быть более затратными.

Запатентованные авторские эффективные устройства для очистки водных поверхностей

Современные тенденции в области ликвидации разливов ННП направлены на создание мобильных и эффективных установок, способных оперативно реагировать на аварийные ситуации. Авторами были предложены инновационные устройства, существенно повышающие эффективность очистки водной поверхности от нефтепродуктов.

Анализ известной конструкции, описанной в патенте № 2788206 «Устройство для очистки водной поверхности», показал целесообразность использо-

вания съемной цилиндрической сетки и системы контроля заполнения для сбора разлившейся нефти [5]. Устройство для удаления загрязнений с поверхности воды имеет следующую структуру. Основу составляет прочная рама 1, позволяющая обеспечить устойчивость всей конструкции. Для поддержания установки на плаву предусмотрен балластный элемент 2, а специальные проушины 3 позволяют легко проводить перемещение и монтаж оборудования. Сбор загрязнителей осуществляется при помощи цилиндрической съемной сетки 4, размещенной внутри защитного корпуса 8. Для контроля наполнения сетки предусмотрен индикатор загрузки 5. Очищенная вода направляется через выходной коллектор 6, оснащенный датчиком давления 7 для отслеживания технологических параметров процесса. Соединение между элементами осуществляется посредством трубопровода 9. В систему также интегрированы насос 10 и модуль для дополнительной очистки 11, что обеспечивает комплексный подход к ликвидации загрязнений (рис. 1).

Однако существующее решение ориентировано преимущественно на автономное функционирование устройства и не учитывает особенностей оперативной интеграции в действующие системы очистки. Авторами были внесены следующие усовершенствования:

- модернизированная система крепления, а именно разработан усовершенствованный каркас, обеспечивающий быструю установку устройства на различных типах водоемов;
- повышена эффективность очистки, предложен новый способ динамической регулировки положения сетки относительно водной поверхности для повышения собираемости нефтепродуктов;
- реализована интеграция с цифровой системой мониторинга, введены программно-аппаратные решения, позволяющие отслеживать степень заполнения устройства и своевременно подавать сигналы операторам для проведения очистки.

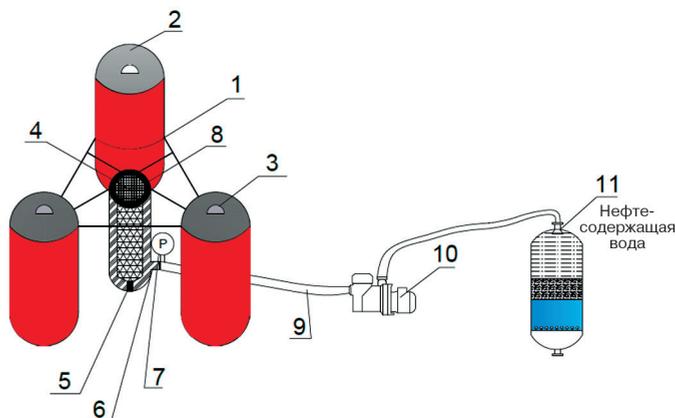


Рис. 1. Устройство для очистки водной поверхности (патент № 2788206 [5]) (пояснения в тексте)

Источник: составлено М.А. Потетюриным, В.Д. Катиним.

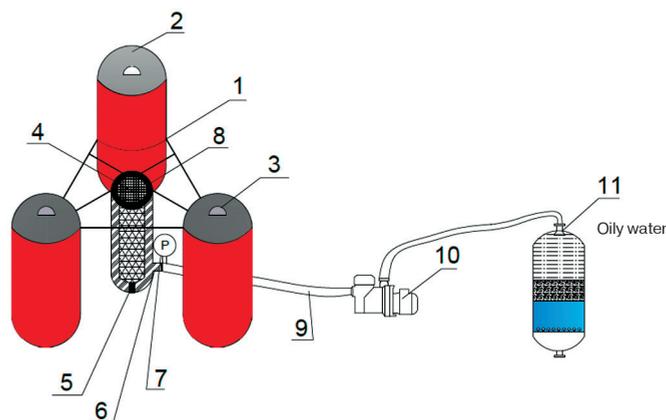


Figure 1. Device for cleaning water surface (Patent No. 2788206 [5]) (explanations in the text)

Source: compiled by M.A. Potetyurin, V.D. Katin.

Таким образом, предложенное авторами решение не только учитывает сильные стороны ранее запатентованных конструкций, но и существенно расширяет их функциональность, увеличивая скорость реагирования и повышая экологическую безопасность при ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов.

Авторами также было разработано другое устройство, описание которого представлено в патенте № 2817884 [6].

Схематично представленное устройство (рис. 2) спроектировано на основе жёсткого каркаса 3 в форме кубоида. По углам конструкции располагаются регулируемые ролики 2, которые обеспечивают надежное натяжение прорезиненной ленты 1 для эффективного сбора загрязнений. На одной из сторон предусмотрены верхние ролики, оснащенные электромоторами 4. Приведение роликов в движение осуществляется через ведущие зубчатые колеса 14, соединенные с зубчатыми колесами регулируемых роликов 13, что обеспечивает плавность и стабильность работы механизма. Для питания электромоторов предусмотрен кабель 10.

Чтобы обеспечить плавучесть верхней части устройства, на каркасе крепится балласт 5. В систему также входит регулируемый сборный резиновый скребок со стенками 6 и сборный лоток с отверстиями 7, 16, размещенный на каркасе и снабженный регулировочным штифтом 15 для изменения угла скребка. Собранные загрязнения по трубопроводу 8 направляются в отстойный бак 9, оснащенный датчиком заполнения 12. Этот бак размещен на специальном понтоне 11, который механически соединен с основой установки.

Преимуществом данного устройства по сравнению с действующими аналогами является его способность эффективно собирать нефтяные загрязнения с поверхности воды и обеспечивать их дальнейшее использование. Конструкция устройства позволяет экономить время на логистических операциях, связанных с транспортировкой, что делает его особенно удобным для применения в условиях аварийных ситуаций.

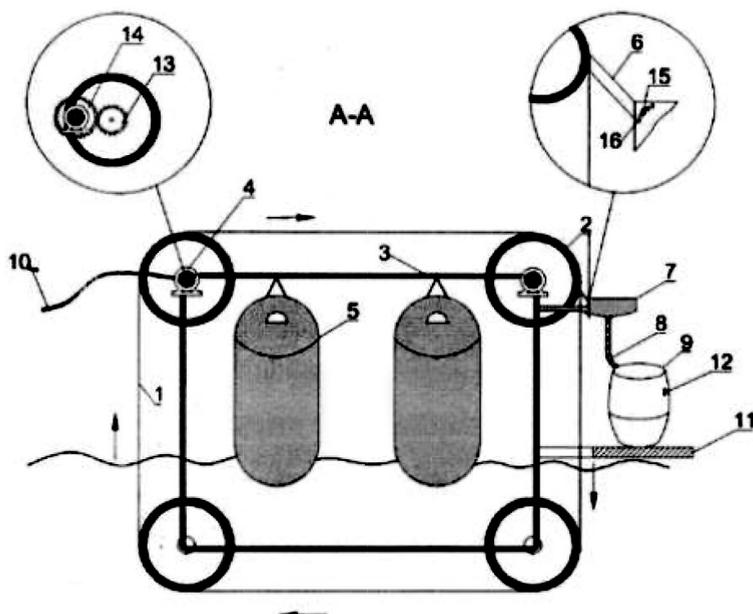


Рис. 2. Схема ленточной установки для сбора нефти или нефтепродуктов с водной поверхности (патент № 2817854 [6]) (пояснения в тексте)

Источник: составлено М.А. Потетюриным, В.Д. Катиным.

Figure 2. Diagram of a belt installation for collecting oil or oil products from the water surface (Patent No. 2817854) (explanations in the text)

Source: compiled by M.A. Potetyurin, V.D. Katin.

Запатентованные устройства имеют модульную сборку (быстросъемные сетки, отстегиваемые ленты, простое подключение балластов и датчиков), что позволяет приступить к сбору нефти через 10–15 мин после прибытия на место аварии.

Аналоги требуют сборки корпуса, подсоединения ручных или тяжелых приводов, что увеличивает время подготовки до 30–60 мин.

Экономия времени на запуск работ по сравнению с аналогами — не менее 25–35 мин (в отдельных случаях до 50 мин), что особенно критично при разливе с большой скоростью распространения загрязнения.

Композитные сетки и прорезиненные ленты, реализованные в новых патентах, обеспечивают сбор до 85–92 % нефтяной пленки на поверхности и способны собирать 5000–8000 л нефти в час.

Применяемые аналоги собирают в среднем 60–75 % поверхности с эффективностью 2000–4000 л в час.

Устройства снабжены съемными элементами (сеткой/резиновым скребком), что сокращает время обслуживания до 10 мин, позволяя мгновенно вернуть оборудование в рабочее состояние.

Внедрение современных технических решений и использование инновационных технологий ликвидации разливов нефти имеет довольно высокую

экологическую, ценность. Рассмотрим основные аспекты сокращения экологических потерь: быстрое реагирование на разливы нефти позволяет значительно снизить количество загрязненной воды, минимизировать гибель водной флоры и фауны и ускорить процессы естественного восстановления экосистем. Это, в свою очередь, оказывает влияние на общее состояние окружающей среды, повышая качество воды, что благоприятно для здоровья населения. Использование решений, разработанных по патентам № 2788206 [5] и № 2817854 [6], подтверждается успешным опытом: так, после аварии в Хабаровском крае применение мобильных установок изобретенного типа позволило быстро ликвидировать разлив и предотвратить длительное нарушение экологического баланса реки.

Что касается экономии средств и ресурсов, то применение сорбентов и современных технических средств позволяет существенно сократить затраты на ликвидацию последствий аварии. Экономическая эффективность подобных решений заключается в возможности повторного использования устройств и материалов, а также в снижении расходов на последующее восстановление пострадавших территорий. Так, в случае, произошедшем в Приморском крае, затраты на ликвидацию последствий аварии оказались на 30–40 % ниже, чем традиционные методы очистки водных объектов.

Следует отметить, что разработка и внедрение авторских инновационных устройств для ликвидации разливов НиНП способствуют не только решению локальных проблем, но и имеют ценность обмена опытом между регионами. На Дальнем Востоке активно ведется сотрудничество между научными центрами, производственными предприятиями и аварийно-спасательными службами, что позволяет адаптировать технологии под конкретные климатические условия региона.

Современные тенденции в области экологической безопасности и охраны водных ресурсов способствуют дальнейшему развитию технологий, направленных на ликвидацию последствий разливов НиНП.

Заключение

Таким образом, проблема загрязнения водных объектов НиНП является одной из наиболее острых в сфере охраны окружающей среды. Постоянное увеличение антропогенной нагрузки, технические сбои и аварии на транспортных и производственных объектах создают условия, в которых разработка и внедрение инновационных технологий имеют актуальное значение для сохранения экосистем и защиты здоровья населения.

Современные методы ликвидации разливов являются комплексными, объединяющими механические, химические и биологические способы очистки. Инновационные устройства, описанные в патентах № 2788206 и № 2817884, обладают достаточно высокой эффективностью в условиях аварий, позволяя

не только минимизировать экологический ущерб, но и существенно сократить экономические затраты на восстановление пострадавших территорий.

Новые устройства начинают сбор спустя 10–15 мин после доставки, экономия по сравнению с аналогами составляет от 25 до 50 мин благодаря продуманной сборке и быстрому монтажу. Применяя устройства по патенту, можно собрать за час до 2–4 раз больше нефтепродуктов (до 8000 л/ч), а эффективность покрытия по площади на 15–30 % выше, чем у аналогичных решений.

Таким образом, инновации в конструкции дают возможность быстро реагировать на аварии, минимизировать экологический ущерб и повысить производительность очистных работ в сфере ликвидации разливов НиНП и представляют собой важный инструмент для обеспечения экологической безопасности и сохранения водных ресурсов. Внедрение данных технологий потребует постоянного совершенствования, обучения специалистов и взаимодействия между государственными, научными и производственными структурами для оперативного реагирования на любые аварийные ситуации, с разливами НиНП, что особенно важно для регионов с особыми климатическими и транспортными условиями, как на Дальнем Востоке нашей страны.

Список литературы

- [1] Бондарева В.А., Денисюк Д.А., Кучер М.И., Френкель Е.Э. Экологические проблемы загрязнения окружающей среды нефтепродуктами в ходе повседневной деятельности войск // *Материалы VIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум»*, 2016. URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016028368> (дата обращения: 02.08.2025).
- [2] Лушников С.В., Терещенко Н.Н., Воробьев Д.С., Франк Ю.А. Опыт применения инновационных технологий биоремедиации природных сред, загрязненных нефтью и нефтепродуктами // *Материалы IV Международного конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития»*, Москва, 12–16 марта 2007 г. М., 2007. С. 131.
- [3] Катин В.Д. Повышение безопасности перевозки нефти и нефтепродуктов железнодорожным транспортом и охрана окружающей среды : монография. Хабаровск : ДВГУПС 2018. 138 с.
- [4] Вылкован А.И., Венцюлис Л.С. Современные методы и средства борьбы с разливами нефти. Санкт-Петербург : Центр-Техинформ, 2009. 208 с.
- [5] Патент № 2788206С1, РФ, МПК E02B 15/00. Устройство для очистки водной поверхности : опубл. 17.01.2023 / Потетюрин М.А., Катин В.Д. Бюл. № 2.
- [5] Патент № 2817854С1 РФ, МПК E02B 15/04. Ленточная установка для сбора нефти или нефтепродуктов с водной поверхности: опубл. 22.04.2024 / Потетюрин М.А., Катин В.Д. Бюл. № 12.

References

- [1] Bondareva V.A., Denisyuk D.A., Kucher M.I., and Frenkel E.E. Environmental Problems of Oil Pollution during the Daily Activities of Troops. *Materials of the VIII International Student Scientific Conference “Student Scientific Forum”*, 2016. Available from: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016028368> (accessed: 02.08.2025).

- [2] Lushnikov S.V., Tereshchenko N.N., Vorobyov D.S., Frank Yu.A. Experience in the application of innovative technologies for bioremediation of natural environments contaminated with oil and oil products. *Proceedings of the IV International Congress “Biotechnology: Status and Development Prospects”*, Moscow, March 12–16, 2007. Moscow, 2007; p. 131. (In Russ.)
- [3] Katin VD. *Improving the safety of oil and oil products transportation by rail and environmental protection*: monograph. Khabarovsk: DVGUPS publ.; 2018. (In Russ.)
- [4] Vylkovan AI. *Modern methods and means of combating oil spills*. St. Petersburg: Center-Techinform publ.; 2009. (In Russ.)
- [5] Potetyurin MA, Katin VD. *Device for cleaning the water surface*. Russian Federation patent RF 2788206C1. 2023 Jun 17. Bul. No. 2. (In Russ.)
- [6] Potetyurin MA, Katin VD. *Tape installation for collecting oil or oil products from the water surface*. Russian Federation patent RF 2817854C1. 2024 Apr 22. Bul. No. 12. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Ахтямов Мидхат Хайдарович, доктор биологических наук, профессор, директор Естественно-научного института, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность», Дальневосточный государственный университет путей сообщений, Российская Федерация, 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47. E-mail: Potetyurin97@mail.ru

Катин Виктор Дмитриевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность», Дальневосточный государственный университет путей сообщений, Российская Федерация, 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47. E-mail: Potetyurin97@mail.ru

Потетюрин Максим Александрович, аспирант кафедры «Техносферная безопасность», Дальневосточный государственный университет путей сообщений, Российская Федерация, 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47. E-mail: Potetyurin97@mail.ru

Bio notes:

Midhat Kh. Akhtyamov, Doctor of Biological Sciences Professor, Director of the Natural Science Institute, Head of the Department of Technosphere Security, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Far Eastern State University of Railways, 47 Serysheva St, Khabarovsk, 680021, Russian Federation. E-mail: Potetyurin97@mail.ru

Viktor D. Katin, Doctor of Technical Sciences Professor, Department of Technosphere Security, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Far Eastern State University of Railways, 47 Serysheva St, Khabarovsk, 680021, Russian Federation. E-mail: Potetyurin97@mail.ru

Maxim A. Potetyurin, graduate student of Technosphere Security, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Far Eastern State University of Railways, 47 Serysheva St, Khabarovsk, 680021, Russian Federation. E-mail: Potetyurin97@mail.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-49-61

EDN: ZCPBVY

УДК 574.24:615.322

Научная статья / Research article

Эколого-гигиенические исследования корней одуванчика лекарственного синантропной флоры Центральной России

Н.А. Дьякова *Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Российская Федерация*✉ Ninotchka_V89@mail.ru

Аннотация. Цель исследования — эколого-гигиеническое изучение накопления тяжелых металлов и мышьяка, а также биологически активных веществ в корнях одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* F.H. Wigg.), заготовленных на различных с точки зрения антропогенного воздействия территориях Центральной России. В условиях эксперимента было проанализировано свыше 50 образцов корней одуванчика лекарственного, собранных на различных в плане антропогенного воздействия территориях Воронежской области как типичного региона средней полосы России, на предмет содержания тяжелых металлов и мышьяка, а также водорастворимых полисахаридов и экстрактивных веществ, извлекаемых водой. Выявлено наличие физиологических барьеров, препятствующих аккумуляции избытка ряда токсичных элементов (свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, кобальт, никель, хром) в растении. Корни одуванчика лекарственного в значительных количествах аккумулируют медь и цинк. Особенности аккумуляции тяжелых металлов необходимо учитывать при планировании мест заготовки корней одуванчика лекарственного и оценке качества сырья. Подтверждена положительная корреляция между накоплением в корнях одуванчика лекарственного водорастворимых полисахаридов и экстрактивных веществ. Выявлено, что на накопление в корнях одуванчика лекарственного водорастворимых полисахаридов и экстрактивных веществ умеренное отрицательное влияние оказывают никель и кадмий.

Ключевые слова: *Taraxacum officinale* F.H. Wigg., корни одуванчика лекарственного, тяжелые металлы, мышьяк, водорастворимые полисахариды, экстрактивные вещества, средняя полоса России

История статьи: поступила в редакцию 14.05.2024; доработана после рецензирования 03.06.2025; принята к публикации 18.11.2025.

Заявление о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

© Дьякова Н.А., 2026

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Для цитирования: Дьякова Н.А. Эколого-гигиенические исследования корней одуванчика лекарственного синантропной флоры Центральной России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 49–61. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-49-61> EDN: ZCPBVY

Ecological and hygienic studies of the roots of the dandelion of the medicinal synanthropic flora of central Russia

Nina A. Dyakova 

Voronezh State University, Voronezh, Russia

✉ Ninotchka_V89@mail.ru

Abstract. The purpose of this study was the ecological and hygienic study of the accumulation of heavy metals and arsenic, as well as biologically active substances in the roots of dandelion medicinal (*Taraxacum officinale* F.H. Wigg.), harvested in different territories of central Russia from the point of view of anthropogenic impact. Under the conditions of the experiment, more than 50 samples of dandelion roots of medicinal dandelion were analyzed, collected in different territories of the Voronezh region in terms of anthropogenic impact, as a typical region of central Russia, for the content of heavy metals and arsenic, as well as water-soluble polysaccharides and extractive substances extracted by water. The presence of physiological barriers that prevent the accumulation of an excess of a number of toxic elements (lead, cadmium, mercury, arsenic, cobalt, nickel, chromium) in the plant was revealed. Dandelion drug roots accumulate copper and zinc in significant quantities. The peculiarities of heavy metal accumulation should be taken into account when planning procurement sites with the roots of dandelion medicinal and assessing the quality of raw materials. Positive correlation between accumulation of water-soluble polysaccharides and extractive substances in dandelion roots was confirmed. It was found that nickel and cadmium have a moderate negative effect on the accumulation of water-soluble polysaccharides and extractive substances in the roots of dandelion.

Keywords: *Taraxacum officinale* F.H. Wigg., dandelion medicinal roots, heavy metals, arsenic; water soluble polysaccharides, extractives, middle strip of Russia

Article history: received 14.05.2024; revised 03.06.2025; accepted 18.11.2025.

Conflicts of interest. The author declares no conflicts of interest.

For citation: Dyakova NA. Ecological and hygienic studies of the roots of the dandelion of the medicinal synanthropic flora of central Russia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):49–61. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-49-61> EDN: ZCPBVY

Введение

В силу ежегодно возрастающей техногенной нагрузки на окружающую среду увеличивается актуальность мониторинга эколого-гигиенических показателей качества экосистем. При этом растения из-за значительной зависимо-

сти от химического состава почв, воздуха, воды справедливо используются для изучения загрязнения окружающей среды [1–3].

Одуванчик лекарственный — *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. — рудеральный синантропный полиморфный вид, распространенный практически по всей территории России, благоприятно реагирует на растительную дигрессию, интенсивно образует заросли [4; 5]. Данный вид имеет большое количество апомиктических форм с большим количеством биотипов, имеющих морфологические отличия. Одуванчик лекарственный неоднократно использовался в качестве объекта эколого-гигиенических исследований антропогенного загрязнения окружающей среды в силу высокой чувствительности к различным экотоксикантам [6–16].

Г.В. Воробьевым на основе измерения газообмена, тепловыделения и проницаемости мембран клеток корней одуванчика лекарственного разных популяций выявил, что при повышенном уровне метаболизма популяция более устойчива к антропогенному влиянию [8].

А.А. Ефремовым в сравнительном исследовании флоры естественных экосистем и урбоценозов Красноярского края показано, что содержание экстрактивных веществ в корнях одуванчика лекарственного естественных фитоценозов на 5 % и более превышает определяемый показатель в сырье урбоценозов [9].

Т.Н. Васильевой и Ю.А. Брудастовым на основе флоры г. Оренбург выявлены фиторемедиаторные свойства данного растительного сырья в отношении свинца и кадмия [10].

Е.О. Клинской на основе изучения корней одуванчика урбоценозов г. Биробиджан также доказана тесная корреляция между концентрациями свинца в почве и растении, что указывает на информативность данного биообъекта при эколого-гигиеническом исследовании почв [11].

С.С. Позняком доказана аккумуляция в корнях растения циркония, кобальта, олова, хрома [12].

И.Т. Караевой [13] показана аккумуляция в корнях одуванчика из почв цинка и марганца, П.К. Игамбердиевой [14] — марганца, меди, кобальта, хрома, а И.В. Гравель [15] — меди, кадмия, свинца, алюминия.

А.И. Попов и И.Н. Егорова установили, что корни одуванчика способны аккумулировать цинк, никель, медь [16].

Таким образом, обзор ранее проведенных эколого-гигиенических исследований качества корней одуванчика лекарственного показал, что полученные результаты имеют разногласия.

Цель исследования — эколого-гигиеническое изучение накопления токсичных элементов и БАВ в корнях одуванчика лекарственного, заготовленных на различных с точки зрения антропогенного воздействия территориях Центральной России.

Материалы и методы

Исследования проводились на основе Воронежской области как одного из репрезентативных регионов Центральной России [2; 3]. Для заготовки сырья были выбраны (табл. 1): заповедные (контрольные) зоны (1–3); территория разработки медно-никелевых месторождений (4); зоны загрязнения после аварии в Чернобыле (5–7); атомная электростанция (8); высоковольтные линии электропередач (ВЛЭ) (9); сельскохозяйственные поля (10–22); промышленные предприятия (23–24, 28); города (25–26, 31); теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) (27); городское водохранилище (29); аэропорт (30); дороги разной степени загруженности (32–51).

Заготовку корней одуванчика лекарственного проводили осенью (в октябре). Корни выкапывали, очищали от остатков стеблей и листьев, отмывали от земли, сушили естественным образом. Концентрацию токсичных элементов определяли по ОФС.1.5.3.0009¹. Измеряли содержание нормируемых элементов (ртуть, кадмий, свинец, мышьяк), а также некоторых других токсичных металлов (никель, цинк, кобальт, хром, медь). Содержание суммы водорастворимых экстрактивных веществ определяли по методикам ФС.2.5.0086.18², суммы гравиметрически осаждаемых водорастворимых полисахаридов — по ранее валидированной методике [17]. В эксперименте использовали отечественное оборудование: атомно-абсорбционный спектрометр МГА-915МД, спектрофотометр «СФ-2000», ультразвуковую ванну ГРАД-40. Определения проводили тоекратно, статистическую обработку осуществляли при доверительной вероятности 0,95.

С использованием корреляционного анализа по Пирсону проводили изучение взаимосвязи между содержанием токсичных элементов и БАВ. Для интерпретации рассчитанных коэффициентов корреляции использовали шкалу Чеддока [3].

Результаты и обсуждение

Концентрация свинца в сырье (табл. 1) не превышала предельно допустимой концентрации (ПДК). В сырье контрольных территорий она составила 1,5-1,9 мг/кг, для сырья синантропной флоры — 1,0-4,8 мг/кг. Более ранние исследования показали, что содержание свинца в верхних слоях почв изучаемых территорий отмечается на уровне 1,7–34,6 мг/кг [18-20]. Невысокое накопление свинца в корнях одуванчика объясняется малой растворимостью его соединений в почвенном растворе. Также возможно наличие физиологического барьера, препятствующего накоплению токсичного элемента в растении.

¹ Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. URL: <https://pharmascoroeia.regmed.ru/pharmascoroeia/izdanie-15> (дата обращения: 20.01.2025).

² Государственная фармакопея Российской Федерации. Издание XIV. Т. 4. Москва : ФЭМБ; 2018. 1833 с.

Известно, что клетки ризодермы высших растений способны вырабатывать слизь с высоким содержанием урсоловых кислот, уменьшающих растворимость тяжелых металлов [2; 11].

Концентрация ртути составила 0,003–0,006 мг/кг, что в 15–30 раз меньше ПДК. Концентрация ртути в почвах территорий заготовки растительных образцов составляла 0,01–0,24 мг/кг [19]. Ртуть также образует прочные коллоидные соединения в почве [3; 8].

Кадмий в растительных образцах содержался в количестве 0,03–0,18 мг/кг, что не превышало ПДК и значительно меньше его концентраций в почвах (до 0,71 мг/кг) [20]. Низкий уровень аккумуляции кадмия, являющегося блокатором ряда ферментных систем, можно также связать с механизмом физиологического нормирования всасывания токсичных элементов [2; 21].

В трех образцах корней одуванчика отмечено превышение ПДК мышьяка (вблизи ТЭЦ «ВОГРЭС», ООО «БорМаш»). Концентрация мышьяка в почвах составляла 0,6–3,8 мг/кг [19]. Соли мышьяка также образуют малорастворимые коллоиды в почвенном растворе [21].

ПДК никеля, кобальта, хрома, цинка, меди в растительном сырье на настоящее время не нормированы. Никель, несмотря на высокую растворимость в почвенном растворе, незначительно накапливается в корнях одуванчика — 0,7–4,1 мг/кг (в почвах — 2,2–98,3 мг/кг). Известно, что высокие концентрации металла способствуют угнетению процессов транспирации и фотосинтеза [14; 18]. Концентрация кобальта составила 4,3–14,8 мг/кг (в почвах — 1,8–21,8 мг/кг [20]), хрома — 3,1–14,0 мг/кг (в почвах — 2,5–45,2 мг/кг [20]). Таким образом, накопление никеля, хрома, кобальта блокируется растением, что является приспособлением его к вегетации в условиях загрязнения почв.

Корни одуванчика активно накапливают медь и цинк. Концентрация меди в растительном объекте составила 4,1–14,6 мг/кг (в почве — 3,3–65,4 мг/кг [19]). Содержание цинка составило 20,2–97,5 мг/кг (в почве — 9,6–154,5 мг/кг [19]). Для ряда растительных образцов (контрольных территорий и агроценозов) отмечена более высокая концентрация меди и цинка в сырье, чем в почве. Известно, что медь участвует в углеводном и азотном обменах, процессе фотосинтеза [7; 16; 21]. Цинк активирует более 250 ферментов, необходим в биосинтезе хлорофилла [7; 15]. Но при высоких концентрациях цинка и меди в почвах урбоценозов темпы аккумуляции металлов снижались, что говорит о накоплении их в растении до физиологически необходимого уровня.

Корреляционные исследования показали тесную положительную взаимосвязь между концентрациями в почве и растительном сырье цинка, хрома, кобальта, свинца, мышьяка, меди, никеля, а также заметную положительную взаимосвязь между данными показателями для кадмия, что подтверждает информативность одуванчика лекарственного как биообъекта при экологическом исследовании качества почв (табл. 2) [11].

Таблица 1 / Table 1

Содержание токсичных элементов и БАВ в корнях одуванчика / Toxic elements and biologically active substances content in dandelion roots

№ п/п	Район / Area	Токсичные элементы, мг/кг / Toxic elements, mg/kg							БАВ, % / Biologically active substances, %			
		Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn	Водорас- творимые полисаха- риды / Water- soluble polysaccha- rides	Экстрак- тивные вещества, извлекаемые водой / Extractive substances extracted by water
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Территория Воронежского биосферного заповедника / Territory of the Voronezh Biosphere Reserve	1,9	0,003	0,03	0,1	0,9	3,5	4,3	4,9	28,6	32,9	56,8
2	Территория Хоперского заповедника / Territory of the Khopersky Reserve	1,8	0,004	0,04	0,1	0,9	4,5	5,3	4,6	23,7	31,2	59,6
3	Территория Теллермановского леса / Tellerman Forest Territory	1,5	0,003	0,02	0,1	0,7	3,9	4,9	6,4	35,2	33,1	62,1
4	Село Елань-Колено / Elan-Koleno village	1,1	0,004	0,04	0,1	1,0	3,6	7,4	5,3	27,8	28,6	53,5
5	Село Нижнедевицк / Nizhnedevitsk village	1,9	0,004	0,06	0,1	1,7	4,8	8,2	7,0	20,2	29,8	42,2
6	Улица города Острогжск / Street of the city of Ostrogzhsk	2,5	0,003	0,09	0,2	2,0	5,1	7,9	8,5	45,9	26,5	57,4
7	Улица города Семилуки / Semiluki City Street	2,8	0,005	0,11	0,2	1,7	6,1	5,6	6,4	56,3	25,9	48,6
8	Улица города Нововоронеж / Novovoronezh City Street	1,1	0,004	0,12	0,1	2,0	4,3	6,3	4,2	29,0	28,4	57,8
9	Высоковольтные линии электропередач / High-voltage power lines	2,4	0,003	0,16	0,2	2,1	6,1	5,1	7,3	38,3	18,5	30,6
10	Агроценоз Лискинского р-на / Agroscenosis of the Liskinsky district	2,6	0,003	0,07	0,1	1,2	5,1	7,3	8,5	20,8	23,4	47,9
11	Агроценоз Ольховатского р-на / Agroscenosis of the Olkhovatsky district	1,0	0,004	0,09	0,2	1,6	7,1	5,0	6,9	37,1	29,6	46,1
12	Агроценоз Подгоренского р-на / Agroscenosis of the Podgorensky district	1,7	0,005	0,05	0,2	1,8	4,1	6,2	6,1	36,2	25,7	52,1
13	Агроценоз Петропавловского р-на / Agroscenosis of the Peter and Paul district	2,7	0,003	0,07	0,1	1,8	5,0	7,8	7,9	28,4	23,2	47,4
14	Агроценоз Грибановского р-на / Agroscenosis of the Gribanovsky district	2,7	0,004	0,12	0,2	0,9	6,3	4,9	8,2	33,9	23,5	53,0
15	Агроценоз Хохольского р-на / Agroscenosis of the Khokholsky district	1,5	0,003	0,08	0,2	2,0	7,0	7,1	9,1	48,3	24,5	49,6

Продолжение табл. 1 / Table 1, continuation

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	Агроценоз Новохоперского р-на / Agroscenosis of the Novokhopersky district	1,3	0,003	0,10	0,2	1,3	3,1	8,3	6,7	28,2	21,7	33,2
17	Агроценоз Репьевского р-на / Agroscenosis of the Repevsky district	1,5	0,003	0,13	0,2	1,8	4,3	5,9	5,8	43,3	25,2	45,1
18	Агроценоз Воробьевского р-на / Agroscenosis of the Vorobyevsky district	1,1	0,004	0,15	0,2	2,0	4,0	8,6	6,8	31,2	27,3	47,2
19	Агроценоз Панинского р-на / Agroscenosis of the Paninsky district	3,0	0,004	0,17	0,2	1,3	4,9	6,3	5,0	54,6	19,6	32,1
20	Агроценоз Верхнехавского р-на / Agroscenosis of the Verkhnekhavsky district	2,6	0,003	0,11	0,3	1,9	4,0	4,9	6,3	39,4	28,3	46,9
21	Агроценоз Эртильского р-на / Agroscenosis of the Ertil district	2,7	0,005	0,10	0,1	1,7	5,8	7,0	7,8	44,2	29,6	48,0
22	Агроценоз Россошанского р-на / Agroscenosis of the Rossoshansky district	2,8	0,004	0,09	0,2	2,0	6,0	7,3	8,5	37,2	21,7	42,9
23	Вблизи ОАО «Минудобрения» / Near OJSC Minudobrenia	3,8	0,006	0,15	0,4	2,9	12,6	13,6	10,6	97,5	30,5	58,7
24	Вблизи ООО «Бормаш» / Near Bormash LLC	4,8	0,006	0,18	0,6	4,1	11,4	9,7	12,6	80,0	31,5	52,3
25	Улицы города Борисоглебск / Street of the city of Borisoglebsk	2,9	0,005	0,15	0,2	2,4	11,0	7,5	8,5	72,8	26,3	45,9
26	Улица города Калач / Kalach City Street	3,0	0,005	0,12	0,2	2,8	12,3	6,1	9,5	62,9	30,4	50,3
27	Вблизи Теплоэлектроцентрали-1 «ВОГРЭС» (город Воронеж) / Near TeploElektroCentrali-1 «VOGRES» (Voronezh city)	2,1	0,005	0,14	0,7	2,9	9,0	11,0	9,6	78,6	24,8	44,1
28	Вблизи ОАО «Воронежсинтезкаучук» (город Воронеж) / Near OJSC Voronezhsintezkauchuk (Voronezh city)	3,1	0,005	0,09	0,2	2,7	8,5	8,4	8,4	92,8	26,8	40,8
29	На удалении 0-100 м от Воронежского водохранилища / At a distance of 0-100 m from of the Voronezh reservoir	2,0	0,004	0,13	0,2	2,1	5,7	7,1	7,0	42,8	22,6	45,9
30	Вблизи международного аэропорта Воронеж / Near Voronezh International Airport	4,4	0,006	0,14	0,2	2,6	6,8	6,1	8,6	38,6	31,4	49,8
31	Улица города Воронеж (улица Димитрова) / Voronezh City Street (Dimitrova street)	2,4	0,005	0,12	0,3	2,9	14,0	14,8	11,6	79,5	25,3	38,5
32	0 м от автомагистрали М4 «Дон» в Рамонском р-не / 0 m from the Don M4 motorway in the Ramonsky district	3,3	0,006	0,17	0,3	3,8	12,3	10,1	13,1	77,4	28,8	35,7
33	100 м от автомагистрали М4 «Дон» в Рамонском р-не / 100 m from the Don M4 motorway in the Ramonsky district	2,5	0,006	0,17	0,3	3,1	7,7	7,6	9,5	57,8	27,2	37,6
34	200 м от автомагистрали М4 «Дон» в Рамонском р-не / 200 m from the Don M4 motorway in the Ramonsky district	2,0	0,004	0,11	0,2	3,0	6,2	5,9	6,7	46,0	25,6	43,1
35	300 м от автомагистрали М4 «Дон» в Рамонском р-не / 300 m from the Don M4 motorway in the Ramonsky district	1,4	0,004	0,10	0,2	2,0	5,0	4,6	6,4	45,0	25,4	45,8
36	0 м от автомагистрали А144 «Каспий» в Аннинском р-не / 0 m from the Caspian A144 motorway in the Anninsky district	2,8	0,005	0,12	0,2	3,4	9,9	8,8	10,8	62,1	26,4	42,8

Окончание табл. 1 / Table 1, ending

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
37	100 м от автомагистрали А144 «Каспий» в Аннинском р-не / 100 m from the Caspian A144 motorway in the Anninsky district	2,5	0,006	0,04	0,2	2,9	7,6	9,0	9,8	57,3	25,3	38,0
38	200 м от автомагистрали А144 «Каспий» в Аннинском р-не / 200 m from the Caspian A144 motorway in the Anninsky district	2,0	0,006	0,03	0,1	2,8	6,2	6,5	8,3	54,0	26,1	41,6
39	300 м от автомагистрали А144 «Каспий» в Аннинском р-не / 300 m from the Caspian A144 motorway in the Anninsky district	1,5	0,005	0,03	0,1	2,3	5,5	5,9	8,6	52,9	26,0	48,4
40	0 м от автомагистрали М4 «Дон» в Павловском р-не / 0 m from the Don M4 motorway in Pavlovsky district	2,5	0,006	0,13	0,2	2,7	9,7	9,8	11,9	84,4	25,2	54,0
41	100 м от автомагистрали М4 «Дон» в Павловском р-не / 100 m from the Don M4 motorway in Pavlovsky district	2,2	0,006	0,09	0,2	2,3	7,5	10,3	10,8	78,2	24,5	44,6
42	200 м от автомагистрали М4 «Дон» в Павловском р-не / 200 m from the Don M4 motorway in Pavlovsky district	1,7	0,005	0,10	0,1	1,7	6,5	9,2	10,1	71,5	24,1	49,6
43	300 м от автомагистрали М4 «Дон» в Павловском р-не / 300 m from the Don M4 motorway in Pavlovsky district	1,9	0,005	0,08	0,1	1,5	4,8	8,8	9,5	49,7	24,0	44,0
44	0 м от дороги обычного типа в Богучарском р-не / 0 m from a conventional road in Bogucharsky district	1,5	0,004	0,09	0,2	2,2	4,9	6,6	7,5	48,6	25,4	47,5
45	100 м от дороги обычного типа в Богучарском р-не / 100 m from a conventional road in Bogucharsky district	1,1	0,003	0,08	0,2	2,0	5,0	5,1	6,4	43,9	23,8	50,5
46	200 м от дороги обычного типа в Богучарском р-не / 200 m from a conventional road in Bogucharsky district	1,0	0,003	0,08	0,2	1,7	4,7	5,7	6,7	41,9	23,7	46,9
47	300 м от дороги обычного типа в Богучарском р-не / 300 m from a conventional road in Bogucharsky district	1,2	0,003	0,08	0,2	1,3	4,2	6,1	5,6	42,1	24,8	48,8
48	0 м от железнодорожных путей Юго-Восточной железной дороги в Рамонском р-не / 0 m from the railway tracks of the Southeast Railway in the Ramonsky district	2,6	0,004	0,13	0,4	2,8	6,4	11,8	14,6	64,3	27,4	46,9
49	100 м от железнодорожных путей Юго-Восточной железной дороги в Рамонском р-не / 100 m from the railway tracks of the Southeast Railway in the Ramonsky district	1,9	0,005	0,09	0,3	2,5	5,9	6,4	10,5	53,1	24,8	43,0
50	200 м от железнодорожных путей Юго-Восточной железной дороги в Рамонском р-не / 200 m from the railway tracks of the Southeast Railway in the Ramonsky district	1,7	0,004	0,05	0,3	2,2	4,2	5,1	5,8	46,0	25,5	47,6
51	300 м от железнодорожных путей Юго-Восточной железной дороги в Рамонском р-не / 300 m from the railway tracks of the Southeast Railway in the Ramonsky district	1,5	0,004	0,05	0,2	2,4	4,1	5,7	5,8	50,6	24,6	45,0
ПДК / Maximum allowable concentration		6,0	0,1	1,0	0,5	-	-	-	-	-	-	≥40

Источники: составлено Н.А. Дьяковой.
Source: compiled by the N.A. Dyakova.

Концентрация водорастворимых полисахаридов в корнях одуванчика (см. табл. 1) составила от 18,5 до 33,1 %. В сырье контрольных территорий отмечено их накопление на уровне 31,2–33,1 %. В образцах агроценозов несколько ниже — 19,6–29,6 %. В большей части образцов сырья одуванчика лекарственного урбоценозов накопление водорастворимых полисахаридов отмечено на уровне 20–30 %.

Концентрация водорастворимых экстрактивных веществ составила 30,6–62,1 %. В семи образцах сырья урбоценозов содержание данной группы БАВ оказалось менее требуемых нормативной документацией 40 %. Эти же образцы корней одуванчика также характеризовались относительно низкими значениями концентраций водорастворимых полисахаридов.

Рассчитанные для анализа влияния токсичных элементов на накопление БАВ коэффициенты корреляции (табл. 3) показали, что на накопление водорастворимых экстрактивных веществ и полисахаридов умеренное отрицательное влияние оказывали кадмий и никель.

Таблица 2 / Table 2

Коэффициенты корреляции между содержанием токсичных элементов в почве и корнях одуванчика / Correlation coefficients between concentrations of toxic elements in soil and dandelion roots

Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
0,75	0,13	0,49	0,86	0,71	0,81	0,80	0,81	0,93

Источник: составлено Н.А. Дьяковой.

Source: compiled by the N.A. Dyakova.

Таблица 3 / Table 3

Коэффициенты корреляции между токсичными элементами и БАВ / Correlation coefficients between toxic elements and biologically active substances

БАВ / Biologically active substances	Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
Водорастворимые полисахариды / Water-soluble polysaccharides	0,22	-0,26	-0,33	0,07	-0,38	0,19	0,02	0,04	0,04
Экстрактивные вещества, извлекаемые водой / Extractive substances extracted by water	-0,08	-0,14	-0,33	-0,14	-0,32	-0,15	-0,17	-0,17	-0,16

Источник: составлено Н.А. Дьяковой.

Source: compiled by the N.A. Dyakova.

Заключение

На основе эколого-гигиенического исследования более 50 образцов корней одуванчика лекарственного различных урбоценозов Центральной России выявлено наличие физиологических барьеров, препятствующих аккумуляции избытка таких токсичных элементов, как мышьяк, свинец, кадмий, ртуть, кобальт, никель, хром, а также показано накопление в значительных количествах цинка, меди. Подчеркнута информативность одуванчика лекарственного как биообъекта при экологическом исследовании качества почв. Особенности

аккумуляции тяжелых металлов необходимо учитывать при планировании мест заготовки корней одуванчика лекарственного и оценке качества сырья. Выявлено, что на накопление в корнях одуванчика водорастворимых полисахаридов и экстрактивных веществ умеренное отрицательное влияние оказывают кадмий и никель.

Список литературы

- [1] Нечаева Е.Г., Белозерцева И.А., Напрасникова Е.В., Воробьева И.Б., Давыдова Н.Д., Дубынина С.С., Власова Н.В. Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем Сибирских регионов. Новосибирск : Наука, 2010. 315 с. EDN: SGMWXD
- [2] Дьякова Н.А. Экологическая оценка сырьевых ресурсов лекарственных растений Воронежской области. Воронеж : Цифровая полиграфия, 2022. 264 с. EDN: KURTMZ
- [3] Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гравель И.В. Эколого-фармакогностическая оценка качества лекарственного растительного сырья Центрального Черноземья : монография. Москва : РУСАЙНС, 2023. 237 с.
- [4] Куркин В.А. Фармакогнозия. Самара : Офорт : СамГМУ, 2004. 1180 с.
- [5] Путьрский И.Н., Прохоров В.Н. Универсальная энциклопедия лекарственных растений. Минск : Книж. дом ; Москва : Махаон, 2000. 654 с.
- [6] Akhlyrtsev B.P., Yablonskikh L.A., Akhlyrtsev A.B. Content and vertical distribution of heavy metals and radionuclides in hydromorphic Soils of the Forest Steppe zone of the Russian plain // Eurasian Soil Science. 1999. Vol. 32. No. 4. P. 394–403. EDN: LFJGML
- [7] Krolak E., Marciniuk J., Popijantus K., Wasileczuk P., Kasprzykowski Z. Environmental factors determining the accumulation of metals: Cu, Zn, Mn and Fe in tissues of *Taraxacum* sp. sect. *Taraxacum* // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2018. Vol. 101. P. 68–74. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2356-y> EDN: VGXXRP
- [8] Воробьев Г.В., Алябьев А.Ю., Якушенкова Т.П., Ибрагимова К.К. Особенности метаболизма одуванчика лекарственного в условиях загрязнения атмосферы автомобильным транспортом // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2013. № 2 (78). С. 39–44. EDN: QBJPKN
- [9] Ефремов А.А., Шаталина Н.В., Стрижева Е.Н., Первышина Г.Г. Влияние экологических факторов на химический состав некоторых дикорастущих растений Красноярского края // Химия растительного сырья. 2002. № 3. С. 53–56. EDN: HWINCR
- [10] Васильева Т.Н., Брудастов Ю.А. Потенциальные фитоаккумуляторы металлов-поллютантов урбанизированных почв города Оренбурга // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 6 (125). С. 142–146. EDN: OBFEP
- [11] Клинская Е.О. Оценка загрязнения окружающей среды Биробиджана по содержанию свинца в одуванчике лекарственном (*Taraxacum officinale*) // Региональные проблемы. 2005. № 6–7. С. 73–76. EDN: TOVTSX
- [12] Позняк С.С. Содержание некоторых тяжелых металлов в растительности полевых и луговых агрофитоценозов в условиях техногенного загрязнения почвенного покрова // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 1 (13). С. 123–137. EDN: NGAZVT
- [13] Караева И.Т., Хмелевская А.В., Черчесова С.К. Результаты определения минерального состава инулинсодержащих растений, произрастающих в РСО-Алания //

- Известия Горского государственного аграрного университета. 2016. Т. 53. № 3. С. 133–136. EDN: WNDEBL
- [14] *Игамбердиева П.К., Мамаджанов Б.С., Саидахмадова Н.Г.* Исследование количества микроэлементов лекарственных растений Южной Ферганы и перспективы их применения при лечении железодефицитной анемии // Современная медицина: актуальные вопросы. 2015. № 44–45. С. 80–87. EDN: UBHUDN
- [15] *Гравель И.В.* Оценка загрязненности экотоксикантами сырья лекарственных растений Алтайского края // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2019. № 18. С. 482–484. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2019100> EDN: ORCNCA
- [16] *Попов А.И., Егорова И.Н.* Состояние ресурсной базы дикорастущих лекарственных растений Мариинского, Тяжинского и Чебулинского районов Кемеровской области // Химико-фармацевтический журнал. 1992. № 26 (3). С. 71–73. EDN: TNKUKH
- [17] *Дьякова Н.А.* Регрессионный анализ в разработке методики выделения и количественного определения водорастворимых полисахаридов из корней одуванчика лекарственного // Химия растительного сырья. 2022. № 3. С. 249–256. <https://doi.org/10.14258/jcprgm.20220310724>. EDN: PTBGFB
- [18] *Дьякова Н.А., Самылина И.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П., Кукуева Л.Л., Мындра А.А., Шушунова Т.Г.* Оценка экологического состояния образцов верхних слоев почв и корней одуванчика лекарственного, отобранных на территории Воронежской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия, Биология, Фармация. 2016. № 2. С. 119–126. EDN: WBKVQT
- [19] *Дьякова Н.А., Гапонов С.П., Сливкин А.И.* Эколого-гигиеническая оценка состояния почв антропогенных экосистем Воронежской области // Известия КГТУ. 2020. № 59. С. 61–72. EDN: OCEKIS
- [20] *Дьякова Н.А.* Оценка загрязнения тяжелыми металлами верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Центрального Черноземья // Вестник ИрГСХА. 2019. № 95. С. 19–30. EDN: PHZWCV
- [21] *Дьякова Н.А.* Особенности накопления тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье одуванчика лекарственного, собранного в урбо- и агробиоценозах Воронежской области // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2021. № 3. С. 49–55. <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-03-07> EDN: TGLLAO

References

- [1] *Nechaeva EG, Belozerceva IA, Naprasnikova EV, Vorobyeva IB, Davydova ND, Dubynina SS, Vlasova NV. Monitoring and forecasting of the substance-dynamical state of geosystems in the Siberian regions.* Novosibirsk, Nauka publ.; 2010. (In Russ.). EDN: SGMWXD
- [2] *D'yakova NA. Environmental assessment of raw materials of medicinal plants of the Voronezh region.* Voronezh: Cifrovaya poligrafiya publ.; 2022. (In Russ.). EDN: KURTMZ
- [3] *D'yakova NA, Slivkin AI, Gravel' IV. Ecological and pharmacognostic assessment of the quality of medicinal plant raw materials of the Central Black Earth Region: monograph.* Moscow: RUSSIANS publ.; 2023. (In Russ.).
- [4] *Kurkin VA. Pharmacognosy.* Samara: Ofort; ; SamGMU; 2004. (In Russ.).
- [5] *Putyrskij IN, Prohorov VN. Universal Encyclopedia of Medicinal Plants.* Minsk: Publishing House ; Moscow. Mahaon; 2000. (In Russ.).

- [6] Akhtyrtsev BP, Yablonskikh LA, Akhtyrtsev AB. Content and vertical distribution of heavy metals and radionuclides in hydromorphic Soils of the Forest Steppe zone of the Russian plain. *Eurasian Soil Science*. 1999;32(4):394–403. EDN: LFJGML
- [7] Krolak E, Marciniuk J, Popijantus K, Wasilczuk P, Kasprzykowski Z. Environmental factors determining the accumulation of metals: Cu, Zn, Mn and Fe in tissues of *Taraxacum* sp. sect. *Taraxacum*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2018;101:68–74. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2356-y> EDN: VGXXRP
- [8] Vorobyev GV, Alyabyev AYu, Yakushenkova TP, Ibragimova KK. Characteristic features of *taraxacum officinale* metabolism under the conditions of atmosphere pollution caused by motor transport. *Bulletin of the Chuvash State Pedagogical University named after I.Ya. Yakovlev*. 2013;(2):39-44. (In Russ.). EDN: QBJPKN
- [9] Efremov AA, Shatalina NV, Strizheva EN, Pervyshina GG. The influence of environmental factors on the chemical composition of some wild plants of the Krasnoyarsk Territory. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 2002;(3):53–56. (In Russ.). EDN: HWINCR
- [10] Vasil'eva TN, Brudastov YuA. Potential phytoaccumulators of metals-fertilizers of urbanized soils of the city of Orenburg. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2011;(6):142–146. (In Russ.). EDN: OBFEPUP
- [11] Klinskaya EO. Evaluation of Birobidzan environmental pollution by the lead content in an officinal dandelion (*Taraxacum officinale*). *Regional Issues*. 2005;6–7:73–76. (In Russ.). EDN: TOVTSX
- [12] Poznyak SS. The content of some heavy metals in the vegetation of field and meadow agrophytocenoses in conditions of technogenic pollution of the soil cover. *Bulletin of Tomsk State University. Biology*. 2011;1(13):123-137. (In Russ.). EDN: NGAZVT
- [13] Karaeva IT, Khmelevskaya AV, Cherchesova ChS. Results of the mineral composition of inulin — containing plants growing in the republic of North Ossetia-Alania. *News of the Gorsky State Agrarian University*. 2016;53(3):133–136. (In Russ.). EDN: WNDEBL
- [14] Igamberdieva PK, Mamajanov BS, Saidahmadova NG. Study microelements medicinal plants South Fergana and prospects of their use in the treatment of iron deficiency anemia. *Modern medicine: topical issues*. 2015;44:80–87. (In Russ.). EDN: UBHUDN
- [15] Gravel' IV. Assessment of ecotoxicant contamination of medicinal plant raw materials of the Altai Territory. *Problems of botany of South Siberia and Mongolia*. 2019;18:482–484. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/pbssm.2019100> EDN: ORCNCA
- [16] Popov AI, Egorova IN. The state of the resource base of wild medicinal plants of the Mariinsky, Tyazhinsky and Chebulinsky districts of the Kemerovo region. *Khimiko-Farmatsevticheskii Zhurnal*. 1992;26(3):71–73. (In Russ.). EDN: TNKUKH
- [17] Dyakova NA. Regression analysis in the development of a method for the isolation and quantification of water-soluble polysaccharides from dandelion roots. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 2022;(3):249–256. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220310724> EDN: PTBGFB
- [18] Dyakova NA, Samylina IA, Slivkin AI, Gaponov SP, Kukueva LL, Mundra AA, Shushunova TG. Assessment of the ecological condition of samples of the top layers of soils and roots of the dandelion medicinal, selected in the territory of the Voronezh region. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry, Biology, Pharmacy*. 2016;(2):119–126. (In Russ.). EDN: WBKVQT
- [19] Dyakova NA, Gaponov SP, Slivkin AI. Ecological and hygienic assessment of the soil condition of anthropogenic ecosystems of the Voronezh region. *KSTU News*. 2020;59:61–72. (In Russ.). EDN: OCEKIS

- [20] Dyakova NA. Assessment of heavy metals and arsenic pollution in urban and agroecosystems upper soil layers, Central Black Earth Region. *Vestnik IrGSHA*. 2019;95:19–30. (In Russ.). EDN: PHZWCV
- [21] Dyakova NA. Features of accumulation of heavy metals and arsenic in medicinal plant raw materials of dandelion of medicinal collected in urban agrobiocenoses of Voronezh region. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2021;(3):49–55. (In Russ.). <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-03-07> EDN: TGLLAO

Сведения об авторе:

Дьякова Нина Алексеевна, доктор фармацевтических наук, доцент, доцент, кафедра фармацевтической технологии, Воронежский государственный университет, Российская Федерация, 394007, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1. ORCID: 0000-0002-0766-388; eLIBRARY SPIN-код: 3477-0510. E-mail: Ninochka_V89@mail.ru.

Bio note:

Nina A. Dyakova, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor, Department of Pharmaceutical Technology, Voronezh State University, 1 Universitetskaya Square, Voronezh, 394007, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0766-3881; eLIBRARY SPIN-code: 3477-0510. E-mail: Ninochka_V89@mail.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-62-83

EDN: ZDHYZG

УДК 502.45

Научная статья / Research article

Принципы долгосрочного прогнозирования природных процессов на примере азиатской территории России

А.В. Холопцев , Р.Г. Шубкин , Ю.Н. Коваль  

*Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Железногорск,
Российская Федерация
 a_yulya@inbox.ru*

Аннотация. Важный класс природных процессов образуют те, развитие которых обусловлено причинными связями с некоторыми наблюдаемыми факторами, опережающими их по времени, что позволяет использовать такие связи для долгосрочного прогнозирования. Принципы такого их прогнозирования во многом определяют выбор методики, применяемой при разработке прогнозов, а также их оправдываемость. Поэтому их совершенствование — перспективное направление развития технологий профилактики опасных последствий рассматриваемых процессов, а также актуальная проблема безопасности при чрезвычайных ситуациях. При долгосрочном прогнозировании изучаемых процессов традиционно применяется принцип «чем точнее моделирование, тем точнее и прогнозирование», а также принимается допущение о том, что их развитие происходит по инерционному сценарию, а также может быть применен принцип «каждому свое», предполагающий, что для каждого участка изучаемой территории прогнозирование осуществляется с учетом значимых факторов рассматриваемого процесса, соответствующих именно этому участку. При выявлении таких факторов принимается допущение о том, что в будущем сценарий развития изучаемого процесса не переменится. Это позволяет использовать в качестве предиктора прогностической модели фактор изучаемого процесса, связь с которым в прошлом усиливалась. Предложена методика выявления участков, для которых рассматриваемый фактор изучаемого процесса обладает указанным свойством. Установлено, что участков Азиатской Территории России, где сценарий развития каких-либо гидрометеорологических процессов является инерционным, мало. Вследствие этого априорные оценки оправдываемости долгосрочных прогнозов таких процессов здесь, как правило, существенно отличаются от ее апостериорных оценок. Следование принципу «каждому свое» приводит к необходимости разработки для каждого изучаемого участка рассматриваемой территории специализированной прогностической модели, предикторами которой являются факторы, связи с которыми ранее усиливались. Чем больше рассматриваемых участков, тем выше и трудоемкость разработки требуемого количества специализированных моделей. Поэтому актуальной является

© Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Коваль Ю.Н., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

проверка гипотез о многочисленности участков, где априорные оценки оправданности прогноза занижены. Справедливость гипотез подтверждена на примере межгодовых вариаций среднемесячных температур приземного воздуха на Азиатской части России для весенних месяцев и их фактора изменения количества ландшафтных пожаров, возникших в предыдущем году на территории Якутии.

Ключевые слова: сценарий, связь, тенденция, гидрометеорологические факторы

Вклад авторов. *Холопцев А.В.* — концептуализация, формулирование идеи, формулирование исследовательских целей и задач, подготовка и создание рукописи. *Шубкин Р.Г.* — методология, разработка или проектирование методологии исследования, создание модели исследования, подготовка и создание рукописи. *Коваль Ю.Н.* — подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

История статьи: поступила в редакцию 30.03.2025; доработана после рецензирования 09.07.2025; принята к публикации 01.12.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: *Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Коваль Ю.Н.* Принципы долгосрочного прогнозирования природных процессов на примере азиатской территории России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 62–83. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-62-83> EDN: ZDHYZG

Principles of long-term forecasting of natural processes: case study of the Asian territory of Russia

Aleksandr V. Kholoptsev^{ID}, Roman G. Shubkin^{ID}, Yulia N. Koval^{ID}✉

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk,
✉ a_yulya@inbxo.ru

Abstract. An important class of natural processes is formed by those whose development is due to causal relationships with some observed factors that are ahead of them in time, which makes it possible to use such relationships for long-term forecasting. The principles of such forecasting largely determine the choice of methodology used in the development of forecasts, as well as their justifiability. Therefore, their improvement is a promising direction for the development of technologies for the prevention of dangerous consequences of the processes under consideration, as well as an urgent safety problem in emergency situations. In the long-term forecasting of the studied processes, the principle “the more accurate the modeling, the more accurate the forecasting” is traditionally applied, and it is also assumed that their development occurs according to an inertial scenario. To solve the problem under consideration, the principle of “to each his own” can also be applied, suggesting that for each section of the studied territory, forecasting is carried out taking into account the significant factors of the process under consideration, corresponding specifically to this section. When identifying such factors, it is assumed that the scenario for the development of the process under study will not change in the future. This allows us to use as a predictor of the predictive model, the factor of the process under study, the connection with which has been strengthened in the past. A method

is proposed for identifying areas for which the considered factor of the process under study has the specified property. It has been established that there are few areas of the Asian Territory of Russia where the scenario of the development of any hydrometeorological processes is inertial. As a result, a priori estimates of the justifiability of long-term forecasts of such processes here, as a rule, differ significantly from its a posteriori estimates. Following the principle of “to each his own” leads to the need to develop a specialized predictive model for each studied area of the territory under consideration, the predictors of which are factors that have previously been strengthened. The more sites under consideration, the higher the complexity of developing the required number of specialized models. Therefore, it is important to test hypotheses about the abundance of sites where a priori estimates of the feasibility of the forecast are underestimated. The validity of the hypotheses is confirmed by the example of such a process as interannual variations in average monthly surface air temperatures in the Asian territory of Russia for the spring months and their factors such as changes in the number of landscape fires that occurred in the previous year in Yakutia.

Keywords: scenario, relationship, trend, hydrometeorological factors

Authors’ contribution. *A.V. Kholoptsev* — conceptualization, ideas, formulation or evolution of overarching research goals and aims, preparation and creation of the published work. *R.G. Shubkin* — methodology, development or design of methodology, creation of models, preparation and creation of the published work. *Yu.N. Koval* — writing — original draft, preparation and/or presentation of the published work, specifically writing the initial draft (including substantive translation). All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Article history: received 30.03.2025; revised 09.07.2025; accepted 01.12.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Kholoptsev AV, Shubkin RG, Koval YuN. Principles of long-term forecasting of natural processes: case study of the Asian territory of Russia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):62–83. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-62-83> EDN: ZDHYZG

Введение

Особенностью многих природных процессов, способных причинять ущерб населению, экономике и экосистемам России, является наличие значимых причинных связей их динамики с некоторыми наблюдаемыми факторами, опережающими их по времени, что позволяет использовать такие связи для их долгосрочного прогнозирования.

Примерами таких процессов могут служить межгодовые изменения количества ландшафтных пожаров (КЛП), возникающих на рассматриваемой территории за некоторый месяц или за весь год, которые причинно связаны с вариациями массы накопившегося на ней горючего материала, а также его увлажненности. Последние в свою очередь зависят от изменений интенсивности образования на ней горючего материала в предыдущие годы, а также среднемесячных температур воздуха (СТВ) и месячных сумм выпадающих здесь атмосферных осадков (МСО), соответствующих предыдущим месяцам.

Эффективность деятельности подразделений МЧС России, направленной на снижение ущерба от рассматриваемых процессов, во многом определяется

качеством долгосрочных прогнозов, учитываемых при ее планировании, характеристикой которого является их оправдываемость (далее — ОДП) [1]. Значение упомянутого показателя, а также выбор методики разработки таких прогнозов во многом определяется принципами, положенными в основу прогнозирования. Поэтому совершенствование упомянутых принципов является актуальной проблемой не только естественных наук, но и безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Наибольший интерес решение рассматриваемой проблемы представляет для природных катастроф, которые ежегодно причиняют существенный ущерб населению и экономике многих регионов России. Видное место среди них занимают ландшафтные пожары, ущерб от которых в ряде ее регионов за период 2000–2024 гг. увеличился¹, [1-8]. Информация об изменениях КЛП для территории каждого региона России представлена в *Информационной системе дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства*². Из нее следует, что в период 2000–2024 гг. наибольший ущерб населению и экономике причиняли ландшафтные пожары, происходящие на азиатской территории России (АТР).

Значения КЛП для различных регионов России, относящихся к АТР, в те или иные годы различались в десятки раз³ [9; 10]. По этой причине многократно различались также людские, материальные и финансовые ресурсы, которые фактически требовались для ликвидации ландшафтных пожаров на территории того или иного региона.

Если оценки вероятных КЛП для предстоящего года, которые учитывались при планировании деятельности противопожарных подразделений, оказывались заниженными, выделенных ресурсов для ликвидации фактически возникавших пожаров не хватало. В таких случаях стоящие перед подразделениями задачи решались лишь благодаря героизму их личного состава, экстренной помощи со стороны добровольцев и органов власти, а ущерб от ландшафтных пожаров, который не удавалось предотвратить, существенно возрастал.

Если учитываемые при планировании долгосрочные прогнозы КЛП являлись завышенными, выделенных ресурсов для ликвидации возникающих

¹ Классификация сроков метеорологических прогнозов. URL: <https://meteoinfo.ru/for/about/1597-f> (дата обращения: 12.03.2025); Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2022 году». Москва : Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2023. 461 с.; Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Санкт-Петербург : Научно-технологический институт, 2022. 124 с.

² Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения: 12.03.2025).

³ Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения: 12.03.2025).

пожаров было вполне достаточно и каких-либо неразрешимых проблем не возникало.

Следовательно, существенными факторами реальной эффективности деятельности противопожарных подразделений, а также ущерба, который не удалось предотвратить, выступают наличие и знак смещения априорных оценок ОДП прогнозов КЛП на предстоящий год, которые учитываются при ее планировании. Поэтому существенный теоретический и практический интерес представляет поиск путей повышения достоверности их определения.

Априорные оценки ОДП любого процесса вычисляются по его предыстории как частота, с которой прогноз в прошлом оправдывался. Они всегда являются несмещенными по отношению к апостериорным оценкам ОДП, если сценарий развития изучаемого процесса инерционен (все его статистические характеристики в будущем остаются такими же, какими они были в прошлом) [11].

Количество статистических характеристик изучаемых процессов — бесчисленное множество. Поэтому убедиться в том, что сценарий их развития является инерционным, практически невозможно. Отчасти поэтому проверку справедливости такого предположения разработчики прогноза не проводят, а участки АТР, для которых он обладает указанным свойством, не определены.

Одной из статистических характеристик любого изучаемого процесса является значение коэффициента его корреляции с каким-либо фактором, которое вычислено на некотором отрезке времени. Эта характеристика может рассматриваться как показатель силы (тесноты) связей между ними.

Сценарий развития изучаемого процесса и его фактора, при котором значения этой характеристик не зависят от выбора отрезка его временного ряда некоторой длины, используемого для их оценки, рассматривается здесь и далее как консервативный [12]. Любой инерционный сценарий гарантированно является консервативным, но отнюдь не любой консервативный сценарий инерционен.

Убедиться в том, что упомянутая характеристика изучаемого процесса не зависит от выбора начала отрезка его временного ряда, по которому она оценивается, можно, располагая результатами его мониторинга, образующими его предысторию. Тем не менее участки АТР, для которых сценарии изучаемых процессов консервативны, не выявлены.

Смещение априорных оценок ОДП по отношению к ее апостериорным оценкам возникает, если в изменениях силы связи между процессом и его фактором проявляются какие-либо значимые тенденции.

Если все учитываемые при прогнозировании связи усиливаются, то оценка ОДП по предыстории процесса всегда занижена по отношению к оценке за более поздний отрезок времени (включающий и будущее). В противном случае она завышена. Поэтому знак смещения априорных оценок ОДП определяется предысторией изменения силы связей, учитываемых в прогностических

моделях изучаемого процесса. Его оценка по предыстории процесса в будущем окажется адекватной, если сценарий, по которому он развивается, не переменится.

Согласно существующим представлениям о природных факторах, обусловивших возникновение в некоторых регионах России тенденций к увеличению КЛП, к числу основных относится потепление их климата [1; 7].

Этот процесс приводит к активизации на территориях многих регионов России гидрометеорологических факторов пожароопасности по условиям погоды [13], что вызывает рост и соответствующих КЛП. К таким факторам относятся соответствующие изменения СТВ, МСО, а также многие другие процессы⁴ [14].

Как показано в [12; 15], для многих участков АТР значимыми факторами межгодовых изменений СТВ для весенних месяцев, являются вариации КЛП на территории республики Саха (Якутия), опережающие их по времени на 1 год.

На многих участках территории России пожароопасный сезон в XX в. начинался в апреле, а пик горимости их ландшафтов приходился на весенние месяцы [3; 16; 17]. В результате потепления климата начало пожароопасного сезона в период 2000–2024 гг. сместилось на март .

Проблема повышения апостериорных оценок ОДП гидрометеорологических процессов в принципе может быть решена с использованием двух подходов.

Основополагающим принципом, на котором основаны разработки долгосрочных гидрометеорологических прогнозов, реализующих традиционный подход, является следующий: «Чем точнее моделирование, тем точнее и прогнозирование». Поэтому рассматриваемый подход состоит в совершенствовании климатических моделей изучаемых процессов за счет расширения множества учитываемых ими факторов, что приводит к повышению точности моделирования. Он развивается практически всеми разработчиками долгосрочных гидрометеорологических прогнозов, представляющими Гидрометцентр России [18; 19], Главную геофизическую обсерваторию им. А.И. Воейкова [20; 21], Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт [11; 22; 23] и Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова [12]. Большинство разработчиков явно или неявно используется предположение о том, что сценарий дальнейших изменений изучаемого процесса является инерционным.

Эффективность рассматриваемого подхода при разработке краткосрочных и среднесрочных гидрометеорологических прогнозов неоднократно подтверждена практикой. Во многих случаях повышение точности моделирования

⁴ Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2022 году». Москва : Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2023. 461 с.

изучаемых процессов приводит также к повышению апостериорных оценок ОДП⁵. Вместе с тем в некоторых случаях такого результата достичь не удастся, а априорные оценки ОДП изучаемых процессов разработчиками их прогнозов оцениваются в среднем по территории России, как 0,7–0,8.

Одной из причин ошибочности упомянутых прогнозов для некоторых участков АТР может являться несправедливость упомянутого допущения, что влечет за собой существенные различия статистических свойств изучаемого процесса в прошлом и в будущем, а также наличие значимого смещения априорной оценки ОДП по отношению к ее апостериорной оценке.

Второй подход к решению рассматриваемой проблемы основан на принципе, который может быть условно назван «каждому свое», а также на допущении о том, что сценарий развития изучаемого процесса в будущем не изменится. Упомянутый принцип предполагает, что для каждого участка изучаемой территории разработка долгосрочного прогноза должна осуществляться с учетом значимых факторов рассматриваемого процесса, соответствующих именно этому участку.

Упомянутое допущение позволяет использовать в качестве предиктора прогностической модели фактор изучаемого процесса, связи с которым в прошлом усиливались, что приводило к повышению точности его моделирования. Очевидно, что если точность модели процесса с течением времени увеличивается, априорная оценка его ОДП, вычисленная по его предыстории, всегда является, по отношению к апостериорной оценке этого показателя, заниженной.

Фактически второй подход предполагает разработку для всего рассматриваемого региона не одной сложной и универсальной прогностической модели изучаемого процесса, а множества более простых и специализированных его моделей, которые соответствуют различным участкам его территории и перекрывают ее целиком лишь в совокупности.

Предикторами этих моделей должны быть значимые факторы изучаемого процесса с характеристиками, соответствующими рассматриваемому участку, при условии, что их связи с этим процессом в прошлом усиливались. Учитывая принятое допущение, в будущем эти связи должны стать еще сильнее, а точность моделей выше.

Следует отметить, что для моделей, разработанных в соответствии с традиционным подходом, повышение точности в будущем не гарантируется, так как среди учитываемых ими факторов присутствуют и те, для которых связи с изучаемым процессом в прошлом с течением времени становились слабее.

Поэтому апостериорные оценки ОДП для каждого участка АТР, разработанных с применением упомянутых специализированных моделей, могут

⁵ Результаты реанализа см.: ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> (дата обращения: 12.03.2025).

быть выше, чем для модели, разработанной в соответствии с первым подходом. Однако чем больше таких участков, тем выше и трудоемкость разработки требуемого количества этих моделей.

Цель исследования — проверка справедливости выдвинутых гипотез, а именно:

- 1) количество участков АТР, для которых априорные оценки ОДП совпадают с апостериорными оценками, невелико;
- 2) существуют многочисленные участки АТР, для которых априорные оценки ОДП межгодовых изменений СТВ для весенних месяцев, разработанных с учетом их связей с вариациями КЛП на территории Якутии, являются заниженными.

Для ее достижения решены задачи:

- 1) выявлены участки АТР, где априорные оценки ОДП межгодовых изменений МСО и СТВ для весенних месяцев по их предысториям являются несмещенными (а сценарии их развития консервативны);
- 2) определены участки АТР, для которых априорные оценки ОДП межгодовых изменений СТВ для некоторых месяцев пожароопасного сезона, разработанных с учетом их связей с вариациями КЛП на территории Якутии, являются заниженными.

Фактический материал и методы исследования

При решении поставленных задач в качестве фактического материала использованы результаты реанализа ERA 5 [24], отражающие изменения часовых сумм атмосферных осадков и среднечасовых температур приземного воздуха в пунктах земной поверхности, соответствующих узлам координатной сетки Меркатора с шагом $0,25^\circ$. Упомянутые результаты охватывают период с 01.01.1940 г. по 31.12.2024 г.⁶

Из упомянутой информации для каждого пункта территории Сибири, соответствующего некоторому узлу упомянутого реанализа, и для всех месяцев пожароопасного сезона сформированы временные ряды МСО и СТВ, охватывающие период времени 01.01.1961–31.12.2024 г.

Как фактический материал об изменениях КЛП использована информация из *Информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства*⁷ за период с 2000 по 2024 г.

При разработке методики исследования принято допущение о том, что в будущем какие-либо перемены сценария изучаемых процессов не произойдут, оно является более общим, чем допущение об инерционности их сценария.

⁶ База данных Результаты реанализа ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> (дата обращения: 12.03.2025).

⁷ Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения: 12.03.2025).

При решении первой задачи применялась методика, основанная на оценке показателя устойчивости статистической связи изучаемого процесса с каждым фактором, учитываемым в его модели, к изменениям отрезка времени, для которого вычислено его значение. Как один из таких факторов рассматривался отрезок предыстории того же процесса, который опережает его по времени на Δ . Учитывалось, что для долгосрочных прогнозов значение Δ может составлять от 30 суток до 720 сут⁸. Поэтому предполагалось, что $\Delta = 1, 2, 3$ месяца.

Из предысторий изменений в период 1961–2024 гг. МСО и СТВ для весенних месяцев сформированы отрезки соответствующих временных рядов, содержащие по $N = 30$ членов, начала которых различны и сдвинуты между собой на Δ .

Для каждой пары сопоставляемых временных рядов вычислено значение коэффициента их корреляции $K(\Delta, N)$. Из значений этого коэффициента, соответствующих тому или иному участку, месяцу и показателю, но различающихся годом начала отрезков, по которым они вычислены, сформированы соответствующие временные ряды.

С использованием этих рядов для каждого участка, месяца и показателя оценены значения показателя устойчивости связи χ , который определяется как

$$\chi = (\max(K(\Delta, N)) + \min(K(\Delta, N)))/(\max(K(\Delta, N)) - \min(K(\Delta, N))), \quad (1)$$

где $\max(K(\Delta, N))$ и $\min(K(\Delta, N))$ — операторы, которые позволяют определить во временных рядах $K(\Delta, N)$ их максимальные, а также минимальные члены.

Если сценарий изучаемого процесса близок к консервативному сценарию, то при увеличении N разность между значениями $\max(K(\Delta, N))$ и $\min(K(\Delta, N))$ уменьшается, стремясь к нулю, а значения χ неограниченно возрастают.

Значения χ вычислены для рядов как СТВ, так и МСО, для всех пунктов АТР, соответствующих различным узлам координатной сетки реанализа ERA5, а также всем месяцам пожароопасного сезона и указанным выше значениям Δ .

При решении второй задачи учитывалось, что на территории Сибири могут существовать участки, где сценарий развития какого-либо из изучаемых процессов консервативным не является.

Принималось во внимание, что ОДП прогнозов рассматриваемых процессов по их предысториям могут являться заниженными, если для прогнозирования применены модели, точность которых с течением времени в прошлом увеличивалась. Последнее имеет место, если в прошлом, с течением времени, связи каждого изучаемого процесса с любым предиктором его прогностической модели усиливались.

⁸ Классификация сроков метеорологических прогнозов. URL: <https://meteoinfo.ru/forcabout/1597-f> (дата обращения: 12.03.2025).

Подтверждением этому может служить значимость и положительность углового коэффициента линейного тренда временного ряда (УКЛТ (Δ , N)), сформированного из значений модуля $K(\Delta, N)$ отрезков их временных рядов, имеющих фиксированную длину (N), но различающихся годом своего начала.

Как уже упоминалось выше, одним из факторов межгодовых изменений СТВ для весенних месяцев на многих участках АТР являются вариации КЛП за весь предыдущий пожароопасный сезон на территории Якутии. Поэтому для доказательства существования на территории Сибири участков, где априорные оценки ОДП занижены, значения $K(\Delta, N)$ были вычислены для всех соответствующих отрезков временных рядов СТВ для того или иного месяца, а также соответствующих отрезков рядов КЛП для Якутии, содержащих по 12 членов ($N = 12$).

Из полученных значений $K(\Delta, 12)$ сформированы временные ряды, по которым вычислены значения УКЛТ ($\Delta, 12$) для всех пунктов и каждого рассматриваемого месяца.

Принято допущение о том, что отклонения значений каждого изучаемого показателя от соответствующего линейного тренда представляют собой нормальные случайные величины. Его справедливость подтверждена с применением критерия Пирсона. Поэтому связь между некоторым рядом СТВ и рядом КЛП рассматривалась как усиливающаяся, если соответствующая оценка значения УКЛТ($K(\Delta, 12)$) являлась положительной и с достоверностью не менее 0,95 признавалась значимой. Последнее имело место, если выполнялось условие

$$12 \times \text{УКЛТ} (\text{ABS} (K(\Delta, 12))) > 1,65 \times \text{СКО} (K(\Delta, 12)), \quad (2)$$

где ABS — оператор нахождения абсолютной величины своего аргумента; СКО ($K(\Delta, 12)$) — среднеквадратическое отклонение членов ряда $K(\Delta, 12)$ от соответствующего тренда.

Из вышеизложенного следует, что рассматриваемая методика позволяет выявить участки АТР, где априорные оценки ОДП для изучаемых процессов, соответствующие тому или иному месяцу, являются несмещенными либо заниженными.

Результаты исследования и их анализ

В результате решения, с применением изложенной методики, первой задачи определены все участки АТР, для которых сценарии межгодовых изменений МСО и СТВ являлись консервативными, а соответствующие априорные оценки ОДП — несмещенными.

Установлено, что для всех месяцев пожароопасного сезона суммарная площадь участков территории Сибири, для которых сценарии межгодовых изменений МСО являлся консервативным, весьма невелика.

Как пример, на рис. 1 представлены участки территории Сибири, для которых сценарии изменений МСО для июля, при $\Delta = 1, 2$ и 3 месяца, в период 1961–2024 гг. в той или иной мере близок к консервативному сценарию.

На нем (и далее) обозначены: 1 — Ненецкий Автономный округ; 2 — Республика Коми; 3 — Ямало-Ненецкий автономный округ; 4 — Ханты-Мансийский автономный округ; 5 — Свердловская область; 6 — Челябинская область; 7 — Курганская область; 8 — Тюменская область; 9 — Омская область; 10 — Новосибирская область; 11 — Томская область; 12 — Кемеровская область; 13 — Алтайский край; 14 — Республика Хакасия; 15 — Таймырский район Красноярского края; 16 — Республика Саха (Якутия); 17 — Эвенкийский район Красноярского края; 18 — прочие его районы; 19 — Республика Алтай; 20 — Республика Тыва; 21 — Иркутская область; 22 — Республика Бурятия; 23 — Забайкальский край; 30 — Казахстан; 31 — Монголия.

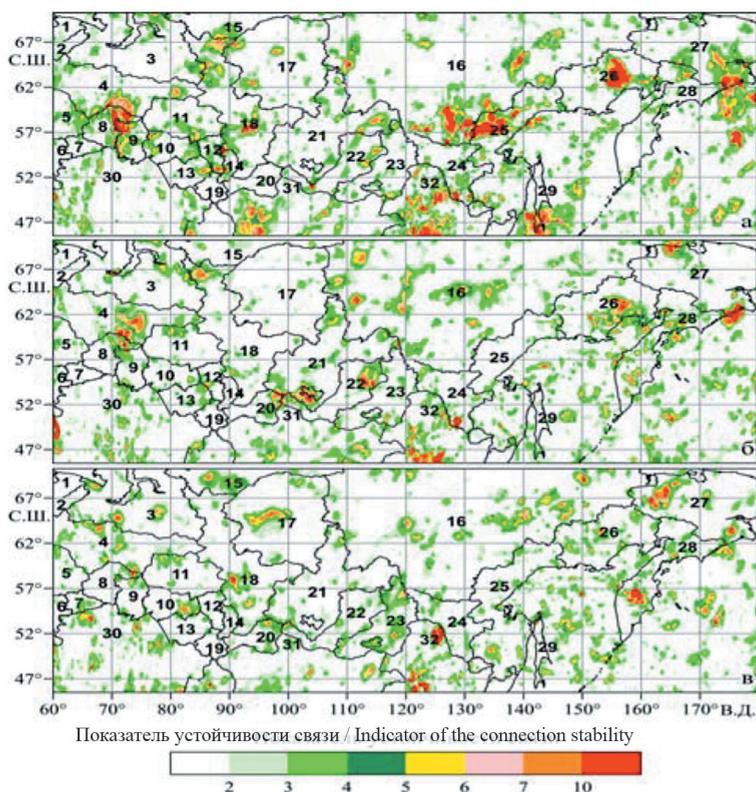


Рис. 1. Участки территории Сибири, для которых сценарий изменений МСО осадков для июля, при $N = 30$, в период 1961–2024 гг. в той или иной мере близок к инерционному сценарию: а — $\Delta = 1$ мес.; б — $\Delta = 2$ мес.; в — $\Delta = 3$ мес.

Источник: составлено А.В. Холопцевым, Р.Г. Шубкиным, Ю.Н. Коваль с использованием информации из реанализа ERA5.

Figure 1. Areas of the Siberian territory for which the scenario of changes in precipitation for July, at $N = 30$, in the period 1961–2024 is more or less close to the inertial scenario: а — $\Delta = 1$ mo.; б — $\Delta = 2$ mo.; в — $\Delta = 3$ mo.

Source: compiled by A.V. Kholoptsev, R.G. Shubkin, Yu.N. Koval using information from the ERA5 reanalysis.

Как видно из данных рис. 1а, условие $\chi > 10$ для связей отрезков временных рядов изучаемого процесса длиной 30 членов, соответствующих месяцам июль и апрель ($\Delta = 3$ мес.) выполняется лишь для некоторых участков терри-

тории Республики Саха (Якутия), Хабаровского и Красноярского края, Амурской, Омской, Тюменской и Магаданской области, а также Чукотского автономного округа.

Суммарная площадь таких участков не превышает 4 % от площади всей территории Сибири. Аналогичные участки обнаружены также на территориях Китая и Монголии.

Упомянутое условие для месяцев июль и май ($\Delta = 2$ мес.) выполняется также для ряда участков территории Республики Бурятия, Амурской, Тюменской, Иркутской и Магаданской области, а также Чукотского и Ханты-Мансийского автономного округа (рис. 1б). Общая площадь участков, где $\chi > 10$, не превышает 3 % от площади всей территории Сибири. Такие же участки выявлены на территориях Казахстана и Китая.

Рассматриваемое условие для месяцев июль и июнь ($\Delta = 1$ мес.) справедливо для некоторых участков территории Камчатского и Красноярского края, Тюменской области, а также Чукотского и Ямало-Ненецкого автономного округа (рис. 1в).

Вся площадь выявленных участков не превышает 2 % от общей площади территории Сибири.

Рассматриваемые участки выявлены также на территориях Казахстана и Китая.

Таким же образом установлено, что для любых месяцев пожароопасного сезона участки территории Сибири, для которых сценарий изменений МСО близок к консервативному сценарию, — редкое исключение. Правилом здесь является следующее: сценарий развития этого процесса не инерционен.

Участки территории Сибири, для которых сценарий изменений СТВ температур воздуха для июля, при $N = 30$ и $\Delta = 1, 2$ и 3 месяца в период 1961–2024 гг. в той или иной мере близок к инерционному сценарию, показаны на рис. 2.

Условие $\chi > 10$ для связей отрезков временных рядов изучаемого процесса длиной 30 членов, соответствующих месяцам июль и апрель ($\Delta = 3$ мес.), на каких-либо участках территории Сибири не выполняется (рис. 2а). Упомянутое условие для месяцев июль и май ($\Delta = 2$ мес.) на территории Сибири также не выполняется (рис. 2б). Такие участки выявлены лишь на территориях Казахстана и Китая.

Для месяцев июль и июнь ($\Delta = 1$ мес.) рассматриваемое условие справедливо также лишь для некоторых участков территории Казахстана и Китая (рис. 2в). В пределах территории Сибири таких участков нет.

Аналогичным образом установлено, что и для других месяцев пожароопасного сезона на всех участках АТР сценарий изменений СТВ консервативным и тем более инерционным не является.

Таким образом, доказано, что сценарии межгодовых изменений МСО и СТВ для большинства участков АТР и всех месяцев пожароопасного сезона консервативными и тем более инерционными не являются.

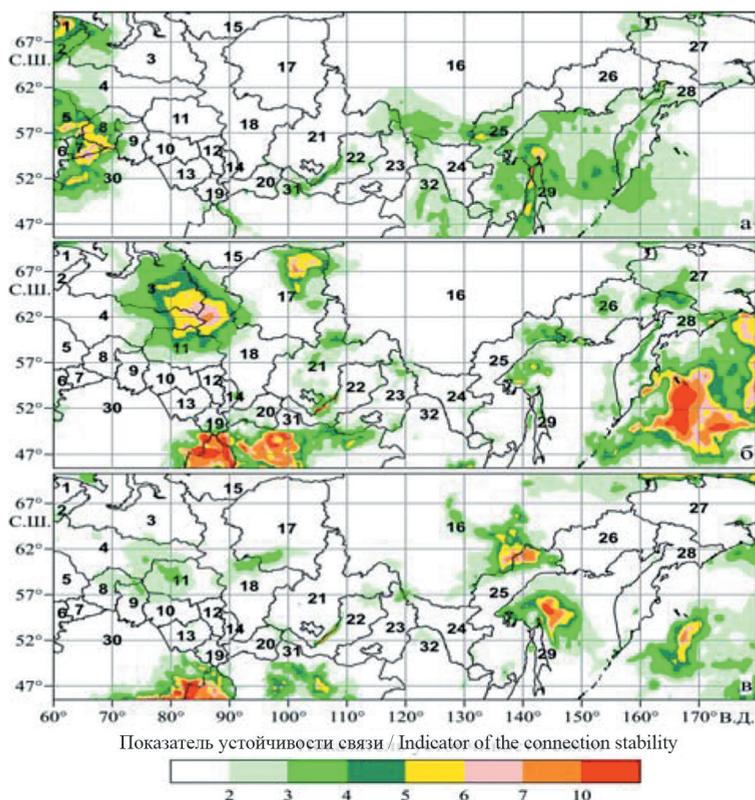


Рис. 2. Участки территории Сибири, для которых сценарии изменений СТВ для июля, при $N = 30$, в период 1961–2024 гг. в той или иной мере близок к инерционному сценарию: а — $\Delta = 1$ мес.; б — $\Delta = 2$ мес.; в — $\Delta = 3$ мес.

Источник: составлено А.В. Холопцевым, Р.Г. Шубкиным, Ю.Н. Коваль с использованием информации из реанализа ERA5.

Figure 2. The sections of the Siberian territory for which the scenario of changes in the STV for July, at $N = 30$, in the period 1961–2024 is more or less close to the inertial scenario: а — $\Delta = 1$ mo.; б — $\Delta = 2$ mo.; в — $\Delta = 3$ mo.

Source: compiled by A.V. Kholoptsev, R.G. Shubkin, Yu.N. Koval using information from the ERA5 reanalysis.

Поэтому долгосрочные прогнозы этих процессов, которые разработаны, следуя принципу «чем точнее моделирование, тем точнее и прогнозирование», характеризуются ОДП, априорные оценки которой, по предысториям этих процессов, являются смещенными. Знак и величина этого смещения могут быть любыми.

В результате решения второй задачи выявлены участки АТР, для которых априорная оценка ОДП СТВ, с учетом вариаций КЛП Якутии, являлась заниженной.

Указанные участки выявлены для каждого месяца пожароопасного сезона, для периода 2000–2024 гг. При этом применена изложенная выше методика.

В качестве примера на рис. 3 показаны участки АТР, для которых связи межгодовых изменениях СТВ для месяцев апрель–июль, с опережающими их

по времени вариациями КЛП на территории Якутии, в период 2000–2024 гг. усиливались ($УКЛП(K(\Delta, 12)) > 0$).

Значимое усиление связей межгодовых изменений КЛП на территории Якутии в период 2000–2024 гг. с запаздывающими по отношению к ним по времени вариациями СТВ на территории Сибири для апреля выявлено для многих ее участков (рис. 3а).

Такие участки относятся к Ненецкому, Ямало-Ненецкому и Ханты-Мансийскому автономному округу, Республике Саха (Якутия) и Коми, Свердловской, Челябинской, Курганской, Тюменской, Омской и Иркутской области, а также Таймырскому (Долгано-Ненецкому), Эвенкийскому и Туруханскому районам Красноярского края.

Для мая значимое усиление связей межгодовых изменений СТВ с опережающими их по времени вариациями КЛП в Якутии обнаружено на участках территорий тех же регионов России, а также Томской, Новосибирской, Челябинской и Курганской областей, Алтайского и Забайкальского края, а также Республики Бурятия (рис. 3б). Наиболее существенно увеличилась общая площадь рассматриваемых участков на территории Республики Саха (Якутия) и Ханты-Мансийского автономного округа. Для Эвенкийского района Красноярского края площадь таких участков, напротив, существенно уменьшилась.

Для июня искомые участки находились на территориях всех показанных на нем регионов России, а также Казахстана и Китая (рис. 3в). Их суммарная площадь на территориях Западной и Средней Сибири больше, чем в предыдущие весенние месяцы и чем в прочие месяцы пожароопасного сезона.

Для июля значимые тенденции к усилению связей межгодовых изменений СТВ и КЛП на всей территории Якутии в предыдущем году выявлены для участков АТР, которые относятся: к Ненецкому, Ямало-Ненецкому, Ханты-Мансийскому и Чукотскому автономным округам, к Красноярскому, Хабаровскому Забайкальскому и Камчатскому краю, Республикам Саха (Якутия) и Коми, а также к областям: Свердловской, Челябинской, Курганской, Тюменской, Омской, Томской, Новосибирской, Кемеровской Амурской, Иркутской и Магаданской (рис. 3г). Суммарная площадь таких участков несколько больше, чем для апреля, но меньше, чем для июня.

Для всех рассматриваемых месяцев аналогичные участки обнаружены также на территориях Китая, Казахстана и Монголии.

Следовательно, из данных рис. 3а-г можно заключить, что для многих участков АТР априорные оценки ОДП межгодовых изменений СТВ для весенних месяцев, вычисленные с учетом вариаций КЛП для Якутии, по предысториям этих процессов, действительно являются заниженными.

Аналогичные выводы справедливы и для других месяцев пожароопасного сезона, хотя для них суммарная площадь таких участков АТР меньше, чем для апреля и мая.

Общая площадь таких участков для любых месяцев пожароопасного сезона составляет не менее 45 % от общего количества рассматриваемых участков АТР.

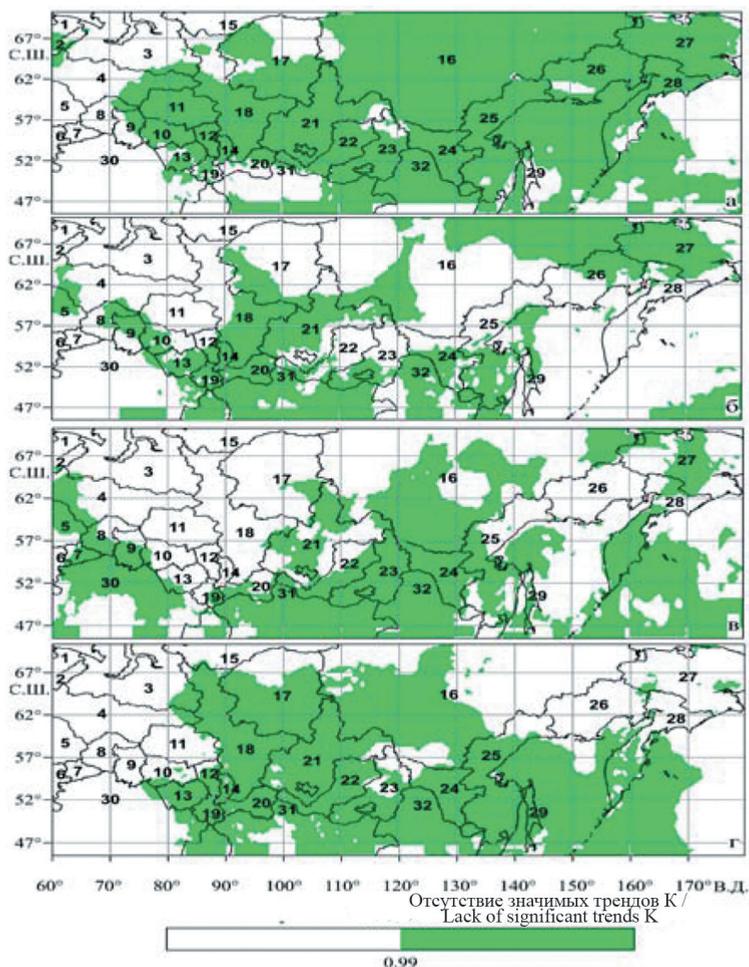


Рис. 3. Участки территории Сибири, для которых выявлено значимое усиление связей межгодовых изменений КЛП на территории Якутии в период 2000–2024 гг. с запаздывающими по отношению к ним по времени вариациями СТВ для месяцев:
а — апрель; б — май; в — июнь; г — июль

Источник: составлено А.В. Холопцевым, Р.Г. Шубкиным, Ю.Н. Коваль с использованием информации из реанализа ERA5.

Figure 3. The sections of the territory of Siberia for which a significant increase in the relationship of interannual changes in CFS in Yakutia was revealed in the period 2000–2024, with time-lagging variations in CFS for the months:
а — April; б — May; в — June; д — July.

Source: compiled by A.V. Kholoptsev, R.G. Shubkin, Yu.N. Koval using information from the ERA5 reanalysis.

Полученные результаты представляют собой доказательство того, что весьма многочисленны участки АТР, для которых оценки ОДП межгодовых изменений СТВ для всех месяцев пожароопасного сезона, разработанные с учетом опережающих их по времени вариаций КЛП для территории Якутии, являются заниженными. Для любого из таких участков включение упомянутого фактора в перечень предикторов какой-либо их прогностической модели будет способствовать повышению ее точности, а также увеличению апостериорных оценок ОДП СТВ, разработанных с ее применением.

Таким образом, для многих участков АТР априорные оценки ОДП являются завышенными (их не менее 40 %!). Следовательно, для любого из таких участков учет рассматриваемого фактора СТВ при разработке долгосрочного прогноза их изменений, в случае если сценарий этого процесса не переменится, приведет к уменьшению апостериорной оценки ОДП, даже если ее априорная оценка повысится.

Вместе с тем результаты данного исследования не снижают актуальности дальнейшего развития методик долгосрочного прогнозирования гидрометеорологических процессов на АТР, основанных на традиционном принципе. Однако они указывают также на перспективность развития и второго подхода, основанного на принципе «каждому свое». При осуществлении этого подхода для изучаемого участка АТР необходимо предварительно выбрать факторы изучаемого процесса, связи между которыми в прошлом не ослабевали и в современном периоде являлись значимыми. Для этого целесообразно изучить тенденции изменений на всей доступной предыстории рассматриваемого процесса значений коэффициента его корреляции с каждым фактором, вычисленных в скользящем окне. Факторы, для которых выявлена значимая тенденция к их ослаблению, рекомендуются при разработке прогностической модели не учитывать, даже если в современном периоде они признаны значимыми. В качестве предикторов такой модели учитывать лишь факторы, связи которых с прогнозируемым процессом в прошлом усиливались.

Специализированные модели, разработанные в соответствии с указанным принципом, для зон ответственности тех или иных противопожарных подразделений, представляют наибольший интерес для специалистов, занимающихся планированием их деятельности.

При разработке таких моделей для некоторой территории предлагается учитывать среди их предикторов лишь те значимые факторы прогнозируемых процессов, связи с которыми в прошлом усиливались. Поэтому разработанные с их помощью долгосрочные прогнозы таких процессов могут обладать высокой априорной ОДП, а ее апостериорные оценки окажутся еще выше (если перемены соответствующего сценария не произойдут).

Таким образом, обе поставленные задачи решены, а цель исследования достигнута.

Обсуждение полученных результатов

Как следует из полученных результатов, они в полной мере соответствуют существующим представлениям о происходивших в период 1961–2024 гг. изменениях горимости ландшафтов АТР [3; 4; 6; 8], а также гидрометеорологических факторах этих процессов [1; 2]. Полученные выводы подтверждают также справедливость представлений [12] о принципах оценки качества долгосрочных прогнозов природных процессов по их предысториям. При этом

некоторые из выявленных фактов обладают существенной научной новизной, в частности:

1) на территории АТР количество участков, для которых сценарий изменений их МСО и СТВ для каких-либо месяцев пожароопасного сезона, в период 1961–2024 гг. был близок к консервативному и тем более к инерционному сценарию, не превышает единиц % от общего количества рассматриваемых ее участков;

2) на АТР существует значительное количество участков, для которых априорные оценки ОДП прогнозов СТВ, разработанных с учетом вариаций КЛП на территории Якутии, которые опережают их по времени на 1 год, являются заниженными. Суммарная площадь таких участков максимальна для июня, а для прочих месяцев пожароопасного сезона составляет не менее 45 % от их общего количества;

3) актуальной проблемой долгосрочного прогнозирования пожароопасности по условиям погоды на АТР является выявление ее участков, для которых те или иные факторы изучаемых процессов обладают указанными свойствами, а априорные оценки ОДП, вычисленные по предысториям этих процессов, являются заниженными.

Заключение

В результате проведенного исследования авторами установлено:

1. При долгосрочном прогнозировании месячных сумм атмосферных осадков и среднемесячных температур приземного воздуха на участках азиатской территории России традиционный принцип долгосрочного прогнозирования в полной мере применим лишь в редких случаях, а априорные оценки оправдываемости их прогнозов по соответствующим предысториям, как правило, обладают смещением.

2. Существуют также многочисленные ее участки, для которых априорные оценки оправдываемости долгосрочных прогнозов межгодовых изменений среднемесячных температур воздуха приземного слоя атмосферы, которые соответствуют тому или иному месяцу пожароопасного сезона, являются заниженными. Указанным свойством они обладают далеко не для любых участков. Поэтому для обеспечения высокой апостериорной оправдываемости прогнозов целесообразно руководствоваться принципом «каждому свое» и предварительно определять участки, для которых связи изучаемого процесса с учитываемыми его факторами в прошлом усиливались.

3. Для многих факторов изучаемого процесса на азиатской территории России есть участки, где связи между ними в прошлом становились слабее. Для подобных участков априорные оценки оправдываемости прогнозов, разработанных с учетом таких факторов, являются завышенными, а учитывать такие прогнозы при планировании рискованно.

Список литературы

- [1] *Малевский-Малевич С.П., Молькентин Е.К., Надежина Е.Д., Шкляревич О.Б.* К оценке изменений пожароопасной обстановки в лесах России при ожидаемом потеплении климата в XXI веке // *Метеорология и гидрология*. 2005. № 3. С. 34–36. EDN: KUNKWF
- [2] *Анисимов О.А., Жильцова Е.Л.* Об оценках изменений климата регионов России в XX и начале XXI в. по данным наблюдений // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 6. С. 95–107. EDN: OYSLAR
- [3] *Валендик Э.Н., Кисляхов Е.К., Рыжкова В.А., Пономарев Е.И., Данилова И.В.* Ландшафтные пожары тайги Центральной Сибири // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2014. № 3. С. 73–86. EDN: SGFQDL
- [4] *Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И.* Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы. Москва : Дзекс-Пресс, 2004. 312 с. EDN: UCSYVJ
- [5] *Мозырев Н.К., Корнишин В.А., Кошкарлов В.С.* Пожарная безопасность лесов // *Вестник современных исследований*. 2019. № 2-1 (29). С. 60–63. EDN: PPGJEZ
- [6] *Иванова Г.А., Иванов В.А., Мусохранова А.В., Онучин А.А.* Лесные пожары и причины их возникновения на территории средней Сибири // *Сибирский лесной журнал*. 2023. № 6. С. 6–16. EDN: WLJIC
- [7] *Коровин Г.Н., Зукерт Н.В.* Влияние климатических изменений на лесные пожары в России // *Климатические изменения: взгляд из России / Рос. регион. экол. центр ; [Авалиани С.Л. и др.] ; под ред. В.И. Данилова-Данильяна*. Москва : ТЕИС, 2003. С. 69–98.
- [8] *Кондратьев К.Я., Григорьев А.А.* Лесные пожары как компонент природной экодинамики // *Оптика атмосферы и океана*. 2004. Т. 17. Вып. 4. С. 279–292. EDN: OYGYXX
- [9] *Шубкин Р.Г., Ширинкин П.В.* Результаты долгосрочного прогнозирования крупномасштабных лесных пожаров в Байкальском регионе // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. 2016. № 3 (3). С. 35–38. URL http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2016/v3/N3_9-12.pdf (дата обращения: 12.03.2025). EDN: XSIEAV
- [10] *Коннова Л.А., Львова Ю.В., Руднев Е.В.* О проблемных вопросах природных пожаров в Арктической тундре // *Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России*. 2020. № 2. С. 1–5. EDN: UIQJLM
- [11] *Мионов Е.У., Клячкин С.В., Макаров Е.И., Юлин А.В., Афанасьева Е.В.* Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г. в морях Российской Арктики и оценка оправдываемости ледовых прогнозов // *Российская Арктика*. 2021. № 15. С. 40–53. <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2021-4-40-53> EDN: CMLCOM
- [12] *Холопцев А.В., Никифорова М.П.* Солнечная активность и прогнозы физико-географических процессов. Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 333 с. ISBN 978-3-659-41130-4.
- [13] *Сверлова Л.И.* Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды с учетом поясов атмосферной засушливости и сезонов года / *Федер. служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. ДальНИЦ Дальневост. УГМС*. Хабаровск, 2000. 41 с.
- [14] *Нестеров В.Г.* Горимость леса и методы ее определения. Москва : Гослесбумиздат, 1949. 76 с.
- [15] *Kholoptcev A.V., Shubkin R.G., Baturo A.N., Babenyshev S.V.* Climatic Changes in the Arctic Zone of Russia and Climate Warming in Siberia // *Processes in GeoMedia*. Vol. VI. T. Chaplina (ed.). Springer Geology. Cham: Springer Nature Switzerland AG; 2022. P. 131–144.

- [16] *Холопцев А.В., Садыров Р.С.* Горимость лесов Алтайского края и ее метеорологические факторы в 2015–2022 годах // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. 2023. № 3 (30). С. 115–127. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.30.3.012>. EDN: VKJTJO
- [17] *Демаков Ю.П.* Влияние факторов среды на рост деревьев в сосняках Республики Марий Эл : монография. Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2023. 480 с. URL: <https://science.volgatech.net/editorial-publishingcenter/izdaniya/monografii/2023/DemakovYuP.pdf> (дата обращения: 12.03.2025). EDN: QIZGAG
- [18] *Вильфанд Р.М., Зарипов Р.Б., Киктев Д.Б., Круглова Е.Н., Крыжов В.Н., Куликова И.А., Тищенко В.А., Толстых М.А., Хан В.М.* Долгосрочные метеорологические прогнозы в Гидрометцентре России // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2019. № 4 (374). С. 12–36. EDN: ATVKCN
- [19] *Филатов А.Н., Муравьев А.В., Реснянский Ю.Д.* Долгосрочный метеорологический прогноз: математические проблемы и возможности гидродинамических моделей // 70 лет Гидрометцентру России / Федер. служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Гидрометеорол. науч.-исслед. центр Рос. Федерации; [редкол.: А.А. Васильев (отв. ред.) и др.]. Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 1999. С. 141–165.
- [20] *Pichugin Y.A., Meleshko V.P., Matyugin V.A., Gavrilina V.M.* Hydrodynamic long-term ensemble weather prediction // *Russian Meteorology and Hydrology*. 1998. No. 2. С. 1–9. EDN: RQJLH
- [21] *Мелешко В.П., Гаврилина В.М., Мирвис В.М., Матюгин В.А., Пичугин Ю.А., Вавулин С.В.* Гидродинамико-статистический долгосрочный прогноз метеорологических полей по модели ГГО. 2. Результаты оперативных испытаний и перспективы улучшения прогностической схемы // *Метеорология и гидрология*. 2002. № 10. С. 5–17. EDN: SBOFGF
- [22] Основы методики долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей / З.М. Гудкович, А.А. Кириллов, Е.Г. Ковалев [и др.] ; под ред. канд. геогр. наук Н.А. Волкова и Ю.В. Николаева ; Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Аркт. и антаркт. науч.-исслед. ин-т. Ленинград : Гидрометеоиздат, [19--]. 347 с.
- [23] *Kholoptsev A.V., Podporin S.A., Shubkin R.G.* Correlations between interannual variations in ice cover characteristics and sea levels of the Kara Sea gulfs in winter // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2023. Vol. 48. No. 7. P. 606–613. <https://doi.org/10.3103/S1068373923070075> EDN: THYUCQ
- [24] *Hoffmann L., Stein O., Wu X., Griessbach S., Günther G., Li D., Konopka P., Müller R., Vogel B., Heng Y., Wright J.S.* From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF’s next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2019. Vol. 19. No. 5. P. 3097–3124. <https://doi.org/10.5194/acp-19-3097-2019> EDN: ZYYWOA

References

- [1] Malevsky-Malevich SP, Molkentin EK, Nadezhdina ED, Shklyarevich OB. On the assessment of changes in the fire hazard situation in the forests of Russia with the expected climate warming in the 21st century. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2005;(3):34–36. (In Russ.) EDN: KUHKW

- [2] Anisimov OA, Zhil'tsova EL. Climate change estimates for the regions of Russia in the 20th century and in the beginning of the 21st century based on the observational data. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2012;(6):95–107. (In Russ.) EDN: OYSLAR
- [3] Valendik EN, Kisilyakhov YeK, Ryzhkova VA, Ponomarev EI, Danilov IV. Landscape wildfires in central Siberian taiga. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*. 2014;(3):73–86. (In Russ.) EDN: SGFQDL
- [4] Vorobyov YuL, Akimov VA, Sokolov YuI. *Forest Fires in Russia: Status and Problems*. Moscow: Deks-Press; 2004. (In Russ.) EDN: UCSYVJ
- [5] Mozyrev NK, Kornishin VA, Koshkarov VS. Fire safety of forests. *Bulletin of Modern Research*. 2019;(2-1):60–63. (In Russ.) EDN: PPGJEZ
- [6] Ivanova GA, Ivanov VA, Musokhranova AV, Onuchin AA. Forest fires and the causes of their occurrence in central Siberia. *Siberian Journal Of Forest Science*. 2023;(6):6–16. (In Russ.) EDN: WLJIIC
- [7] Korovin GN, Zukert NV. The influence of climate change on forest fires in Russia. In: : Avaliani S.L. et al. Danilov-Danilyan VI, editor. *Climate Change: A View from Russia*. Moscow: TEIS; 2003. p. 69–98. (In Russ.)
- [8] Kondratyev KYa, Grigor'ev AIA. Forest fires as a component of natural ecodynamics. *Optika atmosfery i okeana*. 2004;17(4):279–292. (In Russ.) EDN: OYGYXX
- [9] Shubkin RG, Shirinkin PV. Long-term forecasting results of large-scale forest fires in the Baikal region. *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2016;(3):35–38. Available from: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2016/v3/N3_9-12.pdf (In Russ.) EDN: XSIEAV
- [10] Konnova LA, Lvova YuV, Rudnev EV. On the problematic issues of natural fires in the Arctic tundra. *Bulletin of the Saint Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia*. 2020;(2):1–5. (In Russ.) EDN: UIQJLM
- [11] Mironov YeU, Klyachkin SV, Makarov YeI, Yulin AV, Afanasyeva EV. Sea ice processes in the Russian arctic seas in autumn of 2021 and estimation of ice forecasts accuracy. *Russian Arctic*. 2021;(15):40–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2021-4-40-53> EDN: CMLCOM
- [12] Kholoptsev AV, Nikiforova MP. *Solar Activity and Forecasts of Physical and Geographical Processes*. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing; 2013. (In Russ.)
- [13] Sverlova LI. *Method of Assessing Fire Danger in Forests According to Weather Conditions, Taking into Account the Zones of Atmospheric Aridity and the Seasons of the Year*. Khabarovsk; 2000. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2021-4-40-53>
- [14] Nesterov VG. *Forest Combustibility and Methods of Its Determination*. Moscow: Goslesbumizdat; 1949. (In Russ.)
- [15] Kholoptsev AV, Shubkin RG, Baturo AN, Babenyshev SV. Climatic Changes in the Arctic Zone of Russia and Climate Warming in Siberia. In: Chaplina T, ed. *Processes in GeoMedia. Volume VI*. Cham: Springer; 2022. p. 131–144.
- [16] Kholoptsev AV, Sadyrev RS. The burnability of forests of the Altai Territory and its meteorological factors in 2015–2022. *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2023;3(30):115–127. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.30.3.012>. EDN: VKJTJO
- [17] Demakov YuP. *The Influence of Environmental Factors on the Growth of Trees in the Pine Forests of the Republic of Mari El: a monograph*. Yoshkar-Ola: Volga State Technological University; 2023. Available from: <https://science.volgatech.net/editorial-publishingcenter/izdaniya/monografii/2023/DemakovYuP.pdf> (accessed: 12.03.2025) (In Russ.) ISBN 978-5-8158-2348-8. EDN: QIZGAG

- [18] Vilfand RM, Zaripov RB, Kikteva DB, Kruglova EN, Kryjov VN., Kulikova IA, Tishchenko VA, Tolstykh MA, Khan VM. Long-range forecasting at Hydrometeorological Center of Russia. *Gidrometeorologicheskie Issledovaniya i Prognozy*. 2019;(4):12–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.30.3.012> EDN: ATVKCN
- [19] Filatov AN, Muravyev AV, Resnyansky YuD. Long-term meteorological forecast: mathematical problems and possibilities of hydrodynamic models. In: Vasilyev AA., ed. *70 Years of the Hydrometeorological Center of Russia*. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat; 1999. p. 141–165. (In Russ.)
- [20] Pichugin YA, Meleshko VP, Matyugin VA, Gavrilina VM. Hydrodynamic long-term ensemble weather prediction. *Russian Meteorology and Hydrology*. 1998;(2):1–9. EDN: RQJLH
- [21] Meleshko VP, Gavrilina VM, Mirvis VM, Matyugin VA, Pichugin YuA, Vavulin SV. Statistical hydrodynamic long-range forecast of meteorological fields with the MGO model. 2. Operational test results and prospects of improving the prognostic scheme. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2002;(10):5–17. (In Russ.) EDN: SBOFGF
- [22] Gudkovich ZM, Kirillov AA, Kovalev EG, Smetannikova AV, Spichkin VA. *Fundamentals of Long-term Ice Forecasts for the Arctic Seas*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 19--. (In Russ.)
- [23] Kholoptsev AV, Podporin SA, Shubkin RG. Correlations between interannual variations in ice cover characteristics and sea levels of the Kara Sea gulfs in winter. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2023;48(7):606–613. <https://doi.org/10.3103/S1068373923070075> EDN: THYUCQ
- [24] Hoffmann L, Stein O, Wu X, Griessbach S, Günther G, Li D, Konopka P, Müller R, Vogel B, Heng Y, Wright JS. From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2019;19(5):3097–3124. DOI: 10.5194/acp-19-3097-2019 EDN: ZYYWOA

Сведения об авторах:

Холопцев Александр Вадимович, доктор географических наук, доцент, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, кафедра контрольно-надзорной деятельности, профессор, Российская Федерация, 662972, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Северная, д. 1. ORCID: 0000-0002-9757-5219; eLIBRARY SPIN-код: 2419-5410. E-mail: kholoptsev@mail.ru

Шубкин Роман Геннадьевич, кандидат технических наук, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, кафедра инженерно-технических экспертиз и криминалистики, доцент, Российская Федерация, 662972, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Северная, д. 1. ORCID: 0000-0002-7163-8146; eLIBRARY SPIN-код: 7720-8060. E-mail: shubkinrg@sibpsa.24.mchs.gov.ru

Коваль Юлия Николаевна, кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой химии и процессов горения, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Российская Федерация, 662972, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Северная, д. 1. ORCID: 0000-0001-5482-6439; eLIBRARY SPIN-код: 8176-0603

Bio notes:

Aleksandr V. Kholoptsev, D. in Geography, Associate Professor, Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Department of Supervisory Activities, Professor, 1 Severnaya St,

Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Krai, 662972, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-9757-5219, eLIBRARY SPIN-code: 2419-5410. E-mail: kholoptsev@mail.ru

Roman G. Shubkin, D. in Engineering, Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Department of Engineering and Technical Examinations and Criminalistics, Associate Professor, 1 Severnaya St, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Krai, 662972, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-7163-8146; eLIBRARY SPIN-code: 7720-8060. E-mail: shubking@sibpsa.24.mchs.gov.ru

Yulia N. Koval, D. in Biology, Associate Professor, Head of the Department of Chemistry and Combustion Processes, Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, 1 Severnaya St, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Krai, 662972, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5482-6439, eLIBRARY SPIN-code: 8176-0603.

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-84-111

EDN: YDYDYO

УДК 911.9:502

Научная статья / Research article

Эколого-геохимическое состояние почв центральной части полуострова Куршская коса, Калининградская область, Российская Федерация

Я.О. Лебедев^{1,2,3,4}✉, А.А. Карпиченко⁵, А.А. Юрманов^{6,7},
Н.С. Кокорина⁸, М.Н. Лец⁹, В.Л. Гаазов⁹,
А.Я. Лебедева-Георгиевская¹⁰, К.В. Молодых¹¹,
А.А. Рогачев¹², М.Р. Махмудов¹³, Н.Р. Соболев¹³,
А.Г. Гиголов¹³, В.М. Некрасов¹³, З.А. Василенко¹³

¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

²Федеральный исследовательский центр Институт биологии южных морей имени
А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь, Российская Федерация

³Научно-исследовательский институт Центр экологической промышленной политики,
г. Москва, Российская Федерация

⁴МИРЭА — Российский технологический университет, г. Москва, Российская Федерация

⁵Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

⁶Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН, г. Москва, Российская
Федерация

⁷Мурманский арктический государственный университет, Мурманск, Российская
Федерация

⁸Общероссийское общественно-государственное движение детей и молодежи
«Движение первых», г. Москва, Российская Федерация

⁹ЭКО-центр «Человек» им. В.Г. Гниловского, г. Ставрополь, Российская Федерация
¹⁰ЧОУ «Аметист», г. Химки, Российская Федерация

¹¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Российская
Федерация

¹²Agora Andorra International School, La Massana, Andorra

¹³Общероссийское общественно-государственное движение детей и молодежи
«Движение первых», г. Ставрополь, Российская Федерация

✉ lebedev_yao@pfur.ru

Аннотация. Представленные результаты исследований получены в период проведения экспедиции на Куршской косе весной 2024 г. в рамках финала Всероссийского чемпионата «Безграничные экспедиции» Общероссийского общественно-государствен-

© Лебедев Я.О., Карпиченко А.А., Юрманов А.А., Кокорина Н.С., Лец М.Н., Гаазов В.Л., Лебедева-Георгиевская А.Я., Молодых К.В., Рогачев А.А., Махмудов М.Р., Соболев Н.Р., Гиголов А.Г., Некрасов В.М., Василенко З.А., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

ного движения детей и молодежи «Движение первых» на особо охраняемых территориях Российской Федерации за 2023 г. Исследовательская группа обучающихся, ранее успешно реализовавшая апробацию методик на территории Ставропольского края, провела геоэкологические почвенные исследования на территории Национального парка «Куршская коса», заложив геохимическую трансекту от Куршского залива до побережья Балтийского моря. Полученные данные позволили уточнить современное геоэкологическое состояние некоторых типов почв, распространенных на территории Национального парка «Куршская коса», а также выявить критерии физико-химического состояния почв, имеющих связь с современным антропогенным воздействием. В целом значения большинства исследованных параметров свидетельствуют об экологическом благополучии территории исследований, что подтверждает эффективность реализуемых мер, направленных на ее сохранение.

Ключевые слова: экология почв, геохимия почв, гранулометрический состав почв, морская импัลверизация, особо охраняемые природные территории (ООПТ), Балтийское море, экологическое состояние

Вклад авторов. *Лебедев Я.О.* — методология, формальный анализ, верификация данных, проведение исследования. *Карпиченко А.А.* — методология. *Юрманов А.А.* — концептуализация исследования, определение области исследования. *Кокорина Н.С.* — концептуализация исследования, администрирование данных. *Леу М.Н.* — администрирование данных, верификация данных. *Гаазов В.Л.* — администрирование данных, верификация данных. *Лебедева-Георгиевская А.Я.* — программное обеспечение, формальный анализ. *Молодых К.В.* — проведение исследования. *Рогачев А.А.* — проведение исследования. *Махмудов М.Р.* — проведение исследования и верификация данных. *Соболев Н.Р.* — проведение исследования. *Гиголов А.Г.* — проведение исследования. *Некрасов В.М.* — проведение исследования. *Василенко З.А.* — проведение исследования. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

Финансирование. Работа поддержана Программой стратегического академического лидерства РУДН.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам Национального парка «Куршская коса» в лице директора А.А. Калины, начальника отдела экологического просвещения и туризма Евгении Васильевне Калашниковой, а также сотрудникам инспекторского состава парка за предоставленную возможность проведения исследований и чуткое сопровождение на протяжении полевого этапа исследований. Авторы выражают благодарность организаторам исследований и руководству Общероссийского общественно-государственного движения детей и молодежи «Движение первых», в особенности Советнику Председателя Правления Т.Ф. Сафину, руководителю Дирекции равных возможностей Э.С. Гильметдиновой, а также М.А. Боженовой и М.О. Деркач, А.Г. Кривой, Р.С. Кабановой, С.Г. Спичуковой, Т.А. Барышникову, А.А. Селезневу, С.Ю. Молчанову, М.Р. Ступиной, Е.Е. Фединой, Л.В. Молодых, С.Р. Елкиной, А.В. Быковской — за активное участие и медийное сопровождение в период полевых исследований.

История статьи: поступила в редакцию 28.10.2025; доработана после рецензирования 14.11.2025; принята к публикации 02.12.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: *Лебедев Я.О., Карпиченко А.А., Юрманов А.А., Кокорина Н.С., Леу М.Н., Гаазов В.Л., Лебедева-Георгиевская А.Я., Молодых К.В., Рогачев А.А., Махмудов М.Р., Соболев Н.Р., Гиголов А.Г., Некрасов В.М., Василенко З.А.* Эколого-геохимиче-

ское состояние почв центральной части полуострова Куршская коса, Калининградская область, Российская Федерация // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 84–111. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-84-111> EDN: YDYDYO

Ecological and geochemical state of soils in the central part of the Curonian Spit Peninsula, Kaliningrad Region, Russian Federation

Yaroslav O. Lebedev^{1,2,3,4}  , Aliaksandr A. Karpichenka⁵ ,
Anton A. Iurmanov^{6,7} , Nadezhda S. Kokorina⁸, Marina N. Letz⁹,
Vasily L. Gaazov⁹, Alena Y. Lebedeva-Georgievskaya¹⁰,
Kirill V. Molodykh¹¹, Artem A. Rogachev¹²,
Marat R. Makhmudov¹³, Nikita R. Sobolev¹³, Avtandil G. Gigolov¹³,
Vladimir M. Nekrasov¹³, Zlata A. Vasilenko¹³

¹Research Institute CEIP, Moscow, Russian Federation

²RUDN University, Moscow, Russian Federation

³RTU MIREA, Moscow, Russian Federation

⁴A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation

⁵Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

⁶Timiryazev Institute of Plant Physiology of RAS, Moscow, Russian Federation

⁷Murmansk Arctic University, Murmansk, Russian Federation

⁸All-Russian Public and state movement of Children and Youth “Movement of the First”, Moscow, Russian Federation

⁹V.G. Gnilovsky ECO-Human Center, Stavropol, Russian Federation

¹⁰CHOU «Amethyst», Khimki, Russian Federation

¹¹St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation

¹²Agora Andorra International School, La Massana, Andorra

¹³All-Russian Public and state Movement of Children and Youth “Movement of the First”, Stavropol, Russian Federation

 lebedev_yao@pfur.ru

Abstract. The research results presented in this article were obtained during the expedition to the Curonian Spit in the spring of 2024 as part of the final of the All-Russian Championship “Limitless Expeditions” of the All-Russian public and State Movement of Children and Youth “Movement of the First” in specially protected areas of the Russian Federation in 2023. A research group of students, who had previously successfully implemented the testing of techniques in the Stavropol Territory, conducted geoecological soil studies in the Curonian Spit National Park, laying a geochemical transect from the Curonian Lagoon to the Baltic Sea coast. The data obtained made it possible to clarify the current geoecological state of some types of soils common in the territory of the Curonian Spit National Park, as well as to identify criteria for the physico-chemical state of soils related to modern anthropogenic impact. In general, the values of the majority of the studied parameters indicate the ecological well-being of the research area, which confirms the effectiveness of the implemented measures aimed at its conservation.

Keywords: soil ecology, soil geochemistry, granulometric composition of soils, marine pulverization, specially protected natural areas, Baltic Sea, ecological status

Authors' contribution. *Y.O. Lebedev* — methodology, analysis, verification of data, conducting research. *A.A. Karpichenka* — methodology. *A.A. Iurmanov* — conceptualization of research, definition of the research area. *N.S. Kokorina* — conceptualization of research, data administration. *M.N. Letz* — data administration, data verification. *V.L. Gaazov* — data administration, data verification. *A.Y. Lebedeva-Georgievskaya* — software, formal analysis. *K.V. Molodykh* — conducting research. *A.A. Rogachev* — conducting research. *M.R. Makhmudov* — conducting research and verifying data. *N.R. Sobolev* — conducting research. *A.G. Gigolov* — conducting research. *V.M. Nekrasov* — conducting research. *Z.A. Vasilenko* — conducting research. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Funding. The RUDN University Strategic Academic Leadership Program has supported this research.

Acknowledgements. The authors would like to thank the staff of the Curonian Spit National Park represented by Director A.A. Kalina, Head of the Department of Environmental Education and Tourism E.V. Kalashnikova, as well as the staff of the park's inspection staff for the opportunity to conduct research and provide sensitive support during the field stage of research. The authors would like to thank the organizers of the study and the leadership of the All-Russian Public and State Movement of Children and Youth "Movement of the First", in particular, adviser to the Chairman of the Board Safin T.F., head of the Directorate of Equal Opportunities E.S. Gilmetdinova, as well as M.A. Bozhenova and M.O. Derkach, A.G. Krivaya, R.S. Kabanova, S.G. Spichukova, T.A. Baryshnikov, A.A. Seleznev, S.U. Molchanova, M.R. Stupina, E.E. Fedina, L.V. Molodykh, S.R. Elkina, A.V. Bykovskaya, for active participation and media support during field research.

Article history: received 28.10.2025; revised 14.11.2025; accepted 02.12.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Lebedev YO, Karpichenka AA, Iurmanov AA, Kokorina NS, Letz MN, Gaazov VL, Lebedeva-Georgievskaya AY, Molodykh KV, Rogachev AA, Makhmudov MR, Sobolev NR, Gigolov AG, Nekrasov VM, Vasilenko ZA. Ecological and geochemical state of soils in the central part of the Curonian Spit Peninsula, Kaliningrad Region, Russian Federation. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):84–111. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-84-111> EDN: YDYDYO

Введение

Национальный парк «Куршская коса» — это полуостровная природно-антропогенная система юго-восточного побережья Балтики, расположенная в Восточной Европе. Национальный парк «Куршская коса» имеет статус особо охраняемой природной территории (ООПТ) федерального значения, является единственным Национальным парком в Калининградской области. Куршская коса входит в перечень объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО и сочетает в себе различные ландшафты и экосистемы [1].

Климат Куршской косы умеренный, переходный от морского к континентальному, — формируется под влиянием воздушных масс с Балтийского моря и Евразии. Зима мягкая, лето умеренно теплое, погоды характеризуются

значительной изменчивостью. Наибольшее количество осадков выпадает в летне-осенний период. Для Куршской косы характерны постоянно дующие ветры, несколько раз в год случаются ураганы. Устойчивый ледовый покров характерен для акватории Куршского залива, в то время как на побережье Балтийского моря ледовый покров кратковременен или не образуется вовсе.

Куршская коса имеет моренное (ледниковое) происхождение, включения представлены обломками горных пород различного генезиса, принесенных с ледником (например, граниты, гнейсы, песчаники, а также фоссилии губок и белеменитов мелового (К) возраста). Тело косы состоит из песка, покрытого тонким (в несколько сантиметров толщиной) растительным слоем, формирование которого происходило на протяжении многих десятилетий и первых столетий. Коса представляет собой узкую полосу суши, отделяющую Куршский залив от Балтийского моря. Протяженность Национального парка составляет 98 км ширина — от 0,8 до 3,8 км [2]. На территории Косы расположены уникальные дюнные комплексы — сплошная полоса песчаных белых дюн шириной 0,3–1 км и высотой до 67 м.

Около 72 % территории косы занимают леса. Почти все леса имеют искусственное происхождение. Территория национального парка «Куршская коса» характеризуется значительным видовым разнообразием флоры: на ней произрастают 884 вида (включая гибриды, разновидности и формы) высших растений из 397 родов и 111 семейств. Голосеменные представлены 11 видами (в том числе 6 видами интродуцентов); споровые — 19; однодольные — 187; двудольные — 556 видами. Адвентивный компонент флоры составляет 91 вид (в том числе 7 инвазионные). Редкие в растения из Красной книги Калининградской области и Красной книги России представлены 109 видами [2]. Фауна насчитывает 296 видов наземных позвоночных животных.

Сосновые леса составляют более половины лесной площади Куршской косы. Лиственные леса представлены березняками и ольшаниками с примесью осины. Встречаются леса из дуба, липы, граба. Березняки с примесью ольхи занимают второе место после сосновых лесов и часто имеют естественное происхождение. На лугах (пальве) можно увидеть редкие виды орхидных: башмачок настоящий, ятрышник-дремлик. Растительность Куршской косы можно подразделить на три основные группы: нелесная (луговая, водно-болотная, дюнная), лесная и синантропная. Каждая из групп представляет важное ландшафтно-биотопическое значение для экосистемного разнообразия территории национального парка «Куршская коса» [2].

Для исследований нами была выбрана территория, развивающаяся под лесной растительностью, как наиболее устойчивая экосистема, формирование которой заняло значительное время без или после хозяйственного вмешательства человека. **Цель исследования** — уточнение современного эколого-геохимического состояния почв природно-антропогенных экосистем

Куршской косы, что потребовало решения ряда задач, заложения почвенной трансекты (катены) через тело песчаной косы с последующим проведением лабораторных физико-химических исследований образцов почв и анализом полученных результатов. Исследование физических свойств предполагало определение механического состава почв для выявления артефактов в накоплении разноразмерных частиц, в то время как исследование химического состава почв заключалось в уточнении концентрации токсических элементов (тяжелых металлов) по отношению к их ориентировочно допустимым (ОДК) и предельно допустимым концентрациям (ПДК) в почвах.

Материалы и методы

Воздействие на природные комплексы при проведении исследований ограничивалось точечным вмешательством с нарушением почвенно-растительного слоя в количестве четырех почвенных разрезов. Все выполненные почвенные разрезы по окончании исследований были законсервированы (посредством засыпки) с обратной укладкой почвенно-растительного слоя. Почвенные эколого-геохимические исследования без локального нарушения почвенно-растительного слоя не представляются возможными. Территория исследований и точки заложения почвенных разрезов представлены на фрагменте космоснимка Google Earth (рис. 1). Последовательное заложение почвенных разрезов позволило охватить наиболее типичные биотопы в районе исследований, выполнить геохимическую трансекту через Куршскую косу. Следует отметить, что геохимически соподчиненных ландшафтов в рамках трансекты установлено не было — ввиду пересеченного и слабохолмистого рельефа местности. Таким образом, каждый почвенный разрез и результаты химических исследований к нему можно рассматривать с позиции автоморфных (автономных) ландшафтных условий.

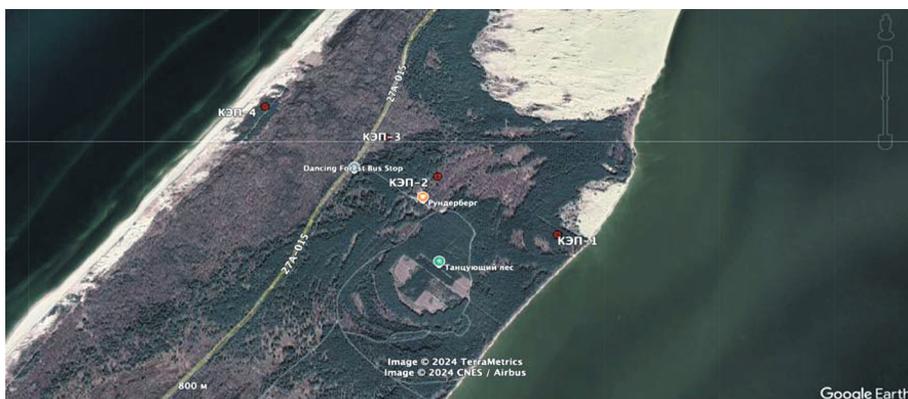


Рис. 1. Территория исследований и точки почвенных разрезов в НП «Куршская коса». Масштаб 1:20000

Источник: составлено Я.О. Лебедевым на основе Google Earth.

Программа исследований включала в себя:

- полевые почвенные исследования — заложение почвенной катены (координаты точек представлены в табл. 1);
- описание почвенных разрезов;
- фиксация физических свойств почвы (температура почвенных горизонтов, нативная влажность, сложение и т.д.);
- отбор почвенных проб и последующая пробоподготовка;
- исследование физико-химических параметров: гранулометрический (механический) состав, химический состав по 27 элементам.

Табл. 1. Координаты точек исследованных почвенных разрезов

№№	Система координат WGS-84	
	Широта	Долгота
КЭП-1	55° 10.854'	20° 52.185'
КЭП-2	55° 11.016'	20° 51.664'
КЭП-3	55° 11.129'	20° 51.432'
КЭП-4	55° 11.222'	20° 50.875'

Источник: составлено Я.О. Лебедевым.

Ситовой анализ образцов почв проводился в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 12536—2014¹. Графики распределения фракций выполнялись в программе Excel.

Химический анализ проводился в аккредитованном исследовательском центре ИЦ «МГУЛАБ» (аттестат аккредитации RA.RU.21OM11 от 25.11.2021). Анализ образцов проводился на приборе АЭС-ИСП в соответствии с ГОСТ Р 57165-2016 (ИСО 11885:2007)² при пятикратной повторности определений и автоматическом расчете доверительного интервала значений по стандартной ошибке среднего. При определении содержания в почве загрязняющих веществ предельное значение относительной погрешности результатов анализа при доверительной вероятности $P = 0,95$ не превышало 30 %. В образцах почв было определено содержание в валовой форме следующих элементов: Al, Ba, Be, B, V, Fe, Cd, K, Ca, Co, Si, Li, Mg, Mn, Cu, Mo, Na, Ni, Pb, Se, Ag, S, Sr, Sb, Ti, P, Cr, Zn с последующим анализом содержания макробиогенных элементов (Ca, K, Mg, Na), тяжелых металлов (токсических элементов). Для оценки современного геоэкологического состояния почвенного покрова в рамках заложённой геохимической трансекты нас интересовало содержание

¹ ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Введ. 2016-07-01. Москва : Стандартинформ, 2016.

² ГОСТ Р 57165-2016 (ИСО 11885:2007). Вода. Определение содержания элементов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Введ. 2018-01-01. Москва : Стандартинформ, 2018.

химических элементов (в валовой форме), отнесенных, согласно гигиеническим нормативам³, к 1-3 группам токсикологической опасности (Zn, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Co, Mn, As).

Результаты

Выполненная почвенно-геохимическая catena протянулась от побережья Куршского залива до побережья Балтийского моря через типичные для данной местности биотопы. В рамках исследования мы старались заложить почвенные разрезы в разнообразных биотопах, чтобы попытаться выявить собственные для территории особенности почвообразовательного процесса. Площадки заложения почвенных разрезов располагались на значительном отдалении от антропогенно-нарушенных территорий (населенных пунктов, дорог, экологических троп) и представляли собой фоновые ландшафтные условия — насколько это применимо по отношению к природно-антропогенной системе Куршской косы.

Точка КЭП-1

Точка КЭП-1 расположена в непосредственной близости от побережья Куршского залива (около 40–50 м) в сосновом лесу (биотоп сосновый лес — преобладающий тип леса на Куршской косе) с мощным травянистым и мохово-лишайниковым надпочвенным покровом. Общая мощность почвенного разреза: 49 см. Грунтовые воды не были вскрыты. Почва: дерново-слабоподзолистая песчаная. Морфологическое описание почвенного разреза приведено в табл. 2.

Почва песчаная, до глубины в 20 см отмечается гумусное иллювиирование, корни растений встречаются до глубины в 40 см. Отмечено легкое оподзоливание до глубины в 13–16 см. Влажность профиля соответствует атмосферному увлажнению и промывному режиму почвы. Плотность горизонтов увеличивается с глубиной, соответствует естественному гравитационному уплотнению. Ситовой анализ образцов почвенного разреза КЭП-1 не выявил различий в распределении фракций исследованных горизонтов (рис. 2).

³ ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве : гигиенические нормативы. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 18.05.2009; О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06 : Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 № 1 (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 26.06.2017 № 89) // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=299876&ysclid=mkpt70csy5181221664> (дата обращения: 12.12.2025); Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами : Письмо Минприроды РФ № 04-25, Роскомзема № 61-5678 от 27.12.93 // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=8&documentId=6352&ysclid=mkptb5qce0581410956> (дата обращения: 12.12.2025).

Таблица 2. Морфологическое описание разреза дерновой слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-1

Общий вид биотопа и разреза	Горизонт	Описание горизонта
	<p>Ad Глубина: 0–5/6 см Мощность: 5–6 см $t^{\circ}\text{C}$: 7,8 $^{\circ}\text{C}$ Цвет:</p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): серо-коричневый / 10YR 3/3 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: модер, супесчаный Плотность: рыхлый Сложение: нелипкий, слабо-пластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: обильные корни трав, ризоиды мхов $D = 1–2$ мм, частые корни деревьев $D = 0,2–0,3$ см Новообразования: отсутствуют Переход: заметный по цвету Граница: волнистая</p>
	<p>A1/A2 Глубина: 5/6–13/16 см Мощность: 7–11 см $t^{\circ}\text{C}$: 7,5 $^{\circ}\text{C}$ Цвет:</p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): коричневый / 10YR 2/3 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: рыхлый Сложение: нелипкий, непластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: редкие корни деревьев $D = 0,2–0,8$ см Новообразования: отсутствуют Переход: четкий Граница: волнистая</p>
	<p>B Глубина: 13/16–38/41 см Мощность: 22–28 см $t^{\circ}\text{C}$: 7,3 $^{\circ}\text{C}$ Цвет:</p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): светло-охристый / 5Y 5/4 Влажность: свежий Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: уплотненный Сложение: слаболипкий, слабопластичный Живая фаза: единичные мелкие корни деревьев $D = 0,2–0,3$ см Включения: отсутствуют Переход: заметный по цвету Граница: волнистая, затечная</p>
	<p>C Глубина: 38/41–49 см Видимая мощность: 8–11 см $t^{\circ}\text{C}$: 7,4 $^{\circ}\text{C}$ Цвет:</p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): охристый / 7.5Y 5/3 Влажность: свежий Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: плотный Сложение: слаболипкий, пластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: отсутствует Новообразования: отсутствуют</p>

Источник: фото выполнено Я.О. Лебедевым.

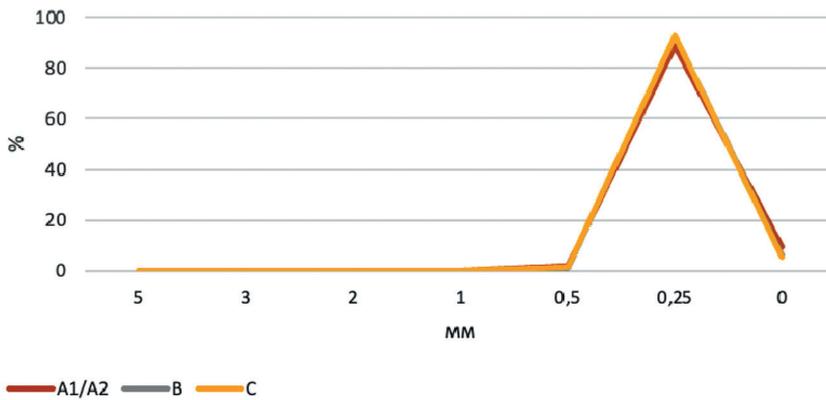


Рис. 2. График распределения фракций дерновой слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-1
 Источник: составлено А.Я. Лебедевой-Георгиевской.

Из графика (рис. 2) видно, что распределение фракций твердой фазы во всех исследованных почвенных (органо-минеральных и минеральных) горизонтах практически идентичное, что может указывать на естественное и постепенное накопление твердой фазы почвы в процессе ее формирования. Свыше 90 % от проб из трех исследованных горизонтов приходится на фракцию 0,25 мм — среднего песка.

По преобладающей в исследованных горизонтах фракции и содержанию глинистых, пылеватых частиц данная почва по ее гранулометрическому (механическому) составу была отнесена нами к песчаной — песку связному [3].

Анализ результатов определения химического состава указывает на свободную миграцию макробиогенных элементов вниз по почвенному профилю с незначительной концентрацией Ca, Mg и Na в минеральных горизонтах (рис. 3). В горизонте A1/A2 валовое содержание Mg и K снижается, в то время как в остальных горизонтах значение для K остается в диапазоне 2900–3000 мг/кг.

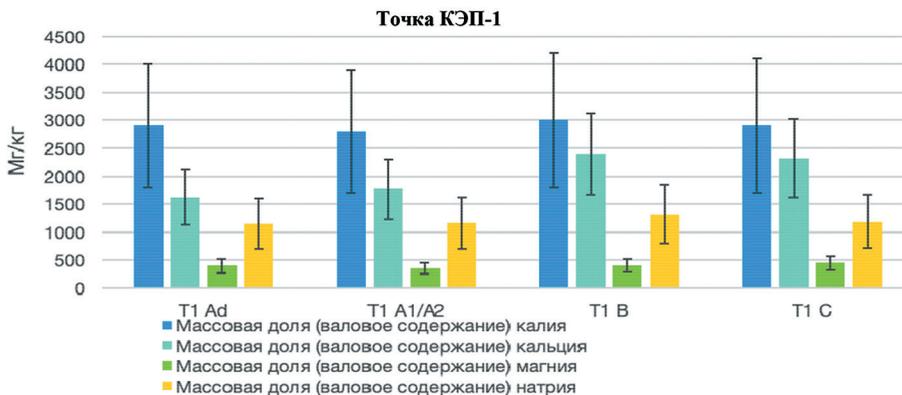


Рис. 3. График распределения макробиогенных элементов в горизонтах дерновой слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-1

Источник: составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

Анализ результатов определения содержания тяжелых металлов и токсических химических элементов позволил выявить для Cr ($6,8 \pm 1,4$ мг/кг) и As ($2,3 \pm 1,2$ мг/кг) в органогенном горизонте Ad и для Cr ($6,5 \pm 1,4$ мг/кг) в минеральном горизонте С — незначительное превышение ПДК и ОДК ($> 2,0$ и $> 6,0$ мг/кг для As и Cr соответственно; здесь и далее значения ПДК приведены для элементов в соответствии с нормативными документами)⁴. Для ряда исследованных металлов (Ni, Co, Mn, As) отмечена свободная (гравитационная) миграция; для Zn, Pb, Cr, Cu прослеживается накопление в минеральных горизонтах, что может указывать на наличие геохимического барьера физико-химического типа. Распределение концентрации исследованных элементов по горизонтам приведено на рис. 4.

Точка КЭП-1

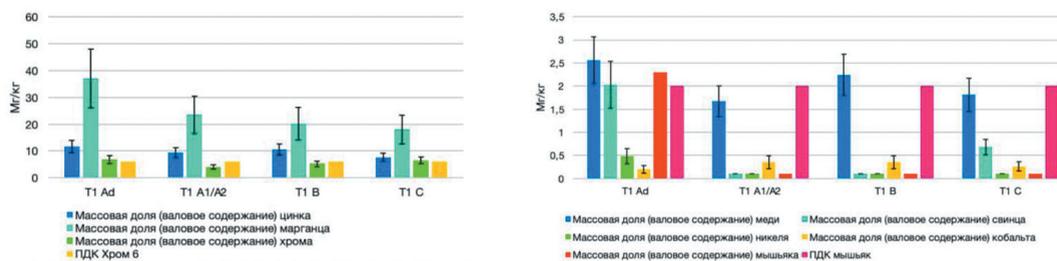


Рис. 4. Распределение содержания элементов отдельных металлов в горизонтах дерновой слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-1

Источник: составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

Отмечено последовательное снижение валового содержания Mn от органогенного к минеральному горизонту. Эколого-геохимическое состояние дерновой слабоподзолистой песчаной почвы (точка КЭП-1) может быть оценено как благоприятное с незначительными единичными превышениями по Cr и As в горизонтах Ad и С.

Точка КЭП-2

Точка КЭП-2 расположена на границе соснового леса, переходящего в смешанный лес (береза, осина, ель) с преобладанием березы. Общая мощность почвенного разреза — 63 см. Грунтовые воды вскрыты на глубине

⁴ ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве : гигиенические нормативы. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 18.05.2009; О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06 : Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 № 1 (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 26.06.2017 N 89) // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=299876&ysclid=mkpt70csy5181221664> (дата обращения: 12.12.2025).

60 см. Почва: слабоподзолистая торфянисто-глееватая песчаная. Морфологическое описание почвенного разреза приведено в табл. 3.

Таблица 3. Морфологическое описание разреза слабоподзолистой торфянисто-глееватой песчаной почвы, точка КЭП-2

Общий вид биотопа и разреза	Горизонт	Описание горизонта
	<p>Ad Глубина: 0–16 см Мощность: 16 см $t^{\circ}\text{C}$: 7.5 °C Цвет:</p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): коричневый / 7.5YR 3/4 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: мюль опесчаненный Плотность: рыхлый Сложение: нелипкий, пластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: тонкие обильные корни трав $D < 1$ мм, частые корни деревьев $D = 1–1,5$ см Новообразования: отсутствуют Переход: ч ткий Граница: слабоволнистая</p>
	<p>A1/A2 Глубина: 16–22/25 см Мощность: 6–9 см $t^{\circ}\text{C}$: 6.7 °C Цвет:</p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): светло-коричневый / 7.5YR 4/4 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: рыхлый Сложение: слаболипкий, пластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: редкие корни деревьев $D = 2–2,5$ см Новообразования: отсутствуют Переход: постепенный Граница: неровная</p>
	<p>Bg Глубина: 25–63 см Видимая мощ- ность: 38 см $t^{\circ}\text{C}$: 6.8 °C Цвет:</p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): светло-коричневый / 7.5YR 4/6 Влажность: влажный Окраска: неоднородная, с пятнами новообразований Механический состав: песок Плотность: уплотненный Сложение: липкий, пластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: единичные корни деревьев Новообразования: редкие пятна оже- лечения, охристые пятна и примазки</p>

Источник: фото выполнено Я.О. Лебедевым.

Почва песчаная с мощным оторфованным органометным горизонтом Ad (16–18 см), до глубины в 22–25 см отмечается гумусное иллювирирование (по корням), корни растений встречаются по всей глубине профиля. Отмечено слабое оподзоливание на глубине 18–25 см. Влажность профиля соответствует атмосферному увлажнению, промывному режиму почвы и близости грунтовых вод. Плотность горизонтов незначительно увеличивается с глубиной,

соответствует естественному гравитационному уплотнению. Ситовой анализ образцов почвенного разреза КЭП-2 позволил уточнить особенности распределения фракций исследованных горизонтов (рис. 5).

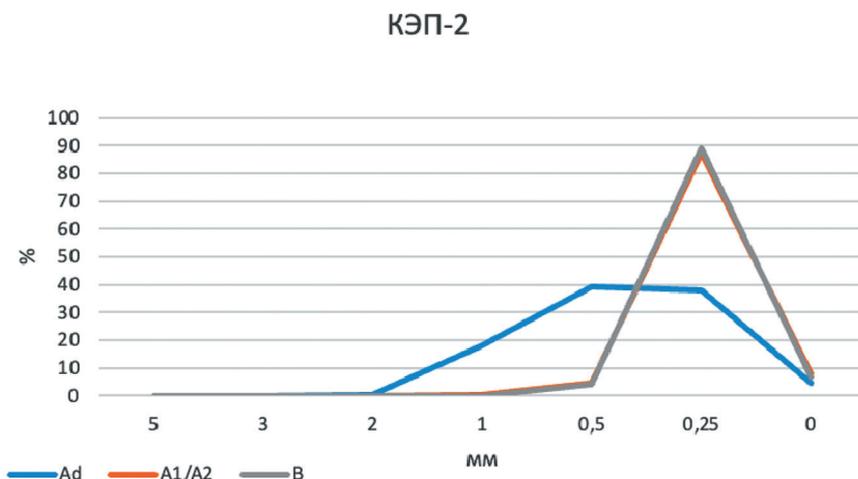


Рис. 5. График распределения фракций слабоподзолистой торфянисто-глеевой торфяной почвы, точка КЭП-2

Источник: составлено А.Я. Лебедевой-Георгиевской.

Из графика (рис. 5) видно, что распределение фракций твердой фазы в исследованных почвенных горизонтах отличается. В то время как в органо-минеральном A1/A2 и минеральном B горизонтах фракционное распределение оказалось полностью идентичным, в органогенном горизонте наблюдается разнообразный фракционный состав, что может указывать на неестественное накопление твердой фазы почвы в процессе ее формирования и связь с прошлой антропогенной деятельностью. В органо-минеральном и минеральном горизонтах 90 % от проб приходится на фракцию 0,25 мм — среднего песка. В органогенном горизонте Ad распределение иное — по 40 % от пробы относится к фракциям 0,25 и 0,5 мм — средний и крупный песок соответственно. В целом по преобладающим в исследованных горизонтах фракциям (средний песок) и содержанию глинистых, пылеватых частиц данная почва по ее гранулометрическому (механическому) составу была отнесена нами к песчаной — песку связному [3].

Анализ результатов определения химического состава указывает на особенности миграции макробиогенных элементов вниз по почвенному профилю с пиковым повышением концентрации Ca (4100 ± 1200 мг/кг) в органогенном горизонте Ad (рис. 6) и последующим снижением к минеральным горизонтам. Повышенное содержание кальция может быть связано с биологическим поглощением и опадом, отпадом листовых пород деревьев, произрастающих в районе точки КЭП-2. Отмечено невысокое содержание K (< 1800 мг/кг), снижается содержание Mg к минеральному горизонту Bg.

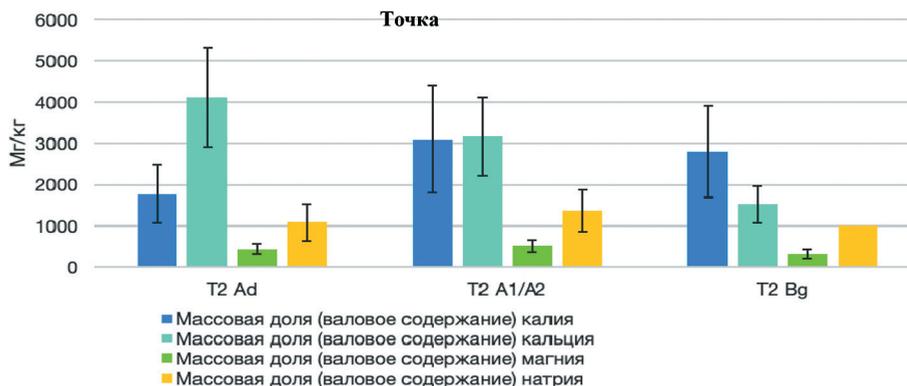


Рис. 6. График распределения макробиогенных элементов в горизонтах слабоподзолистой торфянисто-глееватой песчаной почвы, точка КЭП-2

Источник: составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

Анализ результатов определения содержания тяжелых металлов позволил выявить некоторые особенности исследованной почвы. Так, в органо-генном горизонте Ad отмечены самые высокие (среди обследованных образцов) концентрации для Zn, Cu и Ni. Для хрома Cr в органо-минеральном горизонте A1/A2 отмечено незначительное превышение ($> 6,0$ мг/кг) ПДК и ОДК^{5,6} — $7,0 \pm 1,4$ мг/кг, а также самые высокие (среди обследованных образцов) концентрации для Mn ($65,0 \pm 20,0$ мг/кг). Содержание остальных тяжелых металлов коррелирует с их содержанием в горизонтах других обследованных почв. Содержание Ni, Cu и Pb постепенно снижается к минеральным горизонтам, но кратно превышает содержание других тяжелых металлов в органо-генном горизонте (что может указывать на наличие источника антропогенного загрязнения). В органо-генном горизонте Ad отмечено пиковое содержание для Zn, Pb, Cd, Cu, Ni и Mn. Распределение и концентрация отдельных тяжелых металлов могут являться подтверждением предположения об антропогенном характере нарушений почвенного покрова. Ниже приводим распределение концентрации исследованных элементов по горизонтам (рис. 7).

⁵ ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве : гигиенические нормативы. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 18.05.2009.

⁶ О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06 : Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 № 1 (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 26.06.2017 N 89) // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=299876&ysclid=mkpt70csy5181221664> (дата обращения: 12.12.2025).

Точка КЭП-2

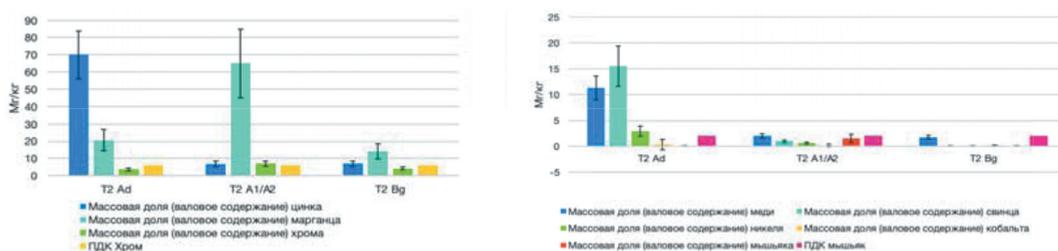


Рис. 7. Распределение содержания элементов отдельных металлов в горизонтах слабоподзолистой торфянисто-глеевой песчаной почвы, точка КЭП-2

Источник: составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

Несмотря на установленное незначительное единичное превышение для Сг в горизонте А1/А2, эколого-геохимическое состояние слабоподзолистой торфянисто-глеевой песчаной почвы (точка КЭП-2) может быть оценено как благоприятное.

Точка КЭП-3

Точка КЭП-3 расположена в центральной части косы в смешанном лесу (сосна, ольха, береза) с преобладанием сосны. Общая мощность почвенного разреза: 59 см. Грунтовые воды не были вскрыты. Почва: дерново-подзолистая песчаная. Морфологическое описание почвенного разреза представлено в табл. 4.

Почва песчаная с маломощным оторфованным органоминеральным горизонтом Ad, до глубины в 8–9 см отмечается гумусное иллювиирование, а по корням растений — до 49 см. Корни растений встречаются по всей глубине профиля. Отмечено слабое оподзоливание на глубине 9–14 см. Влажность профиля соответствует атмосферному увлажнению и промывному режиму почвы. Плотность горизонтов увеличивается с глубиной, что соответствует естественному гравитационному уплотнению. Ситовой анализ образцов почвенного разреза КЭП-3 позволил уточнить особенности распределения фракций исследованных горизонтов (рис. 8).

Распределение фракций твердой фазы в исследованных почвенных горизонтах отличается. Так, например, в органо-минеральных А1/А2, В и минеральном горизонте С фракциональное распределение оказалось полностью идентичным, в то время как в органоминеральном горизонте Ad наблюдается значительно более разнообразный фракционный состав, что может указывать на влияние антропогенной деятельности на накопление твердой фазы почвы в процессе ее формирования. В органо-минеральных и минеральном горизонтах 90 % от проб приходится на фракцию 0,25 мм — среднего песка. В органоминеральном горизонте распределение иное — по 40 % от пробы относится к фракциям 0,25 и 0,5 мм — средний и крупный песок соответственно.

Таблица 4. Морфологическое описание разреза дерново-подзолистой песчаной почвы, точка КЭП-3

Общий вид биотопа и разреза	Горизонт	Описание горизонта
	<p>Ad Глубина: 0–5/7 см Мощность: 5–7 см $t^{\circ}\text{C}$: 6,2 °C</p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): темно-коричневый / 10YR 2/2 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: модер опесчаненный Плотность: рыхлый Сложение: липкий, слабопластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: частые корни трав, ризоиды мхов $D = 1–2$ мм, частые корни деревьев $D = 0,2–0,3$ см Новообразования: отсутствуют Переход: ясный по цвету и механическому составу Граница: слабоволнистая</p>
	<p>A2 Глубина: 5/7–10/14 см Мощность: 3–9 см $t^{\circ}\text{C}$: 6,1 °C</p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): серо-коричневый / 10YR 3/2 Влажность: свежий Окраска: однородная Механический состав: супесчаный Плотность: уплотненный Сложение: слаболипкий, слабопластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: частые корни трав $D = 1–2$ мм, корни деревьев $D = 0,3–0,6$ см Новообразования: отсутствуют Переход: четкий Граница: слабоволнистая</p>
	<p>B Глубина: 10/14–51/53 см Мощность: 37–43 см $t^{\circ}\text{C}$: 6,1 °C</p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): охристо-серый / 10YR 5/2 Влажность: свежий Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: уплотненный Сложение: слаболипкий, непластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: частые мелкие корни деревьев $D = 0,3–0,8$ см Новообразования: отсутствуют Переход: заметный по цвету и плотности Граница: слабоволнистая</p>
	<p>C Глубина: 51/53–59 см Видимая мощность: 6–8 см $t^{\circ}\text{C}$: 6,2 °C</p> 	<p>Цвет (по примазке / шкале Манселла): охристо-коричневый / 10YR 4/3 Влажность: свежий Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: плотный Сложение: слаболипкий, пластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: отсутствует Новообразования: отсутствуют</p>

Источник: фото выполнено Я.О. Лебедевым.

КЭП-3

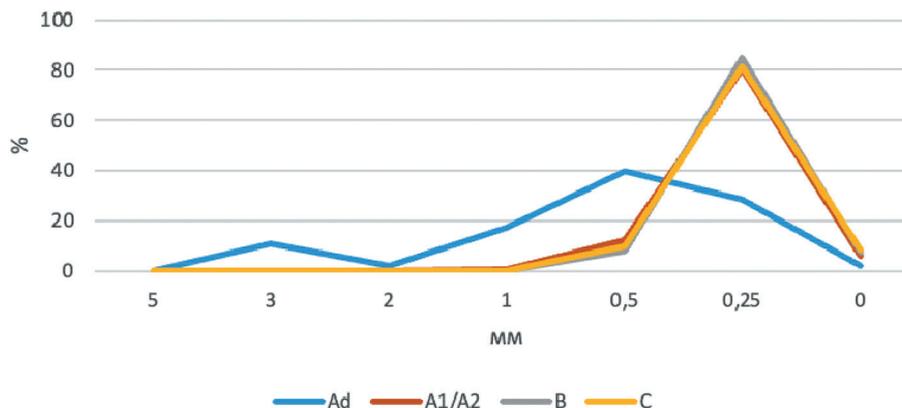


Рис. 8. График распределения фракций дерново-подзолистой песчаной почвы, точка КЭП-3
 Источник: составлено А.Я. Лебедевой-Георгиевской.

В отличие от органо-минеральных горизонтов в органогенном горизонте Ad преобладают фракции среднего и крупного песка. По преобладающим в исследованных горизонтах фракциям (средний песок) и содержанию глинистых, пылеватых частиц описываемая почва по ее гранулометрическому (механическому) составу была отнесена нами к песчаной — песку связному [3].

Химический состав почвы схож со слабоподзолистой торфянисто-глееватой песчаной почвой (точка КЭП-2), что указывает на нарушения в процессе миграции макробиогенных элементов вниз по почвенному профилю с пиковым повышением концентрации Са в органогенном горизонте Ad (см. рис. 6) и последующим снижением к минеральным горизонтам. Отмечено невысокое содержание К (> 2000 мг/кг), снижается содержание Mg к минеральному горизонту Bg.

Анализ результатов определения химического состава указывает на особенности миграции макробиогенных элементов вниз по почвенному профилю: пиковое повышение концентрации Са (3230 ± 970 мг/кг) в органогенном горизонте Ad (рис. 9) и последующая последовательная аккумуляция к минеральным горизонтам. Повышенное содержание кальция наиболее вероятно связано с биологическим поглощением, а также влиянием опада и отпада листовых пород деревьев, произрастающих в районе точки КЭП-3. Содержание К и Mg имеет пик в органо-минеральном горизонте A1/A2 и снижается к минеральному горизонту C.

Анализ результатов определения содержания тяжелых металлов позволил выявить для As ($2,7 \pm 1,3$ мг/кг) самое высокое из зафиксированных превышений в органогенном горизонте Ad и для Cr ($6,9 \pm 1,4$ мг/кг) в минеральном горизонте B — незначительное превышение ПДК и ОДК ($> 2,0$ мг/кг

и > 6,0 мг/кг соответственно)⁷. Для ряда исследованных металлов (Zn = 48,0 ± 9,6, Pb = 13,3 ± 3,3, Cu = 13,6 ± 2,7, Mn = 34,0 ± 10,0 мг/кг) отмечен значительный пик концентрации в органогенном горизонте Ad, что может указывать на наличие источника антропогенного загрязнения. Свободная (гравитационная) миграция характерна для Zn, Pb, Cd, Cu, Ni, Mn (для Mn — кроме эллювиального горизонта A1/A2), равномерно распределяется по горизонтам Co. Геохимические барьеры не прослеживаются. Ниже приводим распределение концентрации исследованных элементов по горизонтам (рис. 10).

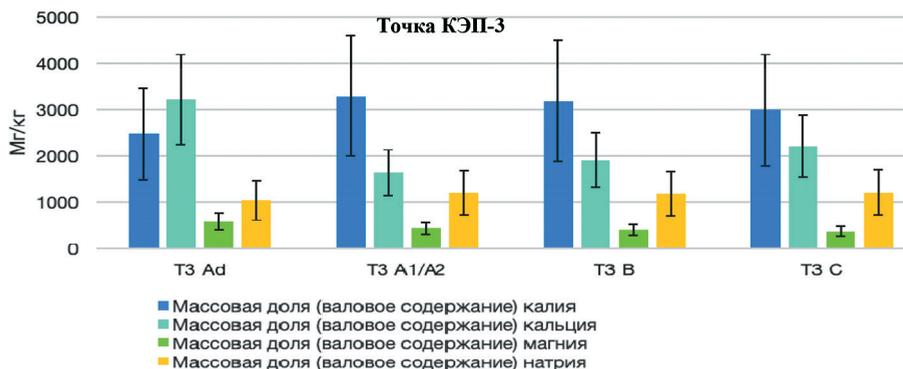


Рис. 9. График распределения макробиогенных элементов в горизонтах дерново-подзолистой песчаной почвы, точка КЭП-3

Источник: составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

Точка КЭП-3

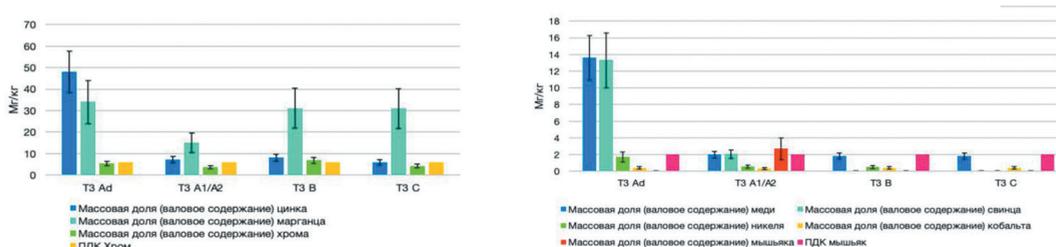


Рис. 10. Распределение содержания элементов отдельных металлов в горизонтах дерново-подзолистой песчаной почвы, точка КЭП-3

Источник: составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

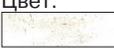
⁷ ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве : гигиенические нормативы. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 18.05.2009; О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06 : Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 № 1 (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 26.06.2017 N 89) // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=299876&ysclid=mkp70csy5181221664> (дата обращения: 12.12.2025).

Эколого-геохимическое состояние дерново-подзолистой песчаной почвы (точка КЭП-3) может быть оценено как благоприятное с незначительными единичными превышениями по As и Cr в горизонтах Ad и B.

Точка КЭП-4

Точка КЭП-4 расположена на берегу Балтийского моря за авандюной в смешанном лесу (береза, осина, ель) с преобладанием березы. Общая мощность почвенного разреза составила 49 см. Грунтовые воды были вскрыты на глубине 49 см. Разрез представлен слабоподзолистой песчаной почвой. Морфологическое описание почвенного разреза приведено в табл. 5.

Таблица 5. Морфологическое описание разреза слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-4

Общий вид биотопа и разреза	Горизонт	Описание горизонта
	Ad Глубина: 0–4 см Мощность: 4 см $t^{\circ}\text{C}$: 4,9 °C Цвет: 	Цвет (по примазке / шкале Манселла): темно-коричневый / 10YR 2/1 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: супесчаный Плотность: рыхлый Сложение: слаболипкий, пластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: тонкие обильные корни трав и ризоиды мхов $D = 0,1$ см Новообразования: отсутствуют Переход: заметный по цвету и механическому составу Граница: слабоволнистая
	A1/A2 Глубина: 4–18 см Мощность: 14 см $t^{\circ}\text{C}$: 4,8 °C Цвет: 	Цвет (по примазке / шкале Манселла): коричневый / 10YR 3/1 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: рыхлый Сложение: слаболипкий, непластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: частые корни трав $D = 1–2$ мм, частые корни деревьев $D = 0,3–2,0$ см Новообразования: отсутствуют Переход: чёткий Граница: слабоволнистая
	B Глубина: 18–40 см Мощность: 22 см $t^{\circ}\text{C}$: 5,0 °C Цвет: 	Цвет (по примазке / шкале Манселла): охристо-коричневый / 2.5Y 5/4 Влажность: влажный Окраска: однородная Механический состав: песок Плотность: рыхлый Сложение: слаболипкий, непластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: редкие корни деревьев $D = 0,1–0,6$ см Новообразования: отсутствуют Переход: чёткий Граница: слабоволнистая

Общий вид биотопа и разреза	Горизонт	Описание горизонта
	С Глубина: 40–49 см Видимая мощность: 9 см $t^{\circ}\text{C}$: 5,0 $^{\circ}\text{C}$ Цвет: 	Цвет (по примазке / шкале Манселла): светло-коричневый / 2.5Y 4/4 Влажность: влажный Окраска: неоднородная Механический состав: песок Плотность: рыхлый Сложение: слаболипкий, непластичный Включения: отсутствуют Живая фаза: единичные мелкие корни деревьев $D = 0,2\text{--}0,5$ см Новообразования: единичные сизо-охристые пятна и примазки

Источник: фото выполнено Я.О. Лебедевым.

Почва песчаная с маломощным органомным горизонтом, до глубины в 18–19 см отмечается гумусное иллювирувание, по корням растений — до 28 см. Корни растений встречаются до глубины 38 см. Отмечено слабое оподзоливание на глубине 15–18 см. Влажность профиля соответствует атмосферному увлажнению и промывному режиму почвы. Плотность горизонтов с глубиной не меняется, что указывает на особенности седиментационного процесса песчаной фракции. Ситовой анализ образцов почвенного разреза КЭП-4 позволил уточнить особенности распределения фракций исследованных горизонтов (рис. 11).

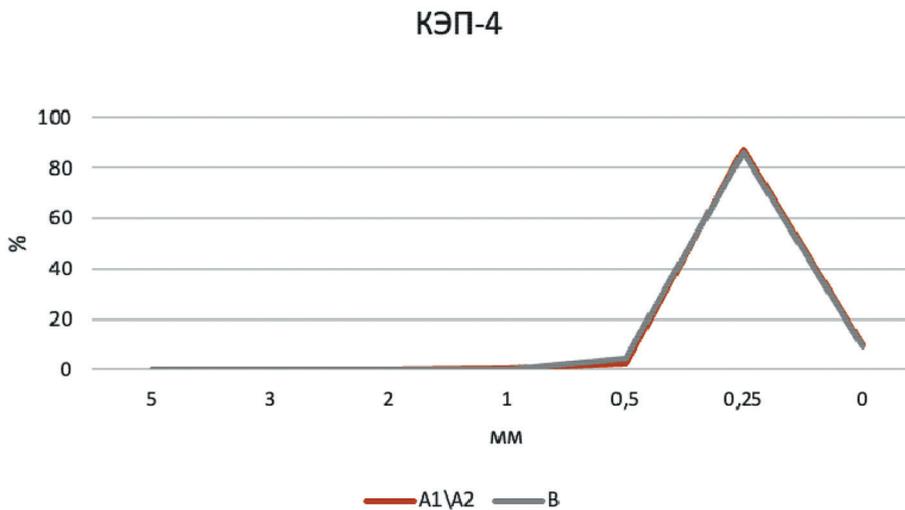


Рис. 11. График распределения фракций слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-4

Источник: составлено А.Я. Лебедевой-Георгиевской.

Из графика видно, что распределение фракций твердой фазы во всех исследованных почвенных (органо-минеральных и минеральных) горизонтах идентичное, что может указывать на естественное и постепенное накопление

твердой фазы почвы в процессе ее формирования в непосредственной близости от авантюны. Свыше 80 % от проб из трех исследованных горизонтов приходится на фракцию 0,25 мм — среднего песка.

Преобладающая в исследованных горизонтах фракция и содержание глинистых, пылеватых частиц позволяют отнести данную почву по ее гранулометрическому (механическому) составу к песчаной — песку связному [3].

Анализ результатов определения химического состава указывает на свободную миграцию макробиогенных элементов (K, Ca, Mg) вниз по почвенному профилю. Для Na отмечено повышение значений содержания к минеральным горизонтам (рис. 12).

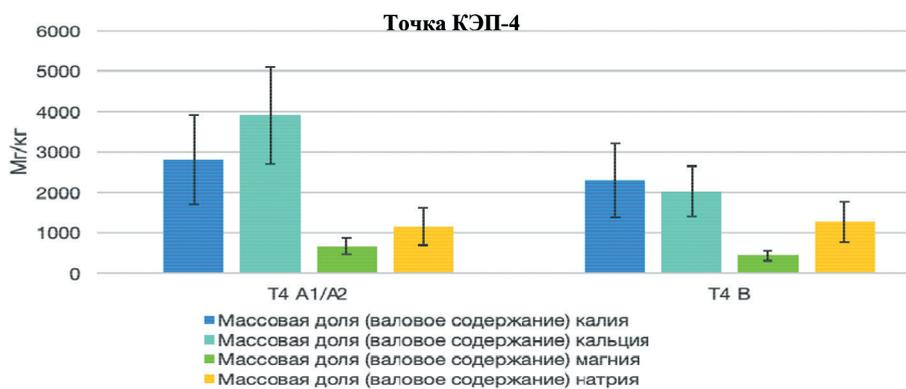


Рис. 12. График распределения макробиогенных элементов в горизонтах слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-4

Источник: составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

Анализ результатов определения содержания тяжелых металлов позволил выявить для Cr в органо-минеральном горизонте A1/A2 незначительное превышение ПДК ($> 6,0$ мг/кг)⁸. Вместе с тем это значение является самым высоким среди всех опробованных почвенных горизонтов ($7,4 \pm 1,5$ мг/кг). Для Pb ($2,25 \pm 0,56$ мг/кг) и Mn ($81,0 \pm 24,0$ мг/кг) отмечен пик концентрации в органо-минеральном горизонте A1/A2, для Cu ($3,44 \pm 0,69$ мг/кг) — в горизонте B. Свободная (гравитационная) миграция характерна для Zn, Cr, Pb, Co, а также Cd и Mn, равномерно распределяется по горизонтам As. Увеличение концентрации к минеральному горизонту отмечено для Cu и Ni, что может указывать на наличие физико-химического барьера окислительно-восстано-

⁸ О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06 : Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 № 1 (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 26.06.2017 N 89) // *КонтурНорматив*. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=299876&ysclid=mkpt70csy5181221664> (дата обращения: 12.12.2025).

вительного типа. Далее приводим распределение концентрации исследованных элементов по горизонтам (рис. 13).

Точка КЭП-4

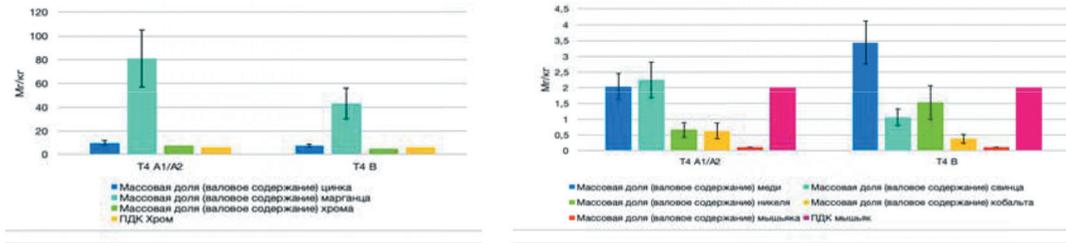


Рис. 13. Распределение содержания элементов отдельных металлов в горизонтах слабоподзолистой песчаной почвы, точка КЭП-4

Источник: составлено Я.О. Лебедевым, А.А. Карпиченко, А.А. Юрмановым, Н.С. Кокориной, М.Н. Лец, В.Л. Гаазовым, А.Я. Лебедевой-Георгиевской, К.В. Молодых, А.А. Рогачевым, М.Р. Махмудовым, Н.Р. Соболевой, А.Г. Гиголовым, В.М. Некрасовым, З.А. Василенко.

Несмотря на установленное незначительное единичное превышение для Сг в горизонте А1/А2, эколого-геохимическое состояние слабоподзолистой песчаной почвы (точка КЭП-4) может быть оценено как благоприятное.

Представленный анализ результатов физико-химических исследований образцов почв позволяет предположить наличие особенностей распределения песчаных фракций в слабоподзолистой торфянисто-глеевой песчаной и дерново-подзолистой песчаной почвах (точки КЭП-2 и КЭП-3 соответственно), что может быть связано с хозяйственной деятельностью здесь в прошлом или с активным агрегированием частиц при высоком содержании Са и Mg (коагулирующих катионов). Было установлено превышение ПДК и ОДК по As в двух образцах — в дерново-подзолистой песчаной почве (точка КЭП-3) и в дерновой слабоподзолистой песчаной почве (точка КЭП-1) и превышение ПДК по Сг в 5 образцах — во всех исследованных почвах (точки КЭП-1 — КЭП-4). Причины выявленных физико-химических особенностей мы рассмотрим ниже.

Обсуждение и результаты

Почвенные разрезы заложенной катены располагались в типичных для территории Куршской косы биотопах [4; 5] на выдержанном друг от друга расстоянии и позволили оценить особенности химического состава почв, влияние на него растительных сообществ, прошлой антропогенной деятельности и импультверизации морских аэрозолей, а геохимические особенности и характер почвенного увлажнения способствовали формированию физико-химических барьеров (точка КЭП-1) [6].

Вскрытые и описанные в ходе исследований почвенные разрезы соответствуют распространенным на территории Куршской косы типам почв, формирующихся на эоловых отложениях в различных условиях водного режима и гумусонакопления⁹. В точке КЭП-4 частично обводненные и обводненные горизонты В и С обводнены посредством капиллярного подъема атмосферной влаги (а также, возможно, водой из морской акватории, расположенной на одной высоте с точкой КЭП-4 за авандюной в 30 м) с растворенными из почвы солями. Так, в период пробоподготовки доведение до постоянной массы отобранных образцов потребовало значительного времени в связи с тем, что растворенная в воде соль активно задерживала влагу на контакте с твердой фазой почвы [7]. Близкое залегание грунтовых вод в целом, а также наличие слабосоленых грунтовых вод (в результате импульверизации и последующей миграции талассофильных элементов с морскими аэрозолями) может являться геохимическим биоингибитором для развития корневой системы древесной растительности в глубину, а не столько легкий (слабосвязный, связный песок) гранулометрический состав почв (напротив, способствующий развитию корневой системы растений) и усугублять последствия разрушительных для экосистемы ветровалов [8]. Кроме того, выявленное подсолонение грунтовых вод и минеральных горизонтов почв не может являться следствием сельскохозяйственной деятельности, о чем свидетельствуют данные исследования воды оз. Чайка и акватории Куршского залива на предмет содержания растворенных солей посредством экспресс-лаборатории EcoLabox, — для проб воды была отмечена средняя жесткость, содержание нитратов менее 1 мг/л, нитритов — менее 0,05 мг/л, аммония — менее 0,2 мг/л, фосфаты — не обнаружены [4; 5]. Для почвенных горизонтов точки КЭП-4 характерно (кроме описанных выше) высокое содержание Na, Mg, P, Mn, а также Fe, Li, Ti, Cr, — по сравнению с остальными горизонтами исследованных почв.

Фракции песка, преобладающие в гранулометрическом составе почв, имеющих эоловое происхождение [9], соответствуют своему генезису, в то время как органогенные горизонты почвенных разрезов, расположенных в центральной части катены, носят следы антропогенной трансформации (турбирования) [10]. Распределение фракций песка в точке КЭП-2 и КЭП-3 может указывать на ее антропогенно-нарушенное состояние, на что указывает значительное содержание фракции крупного песка и небольшое содержание гравия в органогенном горизонте, что не согласуется с фракционным распределением в органогенных горизонтах других исследованных почвенных разрезов. Вместе с тем в настоящее время на этих территориях никакой хозяйственной деятельности не ведется, дорожная инфраструктура расположена на значительном отдалении, вследствие чего можно сделать предположение о нарушении почвенного покрова или эолового переноса отдельных песчаных фракций на эти

⁹ Национальные парки России : справочник. Москва : Издательство Центра охраны дикой природы, 1996.

участки в прошлом. Привнос фракций размера 0,5–3 мм, предположительно, может быть связан с организацией в прошлом дорожной сети в центральной части Куршской косы, так как соответствует по диапазону фракций прежним и текущим государственным стандартам на строительный песок¹⁰. Специального минералогического исследования, способного подтвердить или опровергнуть данное предположение, не проводилось.

Проведенный нами анализ содержания в валовой форме макробиогенных элементов (Ca, K, Mg, Na), тяжелых металлов и токсических элементов, относимых к 1, 2 и 3-й группам токсикологической опасности (Zn, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Co, Mn, As)¹¹, показал, что отдельные геохимические особенности исследованных почв могут быть связаны с атмосферной циркуляцией и близостью к акватории Балтийского моря. В частности, было отмечено, что содержание Na увеличивается в органо-минеральных и минеральных горизонтах почвенных разрезов, обращенных к Куршскому заливу (КЭП-1, КЭП-2), в то время как в почвенных разрезах, обращенных к акватории Балтийского моря (КЭП-4, КЭП-3), наоборот, содержание Na увеличивается к минеральным горизонтам.

Отмечена возможная импультверизация Ca, Mg (а также Sr, P и ряда других элементов) с морскими аэрозолями, выражающаяся в постепенном снижении значений содержания Ca в органо-минеральных горизонтах (в среднем 2449 мг/кг), Mg — в органогенных горизонтах почв (в среднем 450 мг/кг) — при движении от побережья Балтийского моря к Куршскому заливу. Тем не менее для K и Na подобной закономерности выявлено не было.

В образцах из двух обследованных горизонтов было установлено превышение ПДК и ОДК по As ($\max = 2,7 \pm 1,2$ мг/кг). Отмеченные в почвенных горизонтах превышения содержания As могут объясняться процессами импультверизации с морскими аэрозолями, что является типичным способом его переноса [11].

В образцах из пяти обследованных горизонтов было установлено превышение ПДК по Cr ($\max = 7,4 \pm 1,4$ мг/кг). Для отдельных случаев его повышенная

¹⁰ ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия. Введ. 01.07.1995. Москва : Стандартинформ, 2005; ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Введ. 01.04.2015. Москва : Стандартинформ, 2019.

¹¹ ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве : гигиенические нормативы. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 18.05.2009; О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06 : Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 № 1 (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 26.06.2017 N 89) // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=299876&ysclid=mkpt70csy5181221664> (дата обращения: 12.12.2025); Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами : Письмо Минприроды РФ № 04-25, Роскомзема № 61-5678 от 27.12.93 // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=8&documentId=6352&ysclid=mkptb5qce0581410956> (дата обращения: 12.12.2025).

концентрация в почвенных горизонтах преобладающих здесь песчаных почв может быть связана с геохимическими барьерами (окислительно-восстановительными условиями) [6]. Присутствие хрома во всех исследованных нами песчаных по своему гранулометрическому составу почвах — вне зависимости от их антропогенной нарушенности — указывает на особенности минералогического состава самих песков, что согласуется с литературными данными [12].

Таким образом, установленные нами превышения валового содержания в отдельных горизонтах почв As и Cr имеют естественное происхождение и не связаны с антропогенным загрязнением. На основании проведенного исследования эколого-геохимическое состояние почв Куршской косы в рамках заложенной катены может быть оценено как благоприятное с незначительными единичными превышениями ПДК и ОДК по Cr и As, связанными с естественными особенностями геологии и приморского положения.

Заключение

Проведенное исследование эколого-геохимического состояния почв центральной части полуострова Куршская коса позволило актуализировать данные о физико-химических характеристиках, включая значения содержания широкого ряда токсикологических элементов. Было установлено, что в двух обследованных почвенных горизонтах содержание As превышает ОДК; максимальное содержание As составило $2,7 \pm 1,3$ мг/кг (горизонт A1/A2, КЭП-3). Для пяти из обследованных почвенных горизонтов было установлено превышение ПДК по Cr; максимальное содержание Cr составило $7,4 \pm 1,5$ мг/кг (горизонт A1/A2, КЭП-4).

Исследование гранулометрического состава почв показало, что органогенные горизонты почв в точках КЭП-2 и КЭП-3 имеют признаки антропогенного вмешательства в прошлом (предположительно в связи со строительством дороги), в то время как остальные почвы развивались естественным образом.

Уточнение причин повышенного содержания Cr ($7,4 \pm 1,5$ мг/кг) в точке КЭП-4 не позволяет сделать вывод об антропогенном загрязнении по ряду причин. Так, повышенное содержание Cr объясняется геологическими особенностями территории и наличием геохимических барьеров: окислительные условия способствуют повышенному содержанию Cr, в то время как в восстановительных условиях его содержание снижается вследствие активной миграции.

Повышенное содержание As в органогенных и органо-минеральных горизонтах объясняется его активной импัลверизацией с акватории Балтийского моря (а также, возможно, с акватории Куршского залива). Точка КЭП-4 при этом защищена авандюной, что препятствует его аккумуляции. Вместе с тем отсутствует возможность исключать антропогенное воздействие, так как его высокое содержание отмечено в нарушенных горизонтах точек КЭП-2

и КЭП-3. Кроме того, ряд исследованных тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu, Ni) имеют значительный пик концентрации в органогенных горизонтах именно этих точек, что также может указывать на наличие современного источника антропогенного загрязнения.

Эколого-геохимическое состояние обследованных почв: дерновой слабо-подзолистой песчаной почвы (точка КЭП-1 и КЭП-4), слабоподзолистой торфянисто-глееватой песчаной почвы (точка КЭП-2) и дерново-подзолистой песчаной почвы (точка КЭП-3) — может быть оценено как в целом благоприятное с незначительными единичными превышениями значений ПДК и ОДК по Cr и As соответственно.

Проведенные исследования могут стать базисом для организации геохимического мониторинга почв природно-антропогенной территории Национального парка «Куршская коса». Исследования могут быть масштабированы за счет увеличения количества точек исследований, заложения дополнительных поперечных и продольных катен. Полученные данные были направлены в Национальный парк «Куршская коса» для включения в материалы летописи природы.

Список литературы

- [1] Ланге Е.К., Ежова Е.Е., Багиров Н.Э., Володина А.А., Герб М.А., Полунина Ю.Ю., Шартон А.Ю. Характеристика состояния биоты на основе результатов мониторинга прибрежной зоны Куршского залива в пределах национального парка «Куршская коса» в 2021 году // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. статей. Вып. 18 / сост. И.П. Жуковская. Калининград : Полиграфический центр Балтийского федерального университета имени И. Канта, 2023. С. 250.
- [2] Рыльков О.В., Жуковская И.П. Особо ценные природные и культурные объекты национального парка «Куршская коса» // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. статей. Вып. 17 / сост. И.П. Жуковская. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2021. 193 с.
- [3] Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. Москва : Изд-во Академии наук СССР, 1958. 192 с. EDN: YWWBDF
- [4] Бибко А.П., Кривовяз Е.В., Хрулев Т.С., Филиппенко Д.П. Исследовательская экспедиция в Национальном парке «Куршская коса» в 2023 году. Калининградская область // Сборник тезисов научно-исследовательских работ участников Всероссийского чемпионата «Безграничные экспедиции» в 2023 и 2024 годах. Москва : АНО «Центр содействия экспедиционной деятельности», 2024. С. 56–59.
- [5] Доткаев В.В., Деревянченко Я.А., Кузина Э.В., Барановская А.В., Колесников Е.А., Касимова Д.М., Яровенко П.В., Кудряшова Я.В., Балагурова А.Д., Баканова А.В., Алимова С.А., Жукаускайте О.В., Ваккер М.Е., Юрченко К.А., Мухаева Д.А., Жигунова А.А., Дмитриченко А.Д., Недбайло А.В., Слюсаренко Л.В., Коваленко А.И. Результаты научно-исследовательской экспедиции в Национальном парке «Куршская коса» Калининградской области. Калининградская область // Сборник тезисов научно-исследовательских работ участников Всероссийского чемпионата «Безгра-

- ничные экспедиции» в 2023 и 2024 годах. Москва : АНО «Центр содействия экспедиционной деятельности», 2024. С. 54–56.
- [6] *Глазовская М.А.* Геохимические барьеры в почвах равнин, их типология, функциональные особенности и экологическое значение // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2012. № 1. С. 8–14. EDN: OWYGNF
- [7] *Найденев А.С., Василько В.П., Терехова С.С.* Почвенная влага (принципы и пути регулирования водного режима почвы). Краснодар : КубГАУ, 2020. 77 с.
- [8] *Комарова И.А.* Эффективность мероприятий по ликвидации последствий массового ветровала в Национальном парке «Куршская коса» (Калининградская область) // Вестник защиты растений. 2007. № 4. С. 54–56. EDN: JIVYYM
- [9] *Осинцева Н.В., Шмидт И.В., Горбунова Т.А., Лауэр Т., Шнайдер Б., Тинапп Х., Штойбле Х.* Субаэральные отложения черноозерской гряды (долина р. Иртыш): гранулометрический состав; генезис; динамика осадконакопления // Геоморфология. 2022. Т. 53. № 2. С. 51–60. <https://doi.org/10.31857/S0435428122020080> EDN: EHGE CZ
- [10] *Панин А.М., Муралев С.Г.* Исследование значимости гранулометрического состава почв и почвообразующих пород при выполнении земельно-оценочных работ // Вестник Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского. 2010. № 4. С. 109–114. EDN: MWCFHB
- [11] *Breuninger E.S., Tolu J., Aemisegger F., Thurnherr I., Bouchet S., Mestrot A., Ossola R., McNeill K., Tukhmetova D., Vogl J., Meermann B., Sonke J.E., Winkel L.H.E.* Marine and terrestrial contributions to atmospheric deposition fluxes of methylated arsenic species // Nature Communications. 2024. Vol. 15. No. 1. Article no. 9623. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53974-z> EDN: INIJQL
- [12] *Харин Г.С., Жуковская И.П., Исаченко С.М., Ерошенко Д.В.* Рудные пески в осадках Куршской косы (Балтийское море) // Океанология. 2021. Т. 61, № 1. С. 132–140. EDN: КОУУАК

Сведения об авторах:

Лебедев Ярослав Олегович, научный сотрудник Отдела стандартизации, методологии НДТ ФГАУ «НИИ «ЦЭПП», Российская Федерация, 115054, г. Москва, Стремянный переулок, д. 38; старший преподаватель департамента рационального природопользования, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, г. Москва, Подольское шоссе, д. 8; старший преподаватель кафедры НДТ и регуляторных практик, РТУ МИРЭА, Российская Федерация, 119454, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78; научный сотрудник НИЦ Геоматики ФИЦ ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского РАН, Российская Федерация, 299011, г. Севастополь, проспект Нахимова, д. 2. ORCID: 0000-0001-5792-1466; eLIBRARY SPIN-код: 6121-5978. E-mail: ya.o.lebedev@ya.ru

Карпиченко Александр Александрович, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой (заместитель декана на общественных началах по научной работе и международному сотрудничеству), Белорусский государственный университет, Республика Беларусь, 220030, г. Минск, ул. Ленинградская, д. 16. ORCID: 0000-0002-7463-4685; eLIBRARY SPIN-код: 5608-1248. E-mail: karpichenka@gmail.com

Юрманов Антон Алексеевич, кандидат биологических наук, проректор по научной и инновационной деятельности, Мурманский арктический государственный университет, Российская Федерация, 183038, г. Мурманск, ул. Капитана Егорова, д. 15. ORCID: 0000-0002-0270-8737; eLIBRARY SPIN-код: 1337-5656; Istina Researcher ID (IRID): 71800360;

WoS Researcher ID: ААО-4528-2021; Scopus Author ID: 57200179180. E-mail: yurmanov-anton.ya.ru@yandex.ru

Кокорина Надежда Сергеевна, куратор проекта «Безграничные экспедиции», специалист Дирекции «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: nadiapro555@gmail.com

Лец Марина Николаевна, руководитель «ЭКО-центр человека им. В.Г. Гниловского», Российская Федерация, 355017, Ставропольский край, г. Ставрополь, Зоотехнический пер, д. 6; куратор группы проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: marina-lec@yandex.ru

Гаазов Василий Леонидович, заместитель руководителя «ЭКО-центр человека им. В.Г. Гниловского», Российская Федерация, 355017, Ставропольский край, г. Ставрополь, Зоотехнический пер, д. 6; куратор группы проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: gaazov57@yandex.ru

Лебедева-Георгиевская Алёна Ярославна, обучающийся; помощник участников проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 141401, Московская область, г. Химки, ул. Первомайская, д. 6. E-mail: a.ya.lebe-geo@ya.ru

Молодых Кирилл Владимирович, бакалавр, Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9; участник проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: molodix.kirill@yandex.ru

Рогачев Артём Александрович, бакалавр Agora International School, Княжество Андорра, Ла Массана, Carrer del Serrat del Camp, 14, AD400; участник проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: vehcagor@yandex.ru

Махмудов Марат Рахимович, обучающийся; участник проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: maratmah08@gmail.com

Соболев Никита Романович, обучающийся; участник проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: sobolevnikita564@gmail.com

Гиголов Автандил Георгиевич, обучающийся; участник проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: narusheprikyan@yandex.ru

Некрасов Владимир Максимович, обучающийся; участник проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: svetavv2516@yandex.ru

Василенко Злата Андреевна, обучающийся; участник проекта «Движение Первых», Российская Федерация, 109028, г. Москва, ул. Земляной Вал, д. 50А, стр. 2. E-mail: zlatavas@gmail.com

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-112-128

EDN: YECZRP

УДК 712.4

Научная статья / Research article

Исследование изменений городских зеленых насаждений с использованием данных Sentinel-2 в городе Тхайбинь, Вьетнам

Т.Ф. Нгуен¹, Е.А. Парахина²¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация²Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация thanhphong.dhtt@gmail.com

Аннотация. Городские зеленые насаждения играют важнейшую роль в регулировании окружающей среды, повышении качества жизни населения и вносят значительный вклад в достижение целей устойчивого городского развития. Однако быстрые темпы урбанизации в последние годы вызвали существенные изменения в землепользовании, в частности сокращение площади зеленых насаждений и городских зеленых зон. В исследовании использованы спутниковые данные Sentinel-2 L2A, обладающие преимуществами пространственного разрешения и возможностью многовременных наблюдений. Для дополнения информации о состоянии растительного покрова был рассчитан индекс NDVI. Для классификации основных категорий объектов, включая водные поверхности, растительность, городские территории и открытые земли, применен алгоритм машинного обучения Random Forest. Результаты анализа показали, что городские зеленые насаждения в Тхайбине претерпели значительные изменения во времени, при этом главным фактором сокращения площади растительного покрова является расширение городской застройки. Полученные выводы не только дают четкое представление о развитии и деградации зеленых насаждений на местном уровне, но и имеют практическое значение для управления и планирования, способствуя формированию стратегий устойчивого городского развития, обеспечивающих баланс между ростом городов и охраной окружающей среды, применимых как для Тхайбина, так и для других городов Вьетнама.

Ключевые слова: зеленые зоны города, дистанционное зондирование, космические снимки, Random Forest, NDVI

Вклад авторов. *Нгуен Т.Ф.* — проведение исследования, визуализация, анализ исследования, создание рукописи. *Парахина Е.А.* — разработка концепции, анализ текста, руководство исследованием. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

История статьи: поступила в редакцию 27.10.2025; доработана после рецензирования 19.11.2025; принята к публикации 02.12.2025.

© Нгуен Т.Ф., Парахина Е.А., 2026

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Нгуен Т.Ф., Парахина Е.А. Исследование изменений городских зеленых насаждений с использованием данных Sentinel-2 в городе Тхайбинь, Вьетнам // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 112–128. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-112-128> EDN: YECZRP

Study of urban green space changes using Sentinel-2 data in Thai Binh City, Vietnam

Thanh Phong Nguyen¹, Elena A. Parakhina²

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²RUDN University, Moscow, Russian Federation

 thanhphong.dhtt@gmail.com

Abstract. Urban green spaces play a crucial role in regulating the environment, improving the quality of life, and contributing significantly to achieving the goals of sustainable urban development. However, the rapid pace of urbanization in recent years has led to substantial changes in land use, particularly a reduction in the area of vegetation and urban green zones. This study utilizes Sentinel-2 L2A satellite data, which offer advantages in spatial resolution and multitemporal observation capabilities. To complement information on vegetation conditions, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated. For the classification of major land-cover categories, including water bodies, vegetation, urban areas, and bare land, the Random Forest machine learning algorithm was applied. The analysis results show that urban green spaces in Thai Binh have undergone significant temporal changes, with urban expansion identified as the main factor contributing to the decline of vegetation cover. The findings provide a clear understanding of the development and degradation of urban greenery at the local level and have practical significance for management and planning. They contribute to forming sustainable urban development strategies that balance urban growth and environmental protection, applicable not only to Thai Binh but also to other cities in Vietnam.

Keywords: green areas of the city, remote sensing, satellite images, Random Forest, NDVI

Authors' contribution. *T.P. Nguyen* — conducting research, visualization, analysis of research, creation of a manuscript. *E.A. Parakhina* — concept development, text analysis, supervision. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Article history: received 27.10.2025; revised 19.11.2025; accepted 02.12.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Nguyen TP, Parakhina EA. Study of urban green space changes using Sentinel-2 data in Thai Binh City, Vietnam. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):112–128. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-112-128> EDN: YECZRP

Введение

Поддержание и расширение городских зеленых насаждений в настоящее время становится серьезной проблемой в условиях стремительной урбанизации и все более серьезного воздействия изменений климата. Зеленые насаждения не только способствуют улучшению качества воздуха, снижению эффекта городского острова тепла, повышению биоразнообразия и защите общественного здоровья, но и рассматриваются как один из важнейших факторов, отражающих облик и уровень устойчивого развития каждого города. Вместе с тем расширение городской застройки, развитие сельского хозяйства и промышленности сопровождаются тенденцией сокращения естественных зеленых территорий, формируя дополнительную нагрузку на городскую среду и экосистемы [1–3].

Во Вьетнаме крупные города, такие как Ханой, Хошимин и Дананг, сталкиваются с серьезными трудностями в сохранении зеленых насаждений на фоне интенсивного социально-экономического развития. Город Тхайбинь, несмотря на принадлежность к категории средних и малых городов, также испытывает аналогичное давление. Настоящее исследование рассматривает зеленые насаждения в административных границах города Тхайбинь. Усиление процессов урбанизации и индустриализации здесь оказывает влияние на зеленые пространства, качество городской среды и здоровье населения. Несмотря на рост экологической осведомленности со стороны местных органов управления и жителей, мониторинг и управление зелеными насаждениями остаются ограниченными, в том числе из-за высокой стоимости традиционных методов наблюдений и трудностей планирования на обширных территориях [4–5].

Технологии дистанционного зондирования Земли и спутниковые данные, в частности данные с мультиспектрального прибора MSI спутника Sentinel-2, доказали свою эффективность для мониторинга и оценки состояния зеленых насаждений. Обладая преимуществами пространственного разрешения, многовременных данных и возможностями многоспектрального анализа, Sentinel-2 предоставляет детальную информацию о распределении и текущем состоянии растительного покрова, что позволяет выявлять тенденции его изменений в городской среде. При интерпретации временной динамики растительного покрова также учитываются возможные сезонные колебания вегетационных индексов. На этой основе проведено исследование в городе Тхайбинь с целью анализа динамики городских зеленых насаждений во времени, а также предоставления данных для пространственного планирования и разработки направлений устойчивого городского развития [7].

Исследование направлено на использование данных Sentinel-2 для выявления степени изменений зеленых насаждений в городе, сочетая количественные показатели и наглядные иллюстрации для уточнения тенденций транс-

формации, и предлагает рекомендации по сохранению и развитию городской зеленой инфраструктуры. Результаты исследования имеют значение не только для поддержки пространственного планирования, но и для повышения качества окружающей среды и здоровья населения в условиях глобального изменения климата.

Цель исследования — выявление и количественная оценка изменений городских зеленых насаждений в городе Тхайбинь на основе мультиспектральных спутниковых данных Sentinel-2 за период 2020–2025 гг. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- проанализировать динамику NDVI и пространственное перераспределение классов землекрытия в пределах городской территории в 2020 и 2025 гг.;
- оценить влияние процессов урбанизации на сокращение и трансформацию зеленых зон, включая выявление пространственных закономерностей утраты растительности;
- сопоставить точность двух схем классификации (Sentinel-2 и Sentinel-2 + NDVI) и определить их применимость для мониторинга зеленых насаждений в условиях быстро меняющихся городских ландшафтов.

Объект и методы исследования

Район исследования и используемые данные

Город Тхайбинь ранее являлся административным центром одноименной провинции. После принятия Резолюции № 60-NQ/TW в 2025 г. провинция Тхайбинь была объединена с провинцией Хынгйен, и в настоящее время город административно подчинен провинции Хынгйен. Тхайбинь расположен в дельте реки Хонг и занимает площадь около 67 км² (рис. 1). Его стратегическое положение обеспечивает транспортные связи с Ханоем, Хайфоном и Намдином через сеть национальных автодорог № 10, 39, а также речные пути. Рельеф территории преимущественно равнинный, с плодородными аллювиальными почвами, благоприятными для ведения сельского хозяйства. Климат тропический муссонный, что способствует выращиванию риса и овощных культур и одновременно оказывает заметное влияние на образ жизни населения. Характерной чертой экосистемы являются обширные рисовые поля, перемежающиеся с районами аквакультуры вдоль реки Чалу. Однако процессы урбанизации и изменения климата приводят к сокращению площади сельскохозяйственных угодий, создавая серьезные вызовы для устойчивого развития города¹.

¹ Official portal of Hung Yen Province. URL: <https://thaibinh.gov.vn/> (accessed: 01.05.2025).

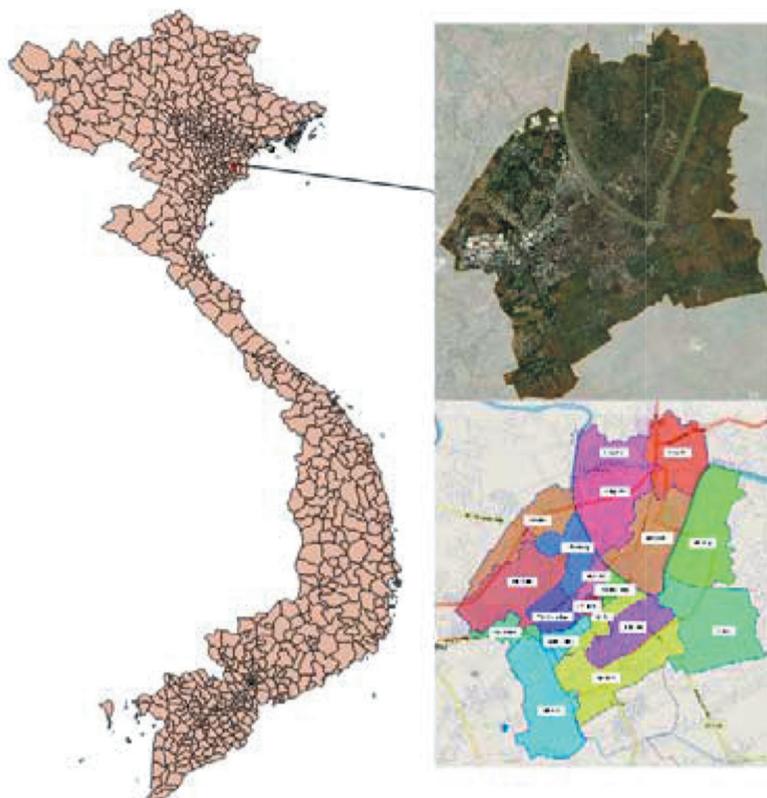


Рис. 1. Географическое положение города Тхайбинь

Источник: составлено Т.Ф. Нгуеном с использованием программного обеспечения QGIS.

Данные Sentinel-2 входят в состав программы Copernicus, реализуемой Европейским космическим агентством, и предоставляют спутниковые изображения высокого качества для широкого спектра исследований — от мониторинга состояния окружающей среды и сельского хозяйства до предотвращения стихийных бедствий и планирования городских территорий. Система включает два спутника: Sentinel-2A, запущенный в 2015 г., и Sentinel-2B, выведенный на орбиту в 2017 г. Оба спутника оснащены мультиспектральным прибором (MSI), который позволяет получать данные в 13 спектральных диапазонах с пространственным разрешением от 10 до 60 м при площади покрытия одной территории около 290×290 км. Благодаря короткому периоду повторного облета Sentinel-2 обеспечивает практически непрерывное получение данных во времени, что делает его эффективным инструментом для мониторинга состояния и динамики окружающей среды, включая анализ землепользования, растительного покрова, водных ресурсов и городских территорий, а также играет важную роль в оценке водных ресурсов и изучении процессов урбанизации. В настоящем исследовании анализ выполнялся строго в административных границах города Тхайбинь. Граница города была получена в виде векторного слоя (shapefile) из официальных административных данных

и использовалась для обрезки (clip) спутниковых изображений Sentinel-2 на этапе предварительной обработки.

Методы исследования

Процесс анализа городских зеленых насаждений с использованием многовременных спутниковых снимков Sentinel-2 представлен на рис. 2. На первом этапе осуществляется выбор изображений, соответствующих району исследования, с обеспечением полного охвата территории и установлением временного интервала анализа по годам в зависимости от целей исследования. Для повышения качества анализа выбирались изображения с минимальной облачностью. Используемые данные были загружены и откорректированы с помощью плагинов Microsoft STAC API и Semi-Automatic Classification в программной среде QGIS, после чего выполнялась предварительная обработка, необходимая для последующих этапов анализа.

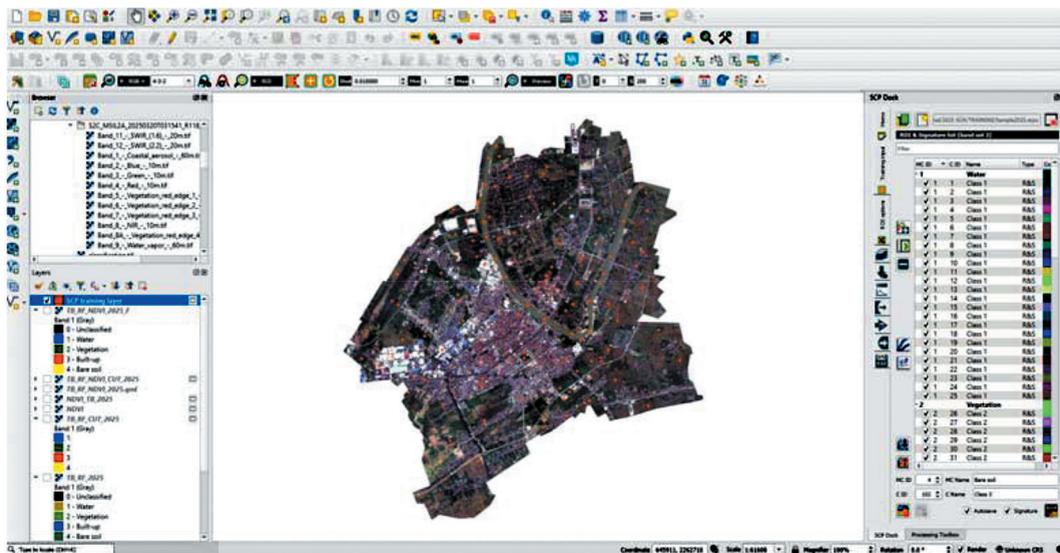


Рис. 2. Формирование обучающих точек/областей (ROIs — Regions of Interest)

Источник: составлено Т.Ф. Нгуеном с использованием программного обеспечения QGIS.

Схема:

Процесс создания тематических карт с использованием спутниковых снимков Sentinel-2

Начало → Выбор и проверка входных параметров: данные Sentinel-2 L2A — район исследования, период наблюдения, облачность → Предварительная обработка изображений → Расчет вегетационного индекса → Создание обучающих точек/областей (ROIs — Regions of Interest) → Выбор алгоритма классификации и проведение классификации объектов → Определение эталонной модели → Оценка точности → Завершение.

Выбор и проверка входных параметров

Для корректного анализа динамики растительного покрова были использованы спутниковые снимки Sentinel-2, отобранные за сходные сезонные периоды — 18.02.2020 и 20.03.2025. Снимки выбирались с учетом высокого качества и минимальной облачности, что обеспечивает точность последующих расчетов вегетационных индексов и процедуры классификации. Такой подход позволяет минимизировать сезонные колебания и надежность сопоставления значений NDVI, при этом выявленные различия интерпретируются как результат совокупного влияния урбанизационных процессов и природных факторов. Характеристики использованных спутниковых данных представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики данных Sentinel-2, использованных для создания тематических карт в исследуемом городе

Регион исследования	Путь зоны	Покрывтие облаками, %	Дата получения	ID сцены/продукта
Тхайбинь	T48QXH	4.92	18.02.2020	S2A_MSIL2A_20200218T032811_R018_T48QXH_20200929T182117
	T48QXH	9.1	20.03.2025	S2C_MSIL2A_20250320T031541_R118_T48QXH_20250320T090115

Источник: составлено Т.Ф. Нгуеном.

Методика расчета NDVI

Индекс NDVI определяется на основе различий спектрального отражения растительности в красном и ближнем инфракрасном диапазонах. Формула имеет вид

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4},$$

где B8 (NIR) и B4 (RED) — значения спектрального отражения в ближнем инфракрасном и красном каналах спутникового изображения соответственно (для спутников Sentinel-2 это каналы 8 и 4). [2; 6]

Значения NDVI изменяются в диапазоне от –1 до 1. Низкие значения NDVI указывают на участки с малым растительным покровом; высокие значения NDVI соответствуют территориям с густой растительностью; отрицательные значения отражают влажные почвы и водные поверхности. Индекс NDVI широко используется для оценки состояния растительности, управления водными ресурсами, классификации зеленых насаждений и мониторинга процессов урбанизации. Он предоставляет надежную информацию, необходимую для устойчивого планирования и эффективного экологического мониторинга [2; 8–10].

На основе данных Sentinel-2 и индекса NDVI была построена аналитическая модель:

- использование только каналов Sentinel-2;
- использование Sentinel-2 в сочетании с NDVI.

Обучающая выборка формировалась по району исследования и содержала четыре основных класса землекрытия: водные объекты, растительность, урбанизированные территории и открытые земли. Класс «растительность» включал плотные лесные массивы, сельскохозяйственные угодья и кустарники; класс «нерастительность» охватывал застроенные территории и открытые почвы; класс «водные объекты» включал реки, озера, пруды и акватории, что обеспечивало обучение и валидацию классификационной модели. Для оценки точности использовался независимый набор контрольных точек, не участвовавших в обучении модели, с последующим построением матриц ошибок и расчетом показателей общей и поклассовой точности.

В исследовании применялся алгоритм машинного обучения Random Forest (RF) в сочетании с методом объектно-ориентированной классификации для обеспечения высокой точности выделения классов землекрытия. На этапе сегментации использовался алгоритм SNIC, позволяющий группировать пиксели в объекты, что снижает погрешности и повышает соответствие реальной пространственной структуре [11].

Результаты классификации оценивались по показателям общей точности (ОА) и коэффициенту Каппа. Для последующего анализа был выбран наилучший вариант модели. Класс «растительность» интерпретировался как городские зеленые насаждения, остальные классы относились к другим типам объектов. На основе полученных данных были рассчитаны общая площадь и доля зеленых насаждений в разные временные периоды, что позволило выявить тенденции изменений и динамику развития городских зеленых пространств.

Результаты исследования и обсуждение

Результаты предварительной обработки и индекса растительности NDVI

Данные Sentinel-2 (L2A) за 2020 и 2025 гг. (рис. 3 и 4 соответственно) были подвергнуты атмосферной коррекции, обрезке по административным границам города Тхайбинь и объединены в набор спектральных каналов для последующего анализа. На всех этапах анализа использовались только пиксели, попадающие в границы города. После этапа предварительной обработки карта поверхностного отражения выявила четкие различия между центральной частью города и пригородными районами: жилые кварталы характеризуются высоким отражением в красном и ближнем инфракрасном диапазонах, тогда как зеленые массивы демонстрируют типичные значения отражения в ближнем инфракрасном канале (NIR).

На основе выбранных спектральных каналов был рассчитан индекс NDVI, отражающий степень покрытия и состояние растительного покрова. Результаты показали, что в 2020 г. значения NDVI в пределах городской территории варьировались от $-0,284341$ до $0,770541$ (рис. 3). Зеленые насаждения имели

мозаичное распределение, формируя отдельные кластеры, преимущественно вдоль речных долин и на сельскохозяйственных землях. К 2025 г. диапазон значений NDVI сократился до интервала от $-0,105477$ до $0,530818$ (рис. 4), что свидетельствует о тенденции снижения как площади, так и качества растительного покрова.

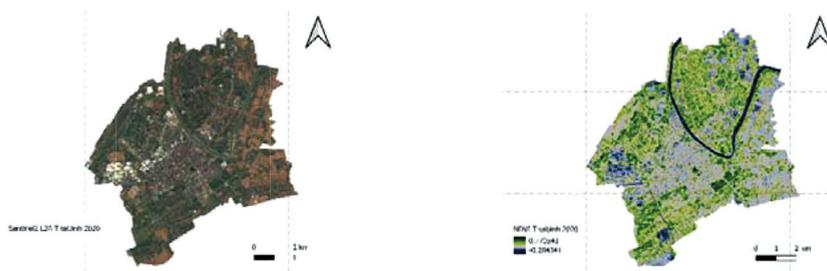


Рис. 3. Спутниковое изображение Sentinel-2 исследуемого района, полученное 18.02.2020, и рассчитанные индексы растительности.

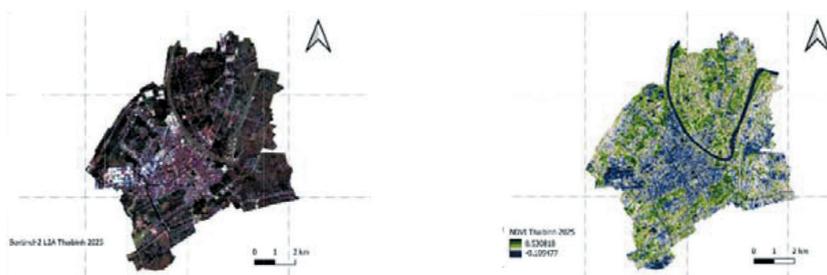


Рис. 4. Спутниковое изображение Sentinel-2 исследуемого района, полученное 20.03.2025, и рассчитанные индексы растительности.

Таблица 2. Площадь и изменения площади объектов с индексом NDVI в 2020 и 2025 гг.

Значение	2020 Площадь, га	2025 Площадь, га
NDVI < 0,4	5123,39	5592,16
NDVI > 0,4	1687,71	1218,94

Источник: составлено Т.Ф. Нгуеном.

Площадь с $NDVI > 0,4$ (условно «плотная растительность») в 2020 г. составила 1687,71 га, а к 2025 г. сократилась до 1218,94 га (табл. 2), что свидетельствует о значительном сокращении зеленых насаждений. Важно отметить, что снижение этой площади не означает исчезновение растительности, а скорее ее фрагментацию и снижение плотности, что связано с продолжающимся процессом урбанизации, строительством новых объектов инфраструктуры и развитием земель. В тропическом климате многие типы растительности, такие как газоны, деревья вдоль улиц, а также сельскохозяйственные участки, часто имеют зна-

чения NDVI в диапазоне от 0,20 до 0,38, особенно в сезоны с повышенной влажностью или при антропогенном стрессе. Следовательно, снижение площади с $NDVI > 0,4$ отражает изменения в структуре растительности и указывает не на полное исчезновение зеленых территорий, а скорее на их ослабление в плотности и площади.

Дополнительно снижение максимальных значений NDVI до 0,53 в 2025 г. полностью соответствует тенденциям для быстро урбанизирующихся территорий, что свидетельствует о снижении биомассы или повышении антропогенной нагрузки. Это подтверждается на примере центральной части города и вдоль крупных магистралей, где произошла интенсивная застройка и преобразование земель.

Пространственные изменения растительности особенно заметны в зонах с высокой урбанизацией. Снижение доли территорий с $NDVI > 0,4$ указывает на уменьшение крупных зеленых массивов, расширение смешанных зон, где растительность соседствует с застройкой, а также сокращение участков с высокой биомассой в результате строительства, развития дорожной инфраструктуры и увеличения плотности застройки.

Карта NDVI, представленная в исследовании, ясно демонстрирует процесс преобразования зеленых территорий в урбанизированные зоны и формирования новых жилых массивов. Эти изменения особенно выражены в центральной части города и вдоль ключевых транспортных коридоров, что предоставляет количественные доказательства сокращения зеленых насаждений в период с 2020 по 2025 г.

Результаты классификации с использованием алгоритма Random Forest

Для оценки точности классификации была использована независимая выборка из 100 контрольных точек, отобранных методом случайной стратифицированной выборки. В целях обеспечения сопоставимости результатов и исключения смещения между классами землепользования для каждого класса (вода, растительность, застроенные территории и открытые земли) было выбрано по 25 точек. Контрольные точки формировались на основе визуальной интерпретации спутниковых изображений Sentinel-2 высокого пространственного разрешения и вспомогательных картографических данных.

На основе полученной выборки были построены матрицы ошибок и рассчитаны стандартные показатели точности классификации, включая общую точность (Overall Accuracy, OA), коэффициент Каппа, а также метрики по отдельным классам (User's Accuracy и Producer's Accuracy (табл. 3)). Такой подход широко применяется в исследованиях по дистанционному зондированию и обеспечивает надежную и воспроизводимую оценку качества классификации.

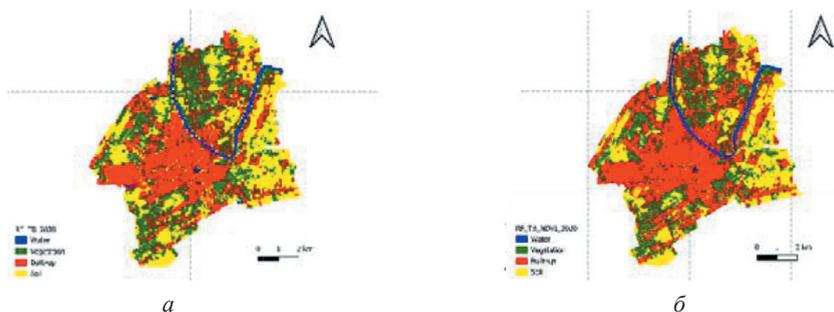


Рис. 5. Результаты объектно-ориентированной классификации по сценариям применения алгоритма RF за 2020 г.: а — только каналы Sentinel-2; б — каналы Sentinel-2 и NDVI

Источник: составлено Т.Ф. Нгуеном.

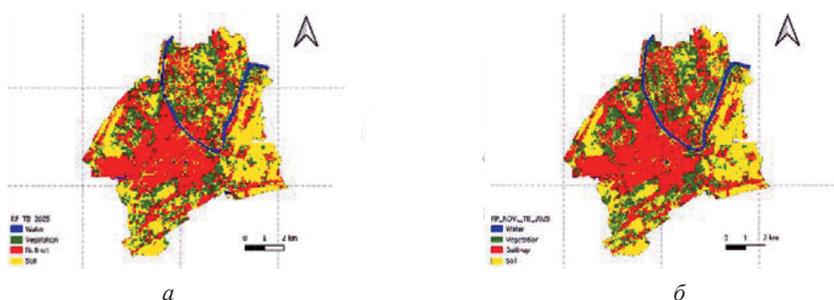


Рис. 6. Результаты объектно-ориентированной классификации по сценариям применения алгоритма RF за 2025 г.: а — только каналы Sentinel-2; б — каналы Sentinel-2 и NDVI

Источник: составлено Т.Ф. Нгуеном.

В сценарии классификации с использованием только спектральных каналов Sentinel-2 общая точность (Overall Accuracy, OA) составила 0,95 в 2020 г. и 0,89 в 2025 г., при коэффициенте Каппа 0,933 и 0,853 соответственно. Полученные значения свидетельствуют о высокой достоверности классификации и подтверждают пригодность данных Sentinel-2 для анализа структуры землепользования в городских условиях.

При интеграции индекса NDVI в набор входных признаков модели Random Forest наблюдается дополнительное улучшение показателей точности. В 2020 г. значение OA увеличилось с 0,95 до 0,96, а коэффициент Каппа — с 0,933 до 0,9467 (рис. 5). В 2025 г. значение OA увеличилось с 0,89 до 0,9, а коэффициент Каппа — с 0,8533 до 0,8667 (рис. 6), что указывает на более устойчивое согласие между классифицированными и эталонными данными по сравнению со сценарием без NDVI.

Улучшение метрик точности при использовании NDVI связано с повышением способности модели различать классы с близкими спектральными характеристиками, прежде всего между зелеными насаждениями, открытыми землями и застроенными территориями. Это подтверждается уменьшением числа ошибок смешения в соответствующих классах в матрицах ошибок для обоих исследуемых лет. Таким образом, интеграция индекса NDVI в набор

входных данных для Random Forest не только повышает общую точность классификации, но и обеспечивает стабильность модели на протяжении разных лет. Эти результаты являются научным доказательством того, что NDVI представляет собой ключевой показатель, который необходимо включать в исследования по мониторингу изменений городских зеленых насаждений с использованием данных дистанционного зондирования.

Таблица 3. Матрицы ошибок и показатели точности классификации (ОА и коэффициент Каппа) для различных сценариев и годов

Только каналы Sentinel-2	2020	Классификация	1	2	3	4	Итого	0.95	0.9333
		1	21	1	0	3	25		
		2	0	25	0	0	25		
		3	0	0	24	1	25		
		4	0	0	0	25	25		
	Итого	21	26	24	29	100			
	2025	Классификация	1	2	3	4	Итого	0.89	0.8533
		1	22	0	1	2	25		
		2	0	20	1	4	25		
		3	0	0	23	2	25		
4		0	1	0	24	25			
Итого	22	21	25	32	100				
Каналы Sentinel-2 и индекс NDVI	2020	Классификация	1	2	3	4	Итого	0.96	0.9467
		1	23	1	0	1	25		
		2	0	24	1	0	25		
		3	0	0	24	1	25		
		4	0	0	0	25	25		
	Итого	23	25	25	27	100			
	2025	Классификация	1	2	3	4	Итого	0.9	0.8667
		1	24	0	0	1	25		
		2	0	21	0	4	25		
		3	0	0	23	2	25		
4		1	2	0	22	25			
Итого	25	23	23	29	100				

Примечание: 1 — вода; 2 — растительность; 3 — застроенные территории; 4 — открытые земли.

Источник: составлено Т.Ф. Нгуеном.

Динамика площади классов землепользования

Результаты статистической оценки площадей классов землепользования, представленные в табл. 4, свидетельствуют о заметных изменениях в структуре землепользования города Тхайбинь в период 2020–2025 гг., при этом характер и направление этих изменений различаются в зависимости от используемой схемы классификации.

При использовании только спектральных каналов Sentinel-2 площадь водных объектов увеличилась с 201,24 га в 2020 г. до 229,32 га в 2025 г. (+28,08 га). В то же время при интеграции индекса NDVI наблюдается незначительное сокращение водной поверхности — с 214,80 га до 207,55 га (–7,25 га). Данное

различие обусловлено более точным разделением открытой воды и прибрежных территорий, частично покрытых водной растительностью или имеющих смешанные спектральные характеристики, что подтверждает корректирующую роль NDVI при классификации гидрологических объектов.

Таблица 4. Площадь и доля площади объектов землепокрития в 2020 и 2025 гг.

Объект	Использование каналов Sentinel-2			Использование Sentinel-2 и NDVI		
	2020, га	2025, га	Изменение	2020, га	2025, га	Изменение
Вода	201,24	229,32	+28,08	214,8	207,55	-7,25
Растительность	1940,76	1466,64	-474,12	1685,15	1557,2	-127,95
Урбанизированные территории	2421,36	2382,12	-39,24	2925,76	2477,49	-448,27
Открытые земли	2245,32	2730,6	+485,28	1985,35	2568,79	583,44

Источник: составлено Т.Ф. Нгуеном.

Для растительного покрова обе методики выявляют устойчивую тенденцию к сокращению площади, однако степень снижения существенно различается. В сценарии с использованием только каналов Sentinel-2 площадь растительности уменьшилась на 474,12 га (с 1940,76 га до 1466,64 га). При добавлении NDVI сокращение оказалось менее выраженным — 127,95 га (с 1685,15 га до 1557,20 га), что указывает на более взвешенную оценку состояния зеленых территорий. Это подтверждает, что при отсутствии NDVI часть разреженной растительности и сельскохозяйственных угодий может быть ошибочно отнесена к другим классам землепокрития.

Анализ урбанизированных территорий показывает разнонаправленные результаты двух сценариев. При классификации только по каналам Sentinel-2 площадь застроенных территорий незначительно сократилась (-39,24 га), в то время как при использовании Sentinel-2 совместно с NDVI зафиксировано существенное уменьшение площади урбанизированных зон — на 448,31 га. Такое расхождение объясняется более строгим отделением плотной застройки от открытых земель и переходных зон, что снижает эффект спектрального смешения и подчеркивает повышенную надежность комбинированного подхода.

Площадь открытых земель увеличилась в обоих сценариях: на 485,28 га при использовании только Sentinel-2 и на 583,44 га при применении Sentinel-2 с NDVI (рис. 7). Данный рост отражает трансформацию части сельскохозяйственных и зеленых территорий в участки с пониженной плотностью растительного покрова, а также формирование временных и переходных пространств в процессе урбанизационного развития.

Классификация Sentinel-2 + NDVI демонстрирует хорошую согласованность с результатами других исследований, посвященных динамике зеленых зон в районах с интенсивной урбанизацией как во Вьетнаме, так и в Азии в целом. В частности, исследования Le et al. в провинции Тханьхоа и Phuong et al. в прибрежных регионах также фиксируют сокращение растительности,

наиболее выраженное в пригородных зонах и вдоль основных транспортных магистралей [5; 7]. Аналогичные тенденции выявлены в работах Liyaqat et al. и Ali et al., где отмечено уменьшение растительного покрова в быстро развивающихся городах Азии [16; 17]. Полученные в Тхайбине данные подтверждают эти выводы: происходит активное преобразование сельскохозяйственных территорий и зеленых зон в участки застройки, что приводит к фрагментации растительного покрова и увеличению площади открытых земель.

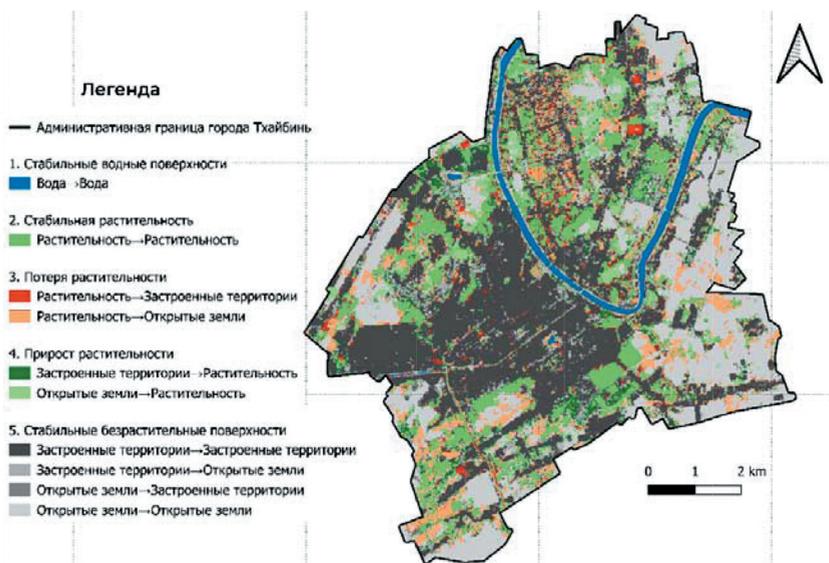


Рис. 7. Карта изменений землепользования города Тхайбинь в 2020–2025 гг., полученная на основе объектно-ориентированной классификации данных Sentinel-2 с использованием индекса NDVI и алгоритма Random Forest.

Источник: составлено Т.Ф. Нгуеном.

Пространственная структура изменений растительности в городе имеет следующие особенности:

- **пригородная зона:** ранее крупные массивы зелени становятся фрагментированными вследствие расширения жилых районов;
- **основные транспортные коридоры:** наблюдается появление продольных полос открытых земель, отражающих модернизацию дорожной инфраструктуры;
- **прибрежные и рекреационные зоны:** снижение NDVI предполагает влияние изменений гидрологического режима, преобразования землепользования или роста антропогенной нагрузки;
- **центр города:** высокая степень застройки приводит к сокращению малых и изолированных зеленых участков.

Таким образом, использование NDVI совместно с данными Sentinel-2 не только улучшает точность количественной оценки, но и позволяет более четко

выявлять пространственные закономерности деградации растительного покрова. Полученные результаты согласуются с международными исследованиями и подтверждают применимость данной методики для мониторинга динамики землепокрития в условиях ускоренной урбанизации.

Заключение

В настоящем исследовании на основе данных спутников Sentinel-2 в сочетании с объектно-ориентированным подходом и алгоритмом Random Forest был выполнен анализ изменений городских зеленых насаждений в городе Тхайбинь в период 2020–2025 гг. Для минимизации сезонного влияния были подобраны снимки, относящиеся к сопоставимым временным интервалам, что позволило повысить надежность межгодового сравнения.

Результаты оценки точности классификации показали, что при использовании только спектральных каналов Sentinel-2 общая точность (ОА) составила 95 % при коэффициенте Каппа 0,9333 в 2020 г. и 89 % при Каппа 0,8533 в 2025 г. Интеграция индекса NDVI привела к повышению и стабилизации качества классификации: значения ОА достигли 96 и 90 %, а коэффициента Каппа — 0,9467 и 0,8667 соответственно. Это подтверждает, что включение NDVI способствует более корректному разграничению классов с близкими спектральными характеристиками, прежде всего между растительностью, открытыми землями и застроенными территориями.

Анализ динамики землепокрития выявил тенденцию к сокращению площадей растительного покрова в 2020–2025 гг., сопровождающуюся увеличением площадей открытых земель и изменением конфигурации урбанизированных территорий. При этом сценарий Sentinel-2 + NDVI продемонстрировал более сдержанные и реалистичные оценки изменений. Зафиксированные изменения отражают процессы трансформации землепользования и усиливающееся антропогенное воздействие, однако полученные результаты интерпретируются с учетом возможного влияния сезонных и природных факторов.

В целом проведенное исследование обеспечивает целостное представление о пространственно-структурных изменениях городской среды Тхайбиня и подтверждает эффективность комбинированного использования данных Sentinel-2 и индекса NDVI для мониторинга динамики зеленой инфраструктуры. Полученные выводы могут служить научно обоснованной информационной основой для органов управления и специалистов в области территориального планирования при разработке стратегий сохранения зеленых насаждений и устойчивого развития города.

Список литературы

- [1] *Olivadese M., Dindo M. L.* Water, ecosystem services, and urban green spaces in the anthropocene // *Land*. 2024. Vol. 13. No. 11. Article no. 1948. <https://doi.org/10.3390/land13111948> EDN: ZBTKRO

- [2] Zhang F., Qian H. A comprehensive review of the environmental benefits of urban green spaces // *Environmental Research*. 2024. Vol. 252. Part 2. Article no. 118837. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118837> EDN: BNVEZS
- [3] Zhanwen Q., Islam M. Z. Urban equilibrium: legal imperatives for sustainable development and habitat preservation in Shenzhen, China // *Urban Ecosystems*. 2024. Vol. 27. P. 2223–2243. <https://doi.org/10.1007/s11252-024-01588-0> EDN: CKSEBB
- [4] Huong P. L., Tuan N. T. Ecosystem service value in the context of urbanization: Comparison among economic-social regions of Vietnam // *Heliyon*. 2024. Vol. 10. Iss. 21. Article no. e39878. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39878>.
- [5] Le K. T., Le K. B., Le V. P. Monitoring urban green space changes using multi-temporal Sentinel-2 MSI Data in Thanh Hoa Province, Vietnam // *Journal of Construction*. 2025. No. 1. P. 202–205. URL: <https://vjol.info.vn/index.php/tcxd/article/view/107316> (дата обращения: 25.09.2025).
- [6] Han H., Liu Z., Li J., Zeng Z. Challenges in remote sensing based climate and crop monitoring: navigating the complexities using AI // *Journal of Cloud Computing*. 2024. Vol. 13. Article no. 34. <https://doi.org/10.1186/s13677-023-00583-8> EDN: EQGUES
- [7] Thi Phuong To, Le Hung T., Thi Giang Le, Xuan Bien T., Van Phu Le. Assessment of land cover changes using sentinel-2 satellite image data: a case study of Thanh Hoa coastal area, Viet Nam // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024. Vol. 1345. No. 1. Article no. 012026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1345/1/012026> EDN: GVTPKP
- [8] Xiong N., Yu R., Yan F., Wang J., Feng Zh. Land use and land cover changes and prediction based on multi-scenario simulation: A case study of Qishan County, China // *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14. Iss. 16. P. 4041. <https://doi.org/10.3390/rs14164041> EDN: HSRRMW
- [9] Norovsuren B., Tseveen B., Batomunkuev V., Renchin T., Natsagdorj E., Yangiv A., Mart Z. Land cover classification using maximum likelihood method (2000 and 2019) at Khandgait valley in Mongolia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 381. P. 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/381/1/012054>.
- [10] Chaikaew P. Land use change monitoring and modelling using GIS and remote sensing data for watershed scale in Thailand // *Land Use — Assessing the Past, Envisioning the Future* / L. C. Loures (Ed.). London : IntechOpen, 2019. P. 165–181. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79167>.
- [11] Ismayilova I., Timpf S. Classifying Urban Green Spaces using a combined Sentinel-2 and Random Forest approach // *AGILE: GIScience Series*. 2022. Vol. 3. P. 38. <https://doi.org/10.5194/agile-giss-3-38-2022>
- [12] Pham V. D., Hoang V. K., Nguyen V. T. Mapping of green space distribution with random forest algorithm (RF) on the Google Earth Engine cloud platform: case study in Ba Vi district, Hanoi City // *Vietnam National University of Forestry*. 2022. No. 6. P. 58–67. <https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.2022.6.058-067>.
- [13] Manika N., Dhyan S. Rampant urbanization, loss of green spaces, depleting foraging wisdom for nutrition, health, and protecting urban green spaces: lessons from populous Uttar Pradesh, India // *Urban Foraging in the Changing World* / S. Dhyan, M. Sardeshpande (eds.). Singapore : Springer. P. 79–102. https://doi.org/10.1007/978-981-97-0345-6_6
- [14] Sadler J., Bates A., Hale J., James P. Bringing cities alive: the importance of urban green spaces for people and biodiversity // *Urban Ecology* / K.J. Gaston (ed.). Cambridge : Cambridge University Press, 2010. P. 230–260. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511778483.011>

- [15] Wang J., Zhou W., Wang J., Qian Y. From quantity to quality: enhanced understanding of the changes in urban greenspace // *Landscape Ecology*. 2019. Vol. 34. P. 1145–1160. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00828-5>
- [16] Liyaqat S., Dasti M.Y.S., Hussain E., Mumtaz F., Kucher D.E., Tariq A. Urban heat island dynamics in Rawalpindi: a 30-year remote sensing analysis and future projections // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Article no. 32760. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13844-0> EDN: SQXVXG
- [17] Ali M.A., Jamal S., Ahmad W.S., Rafi S., Kucher D.E. Integrating earth observation and CA-ANN modelling to predict LULC dynamics in wetland ecosystem under urban pressure // *GeoJournal*. 2025. Vol. 90. Article no. 236. <https://doi.org/10.1007/s10708-025-11482-7> EDN: MVCAJB

Сведения об авторах:

Нгуен Тхань Фонг — аспирант, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0009-0005-7371-173X. E-mail: thanhphong.dhtt@gmail.com.

Парахина Елена Александровна — кандидат биологических наук, доцент департамента рационального природопользования, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-2865-0780. E-mail: parakhina-ea@rudn.ru.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-129-137

EDN: YELZJY

УДК 504.064

Научная статья / Research article

Разработка программного комплекса для определения ключевых параметров водных объектов, необходимых для построения сети экологического мониторинга

А.В. Гусев¹, М.А. Шахраманьян²¹Российский государственный социальный университет, Москва, Российская Федерация²Российский государственный социальный университет, Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Российская Федерация gusevandree2015@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрен инновационный подход к созданию автоматизированной системы мониторинга водных объектов, основанный на современных технологиях дистанционного зондирования и компьютерного зрения. Представленное решение направлено на преодоление ключевых ограничений традиционных методов экологического мониторинга, таких как высокая трудоемкость, субъективность оценок и недостаточная оперативность получения данных. Разработанный программный комплекс реализует трехэтапный алгоритм анализа: автоматическое распознавание водных объектов на спутниковых снимках, расчет их морфометрических характеристик и оптимизированное проектирование сети мониторинговых станций. Особое внимание уделено адаптивности системы к различным типам исходных данных и условиям съемки, что обеспечивает высокую точность результатов даже при работе с низкокачественными изображениями. Описаны математические основы алгоритмов, результаты экспериментальных исследований и практические рекомендации по внедрению. Результаты демонстрируют перспективность применения автоматизированных систем анализа для решения задач экологического мониторинга в условиях возрастающей антропогенной нагрузки на водные экосистемы.

Ключевые слова: проектирование сетей мониторинга, дистанционное зондирование, компьютерное зрение, детектирование водных объектов, автоматизированные системы, водный мониторинг, оптимизация сети наблюдений

Вклад авторов. Гусев А.В. — концептуализация, разработка методологии исследования, проведение исследования, разработка программного обеспечения, визуализация

© Гусев А.В., Шахраманьян М.А., 2026

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

и анализ полученных данных, написание и редактирование рукописи. *Шахраманьян М.А.* — создание модели исследования, научное руководство исследованием. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

История статьи: поступила в редакцию 02.07.2025; доработана после рецензирования 24.07.2025; принята к публикации 28.11.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: *Гусев А.В., Шахраманьян М.А.* Разработка программного комплекса для определения ключевых параметров водных объектов, необходимых для построения сети экологического мониторинга // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 129–137. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-129-137> EDN: YELZJY

Development of a software package for determining key parameters of water bodies required for building an environmental monitoring network

Andrey V. Gusev¹, Mikhail A. Shakhramanyan²

¹*Russian State Social University, Moscow, Russian Federation*

²*Russian State Social University, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation*

 gusevandre2015@yandex.ru

Abstract. This research discusses an innovative approach to creating an automated system for monitoring water bodies based on modern remote sensing and computer vision technologies. The presented solution is aimed at overcoming the key limitations of traditional environmental monitoring methods, such as high labor intensity, subjectivity of assessments and insufficient efficiency of data acquisition. The developed software package implements a three-stage analysis algorithm: automatic recognition of water bodies on satellite images, calculation of their morphometric characteristics and optimized design of a network of monitoring stations. Particular attention is paid to the adaptability of the system to various types of initial data and shooting conditions, which ensures high accuracy of results even when working with low-quality images. The mathematical foundations of the algorithms, the results of experimental studies and practical recommendations for implementation are described. The results demonstrate the promise of using automated analysis systems to solve environmental monitoring problems in the face of increasing anthropogenic load on aquatic ecosystems.

Keywords: monitoring network design, remote sensing, computer vision, water body detection, automated systems, water monitoring, optimization of the observation network

Authors' contribution. *A.V. Gusev* — conceptualization, development of research methodology, conduct of research, development of software, visualization and analysis of the obtained data, writing, reviewing, and editing of the manuscript. *M.A. Shakhramanyan* — creation of the research model, scientific management of the research. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Article history: received 02.07.2025; revised 24.07.2025; accepted 28.11.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Gusev AV, Shakhramanyan MA. Development of a software package for determining key parameters of water bodies required for building an environmental monitoring network. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):129–137. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-129-137> EDN: YELZJY

Введение

Современные проблемы экологического мониторинга водных объектов требуют новых автоматизированных подходов к сбору и анализу данных. Для эффективного решения проблемы загрязнения водных ресурсов требуется применение современных технологий, включая интеллектуальные системы мониторинга и управления качеством воды [1]. Традиционные методы полевых исследований обладают существенными ограничениями: высокой трудоемкостью, субъективностью оценок, длительным измерением (невозможностью в режиме онлайн определить интересующий параметр) и недостаточной пространственной репрезентативностью. Использование инновационных технологий, таких как искусственный интеллект, машинное обучение и Интернет вещей, позволит внедрить автоматизированные системы мониторинга состояния водоемов в реальном времени [2]. В этих условиях особую актуальность приобретают системы дистанционного мониторинга, основанные на машинном детектировании поступающих снимков.

Разработанный программный комплекс решает три ключевые задачи:

- 1) автоматическое определение границ водных объектов;
- 2) расчет морфометрических характеристик (площадь, длина береговой линии, изрезанность береговой линии);
- 3) оптимальное размещение станций мониторинга для последующего позиционирования станций экологического мониторинга с целью построения карт полей текущих концентраций приоритетных показателей.

Цель исследования — разработка программного комплекса, позволяющего автоматически определять морфометрические характеристики водных объектов и на основе этого оптимизировать размещение станций водного экологического мониторинга.

Особенностью предлагаемого решения является его комплексный характер — от первичной обработки спутниковых или картографических снимков и до выдачи готовых рекомендаций по размещению станций мониторинга.

Материалы и методы

Основу методологии составляет многоуровневый анализ данных дистанционного зондирования. На первом этапе система автоматически классифицирует тип исходного изображения, определяя его как спутниковый снимок

или цифровую карту. Для каждого типа применяются специализированные алгоритмы обработки, учитывающие особенности цветопередачи и пространственного разрешения.

Этап предварительной обработки классифицированных изображений включает их коррекцию с учетом атмосферных искажений, радиометрическую калибровку и геометрическую привязку. Для устранения влияния облачности применяется адаптивный алгоритм маскирования облачного покрова, основанный на анализе спектральных характеристик в ближнем инфракрасном диапазоне. Особое внимание уделяется компенсации эффектов солнечной засветки и отражений от водной поверхности, которые могут существенно исказить результаты автоматизированного анализа.

Процедура сегментации водной поверхности реализована с использованием алгоритма NDWI (Normalized Difference Water Index) [3]. Алгоритм модифицирован дополненным морфологическим анализом и методами машинного обучения. Система автоматически адаптирует пороговые значения для выделения водных объектов в зависимости от сезонных особенностей и региональных характеристик территории.

Такие модели успешно применяются для задач классификации, детекции объектов и сегментации на спутниковых изображениях в различных регионах мира [4]. Они способны учитывать сложные пространственные и спектральные особенности изображений, обучаться на больших объемах данных и адаптироваться к разнообразным условиям съемки [4].

Расчет морфометрических параметров осуществляется с учетом пространственного разрешения исходных данных и топографических особенностей местности. Помимо базовых характеристик (площадь, длина береговой линии) система вычисляет комплекс производных показателей:

- 1) коэффициент изрезанности береговой линии;
- 2) индекс компактности водного зеркала;
- 3) градиенты глубины прибрежной зоны;
- 4) степень фрагментации акватории.

Эти параметры имеют важное значение для последующего моделирования гидрологических процессов и оценки экологического состояния водоема.

Заключительный этап — проектирование оптимальной сети мониторинговых станций. Данный этап реализуется с учетом факторов равномерности покрытия акватории, особенностей рельефа береговой линии и наличия потенциальных источников загрязнения.

Программная реализация комплекса разработана на языке Python, что обеспечивает высокую гибкость, производительность и широкие возможности интеграции с другими технологиями. Для обработки изображений и решения задач компьютерного зрения использовались специализированные библиотеки, такие как OpenCV (реализация алгоритмов детектирования, фильтрации и морфологического анализа) и Scikit-image (расширенные методы сегмента-

ции и обработки изображений). Для работы с геоданными применялись мощные инструменты геопространственного анализа, включая GDAL (чтение, запись и преобразование растровых и векторных данных) и Geopandas (манипуляции с геометрическими объектами и пространственные запросы). Архитектура системы предусматривает возможность экспорта результатов в форматах, совместимых с отраслевыми информационными системами.

Упрощенная схема программного комплекса представлена на рис. 1.

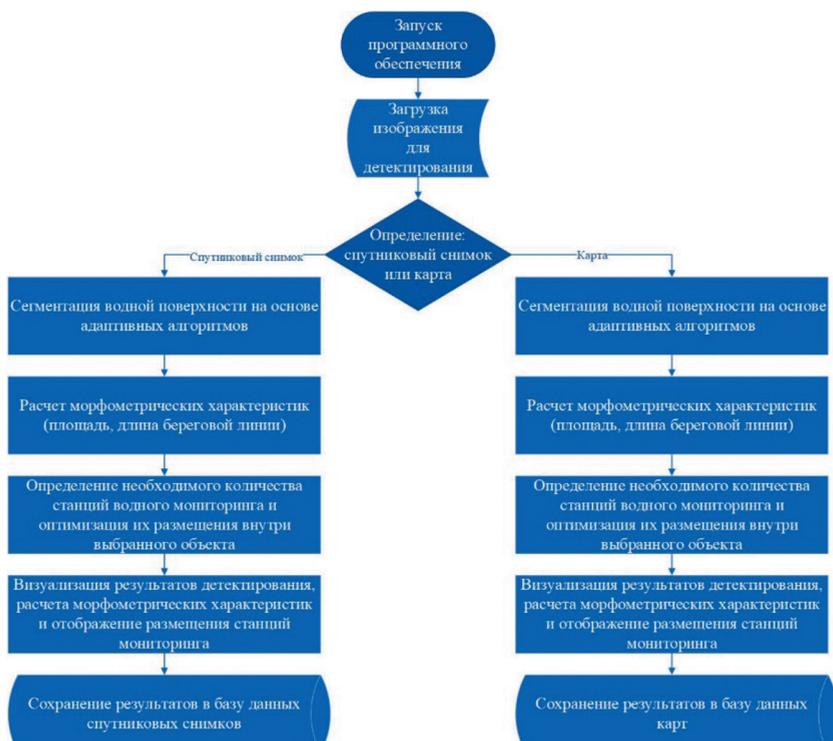


Рис. 1. Блок-схема работы программно-аппаратного комплекса

Источник: составлено А.В. Гусевым.

Результаты и обсуждение

Экспериментальная апробация разработанного программного комплекса проводилась на разнообразных водных объектах, включая природные озера, водохранилища и речные системы. Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность предложенных алгоритмов обработки данных дистанционного зондирования и расчета ключевых параметров водных экосистем.

Точность автоматического определения границ водных объектов достигает в среднем 96 %. Наибольшие расхождения наблюдаются в зонах с интенсивной водной растительностью и на участках со сложной морфометрией береговой линии. Анализ этих расхождений показал, что они преимущественно связаны с особенностями спектральных характеристик прибрежных биотопов

и ограничениями пространственного разрешения используемых спутниковых снимков. В таблице приведено сравнение автоматизированных результатов расчета и действительных характеристик водных объектов.

Сравнение результатов работы программного комплекса и действительных характеристик водных объектов

Водный объект	Площадь из открытых источников, км ²	Площадь в результате работы программного комплекса, км ²	Относительная средняя погрешность, %	Время обработки, с
Ямкинское озеро	0,098	0,096	2,1	0,4
Черноголовское водохранилище	0,28	0,27	3,6	0,9
Озеро Серемо	19,62	20,37	3,7	1,7
Озеро Лача	340	361	6,2	4,3

Источник: составлено А.В. Гусевым по результатам работы программного комплекса.

Расчет морфометрических параметров водных объектов показал высокую воспроизводимость результатов. Погрешность определения площади водного зеркала не превышает 6–7 %, даже для объектов площадью более 100 км². При этом точность расчетов существенно зависит от качества исходных данных и их пространственного разрешения. Для снимков высокого разрешения (менее 5 м на пиксель) достигается наилучшая точность, тогда как при работе с материалами среднего разрешения возможны некоторые погрешности в определении сложных контуров береговой линии.

Полученные результаты демонстрируют не только техническую эффективность алгоритмов, но и их значительный потенциал для интеграции в систему государственного мониторинга водных объектов. Особую ценность разработка представляет для решения задач, связанных с оперативным выявлением изменений морфометрических характеристик водоемов — ключевого параметра в оценке антропогенного воздействия на водные экосистемы. Так, автоматизированный расчет коэффициента изрезанности береговой линии позволяет прогнозировать зоны аккумуляции загрязняющих веществ, что критически важно при проектировании наблюдательных сетей, в том числе в рамках развития и совершенствования ФГИС «Экомониторинг»¹. Сопоставление данных, полученных с помощью разработанного комплекса, с материалами «витрины данных» Росводресурса² (в частности с динамикой изменения индекса загрязнения вод ИЗВ) показало высокую степень корреляции при анализе сезонных колебаний качества воды в тестовых водоемах. Это подтверждает возможность использования системы для верификации офици-

¹ ФГИС «Экомониторинг». URL: <https://ecomonitoring.mnr.gov.ru/public/lists/main> (дата обращения: 21.07.2025).

² Открытые данные Федерального агентства водных ресурсов // ГИС ЦП Вода. URL: <https://gis.favr.ru/web/guest/opendata> (дата обращения: 23.07.2025).

альных показателей мониторинга, особенно в части пространственного распределения точек отбора проб. Такая конвергенция данных свидетельствует о том, что предлагаемое решение способно не только дублировать, но и дополнять существующие методы наблюдений за счет учета морфодинамических особенностей конкретного водного объекта.

Особого внимания заслуживают результаты автоматизированного проектирования сети мониторинговых станций. Предложенный алгоритм учитывает равномерность пространственного распределения точек отбора проб. Это позволяет существенно повысить репрезентативность получаемых данных при одновременном сокращении количества необходимых станций. Результаты работы программного комплекса представлены на рис. 2.

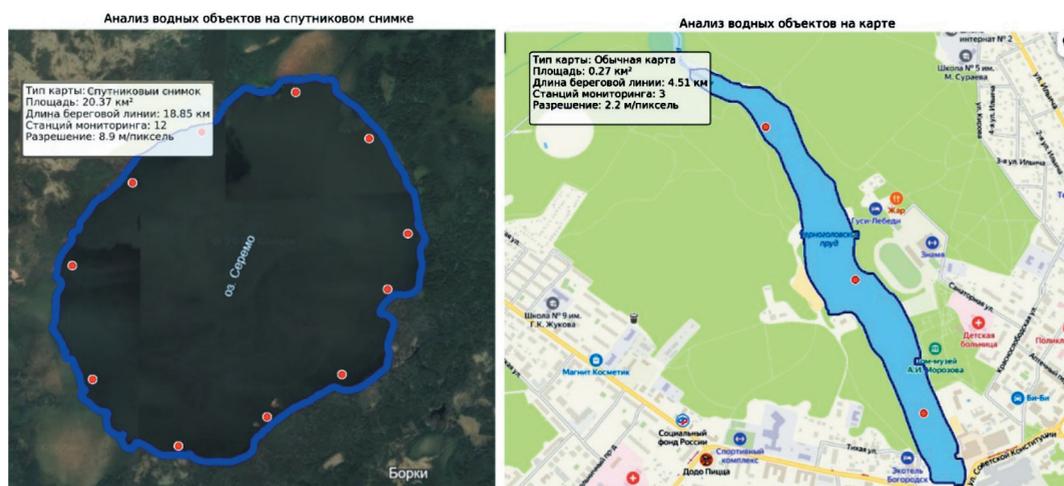


Рис. 2. Результат работы Программы для автоматизированного расчета оптимального количества и пространственного распределения систем экологического мониторинга водных объектов на изображениях озера Серемо и Черноголовского водохранилища

Источник: составлено А.В. Гусевым по: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025667416 Российская Федерация. Программа для автоматизированного расчета оптимального количества и пространственного распределения систем экологического мониторинга водных объектов : заявл. 02.07.2025 : опубл. 04.07.2025 / А. В. Гусев. EDN FNRHNS.

Обсуждение полученных результатов выявило несколько перспективных направлений для дальнейшего совершенствования системы. В частности, особый интерес представляет разработка математических моделей полей текущих концентраций на основе данных с постов водного экологического мониторинга. Также перспективным представляется создание алгоритмов автоматической адаптации мониторинговой сети к изменяющимся условиям.

Заключение

Проведенные исследования подтвердили эффективность разработанного программного комплекса для решения задач экологического мониторинга водных объектов. Основное преимущество предложенного подхода заключа-

ется в комплексном решении всех этапов проектирования мониторинговой сети — от обработки исходных изображений и классификации их на спутниковые снимки и обычные карты до выдачи конкретных рекомендаций по размещению и количеству станций наблюдения.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой точности автоматического определения ключевых параметров водных объектов. Точность выделения границ и расчета морфометрических характеристик находится на уровне, достаточном для решения большинства практических задач экологического мониторинга. Особенно важно, что система демонстрирует стабильные результаты при работе с различными типами водных объектов и в разных природных условиях.

Разработанные алгоритмы оптимизации сети мониторинга позволяют существенно повысить эффективность организации наблюдений. Программная реализация этих алгоритмов показала возможность значительного сокращения количества станций при одновременном улучшении пространственного охвата и репрезентативности данных. Это создает хорошие предпосылки для более широкого применения системы в практике экологического контроля и управления водными ресурсами.

Практическая значимость исследования заключается в создании инструмента, способного существенно модернизировать процедуру сбора первичных данных для государственной системы мониторинга. Разработанный комплекс устраняет существующий разрыв между технологиями дистанционного зондирования и нормативными требованиями к наблюдениям за водными объектами. Его внедрение в практику гидрологических служб позволит перевести на качественно новый уровень решение таких задач, как формирование ежегодных докладов «О состоянии и использовании водных ресурсов»³, где особую сложность традиционно представляет обработка пространственно распределенных данных. Перспективным направлением развития системы видится создание модуля автоматического формирования отчетных карт-схем, соответствующих требованиям Методических указаний РД 52.24.643-2002⁴. Это открывает возможности для сквозной автоматизации процесса — от анализа спутниковых снимков до внесения данных в государственный водный реестр.

Список литературы

- [1] Яковлев В. И. Актуальность применения компьютерного зрения при обнаружении загрязнений на водных объектах // Цифровое будущее науки и образования: тренды и перспективы. 2024. С. 272–275. EDN: CASPWG

³ Государственные доклады Федерального агентства водных ресурсов. URL: <https://voda.gov.ru/regulatory/gosudarstvennye-doklady/> (дата обращения 18.07.2025).

⁴ Руководящий документ 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/10d/4293831806.pdf> (дата обращения 18.07.2025).

- [2] Овчинникова Н.Г., Ниценко И.А. Использование беспилотных летательных аппаратов в мониторинге водных объектов // Экономика и экология территориальных образований. 2022. Т.6. № 1. С. 87–94. <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2022-6-1-87-94> EDN: OEWGGLA
- [3] Zhou Z., Rahman Siddiquee M.M., Tajbakhsh N., Liang J. UNet++: A nested U-Net architecture for medical image segmentation // Deep Learning in Medical Image Analysis and Multimodal Learning for Clinical Decision Support. 2018. P. 3–11. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00889-5_1
- [4] Gaipnazarov R.T., Azimov Sh.O¹., Choriyev A.A., Mamatqulov M.Y. Сверточные нейронные сети для дистанционного мониторинга водных ресурсов и экосистем Приаралья // Медицина, педагогика и технология: теория и практика. 2025. Т. 3. Вып. 5. С. 131–144. URL: <https://inlibrary.uz/index.php/mpttp/article/view/100879>

Сведения об авторах:

Гусев Андрей Вячеславович, аспирант, кафедра экологии и природоохранной деятельности, Российский государственный социальный университет, Российская Федерация, 129226, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, д. 4; инженер-программист, ООО «БЕР», Российская Федерация, 127247, г. Москва, Дмитровское шоссе, д. 100, стр. 2, этаж 9, пом. 4940. ORCID: 0009-0001-1083-5242; eLIBRARY SPIN-код: 2732-1655. E-mail: gusevandre2015@yandex.ru

Шахраманьян Михаил Андраникович, доктор технических наук, профессор кафедры экологии и природоохранной деятельности, Российский государственный социальный университет, Российская Федерация, 129226, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, д. 4; профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности», Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, 125167, г. Москва, проспект Ленинградский, д. 49/2; eLIBRARY SPIN-код: 6603-6401. E-mail: MASHakhramanya@fa.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-138-153

EDN: YFEGWO

УДК 633.15:581.192.6:581.5

Научная статья / Research article

Коэффициент биологического поглощения свинца кукурузой как фактор экологической безопасности

П.Ф. Васильков  , Л.В. Мосина 

*Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова,
г. Москва, Российская Федерация
 p.f.vasilkov@yandex.ru*

В работе представлены результаты определения коэффициента биологического поглощения свинца зеленой массой раннеспелых сортов кукурузы (Ладожский 175МВ, Компетенс, Краснодарский 194МВ), возделываемых в условиях Тимирязевского района Северного административного округа города Москвы с применением комплексных удобрений и без них. Исследование проводилось на базе Полевой опытной станции РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева — старейшего в России агрономического полигона (основан в 1867 г.), который служит уникальной площадкой для долгосрочных научных экспериментов и апробации современных агротехнологий. Пробы отбирали в два срока — 22 июля и 10 августа 2023 г., что позволило проследить динамику накопления тяжелого металла в надземной части растений. В эти же сроки в почвенных образцах определяли валовое содержание свинца, органического вещества и кислотность как основные факторы, влияющие на подвижность и биодоступность тяжелых металлов в системе «почва-растение». Проведенный опыт выявил существенную разницу в количестве свинца между участками с внесением удобрений и без него. Содержание свинца на неудобряемых деланках было существенно выше, чем там, где растения получали удобрения. При сравнении сортов наименьшее накопление токсичного элемента отмечено у сорта Компетенс, который сохранял стабильно низкие показатели независимо от фона удобрений. Сорт Ладожский 175МВ также показал относительно невысокие значения, тогда как сорт Краснодарский 194МВ, напротив продемонстрировал вариабельность: при внесении удобрений содержание свинца снижалось до 0,458 мг/кг, а на неудобряемых деланках достигало 0,663 мг/кг (10 августа 2023 г). Анализ содержания свинца в зеленой массе изученных сортов выявил значительный разброс значений — от 0,418 до 0,663 мг/кг, что свидетельствует о существенных межсортовых различиях в накоплении тяжелого металла. Полученные данные подчеркивают важность контроля за содержанием свинца в различных сортах кукурузы и необходимость особого внимания к сорту Компетенс из-за высоких значений свинца, которые создают потенциальные риски для здоровья населения и безопасности потребления данной продукции.

Ключевые слова: коэффициент биологического поглощения, свинец, кукуруза, экологическая безопасность, загрязнение, микотоксины

© Васильков П.Ф., Мосина Л.В., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Вклад авторов. *Васильков П.Ф.* — проведение экспериментов, написание статьи, подготовка иллюстраций, проведение экспериментов, подготовка иллюстраций. *Мосина Л.В.* — идея исследования, разработка подхода, редактирование текста, научное руководство. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

История статьи: поступила в редакцию 12.04.2025; доработана после рецензирования 27.06.2025; принята к публикации 22.11.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: *Васильков П.Ф., Мосина Л.В.* Коэффициент биологического поглощения свинца кукурузой как фактор экологической безопасности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 138–153. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-138-153> EDN: YFEGWO

Coefficient of biological absorption of lead by corn as a factor of environmental safety

Pavel F. Vasilkov^{ID}✉, Lyudmila V. Mosina^{ID}

A.N. Kostyakov Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction, Moscow, Russian Federation
✉p.f.vasilkov@yandex.ru

This paper presents the results of determining the biological absorption coefficient (BAC) of lead in the green mass of early-ripening corn varieties (Ladozhsky 175MV, Competence, Krasnodarsky 194MV) cultivated under the conditions of the Timiryazevsky District of the Northern Administrative District of Moscow, with the use of complex fertilizers and without them. The study was conducted at the Field Experimental Station of the Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, the oldest agronomic testing ground in Russia (founded in 1867), which serves as a unique platform for long-term scientific experiments and the approbation of modern agricultural technologies. Plant samples were collected in two dates — July 22 and August 10, 2023 — which allowed to follow the dynamics of accumulation of heavy metal in the aboveground part of plants. During the same periods, soil samples were analyzed for gross lead content, organic matter, and acidity as key factors affecting the mobility and bioavailability of heavy metals in the soil-plant system. The experiment revealed a significant difference in lead content between fertilized and unfertilized plots. The lead concentration on unfertilized plots was substantially higher compared to those where fertilizers were applied. When comparing varieties, the lowest accumulation of the toxic element was observed in Competence, which maintained consistently low values regardless of fertilizer level. The Ladozhsky 175MV variety also showed relatively low values, whereas Krasnodarsky 194MV, in contrast, demonstrated variability: under fertilizer application, lead content decreased to 0.458 mg/kg, while on unfertilized plots it reached 0.663 mg/kg (August 10, 2023). The analysis of lead content in the green mass of the studied varieties revealed a significant range of values — from 0.418 to 0.663 mg/kg, indicating substantial intervarietal differences in heavy metal accumulation. The obtained data emphasize the importance of monitoring lead content in different corn varieties and the need for special attention to the Competence variety due to its high lead values, which pose potential risks to public health and the safety of consuming this product.

Keywords: biological absorption coefficient, lead, corn, environmental safety, pollution, mycotoxins

Authors' contribution. *P.F. Vasilkov* — conducting experiments, writing the article, preparing illustrations, conducting experiments, preparing illustrations, *L.V. Mosina* — research idea, developing the approach, editing the text, scientific guidance. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Article history: received 12.04.2025; revised 27.06.2025; accepted 22.11.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Vasilkov P.F., Mosina L.V. Coefficient of biological absorption of lead by corn as a factor of environmental safety. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):138–153. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-138-153> EDN: YFEGWO

Введение

Одним из ключевых направлений современной экологии является восстановление почв, пострадавших от загрязнения тяжелыми металлами. В этой группе загрязнителей свинец (Pb) является одним из наиболее токсичных. Он способен нарушать разнообразные физиологические и метаболические процессы, как путем прямого ингибирования/активации ферментов (через замещение металлов в металлосодержащих ферментах с созданием более устойчивых соединений), так и косвенным воздействием на регуляторные механизмы [1; 4]. Соединения свинца накапливаются в сельскохозяйственных растениях, угнетая их и замедляя рост, а при употреблении в пищу таких растений животные и человек также могут получить отравления. При этом свинец является одним из наиболее широко распространенных техногенных загрязнителей почв [1], а загрязнению им подвержены преимущественно верхние, наиболее плодородные слои почвы. Как следствие, вопрос детоксикации почв, загрязненных свинцом, является весьма важным в сельскохозяйственной экологии, что способствует постоянной разработке новых и совершенствованию уже существующих способов ее проведения. Сейчас достаточно широко распространены химические (с использованием гипсования, морской воды и пр.) и физические (глубокая вспашка, промывка) методы обезвреживания свинца на сельскохозяйственных землях [1; 3], однако они не всегда и не везде применимы. Гораздо более удобными и щадящими для почв сельскохозяйственных земель являются биологические методы детоксикации от свинца при помощи растений-гипераккумуляторов, одним из которых является кукуруза [2; 3]. Вместе с тем свойства кукурузы, как плотителя содержащегося в почве свинца, зависят и от используемых сортов данного растения, и от технологий его возделывания, в частности от характера подкормок. Однако определение биопоглощения свинца кукурузой имеет большое значение не только с точки зрения использования данной культуры для детоксикации почв. В силу ее распространенности, как пищевой и кормовой культуры, оно играет существенную роль в оценке рисков

накопления данного металла в ее растительной продукции [4]. Поэтому необходимо учитывать взаимосвязь между биопоглощением свинца кукурузой и агротехникой ее возделывания [5; 6; 2].

Накопление свинца в почве зависит от ее физико-химических свойств, которые определяют подвижность, доступность и стабильность этого металла, прежде всего факторов рН почвы и органического вещества. В кислых почвах свинец становится более растворимым и подвижным, но может вымываться в грунтовые воды, а в щелочных почвах свинец образует нерастворимые соединения (карбонаты, гидроксиды), что способствует его накоплению. Высокое содержание органики усиливает хелатирование (связывание) свинца, уменьшая его подвижность. Однако при разложении органики металл может высвобождаться. Эти факторы регулируют переход металла между подвижными и стабильными формами, определяя его экологическую опасность [1].

Ключевым фактором, регулирующим доступность свинца (Pb) для растений и, следовательно, величину коэффициента его биологического поглощения (КБП), является форма его нахождения в почве. Кислотно-основные условия (рН) и содержание органического вещества (ОВ) оказывают на этот процесс решающее и конкурентное влияние. Таким образом, величина КБП свинца определяется балансом между этими процессами, а его прогнозирование невозможно без установления функциональной зависимости [7].

Цель исследования — оценить влияние сортовых особенностей кукурузы на коэффициент биологического поглощения (КБП) свинца в условиях варьирующих агрохимических свойств почвы (содержание органического вещества, кислотность) и валового содержания загрязнителя.

Материалы и методы исследования

Работа выполнялась на территории полевой опытной станции, находящейся в ведомстве Тимирязевской академии (г. Москва, ул. Прянишникова, д. 37). Схема опыта приведена на рис. 1.

Эксперимент был проведен с использованием трех раннеспелых сортов кукурузы: Ладожский 175МВ (вегетационный период 115 дней), Компетенс (вегетационный период 112–113 дней) и Краснодарский 194МВ (от всходов до полного созревания зерна 95–98 дней). Это раннеспелые сорта, районированные в Тимирязевском районе Северного административного округа города Москвы для выращивания на силос. Для каждого из них были предусмотрены контрольные и опытные участки (с внесением удобрений), по три повторности на каждый вариант. В качестве минерального удобрения использовалось комплексное удобрение «Азофоска» (NPK 16:16:16), которое вносилось каждые две недели в количестве 15 г под каждое растение. Посадка кукурузы была произведена 29 мая 2023 г. на территории полевой опытной станции (рис. 2), фаза трубкования растений наступила 21 июля 2023 г. (рис. 3).

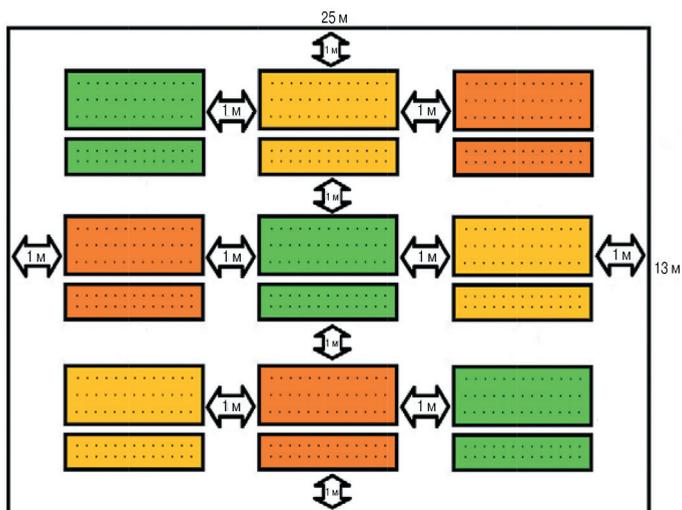


Рис. 1. Схема заложения опыта: большие прямоугольники — контроль, маленькие — без удобрений

Примечание: оранжевый Компетенс (ФАО 200); зеленый Ладозжский 175МВ (ФАО 170);
желтый Краснодарский 194МВ (ФАО 1940)

Источник: составлено П.Ф. Васильковым.

Figure 1. Layout of the experiment: large square — control, small ones without fertilizers

Note: orange “Competence” (FAO 200); green Ladozhsky 175MV (FAO 170); yellow Krasnodarsky 194MV (FAO 1940)

Source: compiled by P.F. Vasilkov.



Рис. 2. Опытное поле

Источник: фото П.Ф. Василькова.

Figure 2. Experimental field

Source: photo by P.F. Vasilkov.

Анализ содержания общего свинца в почве проводился в соответствии с методикой РД 52.18.191-89 с помощью спектроскопического метода. Определение свинца в кукурузе осуществлялось в высушенной надземной расти-

тельной массе по методике РД 52.18.289-90 с помощью атомно-адсорбционной спектроскопии. Отбор проб почвы и растительного материала (кукурузы) был произведен 22 июля 2023 г. на стадии трубкования. Через две недели (10 августа) образцы почв и растений были повторно взяты и исследованы на те же характеристики. Образцы брались методом конверта с трех квадратов для каждого варианта опыта. На основании данных о содержании свинца в почве и его общего содержания в надземной части рассчитывался коэффициент биопоглощения свинца, как отношение содержания элемента в растении к его содержанию в почве. Статистическая обработка полученных данных была проведена при помощи программного обеспечения Microsoft Excel и Statistica 6.0.



Рис. 3. Кукуруза в фазе трубкования

Источник: фото П.Ф. Василькова.

Figure 3. Maize in the tubing phase

Source: photo by P.F. Vasilkov.

Результаты исследования

Накопление свинца в почве тесно связано с ее кислотностью (рН) и содержанием органического вещества. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание рН и органического вещества почве

Органическое вещество			рН солевой		
Ладожский 175МВ	Компетенс	Краснодарский 194МВ	Ладожский 175МВ	Компетенс	Краснодарский 194МВ
22.07.2023					
1,98 ± 0,40	2,35 ± 0,47	1,61 ± 0,32	6,51 ± 0,20	6,57 ± 0,20	6,67 ± 0,20
10.08.2023					
2,01 ± 0,37	2,43 ± 0,41	1,73 ± 0,35	6,59 ± 0,24	6,61 ± 0,24	6,69 ± 0,24

Источник: составлено П.Ф. Васильковым.

Table 1. Soil pH and organic matter content

Organic matter			pH saline		
Ladoga 175MV	Competence	Krasnodar 194MV	Ladoga 175MV	Competence	Krasnodar 194MV
22.07.2023					
1.98 ± 0.40	2.35 ± 0.47	1.61 ± 0.32	6.51 ± 0.20	6.57 ± 0.20	6.67 ± 0.20
10.08.2023					
2.01 ± 0.37	2.43 ± 0.41	1.73 ± 0.35	6.59 ± 0.24	6.61 ± 0.24	6.69 ± 0.24

Source: compiled by P.F. Vasilkov.

В табл. 1 представлены данные мониторинга кислотности (рН) и содержания органического вещества в почве на 22.07.2023 и 10.08.2023, а также их потенциальное влияние на аккумуляцию свинца. На 22.07.2023 кислотность почвы варьировалась от $6,51 \pm 0,20$ до $6,67 \pm 0,20$ (нейтральной), а содержание органического вещества — от $1,61 \pm 0,32\%$ (очень низкое) до $2,35 \pm 0,47\%$ (низкое). К 10.08.2023 наблюдалось увеличение рН от $6,59 \pm 0,24$ до $6,69 \pm 0,24$ (нейтральная) и рост органического вещества от $1,73 \pm 0,35\%$ (очень низкое) до $2,43 \pm 0,41\%$ (низкое).

Рост содержания органического вещества усиливает хелатирование и адсорбцию свинца, уменьшая его миграцию в нижние горизонты почвы. Это сочетание факторов (умеренный рН и увеличение органики) создает условия для накопления свинца в верхних слоях, так как металл более активно связывается с гуминовыми кислотами и стабилизируется в почвенном комплексе. Повышение рН указывает на слабую тенденцию к ощелачиванию, что способствует снижению подвижности свинца за счет образования менее растворимых соединений (например, карбонатов).

Как следует из данных табл. 1, даже незначительные изменения органического вещества и рН могут влиять на поведение свинца. Для точной оценки экологических рисков необходимо учитывать динамику этих параметров в сочетании с прямыми измерениями концентрации металла.

Кукуруза относится к числу термофильных сельскохозяйственных растений [8]. Для успешного прорастания семян кукурузы необходима минимальная температура в интервале $+8 \dots +10$ °С. Молодые растения, имеющие два листа, способны переносить кратковременное понижение температуры до -2 °С. Интенсивный рост вегетативной массы активизируется при температуре выше $+10$ °С. Процесс осеннего накопления биомассы приостанавливается при понижении температуры ниже $+12$ °С. Оптимальным температурным режимом для роста и развития растений в период от появления всходов до цветения считаются среднесуточные температуры в диапазоне $20-23$ °С [9]. Оптимальное развитие растений кукурузы скороспелых сортов достигается при сумме активных температур в диапазоне $18-20$ °С. Для среднеспелых и позднеспелых сортов этот показатель должен составлять $23-26$ °С [10]. На рис. 4–5 представлены диаграммы со среднесуточной температурой с 29 мая по 10 августа 2023 г.

Среднесуточная температуры воздуха с 29 мая по 10 августа 2023 г. на опытной станции в начальный период (на конец мая и начала июня):

- преобладают температуры ниже 15 °С, минимальная среднесуточная температуры зафиксирована с 5 по 6 июня и варьировалась от $9,5$ до $10,4$ °С;
- холодный старт вегетации: 11 дней из первых 14 были ниже 16 °С.

Июль:

- стабилизация: температуры в основном $16-22$ °С, что оптимально для кукурузы;

– критически важный период цветения (обычно середина июля) совпал с благоприятными условиями (17–21 °С).

Август:

- резкое потепление: пики до 26,2 °С (8 августа), 10 дней выше 23 °С.
- завершение периода: умеренное снижение к 10 августа (20,5 °С).

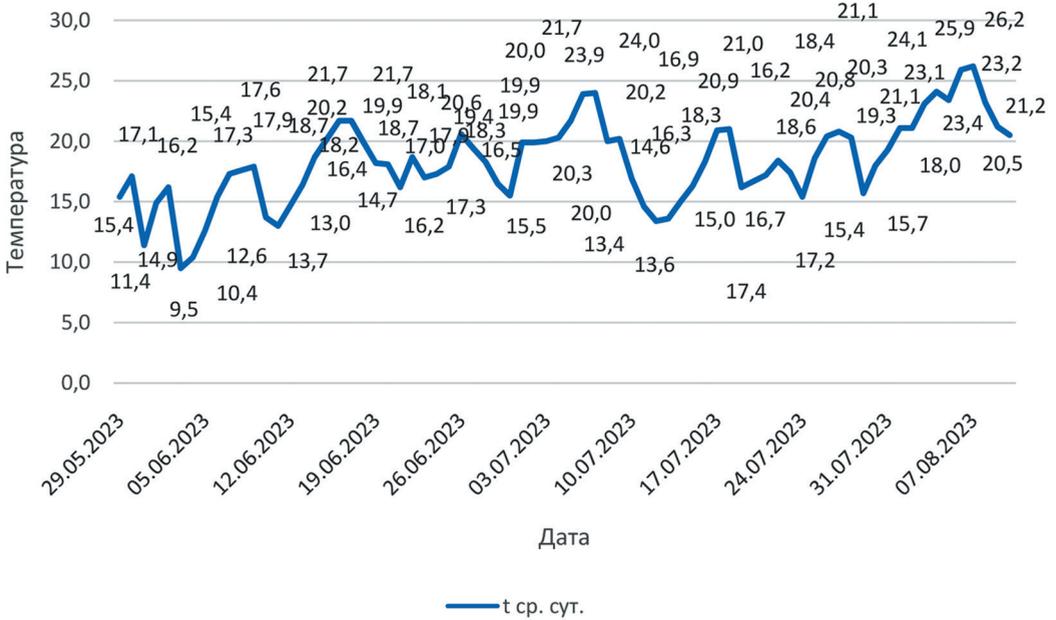


Рис. 4. Среднесуточная температура воздуха с мая по август за 2023 г.

Источник: составлено П.Ф. Васильковым, Л.В. Мосиной.

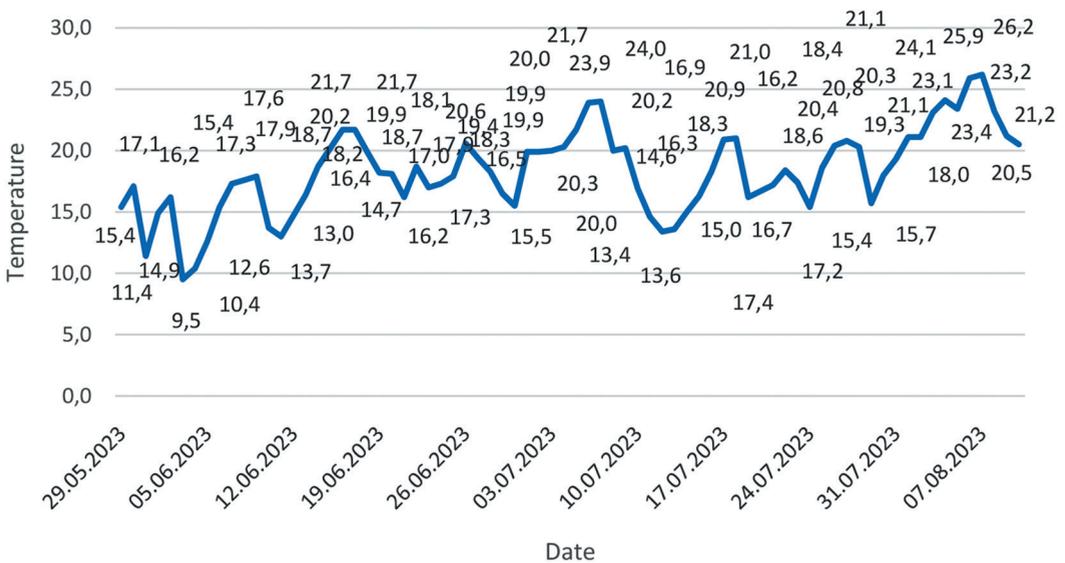


Figure 4. Average daily air temperature from May to August for the year 2023

Source: compiled by P.F. Vasilkov, L.V. Mosina.

Несмотря на стрессовые температуры в начале и конце сезона, сорта Компетенс и Ладожский способны показывать удовлетворительную урожайность благодаря устойчивости к перепадам и оптимальным условиям в ключевые фазы. Кукуруза сорта Краснодарский пострадала сильнее из-за чувствительности к перепадам температуры. Однако итоговую оценку возможно дать только после анализа влагообеспеченности почвы.

Исследование содержания свинца в почвах и зеленой массе кукурузы в обоих повторностях 22 июля и 10 августа как для удобряемых, так и для неудодряемых участков показало, что содержание свинца на удобряемых участках ниже, чем на неудодряемых (табл. 2, 3 рис. 5–8). Указанное различие является статистически значимым.

Таблица 2. Содержание валового Pb в почве, мг/кг

Вариант	Ладожский 175MB	Компетенс	Краснодарский 194MB
22.07.2023			
Без удобрений	24,19 ± 1,21	16,3 ± 0,82	21,63 ± 1,08
С удобрениями	22,7 ± 1,10	15,1 ± 0,71	18,6 ± 0,92
10.08.2023			
Без удобрений	27,2 ± 0,96	18,5 ± 0,43	24,4 ± 0,72
С удобрениями	24,2 ± 0,72	15,6 ± 0,54	21,6 ± 0,83

Источник: составлено П.Ф. Васильковым, Л.В. Мосиной.

Table 2. Gross Pb content in soil, mg/kg

Variant	Ladozhsky 175MV	Competence	Krasnodarsky 194MV
22.07.2023			
Without fertilizer	24.19 ± 1.21	16.3 ± 0.82	21.63 ± 1.08
With fertilizer	22.7 ± 1.10	15.1 ± 0.71	18.6 ± 0.92
10.08.2023			
Without fertilizer	27.2 ± 0.96	18.5 ± 0.43	24.4 ± 0.72
With fertilizer	24.2 ± 0.72	15.6 ± 0.54	21.6 ± 0.83

Source: compiled by P.F. Vasilkov, L.V. Mosina.

Содержание общего свинца в почве в течение всего периода исследования увеличивается во всех исследуемых образцах. Под сортом Ладожский демонстрируются наибольшие значения содержания свинца, в обоих периодах без удобрений результат варьируется от 24,19 ± 1,21 до 27,2 ± 0,96 мг/кг, а с удобрениями от 22,7 ± 1,10 до 24,2 ± 0,72, что может свидетельствовать о более высокой степени поглощения этого элемента.

Содержание свинца в образцах почв с неудодряемых участков превышало показатели с участков, получавших удобрения. Среди сортов, не подвергавшихся удобрению, сорт Компетенс демонстрировал наименьшее содержание свинца на обе даты. Сорт Краснодарский в ряде случаев характеризовался максимальными значениями содержания свинца, в частности, 10.08.2023 у второго образца этот показатель достиг 0,663 ± 0,21 мг/кг.

Таблица 3. Содержание валового Pb в зеленой массе, мг/кг

Вариант	Ладожский 175МВ	Компетенс	Краснодарский 194МВ
22.07.2023			
Без удобрений	0,507 ± 0,13	0,484 ± 0,09	0,553 ± 0,17
С удобрениями	0,486 ± 0,19	0,418 ± 0,16	0,458 ± 0,15
10.08.2023			
Без удобрений	0,643 ± 0,10	0,567 ± 0,19	0,663 ± 0,21
С удобрениями	0,531 ± 0,07	0,436 ± 0,14	0,573 ± 0,09

Источник: составлено П.Ф. Васильковым, Л.В. Мосиной.

Table 3. Gross Pb content in soil, mg/kg

Variant	Ladozhsky 175MV	Competence	Krasnodarsky 194MV
22.07.2023			
Without fertilizer	0.507 ± 0.13	0.484 ± 0.09	0.553 ± 0.17
With fertilizer	0.486 ± 0.19	0.418 ± 0.16	0.458 ± 0.15
10.08.2023			
Without fertilizer	0.643 ± 0.10	0.567 ± 0.19	0.663 ± 0.21
With fertilizer	0.531 ± 0.07	0.436 ± 0.14	0.573 ± 0.09

Source: compiled by P.F. Vasilkov, L.V. Mosina.

У растений, которым были внесены удобрения, содержание свинца было существенно ниже, чем у контрольной группы. В частности, у сорта Краснодарский минимальное значение составляло $0,458 \pm 0,15$ мг/кг. Сорт Ладожский сохранял сравнительно низкие показатели содержания свинца как в группе без удобрений, так и в группе с удобрениями в период цветения.

По состоянию на 10 августа 2023 г. отмечается незначительный рост концентрации свинца в образцах кукурузы, выращенной без применения удобрений, по сравнению с показателями, зафиксированными 22 июля 2023 г. В то же время уровень содержания свинца в образцах, полученных с использованием удобрений, сохраняется на стабильном уровне или даже демонстрирует тенденцию к снижению. Это может свидетельствовать о благоприятном влиянии удобрений на уменьшение биоаккумуляции свинца растениями.

Анализ содержания валового свинца в образцах кукурузы трех сортов (Ладожский, Компетенс, Краснодарский) выявил схожие средние значения, варьирующиеся в пределах от $0,418 \pm 0,16$ до $0,643 \pm 0,10$ мг/кг. Это свидетельствует о близости концентрации свинца в исследуемых сортах. Стандартное отклонение указывает на умеренную вариабельность данных. Сорт Краснодарский демонстрирует наибольшую дисперсию, что говорит о более широком диапазоне содержания свинца в данном сорте. Распределение данных, согласно показателям эксцесса и асимметрии, характеризуется незначительным смещением вправо и отклонением от нормального распределения за счет большей плоскости.

Полученные данные подтверждают сопоставимое содержание свинца в кукурузе всех трех сортов. Однако необходимо отметить, что сорт Краснодарский отличается более выраженной вариабельностью значений.

В ходе проведения исследования было определено содержание валового свинца (Pb) в кукурузе. Установлено, что его содержание увеличивается по мере продолжения эксперимента для всех вариантов (табл. 2). Это свидетельствует о накопительном характере поглощения свинца растениями кукурузы из почвы (т.е. поглощенный свинец из растения не выводится).

Коэффициент биологического поглощения (КБП) действительно отражает способность растений поглощать химические элементы или соединения из почвы. Если говорить конкретнее, в контексте свинца, КБП позволяет оценить количественную оценку рисков, прогнозировать транслокацию в пищевых цепях и т.д. На рис. 5–8 представлены КБП в кукурузе следующих сортов: Ладожский, Компетенс и Краснодарский.



Рис. 5. Коэффициент биологического поглощения без удобрений 22.07.2023

Источник: составлено П.Ф. Васильковым, Л.В. Мосиной.

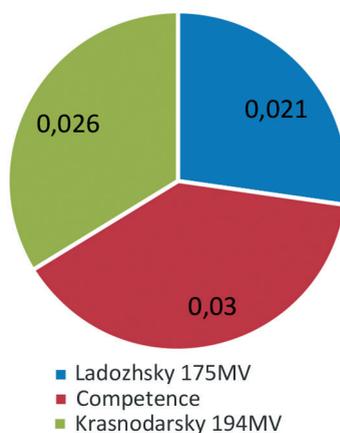


Figure 5. Biological uptake coefficient without fertilizers 22.07.2023

Source: compiled by P.F. Vasilkov, L.V. Mosina.



Рис. 6. Коэффициент биологического поглощения с удобрениями 22.07.2023

Источник: составлено П.Ф. Васильковым, Л.В. Мосиной.

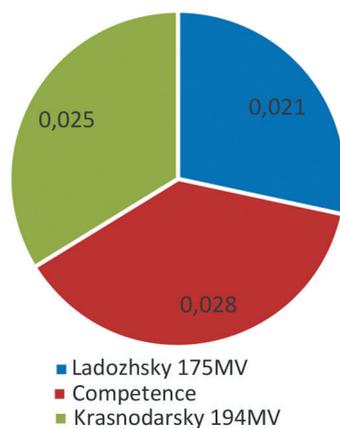
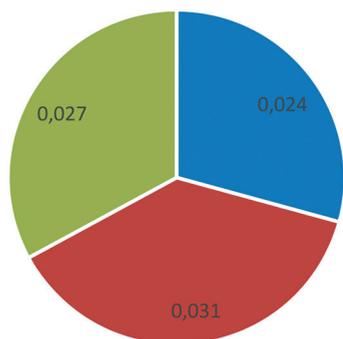


Figure 6. Biological uptake coefficient with fertilizers 22.07.2023

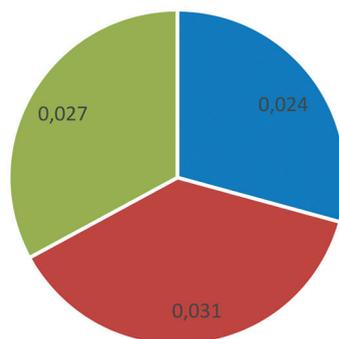
Source: compiled by P.F. Vasilkov, L.V. Mosina.



■ Ладожский 175МВ
■ Компетенс
■ Краснодарский 194МВ

Рис. 7. Коэффициент биологического поглощения без удобрений 10.08.2023

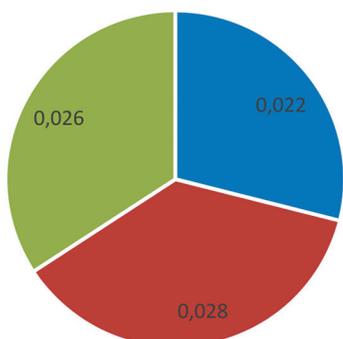
Источник: составлено П.Ф. Васильковым, Л.В. Мосиной.



■ Ladozhsky 175MV
■ Competence
■ Krasnodarsky 194MV

Figure 7. Biological uptake coefficient without fertilizers 10.08.2023

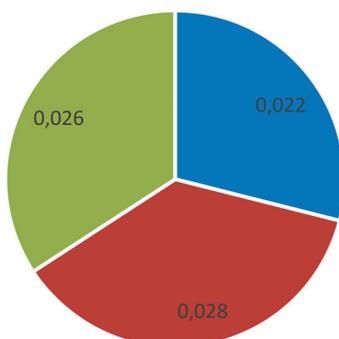
Source: compiled by P.F. Vasilkov, L.V. Mosina.



■ Ладожский 175МВ
■ Компетенс
■ Краснодарский 194МВ

Рис. 8. Коэффициент биологического поглощения с удобрениями 10.08.2023

Источник: составлено П.Ф. Васильковым, Л.В. Мосиной.



■ Ladozhsky 175MV
■ Competence
■ Krasnodarsky 194MV

Figure 8. Biological uptake coefficient with fertilizers 10.08.2023

Source: compiled by P.F. Vasilkov, L.V. Mosina.

Проведенный анализ коэффициента биологического поглощения свинца у сортов кукурузы Ладожский, Комптенс и Краснодарский в разные сроки вегетации (22.07 и 10.08) позволил сделать следующие выводы.

Для сорта Ладожский на 22.07.2023 внесение удобрений не изменило значение КБП:

- без удобрений: 0,021;
- с удобрениями: 0,021.

Это может указывать на то, что использованные удобрения не оказали значимого воздействия на доступность свинца в почве для данного сорта, вероятно, из-за стабильности почвенных условий или специфики состава удобрений.

На 10.08.2023 применение удобрений привело к незначительному снижению КБП:

- без удобрений: 0,024;
- с удобрениями: 0,022.

У сорта Комптенс к 10.08.2023 зафиксирован рост КБП по сравнению с 22.07.2023 (0,031 против 0,030 без удобрений). Это может быть связано с особенностями физиологии сорта, накоплением свинца в поздние фазы вегетации или изменением условий окружающей среды (температура, влажность).

Для сорта Комптенс на 22.07.2023 внесение удобрений снизило КБП с 0,030 до 0,028, на 10.08.2023 наблюдается аналогичная тенденция: КБП уменьшился с 0,031 (без удобрений) до 0,028 (с удобрениями).

Для сорта Краснодарский на 22.07.2023 внесение удобрений не изменило значение КБП:

- без удобрений: 0,026;
- с удобрениями: 0,025.

На 10.08.2023 применение удобрений привело к незначительному снижению КБП:

- без удобрений: 0,027;
- с удобрениями: 0,026.

Это может быть связано со стабильностью почвенных условий (рН, содержание органики), а также особенностями состава удобрений, не влияющих на доступность свинца.

Полученные данные подтверждают, что кукуруза обладает низким потенциалом накопления свинца, а грамотное применение удобрений способствует дополнительному снижению экологических рисков. Это важно для обеспечения безопасности сельхозпродукции и устойчивого землепользования.

Это свидетельствует о том, что применение удобрений, вероятно, снижает доступность свинца в почве для растений за счет изменения ее химических свойств (например, повышения рН, связывания металла в комплексы или конкуренции с макроэлементами).

Обсуждение

Удобрения не способствуют усилению поглощения свинца растениями кукурузы [9]. Это может быть связано с тем, что удобрения способствуют улучшению здоровья растений и их способности к усвоению питательных веществ, что может снижать уровень токсичных элементов, таких как свинец [5].

Установленное повышенное содержание свинца в кукурузе, выращенной без применения удобрений, может указывать на наличие загрязнения почвы или атмосферного воздуха [2; 3]. Необходимы дальнейшие исследования для выявления источника загрязнения. Использование удобрений, предположи-

тельно, способствует снижению уровня накопления свинца в растениях, что может иметь положительное значение для здоровья населения и состояния окружающей среды. У сорта Ладожский коэффициент биологического поглощения характеризуется минимальными показателями валового содержания свинца на обе даты исследования, однако также показывает значительное увеличение его концентрации во времени.

Общее увеличение валового содержания свинца во времени может быть обусловлено загрязнением окружающей среды, почвы и другими факторами. Сорт Компетенс требует особого внимания в связи с наибольшими значениями коэффициента биологического поглощения. Это создает потенциальный риск для здоровья и безопасности потребления продукции данного сорта.

Заключение

Исследование агрономических факторов, влияющих на валовое содержание свинца в кукурузе, выявило существенные моменты, связанные как с выбором сортов, так и с методами их культивирования. Оптимальные температурные режимы для роста кукурузы и применение удобрений играют решающую роль в минимизации накопления тяжелых металлов, таких как свинец, в растениях. Результаты исследования показали, что коэффициент биологического поглощения у валового содержания свинца у сорта Ладожский оказался минимальным, что делает его предпочтительным для использования в регионах с потенциальным загрязнением почвы. В то же время коэффициент биологического поглощения сорта Компетенс демонстрирует более высокую склонность к накоплению валового содержания свинца, требуя тщательного мониторинга его применения. Значительная вариабельность данных для сорта Краснодарский свидетельствует о необходимости дальнейшего изучения влияния внешних факторов на накопление валового содержания свинца в этом сорте.

Проведенное исследование подчеркивает важность агрономических практик и выбора сортов, направленных на минимизацию загрязнения, для обеспечения безопасности сельскохозяйственной продукции. Полученные результаты имеют практическую ценность для агрономов и специалистов в области экологии, способствуя разработке рекомендаций по безопасному выращиванию кукурузы и повышению качества продукции. Необходимы дополнительные исследования для более глубокого понимания механизмов накопления тяжелых металлов и разработки стратегий управления, направленных на повышение устойчивости сортов к загрязнению.

Список литературы

- [1] Черных Н.А., Черных Ю.И. Реабилитация загрязненных свинцом почв // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2003. № 8. С. 140–148. EDN: MSZTLT

- [2] Misbah R., Muhammad A., Muhammad J., Javaid A., Muhammad I., Javed I. Phytoremedial potential of maize (*Zea mays* L.) hybrids against cadmium (Cd) and lead (Pb) toxicity // *Pure and Applied Biology*. 1932. Vol. 9. No. 3. <https://doi.org/10.19045/bspab.2020.9020>
- [3] Семенова В.В. Влияние техногенного загрязнения на содержание тяжелых металлов в *Achillea millefolium* L. горной провинции Дагестана // *Аграрная Россия*. 2015. № 2. С. 35–37. EDN: TLGHAB
- [4] Цуриков А.Г., Кавеленова Л.М., Корчиков Е.С. Современные проблемы экологии. Экологические аспекты устойчивого развития. Самара : Изд-во Самарского университета, 2021. 104 с.
- [5] Шарифзянов Р.Б., Давыдова О.А., Климов Е.С. Коэффициент биологического поглощения как один из критериев накопления ионов тяжелых металлов в различных породах древесных растений // *Успехи современного естествознания*. 2011. № 4. С. 103–104. EDN: NRXBUP
- [6] Шпилев Н.С., Ториков В.Е. Мельникова О.В., Сычева И.В., Лебедько Л.В., Осипов А.А. Инновации в селекционный процесс создания гибридов кукурузы // *Вестник Брянской ГСХА*. 2020. С. 15–19. EDN: JOGIOO
- [7] Головки Т.К., Далькэ И.В., Шморгунов Г.Т., Триандофилов А.Ф., Тулинов А.Г. Рост растений и продуктивность кукурузы в холодном климате // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. № 2. С. 19–23. <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019219-23> EDN: OLLKCZ
- [8] Табаленкова Г.Н., Дымова О.В., Головки Т.К. Продуктивность и состав биомассы кукурузы в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 3 (194). С. 57–65. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-194-3-57-65> EDN: IVFCOK
- [9] Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Шишков Д.Г. Влияние минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, содержание основных элементов питания и тяжелых металлов в озимой ржи // *Агрохимия*. 2021. Т. 4. С. 49–56. <https://doi.org/10.31857/S0002188121040153> EDN: KUBCNQ
- [10] Бельченко С.А., Ториков В.Е., Дронов А.В., Малякво Г.П., Мельникова О.В., Бельченко Д.С. Эффективность возделывания гибридов кукурузы разных групп спелости на юго-западе Центрального региона России : монография. Брянск : Изд-во Брянский ГАУ, 2023. 180 с. EDN: MRWLUT
- [11] Кудаков А.С., Кудакова Г.Г. Эколого-экономический ущерб и его оценка в сельскохозяйственном производстве // *Справочник экономиста*. 2008. № 1. С. 67–78.
- [12] Pangga I.B., Hanan J., Chakraborty S. Pathogen dynamics in a crop canopy and their evolution under changing climate // *Plant Pathol*. 2011. Vol. 60, iss. 1. P. 70–81. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02408.x> EDN: OAPSUR

References

- [1] Chernykh NA, Chernykh YuL. Rehabilitation of lead polluted soils. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2003;(8):140–148. (In Russ.) EDN: MSZTLT
- [2] Misbah R., Muhammad A., Muhammad J., Javaid A., Muhammad I., Javed I. Phytoremedial potential of maize (*Zea mays* L.) hybrids against cadmium (Cd) and lead (Pb) toxicity. *Pure and Applied Biology*. 1932;9(3). <https://doi.org/10.19045/bspab.2020.9020>
- [3] Semenova VV. Influence of Technogenic Pollution on Contents of Heavy Metals in *Achillea Millefolium* L. at Mountainous Area of Dagestan. *Agrarian Russia*. 2015;(2):35–37 (In Russ.) EDN: TLGHAB

- [4] Tsurikov AG, Kavelenova LM, Korchikov ES. *Modern problems of ecology. Ecological aspects of sustainable development*. Samara: Samara University Publishing House; 2021. (In Russ.)
- [5] Sharifzyanov RB, Davydova OA, Klimov ES. The coefficient of biological absorption as one the criteria for the accumulation of heavy metal ions in various types of woody plants. *Advances in Current Natural Sciences*. 2011;(4):103-104. (In Russ.) EDN: NRXBUP
- [6] Shpilev NS, Torikov VE, Melnikova OV, Sycheva IV, Lebedko LV, Osipov AA. Innovations in the selection of corn hybrids. *Bulletin of Bryansk State Agricultural Academy*. 2020. (In Russ.) EDN: JOGIOO
- [7] Golovko TK, Dalke IV, Shmorgunov GT, Triandofilov AF, Tulinov AG. Growth of plants and productivity of corn in cold climate. *Russian Agricultural Sciences*. 2019;(2):19–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019219-23> EDN: OLLKCZ
- [8] Tabalenkova GN, Dymova OV, Golovko TK. Productivity and composition of maize biomass in the central agroclimatic region of the Komi Republic. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020;(03):57–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-194-3-57-65> EDN: IVFCOK
- [9] Zavyalova NE, Vasbieva MT, Shyshkov DG. Influence of the mineral fertilizers on sod-podzolic soil fertility, content of major nutrients and heavy metals in winter rye. *Agrohimia*. 2021;(4):49–56. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0002188121040153> EDN: KUBCNQ
- [10] Belchenko SA, Torikov VE, Dronov AV, Malyavko GP, Melnikova OV, Belchenko DS. *Effectiveness of cultivation of maize hybrids of different ripeness groups in the south-west of the Central region of Russia: a monograph*. Bryansk: Izd-vo Bryansk GAU; 2023. (In Russ.) EDN: MRWLUT
- [11] Kudakov AS, Kudakova GG. Ecological-economic damage and its assessment in agricultural production. *Handbook of economist*. 2008;(1):67–78. (In Russ.)
- [12] Pangga IB, Hanan J, Chakraborty S. Pathogen dynamics in a crop canopy and their evolution under changing climate. *Plant Pathology*. 2011;60(1):70–81. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02408.x> EDN: OAPSUR

Сведения об авторах:

Васильков Павел Феликсович, аспирант, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Прянишниковая, д. 19. ORCID: 0000-0002-1406-5118; eLIBRARY SPIN-код: 3311-5337. E-mail: p.f.vasilkov@yandex.ru

Мосина Людмила Владимировна, доктор биологических наук, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Прянишниковая, д. 19. ORCID: 0000-0003-2120-0389. E-mail: mosina.l.v@yandex.ru

Bio notes:

Pavel F. Vasilkov, Postgraduate student, A.N. Kostyakov Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction, 19 Pryanishnikova St, Moscow, 127550. Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1406-5118; eLIBRARY SPIN-code: 3311-5337. E-mail: p.f.vasilkov@yandex.ru

Ljudmila V. Mosina, Doctor of Biological Sciences, A.N. Kostyakov Institute of Melioration, Water Management and Construction, 19 Pryanishnikova St, Moscow, 127550, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-2120-0389. E-mail: mosina.l.v@yandex.ru.



DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-154-164

EDN: XTFYQI

УДК 665.7:504

Научная статья / Research article

Нефтепродукты в балочном аллювии на территории Саратова: сезонная динамика и геоэкологическая оценка

А.С. Шешнёв 

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Российская Федерация*

✉ sheshnev@inbox.ru

Аннотация. Нефтепродукты — один из наиболее характерных загрязнителей городской среды. С поверхностным стоком с урбанизированной территории нефтепродукты поступают в балки и транспортируются водотоками. Проанализированы сезонная динамика и проведена геоэкологическая оценка содержания нефтепродуктов в балочном аллювии на территории Саратова. Городская территория имеет высокое эрозионное расчленение, сток городских оврагов направляется в Волгоградское водохранилище. Волгоградское водохранилище замыкает каскад водохранилищ на реке Волге, служит источником питьевого водоснабжения и объектом рекреации, имеет рыбохозяйственное значение. Пробы донных осадков отбирались от истока к устьям балок из поверхностного слоя глубиной до 2 см. Отобрано по 45 проб из тальвегов 11 балок во время минимального стока в августе–сентябре 2022 г. и после снеготаяния в апреле 2023 г. Лабораторный анализ содержания нефтепродуктов выполнен гравиметрическим методом. Рассмотрены особенности использования земель и техногенная нагрузка в пределах каждого водосборного бассейна. Установлено, что в одной половине проб более высокое содержание нефтепродуктов было весной, в другой — летом. Почти половина проб в течение обоих сезонов характеризуются как очень грязные. Наиболее загрязнен балочный аллювий в южной части Саратова, где расположены крупные промышленные предприятия.

Ключевые слова: донные осадки, городские водотоки, овражно-балочные системы, динамика загрязнения

История статьи: поступила в редакцию 22.03.2025; доработана после рецензирования 03.06.2025; принята к публикации 18.11.2025.

Заявление о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шешнёв А.С. Нефтепродукты в балочном аллювии на территории Саратова: сезонная динамика и геоэкологическая оценка // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 154–164. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-154-164> EDN: XTFYQI

© Шешнёв А.С., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Oil products in gully alluvium in the territory of Saratov: seasonal dynamics and geocological assessment

Aleksandr S. Sheshnev 

Saratov State University, Saratov, Russian Federation

✉ sheshnev@inbox.ru

Abstract. Oil products are one of the most typical pollutants of the urban environment. With surface runoff from the urbanized territory, oil products enter the gullies and are transported by watercourses. The research analyzes the seasonal dynamics and conducts a geocological assessment of the content of oil products in the alluvium of the gullies in the city of Saratov. The urban area has a high erosional dissection, the runoff of the city ravines is directed to the Volgograd Reservoir. The Volgograd Reservoir closes the cascade of reservoirs on the Volga River, serves as a source of drinking water supply and an object of recreation, and is of fishery importance. Samples of bottom sediments were collected from the source to the mouths of the gullies from the surface layer up to 2 cm deep. 45 samples were collected from thalwegs of 11 gullies during the minimum runoff in August–September 2022 and after snowmelt in April 2023. Laboratory analysis of the content of oil products was performed by the gravimetric method. The features of land use and technogenic load within each catchment area are considered. It was found that in one half of the samples the higher content of oil products was in spring, in the other — in summer. Almost half of the samples during both seasons are characterized as very dirty. The most polluted alluvium is in the gullies in the southern part of Saratov, where large industrial enterprises are located.

Keywords: bottom sediments, urban watercourses, gully systems, contamination dynamics

Article history: received 22.03.2025; revised 03.06.2025; accepted 18.11.2025.

Conflicts of interest. The author declares no conflicts of interest.

For citation: Sheshnev AS. Oil products in gully alluvium in the territory of Saratov: seasonal dynamics and geocological assessment. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):154–164. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-154-164> EDN: XTFYQI

Введение

Аллювиальные образования как компонент аквальных ландшафтов представляют собой конечное звено местных ландшафтных сопряжений, четко фиксируют техногенные потоки рассеяния и могут рассматриваться в качестве важного индикатора геоэкологического состояния территории [1; 2]. В долинных комплексах формируется специфическая среда аллювиального осадконакопления. Балочный аллювий, формирующийся в руслах овражно-балочных комплексов, в определенной степени отражает геохимические особенности водосборного бассейна или его части.

Сток с городской территории — один из основных путей транспорта загрязняющих веществ в приемный бассейн [3]. Максимальное количество взвешенного материала с водосбора поступает в периоды весеннего половодья, зимних оттепелей и ливневых осадков [4]. Наиболее интенсивно взмыв

и перенос осажденных ранее загрязняющих веществ происходит в периоды паводков. В городских водотоках доля транспортируемого материала техногенного генезиса может составлять десятки процентов, превышая содержание наносов природного происхождения. В результате твердый сток с урбанизированных территорий в водные объекты по составу существенно отличается от «фоновых» условий. Резкое увеличение объемов мелкодисперсного материала в стоке способствует загрязнению водных объектов.

Содержание нефтепродуктов (НП) в конкретных пробах определяется источниками и механизмами поступления, временем нахождения в анализируемой среде и другими процессами. В городской среде важным источником их поступления служат заправка двигателей, выбросы в воздух и последующее осаждение несгоревших компонентов топлива, используемого автотранспортом. В воду и донные осадки овражно-балочных комплексов НП поступают при плоскостном смыве с тальмами и дождевыми водами, чему способствует ливневая канализация с дождеприемными колодцами и решетками на элементах улично-дорожной сети. В водных объектах осаждаются и накапливаются в донных осадках преимущественно тяжелые НП, влияя на окислительно-восстановительные условия и биоту [5]. Для борьбы с поступлением НП рекомендуется устройство локальных очистных сооружений и снегоплавильных пунктов [6].

В работе исследуются донные осадки водотоков овражно-балочных комплексов на территории Саратова. Представлены данные, полученные в течение сезонов 2022–2023 гг., когда обследованы балки по всей длине от верховья к устьям. Ранее в 2020–2021 гг. изучались только устьевые створы [7]. На отдельных участках могут действовать специфические источники углеводородного загрязнения. На севере Саратова в бассейне оврагов Маханний, Безымянный и Сеча расположено Соколовогорское нефтяное месторождение, и непосредственно при нефтедобыче и транспортировке нефти многократно фиксировались аварийные разливы. На юге города в бассейне водотока Назаровка расположен нефтеперерабатывающий завод, геологическая среда и водные объекты в районе которого загрязнены в течение многих десятилетий.

Цель исследования — анализ сезонной динамики и геоэкологическая оценка содержания нефтепродуктов в балочном аллювии на территории Саратова.

Материалы и методы

Отбор проб проводился из поверхностного слоя до 2 см, который надежно отражает сезонные изменения химического состава вещества. Объединенная проба состояла из 3–5 частных, отобранных по поперечному профилю водотока. Образцы доведены до воздушно-сухого состояния, измельчены, средняя проба отобрана методом квартования. Суммарно отобрано 90 проб (по 45 проб в конце летнего сезона и после снеготаяния), расположенных в тальвегах

11 балок (рис.). Содержание НП во фракции < 1 мм определено расчетом их массовой доли гравиметрическим методом¹ как среднее по результатам двукратных измерений.

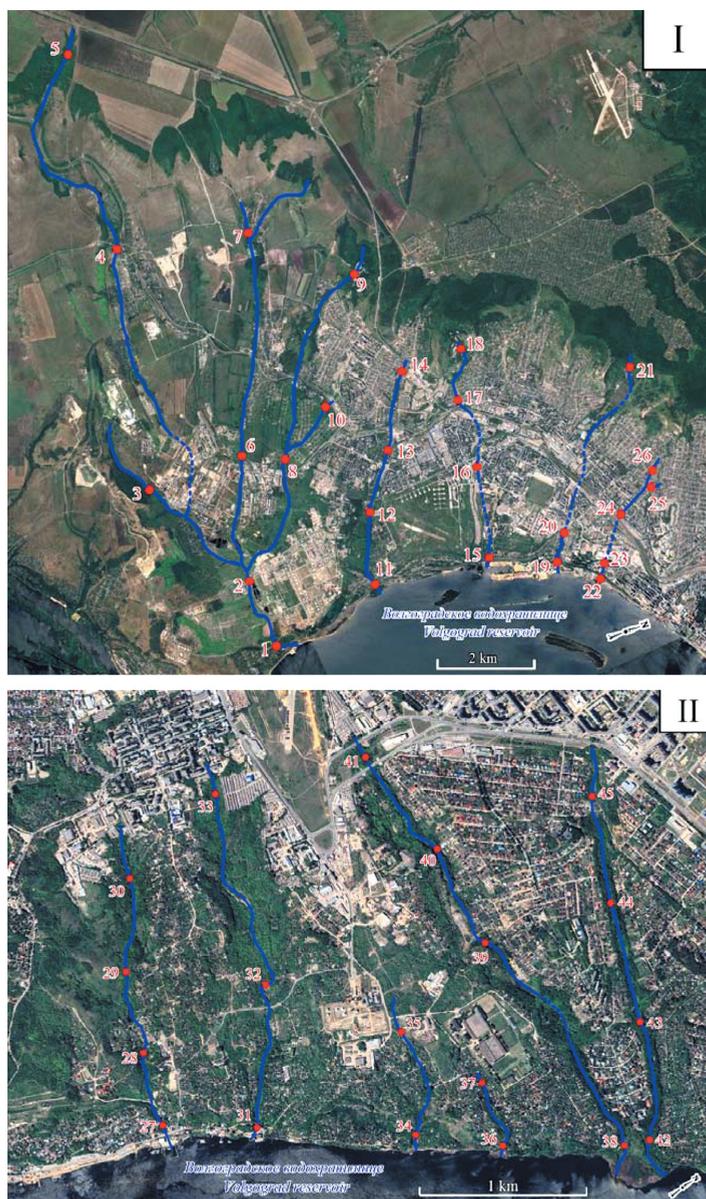


Схема отбора проб: I — южная часть города; II — северная часть города

Источник: составлено А.С. Шешнёвым на космическом снимке из системы Google Earth.

Sampling scheme: I — southern part of the city; II — northern part of the city

Source: compiled by A.S. Sheshnev on a satellite image from the Google Earth system.

¹ ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3:3.64-10 (ФР 1.31.2010.07598). Количественный химический анализ почв : методика измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, отходов производства и потребления гравиметрическим методом. Москва : ФЦАО, 2010. 14 с.

При оценке загрязнения балочного аллювия по содержанию НП используются критерии: чистые — до 100; слабозагрязненные — от 100 до 200; среднезагрязненные — от 200 до 600; грязные — от 600 до 1000; очень грязные — более 1000 мг/кг.²

Результаты

Результаты определения содержания НП в балочном аллювии и оценка степени загрязнения представлены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание нефтепродуктов в балочном аллювии на территории Саратова, август-сентябрь 2022 г. и апрель 2023 г.

№ проб	Водо-ток	Лето 2022, мг/кг	Степень загрязнения	Весна 2023, мг/кг	Степень загрязнения	№ проб	Водо-ток	Лето 2022, мг/кг	Степень загрязнения	Весна 2023, мг/кг	Степень загрязнения
1	Назаровка	1480	V	2280	V	24	Кру- тенький	1320	V	1940	V
2		700	IV	700	IV	25		60	I	400	III
3		260	III	440	III	26		4360	V	3140	V
4		1900	V	2920	V	27	Махан- ный	2840	V	460	III
5		220	III	540	III	28		480	III	960	IV
6		4720	V	2460	V	29		980	IV	60	I
7		1580	V	2340	V	30		800	IV	360	III
8		460	III	200	III	31	Сеча	1160	V	520	III
9		780	IV	920	IV	32		200	III	100	II
10		460	IV	740	IV	33		560	III	1100	V
11	Токма- ков- ский	7660	V	8940	V	34	Безы- мянный	580	III	540	III
12		4940	V	1780	V	35		15800	V	15120	V
13		3340	V	2820	V	36	Вися- чий	280	III	260	III
14		10000	V	3540	V	37		380	III	420	III
15	Зале- таев- ский	2340	V	8160	V	38	Алексе- евский	80	I	400	III
16		13560	V	3540	V	39		560	III	620	IV
17		1340	V	4100	V	40		620	IV	360	III
18		320	III	260	III	41		1360	V	2460	V
19	Мутный ключ	13700	V	10660	V	42	Дуда- ковский	520	III	200	III
20		4220	V	6240	V	43		520	III	400	III
21		100	II	120	II	44		360	III	420	III
22	Кру- тень- кий	2600	V	3200	V	45		3820	V	3300	V
23	3520	V	1820	V							

Примечание. Степень загрязнения: I — чистые, II — слабозагрязненные, III — среднезагрязненные, IV — грязные, V — очень грязные.

Источник: составлено А.С. Шешнёвым.

² Экологический бюллетень. Самарская область. 2023 год // Приволжское УГМС : офиц. сайт. URL: <https://pogoda-sv.ru/media/uploads/2024/02/27/2023.pdf> (дата обращения: 10.02.2025).

Table 1. Content of petroleum products in ravine alluvium in the territory of Saratov, August-September 2022 and April 2023

No. Sample	Water-course	Summer 2022, mg/kg	Pollution degree	Spring 2023, mg/kg	Pollution degree	No. Sample	Water-course	Summer 2022, mg/kg	Pollution degree	Spring 2023, mg/kg	Pollution degree
1	Nazarovka	1480	V	2280	V	24	Kru-tenkiy	1320	V	1940	V
2		700	IV	700	IV	25		60	I	400	III
3		260	III	440	III	26		4360	V	3140	V
4		1900	V	2920	V	27	Makhannyi	2840	V	460	III
5		220	III	540	III	28		480	III	960	IV
6		4720	V	2460	V	29		980	IV	60	I
7		1580	V	2340	V	30		800	IV	360	III
8		460	III	200	III	31	Secha	1160	V	520	III
9		780	IV	920	IV	32		200	III	100	II
10		460	IV	740	IV	33		560	III	1100	V
11	Tokmakovskiy	7660	V	8940	V	34	Bezymyannyi	580	III	540	III
12		4940	V	1780	V	35		15800	V	15120	V
13		3340	V	2820	V	36	Visyachiy	280	III	260	III
14		10000	V	3540	V	37		380	III	420	III
15	Zaletayevskiy	2340	V	8160	V	38	Aleksievskiy	80	I	400	III
16		13560	V	3540	V	39		560	III	620	IV
17		1340	V	4100	V	40		620	IV	360	III
18		320	III	260	III	41		1360	V	2460	V
19	Mutnyklyuch	13700	V	10660	V	42	Dudakovskiy	520	III	200	III
20		4220	V	6240	V	43		520	III	400	III
21		100	II	120	II	44		360	III	420	III
22	Kru-tenkiy	2600	V	3200	V	45		3820	V	3300	V
23		3520	V	1820	V						

Note. Pollution degree: I — clean, II — slightly polluted, III — moderately polluted, IV — dirty, V — very dirty.

Source: compiled by A.S. Sheshnev.

Почти половина из общего числа исследованных проб относится к категории «очень грязные» (табл. 2).

Таблица 2. Степень загрязнения балочного аллювия нефтепродуктами

Степень загрязнения	Число проб, ед., и доля, %	
	Август-сентябрь 2022 г.	Апрель 2023 г.
Чистые	2 / 4,4	1 / 2,2
Слабозагрязненные	1 / 2,2	2 / 4,4
Среднезагрязненные	15 / 33,3	16 / 35,6
Грязные	5 / 11,1	5 / 11,1
Очень Грязные	22 / 48,9	21 / 46,7

Источник: составлено А.С. Шешнёвым.

Table 2. The degree of pollution of alluvium of gullies with oil products

Pollution degree	Number of samples, units, and proportion, %	
	August-September 2022	April 2023
Clean	2 / 4.4	1 / 2.2
Slightly Polluted	1 / 2.2	2 / 4.4
Moderately Polluted	15 / 33.3	16 / 35.6
Dirty	5 / 11.1	5 / 11.1
Very Dirty	22 / 48.9	21 / 46.7

Source: compiled by A.S. Sheshnev.

Обсуждение

Характер использования земель, техногенная нагрузка и анализ загрязнения балочного аллювия рассмотрены в пределах водосборных бассейнов.

Назаровка. Обширная по площади сеть водотоков в балках, соединяющаяся в единое русло перед впадением в Волгоградское водохранилище. Водосбор характеризуется высокой степенью техногенной нагрузки. Верховья водотоков расположены в условиях дачной и малоэтажной застройки. В средних и нижних участках водотоки окружены промышленными предприятиями, в том числе крупнейшими — нефтеперерабатывающий завод, ТЭЦ-2, органического синтеза, несколько заводов строительных материалов и др. Отобрано 10 проб балочного аллювия, из них более высокое содержание НП весной в семи пробах, летом — в двух, в одной изменения не зафиксированы. Вероятно, для сезонной динамики содержания НП в водосборном бассейне Назаровки ключевая роль принадлежит поступлению со стоком при снеготаянии.

На общем фоне пониженное содержание НП характерно для верховьев водотоков в глубоких залесенных балках (т. 3 и 5) со средним уровнем загрязнения в течение обоих сезонов. Осадки верховьев двух других водотоков характеризуются в течение обоих сезонов как очень грязные (т. 7) и грязные (т. 9).

Пробы из средних частей водотоков различаются по содержанию НП в зависимости от характера техногенной нагрузки. В условиях усадебной жилой застройки (т. 10) летом среднезагрязненные осадки, весной — грязные. В расположенной ниже пруда т. 8 осадки среднезагрязненные и летом, и весной. В условиях близости промышленных предприятий (т. 4 и 6) в течение обоих сезонов осадки очень грязные.

В нижнем течении, после слияния основных водотоков в единое русло (т. 2), донные осадки грязные. После территории нефтеперерабатывающего завода (т. 1) по сравнению с предыдущей пробой содержание НП возрастает летом в 2,1 раза, зимой — в 3,3 раза, а донные осадки характеризуются как очень грязные.

На водосборе Назаровки на содержание НП в донных осадках влияет комплекс факторов:

1) техногенная нагрузка в виде выбросов, сбросов и поверхностного стока с территории промышленных предприятий и селитебной зоны;

2) важная роль, вероятно, принадлежит прудам как местам аккумуляции загрязняющих веществ, а в водотоках после них содержание НП существенно снижается.

Токмаковский овраг. Крупная балка с малоэтажной частной застройкой в верхней и нижних частях долины, многоэтажной жилой и промышленной — в средней. В водоток балки направляются сточные воды из различных источников, в том числе на склоне в устьевой части от иловых карт городской станции аэрации.

В 75 % случаев содержание НП выше летом; лишь в устьевой пробе весной оно больше летнего на 17 %. Все пробы балочного аллювия и летом, и весной очень грязные. Вероятно, постоянное поступление в течение года в русло водотока НП со сточными водами приводит к тому, что поступающий и аккумулирующийся весной при снеготаянии твердый материал оказывается менее загрязненным.

Залетаевский овраг. На значительной части балка засыпана и застроена, а водоток заключен в ливневый коллектор по тальвегу. Две пробы в верховье отобраны в русле открытого водотока на территории областной психиатрической больницы и в частной застройке. В средней части проба взята на незапыпанном участке балки с открытым водотоком протяженностью около 250 м в окружении гаражного массива. В устьевой части ниже городской станции аэрации водоток расположен в широкой и глубокой долине.

И летом, и весной осадки в верховье ручья характеризуются средним загрязнением, а в трех других пробах — как очень грязные. В пробах в верховье и в средней части водотока более высокое содержание НП летом, в других — весной. Из общей тенденции возрастания содержания НП по длине балки летом выпадает устьевая проба, а весной — проба в средней части долины.

Овраг Мутный ключ. Балка морфологически выражена лишь в верховье и устьевой части. На большей части долины засыпана, а в тальвеге проложен ливневый коллектор. Отобрано три пробы: в верховье водотока, после выхода из коллектора и в устье.

В верховье ручья на склоне отрога Приволжской возвышенности в лесопарковой зоне осадки слабо загрязнены. После выхода из коллектора донные осадки очень грязные, а в устье содержание НП превышает 10 000 мг/кг в оба сезона. Нижняя часть долины окружена частным сектором, промышленной зоной, пересекается авто- и железной дорогой. В течение обоих сезонов наблюдается увеличение содержания НП от истока к устью. В двух из трех проб содержание НП выше весной.

Крутенский овраг. Балка засыпана в средней части, а водоток заключен в коллектор, проходящий под полосой отвода железной дороги и промышленной зоной. Отобраны две пробы в верховье, одна в средней части и две в устьевой части водотока после выхода из коллектора. В 60 % проб содержание НП выше весной.

В верховье ручей протекает в долине с частной малоэтажной застройкой, при этом осадки в основной долине балки (т. 26) в течение обоих сезонов

очень грязные, а в левостороннем притоке (т. 25) чистые летом и среднезагрязненные весной. В средней части долины водоток окружен среднеэтажной застройкой и осадки характеризуются как очень грязные. По двум пробам в устьевой части балки в промышленной зоне осадки очень грязные.

Маханый овраг. В верховье балки расположена промышленно-складская зона и крупная свалка отходов, эксплуатация которой закончена в 2013 г. По всему водосборному бассейну расположены эксплуатационные скважины и прочие инфраструктурные объекты нефтепромысла.

В двух пробах в верхней части долины содержание НП выше летом, в двух пробах нижней части балки — весной. Четких закономерностей изменения содержания НП по длине балки не обнаруживается, что связано с наличием многих барьеров для транспорта наносов в виде прудов и насыпей автодорог. В период минимального стока от верховья до середины длины балки осадки грязные, затем среднезагрязненные, а в устьевой части очень грязные. После снеготаяния осадки от среднезагрязненных в верховье ручья становятся чистыми к средней части балки, затем обогащаются НП до уровня грязных, а в устье вновь фиксируется среднее загрязнение.

Овраг Сеча. Донные осадки охарактеризованы по трем пробам — в верховье, средней части и устье балки. В двух пробах содержание НП летом выше, чем весной. Более высокое загрязнение после снеготаяния характерно для верховья балки в окружении крупного гаражного массива, производственной и жилой многоэтажной застройки.

От верховья до средней части склоны балки покрыты лесным массивом и садовыми участками, содержание НП резко уменьшается. В нижнем течении водотока на склонах балки расположены крупные свалки, ее пересекают автодороги и в устьевой пробе содержание НП возрастает до очень грязных осадков летом и среднего загрязнения весной. И летом, и весной от верховья к средней части водотока содержание НП убывает, а затем возрастает к устью.

Безымянный овраг. Небольшая балка, на водосборе которой размещаются головные сооружения нефтепромысла, а в русле ранее располагались ныне рекультивированные шламонакопители нефтеотходов. В двух пробах (в верховье и устьевой части) сезонная разница содержания НП невелика и в обоих случаях летом оно выше. В верховье донные осадки очень грязные, содержание НП самое высокое на территории Саратова (более 15 000 мг/кг). В устьевой части пробы среднезагрязненные.

Висячий овраг. Относительно небольшая балка в окружении садово-дачных участков охарактеризована двумя пробами — в верховье и устьевой части. Пробы осадков среднезагрязненные в течение обоих сезонов с уменьшением содержания НП от истока к устью. Изменение содержания НП в пробах по сезонам незначительно: в устье более высокое летом, в верховье — весной.

Алексеевский овраг. В верховье балку пересекает крупная автомагистраль, расположены гаражный массив, автозаправочная станция и инфраструктурные объекты Соколовогорского нефтепромысла. В результате в течение обоих сезонов пробы в верховье характеризуются как очень грязные.

Большая часть балки окружена коттеджной застройкой. В летний период отмечается постепенное снижение содержания НП от истока к устью (от очень грязных до чистых); весной в целом сходная тенденция, но минимальное содержание отмечено во второй от истока точке опробования. В 75 % проб содержание НП весной выше, чем летом, что определяется, вероятно, поступлением НП в осадки при снеготаянии с водосбора.

Дудаковский овраг. Крупная залесенная балка, окруженная коттеджной застройкой, в которой донные осадки водотока в 75 % проб имеют более высокое содержание НП в летний период. Как очень грязные характеризуются осадки современного верховья балки, расположенного на расстоянии 300 м от крупной автомагистрали. Ниже по течению содержание НП уменьшается на порядок.

Весной фиксируется постоянное уменьшение содержания НП от верховья к устью, а летом после резкого снижения во второй от истока пробе оно одинаково в двух пробах в нижнем течении ручья. Вероятно, во время летней межени из-за резкого уменьшения объема и скорости потока и постоянного притока хозяйственно-бытовых сточных вод НП осаждаются и аккумулируются в донных осадках, а весной за счет большей гидродинамической активности потока накопившиеся осадки подвергаются эрозии и выносятся в приемный бассейн. Кроме пробы в верховье осадки водотока характеризуются как среднезагрязненные.

Заключение

Из исследованных 45 сравнительных пар проб балочного аллювия на территории Саратова более высокое содержание НП в весенний период после снеготаяния отмечено в 22 случаях (48,9 %), летом в период минимального стока — в 22 (48,9 %), отсутствие изменений — в одном случае (2,2 %).

При отдельном рассмотрении сезонной динамики по устьям водотоков, что наиболее актуально с точки зрения предотвращения загрязнения Волгоградского водохранилища, из 11 устьевых створов в шести отмечено более высокое содержание НП летом (54,5 %), в пяти — весной (45,5 %). Наиболее высокое содержание НП в осадках отмечено в южной промышленно-урбанизированной части города.

Список литературы

- [1] Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек : (состав, особенности, методы оценки). Москва : ИМГРЭ, 2002. 51 с.
- [2] Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш. Геохимия окружающей среды. Москва : Недра, 1990. 335 с. EDN: XDVBQN
- [3] Wei H., Muthanna T.M., Lundy L., Viklander M. An evaluation of temporal changes in physicochemical properties of gully pot sediments // Environmental Science and Pollution Research. 2022. Vol. 29. P. 65452–65465. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20341-8> EDN: NUHXOL

- [4] Субетто Д.А., Прыткова М.Я. Донные отложения разнотипных водоемов : методы изучения. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2016. 89 с. EDN: WAKXVD
- [5] Леоненко И.И., Антонович В.П., Андрианов А.М., Безлуцкая И.В., Цымбалюк К.К. Методы определения нефтепродуктов в водах и других объектах окружающей среды (обзор) // Методы и объекты химического анализа. 2010. Т. 5. № 2. С. 58–72.
- [6] Носкова Т.В., Лейтес Е.А., Лабузова О.М. Содержание нефтепродуктов в пробах поверхностных вод и донных отложений рек Обь и Барнаулка // Вода: химия и экология. 2018. № 10–12. С. 30–35. EDN: YTNUP
- [7] Шешнёв А.С., Маджид Д.С. Сезонные изменения содержания загрязняющих веществ в наносах овражно-балочных комплексов на территории Саратова // Метеорология и гидрология. 2022. № 9. С. 108–113. <http://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-9-108-113> EDN: MRMOHO

References

- [1] Yanin EP. *Anthropogenic geochemical associations in bottom sediments of small rivers (composition, features, methods of assessment)*. Moscow: IMGRE Publ.; 2002, 51 p. (In Russ.)
- [2] Saet YuE, Revich BA, Yanin EP, Smirnova RS, Basharkevich IL, Onishchenko TL, Pavlova LN, Trefilova NY, Achkasov AI, Sargsyan SS. *Environmental geochemistry*. Moscow: Nedra Publ.; 1990. (In Russ.) EDN: XDXBQN
- [3] Wei H, Muthanna TM, Lundy L, Viklander M. An evaluation of temporal changes in physicochemical properties of gully pot sediments. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022;29:65452–65465. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20341-8> EDN: NUHXOL
- [4] Subetto DA, Prytkova MJ. *Bottom sediments of diverse reservoirs: Methods of study*. Petrozavodsk: KarRC of RAS; 2016. (In Russ.) EDN: WAKXVD
- [5] Leonenko II, Antonovich VP, Andrianov AM, Bezlutckaya IV, Tymbalyuk KK. Methods for the determination of petroleum products in water and other environmental objects. The review. *Methods and Objects of Chemical Analysis*. 2010;5(2):58–72. (In Russ.)
- [6] Noskova TV, Leites EA, Labuzova OM. The content of oil in samples of surface water and bottom sediments of the rivers Ob and Barnaulka. *Water: Chemistry and Ecology*. 2018;10–12:30–35. (In Russ.) EDN: YTNUP
- [7] Sheshnev AS, Majeed DS. Seasonal changes in pollutant concentrations in the bed load of ravine and gully complexes in the city of Saratov. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2022;9:108–113. (In Russ.) <http://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-9-108-113> EDN: MRMOHO

Сведения об авторе:

Шешнёв Александр Сергеевич, кандидат географических наук, доцент кафедры петрологии и прикладной геологии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Российская Федерация, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83. ORCID: 0000-0003-3566-8652; eLIBRARY SPIN-код: 1323-9277. E-mail: sheshnev@inbox.ru

Bio note:

Aleksandr S. Sheshnev — Candidate of Geographic Sciences, Associate Professor of the Department «Petrology and Applied Geology», Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St, Saratov, 410012, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-3566-8652; eLIBRARY SPIN-code: 1323-9277. E-mail: sheshnev@inbox.ru

ГЕОЭКОЛОГИЯ

GEOECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-165-183

EDN: VJFXOK

УДК 504.06:338.48-53

Научная статья / Research article

Рекреационная деятельность в котловине озера Малый Вудъявр: последствия и ресурсы

В.А. Топорина¹, А.В. Овакимян²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва,
Российская Федерация

²Государственный природоохранный центр, г. Москва, Российская Федерация
 valya-geo@yandex.ru

Аннотация. Необходимость благоустройства мест отдыха с учетом сохранения функций природных экосистем для будущих поколений требует комплексных исследований возможностей рекреационных дестинаций. Специализированные исследования отдельных аспектов природопользования и экологического состояния котловины озера Малый Вудъявр проводились, однако работы, рассматривающие совокупность рекреационных возможностей и последствий рекреационной деятельности в котловине озера, отсутствуют. Цель исследования — выявить факторы, стимулирующие практическую реализацию рекреационного потенциала. Объект исследования — котловина озера Малый Вудъявр. В основу работы положены материалы собственных летних полевых исследований, а также различные литературные данные. Работа предваряет оценку рекреационного потенциала: посредством анализа рекреационной дигрессии, устойчивости экосистем к рекреационным нагрузкам, комфортности рекреационной территории, а также эстетической привлекательности ландшафта определяются ресурсы для осуществления рекреационной деятельности. Результаты полевых исследований и дальнейшей камеральной обработки показали, что пока на большей территории котловины озера фиксируется первая стадия дигрессии, за исключением юго-восточной части озера, где располагается турбаза «Жемчужина». Также большая часть прибрежной полосы озера доступна и комфортна для туристов. Анализ эстетической привлекательности не выявил участков с невысокой привлекательностью: сумма показателей и параметров у всех точек превысила порог в 40 баллов. Таким образом, можно утверждать, что имеющиеся рекреационные ресурсы не истощены.

Ключевые слова: рекреация, дигрессия, эстетические свойства ландшафта, комфортность

© Топорина В.А., Овакимян А.В., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Вклад авторов. *Топорина В.А.* — концептуализация, руководство исследованиями, методология, создание рукописи и ее редактирование. *Овакимян А.В.* — проведение исследования, визуализация, создание черновика рукописи. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова «Географический подход к оптимизации природопользования в моделях устойчивого развития».

История статьи: поступила в редакцию 16.05.2025; доработана после рецензирования 23.10.2025; принята к публикации 02.12.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: *Топорина В.А., Овакимян А.В.* Рекреационная деятельность в котловине озера Малый Вудьявр: последствия и ресурсы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 165–183. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-165-183> EDN: VJFXOK

Recreational activities in the basin of Lake Maly Woodyavr: resources and consequences

Valentina A. Toporina¹, Ani V. Ovakimyan

¹*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

²*State Environmental Protection Center of the Moscow, Moscow, Russian Federation*

valya-geo@yandex.ru

Abstract. The need to improve recreational areas taking into account the preservation of the functions of natural ecosystems for future generations requires comprehensive research into the possibilities of recreational destinations. Specialized studies of individual aspects of environmental management and the ecological state of the Maly Woodyavr lake basin have been carried out, but there is no work examining the totality of recreational opportunities and consequences of recreational activities in the lake basin. The purpose of the study is to identify factors that stimulate the practical implementation of recreational potential. The object of the study is the basin of Lake Maly Woodyavr. The work is based on materials of own summer field studies, as well as various literary data. The work anticipates the assessment of recreational potential: by analyzing recreational regression, ecosystem resilience to recreational loads, comfort of a recreational area, As well as the aesthetic attractiveness of a landscape, resources for recreational activities are determined. The results of field studies and further cameral processing have shown that, so far, the first stage of regression has been fixed on a larger area of the lake basin, with the exception of the south-eastern part of the lake, where the “Zhemchuzhina” tourists’ camp site is located. Also, much of the coastal strip of the lake is accessible and comfortable for tourists. The aesthetic attractiveness analysis did not reveal areas with low attractiveness: the sum of indicators and parameters at all points exceeded the threshold of 40 points. Thus, it can be stated that the available recreational resources are not depleted.

Keywords: recreation, digression, aesthetic properties of the landscape, comfort

Funding. The study was conducted under the state assignment of Lomonosov Moscow State University «Geographical approach to improving environmental management in sustainable development models».

Authors' contribution. V.A. Toporina — conceptualization, supervision, methodology, writing — review and editing. A.V. Ovakimyan — investigation, visualization, writing — original draft. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Article history: received 16.05.2025; revised 23.10.2025; accepted 02.12.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Toporina VA, Ovakimyan AV. Recreational activities in the basin of Lake Maly Woodyavr: resources and consequences. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):165–183. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-165-183> EDN: VJFXOK

Введение

В стратегии развития туризма в России на период до 2035 г. (Распоряжение Правительства РФ от 20 сентября 2019 г. № 2129-р.) определено в качестве одной из целей усиление социальной роли туризма, увеличение доступности услуг туризма, отдыха и оздоровления для всех жителей Российской Федерации.

Это требует глубокого осмысления ресурсов, способствующих осуществлению рекреационной деятельности и определения способов минимизации негативного воздействия человека на природные комплексы. Рекреационная деятельность опирается на разнообразные факторы, которые влияют на степень его реализации: медико-биологические, климатические, ландшафтные, инфраструктурные. В работе при исследовании рекреации уделено внимание не только формам рекреации, но и факторам, стимулирующим развитие рекреации, то есть природным ресурсам и факторам, которые лимитируют развитие, то есть условиям.

Предметом исследования выступают факторы реализации рекреационного потенциала котловины озера Малый Вудьявр; было поставлено несколько задач, в том числе изучить особенности рекреационного использования района исследования, выделить основные виды рекреационных занятий; провести полевые работы по изучению природных комплексов и оценке комфортности рекреационных территорий, устойчивости экосистем к рекреационным нагрузкам, дигрессии рекреационного угодья, эстетической привлекательности пейзажа.

Материалы и методы

Работа подготовлена на основании полевых материалов, отобранных летом 2023 г. и зимой 2024 г., а также использовались нормативно-правовые акты.

Для рассмотрения природных ресурсов рекреационной деятельности, то есть факторов, способствующих развитию, применены известные методические подходы Н.С. Казанской, В.В. Ланиной, В.П. Чижовой¹ [1–4]. В ходе полевых исследований были проведены следующие исследования и оценки: природных комплексов (по специальному бланку), комфортности рекреационных территорий, устойчивости природных систем к рекреационным нагрузкам, дигрессии рекреационного угодья, эстетической привлекательности пейзажа.

При описании природных комплексов использовался бланк, согласно которому следовало отметить особенности рельефа (мезорельеф, микрорельеф; форма, крутизна и экспозиция склона; характер поверхности); тип и степень увлажнения; звено ландшафтной катены; фитоценоз (название, общее проективное покрытие, число ярусов сообщества и видовой состав каждого яруса), также отмечалась дополнительная информация в ходе описания природных комплексов, например антропогенной деятельности. Было выделено 63 площадки наблюдения (рис. 1), они выбирались в основном таким образом, чтобы проследить смену растительности или рельефа. Здесь проводились исследования дигрессии, устойчивости, доступности, эстетических свойств. Более подробно об этом изложено в разделе «Результаты». Нами была составлена база, содержащая характеристику точек, фрагменты которых представлены в табл. 1 и 2.

Определение устойчивости экосистем к рекреационным нагрузкам осуществлялось на основе следующих параметров: механический состав почвы, уровень влажности почвы, степень увлажнения, толщина гумусового слоя, мощность рыхлых грунтовых отложений, уклон поверхности (большой уклон приводит к снижению устойчивости), состав и средний возраст древостоя, а также лесопосадки или естественные леса. Каждому параметру был присвоен соответствующий балл.

Для оценки комфортности для прибрежных территорий было обследовано 14 разных точек изучаемой территории. Выбирались участки отдыха, которые в разной степени подвержены антропогенному воздействию. Была проведена оценка с определением степени доступности к прибрежной территории, комфортности подхода к воде (характер спуска в воду), степени зарастания мелководий и др. [5; 8]. Разным параметрам также присваивались баллы.

Оценка эстетической привлекательности включала три этапа: оценка эколого-эстетических характеристик пейзажа и эмоциональной реакции на пейзаж с использованием специальной шкалы, а также оценка эстетических свойств ландшафта (пейзажа) [7].

¹ Руководство по ландшафтному планированию. Т. II : Методические рекомендации по ландшафтному планированию. Москва : Государственный центр экологических программ, 2001. 73 с.

Таблица 1. Характеристика точек наблюдения. Фрагмент

№	Привязка (адрес)	Координаты (GPS) геогр.	Абсолютная высота, м	Мезорельеф	Микрорельеф	Склоны (крутизна, экспозиция и форма)	Для выровненных поверхностей и ее характер	Тип и степень увлажнения
1	В 900 м к С-СЗ от озера Малый Вудьявр; в 20 м к В от дороги	67.678194, 33.601556	403	Склон холма	Кочки d = до 1 м и h = до 20 см, приствольные повышения	2° ЮЗ, Выпукло-вогнутая, террасированный	–	Сточно-натечный; нормальная
...								
3	В 400 м от озера Малый Вудьявр на С-СЗ	67.675139, 33.601972	390	Склон холма	Приствольные повышения, кочковатость	4–5°; СВ; террасированный	–	Атмосферное, сточно-натечное; нормальное

Источник: составлено А. В. Овакимян.

Table 1. Characteristics of observation points. Fragment

№	Address	Coordinates (GPS) geog.	Absolute height, m	Mesorelief	Microrelief	Slopes (steepness, exposure and shape)	Flat areas and its characteristics	Type and degree of moisture
1	900 m to N-NW from Lake Maly Woodyavr; 20 m to E from the road	67.678194, 33.601556	403	Hill slope	Mounds d = up to 1 m and h = up to 20 cm, ice higher	2° SW, Convex-concave, terraced	–	Runoff-accumulated; normal
...								
3	400 m from Lake Maly Woodyavr to N-NW	67.675139, 33.601972	390	Hill slope	Ice higher ings, moundiness	4–5°; NE; terraced	–	Atmospheric, runoff-accumulated; normal

Source: compiled by A. V. Ovakimyan.

Таблица 2. Результаты маршрутного обследования котловины озера Малый Вудъявр. Фрагмент

№ точки	Название фитоценоза	Общее проективное покрытие, %, общее состояние	Ярусность сообщества, сомкнутость/ проективное покрытие %, видовой состав каждого яруса с преобладающим видом	Природные комплексы
1	Березово- ерниковое кустарничковое криво-лесье	80, хорошее	<p>– Древесный: 0,4. Береза извилистая — 99 % Ель европейская — 1 % — Кустарниковый: 30 Можжевельник обыкновенный — 40 % Карликовая береза — 60 % — Кустарничковый: 70 % Черника обыкновенная — 30 % Голубика обыкновенная — 40 % Брусника обыкновенная — 10 % Вереск обыкновенный — 10 % Филадельфия голубая — 10 % — Травянистый: 10 % Овсяница луговая — 70 % Марьяник лесной — 30 % — Мохово-лишайниковый: 5 % Зеленые мхи — 90 % Алектория бледно-охряная — 10 %</p>	Березово-ерниковое кустарничковое криволесье на подбурках на склоне холма

Источник: составлено А. В. Овакимян.

Table 2. Results of the route survey of the Malyy Vudyavr lake basin. Fragment

Observation point	Name of phytocenosis	Total projective cover, %, overall condition	Layering community, closeness / projective cover %, species composition of each layer with dominant species	Natural ecosystems
1	Dwarf birch thicket	80, good	– Woody: 0.4. Betula tortuosa — 99% Picea abies — 1% – Shrubby 30 Juniperus communis — 40% Betula nana — 60% – Shrub-like: 70% Vaccinium myrtillus — 30% Vaccinium uliginosum — 40% Vaccinium vitis-idaea — 10% Calluna vulgaris — 10% Phylodoce caerulea — 10 % – Herbaceous: 10% Festuca pratensis — 70% Melampyrum sylvaticum — 30% – Moss-lichen: 5% Green mosses — 90% Alectoria pallida — 10%	Birch-sedge shrub thicket on the underbrush on the slope of the hill

Source: compiled by A. V. Ovakimyan.

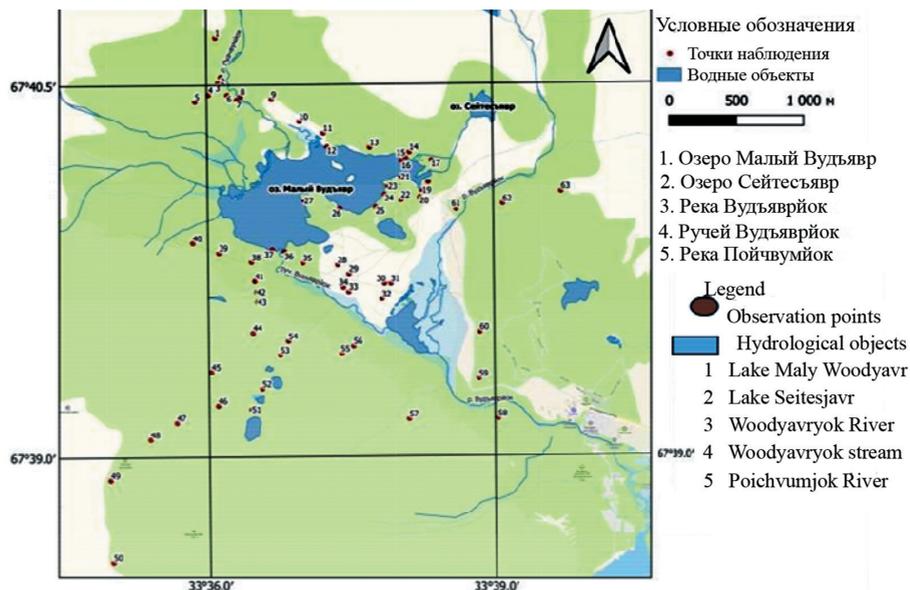


Рис. 1. Точки наблюдения в котловине озера Малый Вудъявр

Источник: рисунок составлен А.В. Овакимян на основании топографической карты Хибинских гор с последующей оцифровкой в QGIS (топографическая карта Хибинских гор).

URL: <https://orient-murman.ru/index.php/mapmurmanregion> (дата обращения: 18.08.2023 г.)

Figure 1. Observation points in the basin of Lake Maly Woodyavr

Source: the figure was compiled by A.V. Ovakimyan on a base of the topographic map of the Khibiny Mountains with subsequent digitizing in QGIS (Topographic map of the Khibiny Mountains).

URL: <https://orient-murman.ru/index.php/mapmurmanregion> (accessed: 18.08.2023).

Результаты

В котловине озера Малый Вудъявр, как показали наблюдения, получили развитие несколько видов рекреационных занятий (табл. 3).

Остановимся на некоторых особенностях рекреационной деятельности. **Спортивно-оздоровительная группа** включает несколько подгрупп. *Пешеходная подгруппа спортивно-оздоровительной деятельности* предполагает походы в основном в бесснежный период вдоль побережья озера Малый Вудъявр, а также через руч. Вудъяврйок к перевалу Географов и г. Вудъяврчорр. *Велосипедная подгруппа* представлена отдыхом исключительно в поздневесенний, летний и осенний период по северному, южному побережью озера и окрестностям. *Лыжная подгруппа* рекреационных занятий представлена в меньшей степени и развивается преимущественно в лесной и редколесной зоне на южном побережье водоема. *Водная подгруппа* действует в летнее время, в частности это сапсерфинг. Ежегодно проходят соревнования по туризму на территории базового лагеря — у озера Малый Вудъявр.

Оздоровительная группа включает две подгруппы рекреационных занятий: пляжно-купальную и пикниковую. *Пляжно-купальная подгруппа* представлена отдыхом на оборудованных пляжах и на необорудованных участках побережья (рис. 2). Купание не пользуется большой популярностью у рекреантов из-за низкой температуры воды. *Пикниковая подгруппа* организуется

самостоятельно туристами чаще всего на побережье озера с использованием различных снаряжений (рис. 2). *Лечебно-оздоровительная группа* предполагает отдых и лечение в санаторно-оздоровительном комплексе «Тирвас» (СОК «Тирвас») в 2,5 км от озера Малый Вудъявр.

Таблица 3. Рекреационные занятия в котловине озера Малый Вудъявр

Группа	Подгруппа	Характеристика рекреационных занятий
Спортивно-оздоровительная	Пешеходная	Однодневные и многодневные маршруты по живописным местам, вдоль озера и на горных хребтах
	Велосипедная	Однодневные и многодневные маршруты
	Лыжная	Однодневные маршруты вдоль побережья и в лесных зонах
	Водная	Занятие сапсерфингом
Оздоровительная	Пляжно-купальная	Купание и отдых на оборудованных пляжах и на необорудованных участках побережий озера
	Пикниковая	Организация пикника с использованием личного снаряжения (инвентаря)
Лечебно-оздоровительная	–	Отдых и лечение в санатории «Тирвас»
Познавательная	Экскурсионная	Организованные туры и экскурсии (джип-туры, снегоходы, снежная деревня)
	Культурно-историческая	Посещение культурно-исторических объектов
	Природоохранная	Посещение природных достопримечательностей и проведение фотоохоты
Промысловая (любительская)	Рыболовная	Любительская рыбалка на озере
	Сбор дикоросов	Сбор растений, ягод, грибов для личного пользования

Источник: составлено А.В. Овакимян и В.А. Топориной с использованием классификации Е.Л. Воробьевской [6].

Table 3. Recreational activities in the basin of Lake Maly Woodyavr

Ways of recreation activities	Recreational activities	Characteristics of recreational activities
Sports	Pedestrian	One-day and multi-day routes through picturesque places, along the lake and on mountain ranges
	Bicycle	One-day and multi-day routes
	Ski	Day trips along the coast and in forest areas
	Water	Surfing lessons
Health and recreation	Beach bathing	Swimming and relaxing on equipped beaches and on unequipped areas of the lake shores
	Picnic area	Organization of a picnic using personal equipment (inventory)
	Resort	Rest and therapy at the sanatorium “Tirvas”
Educational	Guided tour	Organized tours and excursions (jeep tours, snowmobiles, snow village)
	Cultural and historical	Visiting cultural and historical sites
	Environmental protection	Visiting natural attractions
Commercial (amateur)	Fishing	Amateur fishing on the lake
	Collecting wild plants	Collecting plants, berries, and mushrooms for personal use and household

Source: compiled by A.V. Ovakimyan and V. A. Toporina using the classification of E.L. Vorobievskaya [6].



Рис. 2. Рекреанты на побережье озера (пляжно-купальная подгруппа)

Источник: фотография выполнена А.В. Овакимян во время производственной практики в 2023 г. в окрестностях туристической базы «Жемчужина Хибин».

Figure 2. People on the lake shore (beach and bathing activities)

Source: the photo was taken by A.V. Ovakimyan during her internship in 2023, close to the Zhemchuzhina Khibin tourist base.

Познавательная — содержит три подгруппы:

– *экскурсионную* — организованные снегоходные и джип-туры в Хибинах



Рис. 3. Паровая машина

(произведено компанией Chicago Pneumatic Tool)

Источник: фотография выполнена А.В. Овакимян во время производственной практики в июле 2023 г.

Figure 3. Steam engine

(produced by Chicago Pneumatic Tool Company or Chicago Power Tools)

Source: photo was taken by A.V.Ovakimyan during field practical training in July, 2023.

(от СОК «Тирвас» к долине озера Малый Вудъявр вдоль ледяных фонтанов, озера Серцевидное, замерзшего водопада Красивый и т.д.), а также выставки (например, «Снежная деревня»);

– *природоохранную* — знакомство с флорой и фауной котловины озера и его окрестностей, занятие фотоохотой, посещение национального парка «Хибинь», Полярно-альпийского ботанического сада-института КНЦ РАН им. Н.А. Аврорина, а также исследование ущелий и перевалов;

– *культурно-историческую* — знакомство с главными культурно-историческими достопримечательностями котловины озера и окрестностей — научной станцией «Тьетта»², молибденовым рудником и паровой машиной компании Chicago Pneumatic Tool Company (или по другой версии, Chicago Power Tools) (рис. 3).

² Горная станция АН СССР «Тьетта». URL: <https://geo.web.ru/druza/1-Tietta.htm> (дара обращения: 10.02.2024).

Любительская рыбалка и сбор дикоросов на Малом Вудъявре имеют свою специфику и степень распространенности. Рыбалка является наименее популярным видом досуга.

Следующей частью работы для понимания природных ресурсов осуществления рекреационной деятельности стал анализ дигрессии и устойчивости по известным методикам. На основании собранных полевых данных были получены следующие выводы об *устойчивости и рекреационной дигрессии* (табл. 4) в котловине озера Малый Вудъявр.

Почти половина территории, как показывают маршрутные обследования (33 точки из 63), находятся на 1-й стадии рекреационной дигрессии, что показывает начальное воздействие рекреационной активности (рис. 4).

Превышение бровки над днищем троп в среднем остается постоянным на всех стадиях, что указывает на относительно стабильный уровень эрозии троп в разных стадиях дигрессии.

Состояние травостоя вдоль троп остается хорошим на всех стадиях, что свидетельствует о сохранении растительности вблизи троп, несмотря на увеличение рекреационной нагрузки.

Наибольшая рекреационная дигрессия (8–9 баллов) отмечена в юго-восточной части озера, где расположена туристическая база «Жемчужина Хибин», а также в южной части озера, где находятся более доступные и благоприятные участки для неорганизованного отдыха.

Наиболее устойчивые природные системы к рекреационным нагрузкам расположены в нижних частях склонов, а также в равнинной части котловины, а именно участки на березовом травянисто-кустарничковом редколесье с включениями подроста рябины и можжевельника на подбурах на пологоволнистой террасе; на кустарничково-лишайниково-березовом криволесье на подбурах на плоской и пологоволнистой террасах, а также на кустарничково-лишайниковой тундре на дерново-тундровых почвах на пологоволнистой террасе (точки 30–32); на березово-ерниковом кустарничковом криволесье на подбурах на склоне холма и с примесью кипрея узколистного на слабоподзолистых почвах на пологоволнистой равнине; на березово-ерниковом чернично-овсяницево-криволесье на слабоподзолистых почвах на склоне холма (точки 1–3).

Наименее устойчивые системы расположены на возвышенностях: на фрагментарной каменистой тундре на горно-тундровых и арктических примитивных почвах на верхней части склона и перевале.

Для того чтобы получить представление об уровне *комфортности*, были выбраны участки, которые мы считаем наиболее востребованными среди рекреантов, потому что они приурочены к побережью озера. Исходя из собранной информации (табл. 5), можно отметить, что большинство участков у озера имеют высокую степень доступности, что указывает на хорошую инфраструктуру для подъезда транспортными средствами или пешеходного доступа к берегу. В большинстве случаев подход к озеру не затруднен, на большинстве точек у побережья озера заезда на машине нет, но на территории отмечаются пешеходные тропы и дорожки.

Таблица 4. Результаты исследования рекреационной дигрессии в точках наблюдения, в баллах. Фрагмент

№ точки	Мехсоставпочвы	Влажность почвы / степень увлажнения (сумма баллов)	Мощность гумусового горизонта	Мощность рыхлых грунтовых отложений	Уклон поверхности	Состав древостоя	Средний возраст древостоя	Леса естественные и лесопосадки	Сумма баллов
1	3	4	1	0	5	2,5	3	2	20,5
2	3	4	1	0	5	2,5	3	2	20,5
3	3	4	1	0	5	2,5	3	2	20,5

Источник: составлено В.А. Топориной, А.В. Овакимян с использованием методики В.П. Чижовой. Фрагмент

Table 4. Results of the study of recreational digression at observation points, in points

Observation point	Mechanical composition of the soil	Soil moisture / degree of moisture (sum of points)	The thickness of the humus horizon	The thickness of loose soil deposits	The slope of the surface	The composition of the stand	The average age of the stand	Natural forests and forest plantations	The sum of points
1	3	4	1	0	5	2.5	3	2	20.5
2	3	4	1	0	5	2.5	3	2	20.5
3	3	4	1	0	5	2.5	3	2	20.5

Source: compiled by V.A. Toporina, A.V. Ovakimyan using the methodological foundations of V.P. Chizhova. Fragment

При более детальном исследовании побережья нами было отмечено, что необходимы мероприятия для благоустройства территории. Это связано с тем, что грунт на прибрежной полосе имеет травянистое покрытие или каменисто-травянистые участки. Также большая часть исследуемых участков прилегает к чистым акваториям с минимальным уровнем зарастания.

Наиболее комфортные рекреационные участки находятся на восточной и южной частях котловины озера. Они представляют собой сочетание наиболее благоприятных условий согласно пяти оцениваемым параметрам: доступности, комфортности подхода к воде, характеру грунта на прибрежной полосе, степени зарастания мелководий и наличию туристических стоянок.

Для проведения качественной оценки *эстетических свойств* ландшафта (пейзажа) в котловине озера Малый Вудъявр нами была проведена оценка эколого-эстетических свойств пейзажа по шкале оценок от 1 до 7. На каждой площадке оценивалась одна точка, которая располагалась в центре площадки. Каждой точке (см. рис. 1) присваивался балл от 1 до 7 по показателям: «Однообразный/Разнообразный», «Дисгармоничный/Гармоничный», «Обычный/Экзотичный», «Некрасивый/Красивый», «Опасный/Безопасный», «Нарушенный/Ненарушенный». Например, если образ ландшафта состоял из какого-либо единичного элемента, то ему присваивался балл 1 (по убыванию), что соответствовало однообразному ландшафту, если же ландшафт включал в себя несколько элементов, что делало его более разнообразным, то присваивался балл ближе к 7 (по возрастанию), таким образом были описаны все точки и составлена соответствующая информационная база. Оценка эмоциональной реакции проводилась по четырем показателям: «Чувство страха/Радость», «Раздражение/Умиротворение», «Угнетенность/Душевный подъем», «Уныние/Восторг». Сходным образом проводилась оценка эмоциональной реакции. Например, если ландшафт включал в себя элементы, вызывающие чувство страха, то присваивался балл ближе к 1 (по убыванию), если радость, то ближе к 7 (по возрастанию). Также были описаны все точки и составлена соответствующая информационная база, фрагмент представлен в табл. 6.

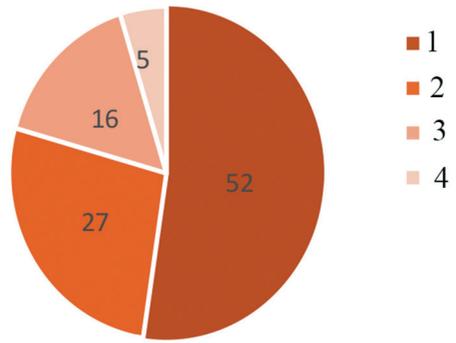


Рис. 4. Соотношение стадий рекреационной дигрессии в котловине озера Малый Вудъявр, %

Источник: составлено А.В. Овакимян.

Figure 4. Areas of recreational digression in the basin of Lake Maly Woodyavr, %

Source: compiled by A.V. Ovakimyan.

Таблица 5. Оценка комфортности рекреационного уголья (прибрежные экосистемы)

№ точки	Сумма баллов	Степень доступности	Комфортность подхода к воде (характер спуска в воду)	Характер грунта наприбрежной полосе	Степень зарастания мелководий	Наличие тур. стоянок, их состояние (кол-во стоянок / балл)
....						
26	15	4	4	2	4	1
27	12	3 (заязд возможен, но затруднителен)	3	2	4	0
36	19	5	5	4	4	1

Источник: составлено В.А. Топориной, А.В. Овакимян с использованием методики В.П. Чижовой. Фрагмент

Table 5. Assessment of the comfort of recreational land (coastal ecosystems)

Observation point	The sum of points	Degree of accessibility	Comfort of the approach to the water (the nature of the descent into the water)	Soil on the coastal strip	Degree of overgrowth of shallow waters	Presence of tourist sites, their condition (number of sites / point)
....						
26	15	4	4	2	4	1
27	12	3 (check-in is possible, but difficult)	3	2	4	0
36	19	5	5	4	4	1

Source: compiled by V.A. Toporina, A.V. Ovakimyan using the methodological foundations of V.P. Chizhova. Fragment

Таблица 6. Результаты оценки эстетической привлекательности ландшафта. Фрагмент

№ точки	Однообразный / Разнообразный	Дисгармоничный / Гармоничный	Обычный / Экзотичный	Некрасивый / Красивый	Опасный / Безопасный	Нарушенный / Ненарушенный
1	4	7	4	5	5	5
2	3	6	3	4	7	5
3	4	7	4	4	7	5
4	4	7	4	5	5	5
5	4	7	5	5	5	5

Источник: составлено В.А. Топориной, А.В. Овакимян с использованием методик К.И. Эрингис, Р.А. Будрюнас, М.Ю. Фроловой, Д.А. Дирина, Е.С. Поповой [5; 7; 8].

Table 6. Results of the assessment of the aesthetic attractiveness of the landscape. Fragment

Observation point	Monotonous / Diverse	Disharmonious / Harmonious	Ordinary / Exotic	Ugly / Beautiful	Dangerous / Safe	Broken / Undisturbed
1	4	7	4	5	5	5
2	3	6	3	4	7	5
3	4	7	4	4	7	5
4	4	7	4	5	5	5
5	4	7	5	5	5	5

Source: compiled by V.A. Toporina, A.V. Ovakimyan using the methods of K.I. Eringis, R.A. Budryunas; M.Yu. Frolova; D.A. Dirin, E.S. Popov [5; 7; 8].

Наконец нами была проведена оценка показателей эстетических свойств ландшафта по девяти показателям (сложность композиционного устройства, глубина пейзажной композиции, наличие и количество композиционных узлов и осей в пейзаже, пейзажные кулисы, перспективы, залесенность, пейзажный обзор, антропогенная трансформация, уникальность ландшафта) Каждый критерий оценивался по шкале от 1 до 4, кроме уникальности ландшафта, которая оценивается по шкале от 1 до 2, и наличие композиционных узлов и осей, где оценка может варьироваться более широко.

После суммирования баллов оценочных показателей эстетической привлекательности пейзажа выяснилось, что у всех точек сумма составила более 40 баллов, что относится к высокой качественной оценке эстетической привлекательности пейзажа по адаптированной методике В.П. Чижовой. Тем не менее для анализа нами было выделено четыре группы «пейзажей»: низкая оценка (52–53 балла), средняя (62–70 баллов), высокая (71–85 баллов) и очень высокая (86–96 баллов). «Пейзажи» с наиболее низкими оценками находятся вблизи песчаного карьера.

Категория с суммой 62–70 баллов характеризуется наличием базовой двухсюжетной сложности композиционного устройства, объемной глубиной пейзажной композицией и двумя-тремя композиционными узлами и осями (например, река, горные вершины, отдельные растения, которые привлекают главное или второстепенное внимание наблюдателя (например, кипрей обыкновенный). Они расположены чаще всего в закрытых залесенных «участках-коридорах» с наличием пешей тропы (рис. 5).



Рис. 5. Переход из точки 38 в 39. Средняя оценка пейзажа

Источник: фотография выполнена А.В. Овакимян во время производственной практики в июле 2023 г.

Figure 5. Transition from point 38 to 39. Average rating of the landscape.

Source: the photo was taken by A.V. Ovakimyan during her internship in 2023.

Пейзажи с высокой оценкой отличаются сменой растительности, панорамным видом или обзором на озеро Малый Вудъявр с северного берега или по маршруту на Перевал Географов, видом на устье реки Пуачвумйок. По сравнению с другими точками в этой группе сектор обзора составлял 120–240°, увеличилось количество композиционных узлов и осей в пейзаже до 5–7, глубина пейзажной композиции варьируется от объемной до глубинно-пространственной.

«Пейзажи» с очень высокой оценкой в 86–96 баллов отмечаются на участках, где происходит резкая смена сюжетов (рис. 6, 7).



Рис. 6. Т. 8. Вверх по течению р. Пуачвумйок

Источник: фотография выполнена А.В. Овакимян во время производственной практики в июле 2023 г.

Figure 6. Point 8. Upstream of the Poichvumjok river

Source: the photo was taken by A.V. Ovakimyan during her internship in 2023.



Рис. 7. Т. 19. Восточная часть озера.

Источник: фотография выполнена А.В. Овакимян во время производственной практики в июле 2023 г.

Figure 7. Point 19. The eastern part of the lake.

Source: the photo was taken by A.V. Ovakimyan during her internship in 2023.

Заключение

В исследовании была рассмотрена рекреационная деятельность в котловине озера Малый Вудъявр: ресурсы для ее осуществления и последствия. Котловина озера Малый Вудъявр обладает высокой эстетической привлекательностью. Ландшафты с очень высокой оценкой отмечаются в устье р. Поачвумйок и на склоне котловины. Эстетическая привлекательность озера является одним из основных факторов, привлекающих рекреантов и способствующих устойчивому рекреационному использованию территории. Участки с наивысшей эстетической привлекательностью и комфортностью испытывают наибольшую рекреационную дигрессию из-за высокого спроса среди рекреантов. При этом большая часть территории затронута наименьшей стадией.

На исследуемой территории развиты следующие виды рекреационной деятельности: спортивно-оздоровительная, оздоровительная, лечебно-оздоровительная, познавательная и промысловая. Наиболее активны спортивно-оздоровительная деятельность, в частности пешеходная, лыжный и водный подвиды; познавательная (экскурсионный и природный), оздоровительная (пикниковый).

Рекреационные участки прибрежных систем максимальной комфортности расположены недалеко от турбазы «Жемчужина Хибин» и истока р. Вудъяврйок: здесь мы отмечаем высокую пешеходную и транспортную доступность; пологий спуск к воде и ровный песочный пляж; отсутствует зарастание на мелководье; оборудованы стоянки. В целом отмечается невысокий уровень замусоренности территории.

Учитывая интенсивную коттеджную застройку, которая может усилить рекреационную нагрузку на все южное побережье, можно спрогнозировать ухудшение состояния природных комплексов. В качестве рекомендации возможно перенаправить рекреантов на менее загруженные территории, которые сейчас используются ограниченно из-за их удаленности и слабой транспортной связи, например создания соответствующей рекреационной инфраструктуры, включая дорожные сети к северному побережью.

Список литературы

- [1] Казанская Н.С. Изучение рекреационной дигрессии естественных группировок растительности // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 1972. №. 1. С. 52–59.
- [2] Казанская Н.С., Ланина В.В., Марфенин Н.Н. Рекреационные леса. Москва : Лесная промышленность, 1977. 96 с.
- [3] Чижова В.П. Рекреационные ландшафты: устойчивость, нормирование, управление : монография. Смоленск : Ойкумена, 2011. 175 с. EDN: QLCFOV
- [4] Чижова В.П. Рекреационные нагрузки в зонах отдыха. Москва : Лесная промышленность, 1977. 48 с.

- [5] Эрингис К.И., Будрюнас Р.А. Сущность и методика детального эколого-эстетического исследования пейзажей // Экология и эстетика ландшафта. Вильнюс : Минтис, 1975. С. 107–160.
- [6] Воробьевская Е., Кириллов С., Седова Н., Слипенчук М., Тульская Н., Цымбал М. Современное природопользование в центральной части Кольского полуострова и основные геоэкологические проблемы // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 6. С. 30–35. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-6-30-35> EDN: YUNOCL
- [7] Дирин Д.А., Попов Е.С. Оценка пейзажно-эстетической привлекательности ландшафтов: методологический обзор // Известия Алтайского государственного университета. 2010. № 3–2 (67). С. 120–124. EDN: NDOPWH
- [8] Фролова М.Ю. Оценка эстетических достоинств природных ландшафтов // Вестник Московского университета. Серия 5: География 1994. № 2. С. 27–33.

References

- [1] Kazanskaya NS. Study of recreational degradation of natural vegetation groups. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 1972;(1):52–59. (In Russ.)
- [2] Kazanskaya NS, Lanina VV, Marfenin NN. *Recreational Forests*. Moscow: Lesnaya Promyshlennost Publ.; 1977. (In Russ.)
- [3] Chizhova VP. *Recreational landscapes: sustainability, regulation, and management: monograph*. Smolensk Publ.: Oykumena; 2011, 175 p. (In Russ.) EDN: QLCFOV
- [4] Chizhova VP. *Recreational loads in recreation areas*. Moscow: Lesnaya Promyshlennost Publ.; 1977. (In Russ.)
- [5] Eringis KI, Budryunas RA. The basics and methodology of scrupulous ecological and aesthetic research of landscapes. *Ecology and Aesthetics of the Landscape*. Vilnius: Mintis Publ.; 1975. p. 107–160. (In Russ.)
- [6] Vorobyevskaya E, Kirillov S, Sedova N, Slipenchuk M, Tulskeya N, Tsymbal M. Modern natural resource management and geoecological problems in the Central Part of the Kola Peninsula. *Ecology and Industry of Russia*. 2017;21(6):30–35. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-6-30-35> EDN: YUNOCL
- [7] Dirin DA, Popov ES. Evaluation of landscape and aesthetic appeal of landscapes: a methodological review. *Izvestiya of Altai State University*. 2010;(3–2):120–124. (In Russ.) EDN: NDOPWH
- [8] Frolova MYu. Assessment of the aesthetic values of natural landscapes. *Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography*. 1994;(2):27–33. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Топорина Валентина Алексеевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, кафедра рационального природопользования, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1. ORCID: 0000-0002-0936-0745; eLIBRARY SPIN-код: 2052-2617. E-mail: valya-geo@yandex.ru

Овакимян Ани Вартановна, магистр «Экологии и природопользования», ведущий аналитик, Государственное природоохранное бюджетное учреждение города Москвы «Государственный природоохранный центр», Российская Федерация, 119019, Москва, ул. Новый Арбат, д. 11, стр. 1. E-mail: ovakimyananya@gmail.com

Bio notes:

Valentina A. Toporina, PhD in Geography, Senior Research Scientist, Lomonosov Moscow State University, Department of Environmental Management, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0936-0745; eLIBRARY SPIN-code: 2052-2617. E-mail: valya-geo@yandex.ru

Ani V. Ovakimyan, master in the field of Ecology and Environmental Management, Leading Analyst, State Environmental Protection Budgetary Institution of the City of Moscow “State Environmental Protection Center”, 11, bldg 1, Novy Arbat St, Moscow, 119019, Russian Federation. E-mail: ovakimyananya@gmail.com

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-184-198

EDN: WYLLTO

УДК 504.06

Научная статья / Research article

Оценка биотоксичности строительных материалов на основе отходов бурения Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения

О.С. Выродов¹, Ю.Е. Токач¹, Ю.К. Рубанов¹,
Е.А. Пендюрин¹, Г.Р. Федюк²

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Белгород, Российская Федерация

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация
 iogig@yandex.ru

Аннотация. Ежегодно в результате проведения буровых работ в связи с вводом в эксплуатацию новых месторождений на предприятиях ПАО «Газпром» образуются до нескольких миллионов тонн отходов бурения. Отходы бурения составляют до 63 % от общего объема образующихся отходов. Согласно экологическим отчетам ПАО «Газпром», до 23 % объема отходов бурения остается на объектах хранения. В то же время данные виды отходов могут быть утилизированы в качестве сырья для производства обжиговых строительных материалов и другими способами. Цель исследования – определение биотоксичности водных вытяжек обжиговых материалов строительного назначения на основе буровых шламов Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения для последующей оценки возможности утилизации данных шламов при производстве различных функциональных материалов строительного назначения. Объектом исследования являлись отходы бурения, образовавшиеся при бурении разведывательных скважин газоносного пласта Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения с глубины 3400–3800 м на объектах ООО «Газпром добыча Ямбург». Исследование биотоксичности образцов бурового шлама проводилось с использованием в качестве тест-объектов *Daphnia magna Straus*. Для исключения влияния pH среды исследованы образцы водных вытяжек буровых растворов с уровнем pH от 5,45 (исходный буровой раствор) до 12,6 (исходная вытяжка), а также вытяжки, нейтрализованные до pH 6,5–7,2. В растворах с исходным уровнем pH процент гибели дафний свидетельствует о негативном воздействии щелочной среды. Анализируемые среды не оказывают острого токсического действия на гидробионты. Высокотемпературная обработка дает возможность получения функциональных материалов строительного назначения с низким уровнем биотоксичности и влияния на живые организмы, что является важным аспектом разработки технологий утилизации отходов бурения ПАО «Газпром» с высокой долей вовлечения в технологический процесс переработки потенциального отхода.

© Выродов О.С., Токач Ю.Е., Рубанов Ю.К., Пендюрин Е.А., Федюк Г.Р., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Ключевые слова: буровой шлам, биотестирование, *Daphnia magna Straus*, тест-функция, токсические эффекты

Вклад авторов. Выродов О.С. — проведение экспериментов, подготовка и создание рукописи, визуализация данных. Токач Ю.Е. — идея исследования, подготовка и создание рукописи. Рубанов Ю.К. — редактирование текста. Пендюрин Е.А. — консультирование, подготовка и создание рукописи. Федюк Г.Р. — сбор статистических данных, подготовка и создание рукописи. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

Благодарности и финансирование. Работа выполнена в рамках программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

История статьи: поступила в редакцию 29.08.2024; доработана после рецензирования 10.06.2025; принята к публикации 20.11.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Выродов О.С., Токач Ю.Е., Рубанов Ю.К., Пендюрин Е.А., Федюк Г.Р. Оценка биотоксичности строительных материалов на основе отходов бурения Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 184–198. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-184-198> EDN: WYLLTO

Assessment of the biotoxicity of drilling waste from the Yamburgsky oil and gas condensate field

Oleg S. Vyrodov¹  , Yulia E. Tokach¹ , Yury K. Rubanov¹ ,
Evgeniy A. Pendyrin¹ , German R. Fediuk² 

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation

²Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

 iogig@yandex.ru

Abstract. Every year, as a result of drilling activities in connection with the development of new fields, Gazprom companies generate up to several million tons of drilling waste. This waste accounts for up to 63% of the total waste generated. According to Gazprom's environmental reports, up to 23% of this drilling waste remains in storage facilities. At the same time, this type of waste can be used as raw material for the production of fired construction materials and other purposes. The goal of this study was to determine the toxicity of aqueous extracts from roasting materials based on drilling waste from the Yamburgskoye oil and gas condensate field in order to assess the potential for using this waste in the production of different functional materials for construction. The object of this study was drilling waste from the Yamburgskoye oil and gas condensate field, which was generated during the drilling of exploration wells at a depth of 3,400–3,800 meters. The drilling fluids used were collected at the Gazprom Dobycha Yamburg LLC facilities. To investigate the biotoxicity of these drilling fluids, *Daphnia magna Straus* was used as a test object. To eliminate the influence of pH, samples of drilling fluid

extracts with various pH levels were studied, including those with initial pH levels ranging from 5.45 to 12.6, as well as those that were neutralized to a pH of 6.5–7.2. In solutions with an initial pH, the percentage of *Daphnia* deaths indicated the negative effects of the alkaline medium. However, it was shown that the studied media did not have an acute toxic effect on aquatic organisms. The study demonstrates that high-temperature treatment allows for the production of functional materials for construction with a low level of toxicity and impact on living organisms. This is an important consideration in the development of technologies for managing drilling waste from Gazprom, which has a significant impact on the technological process of handling potential waste.

Keywords: drilling mud, biotesting, *Daphnia magna* Straus, test function, toxic effects

Acknowledgements and Funding. The work was carried out within the framework of the «Priority 2030» program on the basis of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov using the equipment of the High Technology Center of the BSTU named after V.G. Shukhov.

Authors' contribution. O.S. Vyrodov — conducting experiments, writing an article; preparation of illustration. Yu.E. Tokach — idea of investigation, writing an article. Yu.K. Rubanov — editing of the text. E.A. Pendyrin — idea of investigation, scientific guidance. G.R. Fediuk — collection of statistical data, preparation and creation of the manuscript. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Article history: received 29.08.2024; revised 10.06.2025; accepted 20.11.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Vyrodov OS, Tokach YuE, Rubanov YuK, Pendyrin EA, Fediuk GR. Assessment of the biotoxicity of drilling waste from the Yamburgsky oil and gas condensate field. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):184–198. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-184-198> EDN: WYLLTO

Введение

Отрасль добычи нефти и газа является одной из основных отраслей экономики Российской Федерации, обеспечивающей экономическую и энергетическую безопасность государства. При этом нефтегазовая отрасль остается одной из наиболее значительных по уровню своего неблагоприятного воздействия на экологическую обстановку в регионах присутствия.

К основным крупнотоннажным отходам нефтегазового сектора относятся отходы бурения, золошлаковые отходы, нефтешламы и прочие виды отходов. Решение проблемы утилизации данных отходов является важной государственной задачей.

Согласно данным ежегодного экологического отчета ПАО «Газпром» объем отходов бурения составляет около 1000 тыс. тонн (2199,3 т в 2023 г.), рис. 1 и 2¹.

¹ Экологический отчет ПАО «Газпром» за 2023 год. URL: <https://pererabotka.gazprom.ru/d/textpage/ab/171/ehkologicheskij-otchet.pdf?ysclid=mkqq2w6wts166437355> (дата обращения: 10.03.2025).

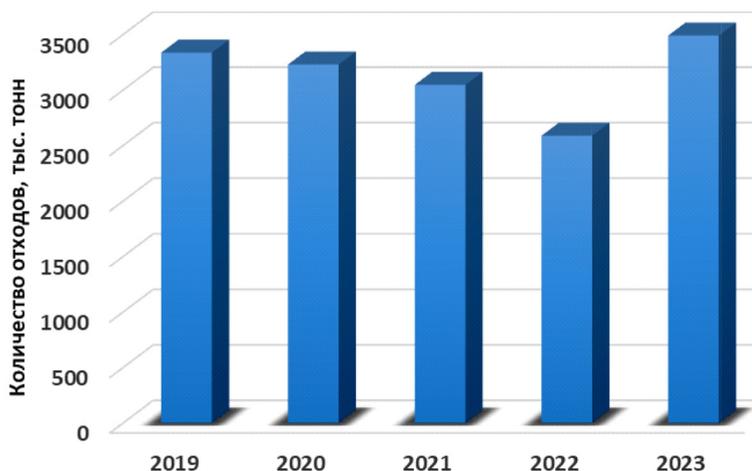


Рис. 1. Динамика образования отходов в Группе «Газпром» в 2019–2023 гг.

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

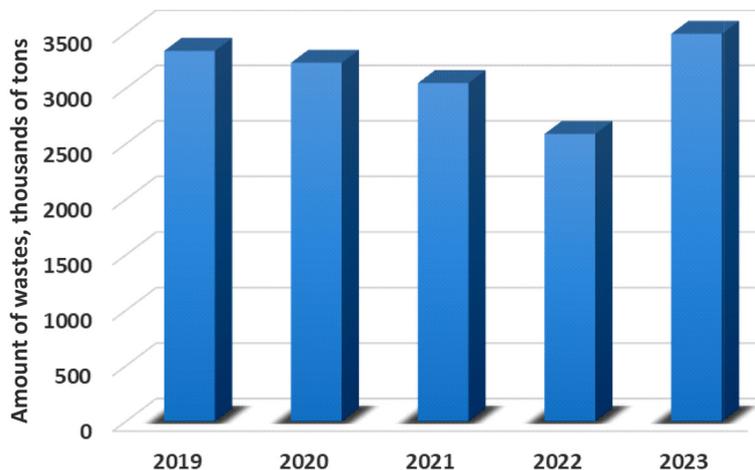


Figure 1. The dynamics of waste generation in the Gazprom PJSC in 2019-2023

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendyrin.

В последнее время на объектах Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения ПАО «Газпром» увеличился объем буровых работ, о чем свидетельствует увеличение объемов отходов бурения с 34 % в 2021 г. до 63 % в 2023 г., в связи с введением в эксплуатацию новых месторождений — дебита скважин (реализация проектов «Сила Сибири (2)» и развития торговых и экономических связей государства. При этом, согласно Экологическому отчету ПАО «Газпром», 53 % отходов передается для утилизации сторонним организациям, 23 % утилизируется на предприятиях, и до 23 % остается на объектах хранения². В то же время данные виды отходов могут быть утилизи-

² Экологический отчет ПАО «Газпром» за 2023 год. URL: <https://pererabotka.gazprom.ru/d/textpage/ab/171/ehkologicheskij-otchet.pdf?ysclid=mkqq2w6wts166437355> (дата обращения: 10.03.2025).

рованы в качестве сырья для производства обжиговых строительных материалов и другими способами³ [1].

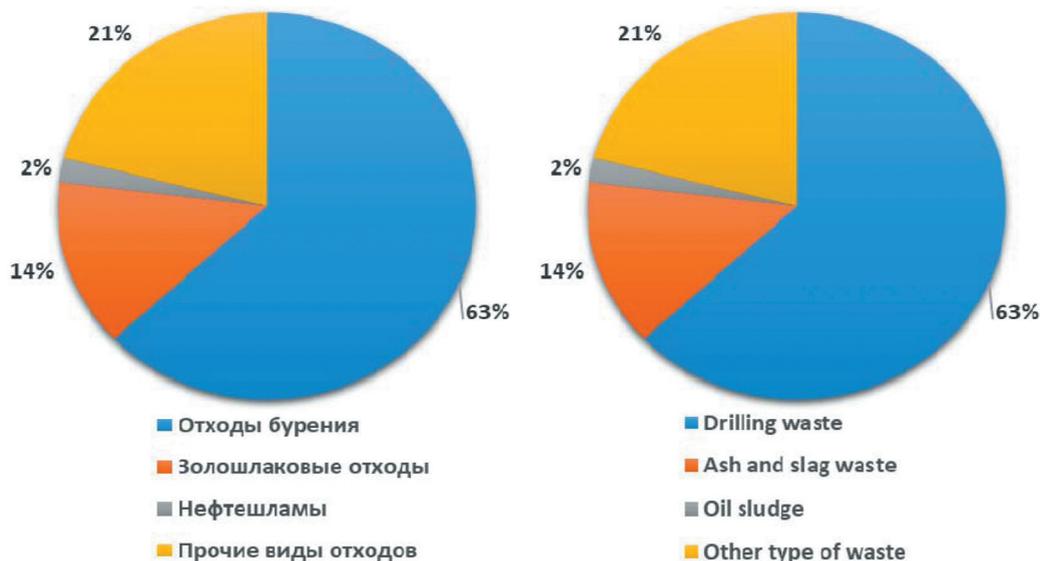


Рис. 2. Структура отходов Группы Газпром по видам, 2023 г., %

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

Figure 2. The structure of Gazprom PJSC waste by type in 2019–2023.

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendencyrin.

Важнейшим требованием к технологическому процессу добычи нефти и газа является обеспечение предотвращения неблагоприятного воздействия отходов бурения, образующихся в процессе бурения и эксплуатации скважин на окружающую природную среду. Особенно данное требование актуально для сложных природных и климатических условий северной Арктической зоны Российской Федерации. Для решения данной задачи при проектировании и строительстве объектов на месторождениях широко применяются различные проектные решения, минимизирующие последствия ведения буровых работ на экосистемы региона. В частности, в период строительства скважин производятся и используются так называемые «зеленые» буровые растворы, а также безамбарные методы бурения. Помимо этого, постоянно разрабатываются различные технологии утилизации отходов бурения путем получения строительных материалов, используемых для производства общестроительных работ при строительстве объектов на месторождениях.

В состав отходов бурения, который является многокомпонентным, входят остатки буровых растворов, вода, химические реагенты и шламы горных пород. Помимо перечисленных компонентов в него включены углеводородные

³ Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами // ИТС 9-2020. Москва : Бюро НДТ, 2020. 236 с.

соединения (нефтепродукты), полимеры (добавки для буровых растворов (карбоксиметилцеллюлоза, полиакриламид, полифенол лесохимический, сульфитно-спиртовая барда, окзил и др.) [1–6]. При этом самыми опасными для окружающей природной среды являются органические соединения нефти: углеводороды, фенольные соединения, карбоновые и нафтеновые кислоты, асфальтосмолистые вещества.

Перспективным методом утилизации буровых отходов является их использование при производстве различных строительных материалов. Так, в [2] представлено исследование способа использования бурового шлама для производства дорожно-строительного материала, цементогрунта для укрепления обочин автомобильных дорог. В [3] изучена возможность применения отходов бурения в качестве добавки к портландцементу. Однако наиболее перспективно направление использования бурового шлама в производстве керамических строительных материалов. Исследования в данном направлении проводились авторами [4; 5], которые показали возможность применения буровых шламов в качестве отошающих и выгорающих добавок, а также в качестве добавки к связующему, позволяющей получать широкую номенклатуру обжиговых керамических материалов. В [6] показана возможность высокотемпературной утилизации буровых шламов с получением обжигового инертного материала.

При использовании отходов промышленности в производстве материалов строительного назначения всегда появляется вопрос необходимости оценки степени биологической токсичности данных отходов и их применимости для различных видов материалов [7; 8].

Цель исследования — определение биотоксичности водных вытяжек обжиговых материалов строительного назначения на основе буровых шламов Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения для последующей оценки возможности утилизации данных шламов при производстве различных функциональных материалов строительного назначения.

В работе решены следующие задачи:

- исследование физико-химических свойств исходных образцов буровых шламов Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения;
- получение образцов обжиговых материалов строительного назначения с использованием отходов буровых шламов;
- биотестирование водных вытяжек полученных образцов с использованием в качестве тест-объектов дафний *Daphnia magna Straus*.

Материалы и методы исследований

Объектом исследования в данной работе являлись отходы бурения, образовавшиеся при бурении разведывательных скважин газоносного пласта Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ЯНГКМ) с глубины

3400–3800 м на объектах ООО «Газпром добыча Ямбург» (п. Ямбург, Надымский район, Тюменская область, Ямало-Ненецкий автономный округ) [9].

Буровые отходы в большинстве своем состоят на 30–45 % из выбуренной породы (частицы глины и песка), 30–45 % — это БР и 10–20 % — возможные технологические сбросы подземные воды и нефть: промывные воды, травильные растворы, отработанные электролиты [9].

В табл. 1 представлен химический состав бурового шлама.

Таблица 1. Химический состав бурового шлама, масс. % /
Table 1. Chemical composition of drilling mud, wt. %

BaSO ₄	SiO ₂	Ca(CO ₃)	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Na ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₃
26,19	33,09	8,73	15,54	5,35	6,76 %	4,34 %

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendyrin.

Рентгенофазовый состав представлен следующими фазами: Kaolinite Al₂Si₂O₅(OH)₄, Kaolinite-montmorillonite Na_{0,3}Al₄Si₆O₁₅(OH)₆H₂O, Muscovite KAl₃Si₃O₁₀(OH)₂, Barite BaSO₄, Quartz SiO₂.

В табл. 2 и на рис. 3 представлены данные о гранулометрическом составе исследуемых отходов бурения.

Таблица 2. Гранулометрический состав /
Table 2. Granulometric composition

Размер фракций, мм / Size of fractions, mm	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001
Содержание, % / Content, %	25,81	25,59	23,12	4,72	6,62

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendyrin.

На основе исследуемых буровых шламов были получены образцы строительных материалов с содержанием бурового шлама 30, 40, 50, 60 % по массе, кварцевого песка и портландцемента ПЦ 42,5Н. Обжиг образцов проводился после твердения в нормальных условиях в течение 3 ч при температуре 950 °С в муфельной печи. Составы образцов приведены в табл. 3. После изготовления образцы испытывали по ГОСТ 310.4-81, после чего проводили оценки биотоксичности полученных материалов.

Исследование проводилось следующим образом: готовили водные вытяжки из образцов бурового шлама, затем делали растворы водных вытяжек с дистиллированной водой в соотношении 1:10 (по массе) и выдерживали в течение 10 дней. Уровень pH отфильтрованных растворов составил 14. После этого одну часть отфильтрованной водной вытяжки разбавляли водопроводной водой, а другую нейтрализовали HCl до получения модельных сред с водородным показателем pH = 6,8–7,2 [10]. Для сравнения проводили контроль на водопроводной воде.

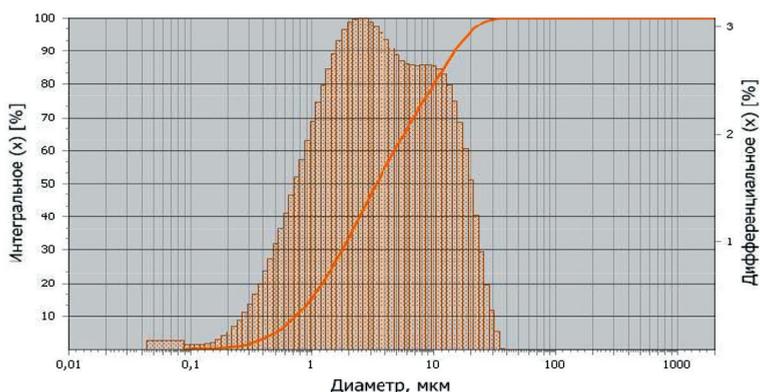


Рис. 3. Распределение частиц по размерам

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

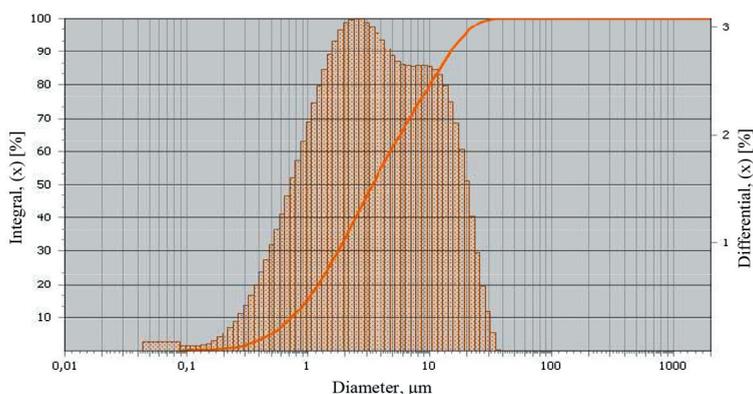


Figure 3. Particle size distribution

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendyrin.

Гигиеническую оценку исследуемых материалов исследовали способом биотестирования водных вытяжек химических соединений, полученных из исследуемых образцов отходов бурения. Биотестирование проводили в соответствии с Методикой ФР.1.39.2007.03222⁴. Объектом для тестирования были выбраны дафнии *Daphnia magna Straus*.

Для исследований готовили сосуды для биотестирования по 100 мл, в которые наливали контрольную и тестируемую водные вытяжки. Затем в сосуды помещали объекты биотестирования (*Daphnia magna Straus*) следующим образом [11]: с использованием трубки из стекла диаметром 5–7 мм отлавливали дафний, помещали в сачок, погружали его в тестируемые образцы вытяжек, переводили в них дафний. При этом посадку дафний вели от тестируемого образца с большей кратностью разбавления к меньшей.

⁴ ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. Москва : Акварос, 2007. 51 с.

Таблица 3. Составы исследуемых образцов /
Table 3. Compositions of the samples

№ состава / № of sample	Содержание бурового шлама, % / Drilling mud content, %	Содержание кварцевого песка, масс. часть / Quartz sand content, wt. part	Содержание портландцемента, масс. часть / The content of Portland cement, wt. part
1	30	0,9	1
2	40	1,2	1
3	50	1,5	1
4	60	1,8	1
Контроль / Control	–	3	1

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendencyrin.

В каждый сосуд помещали по 10 односуточных дафний, которые экспонировались при оптимальных условиях в течение периода времени до 96 часов. Эксперимент повторяли три раза. При кратковременном эксперименте по биотестированию кормление дафний не проводилось⁵ [11].

Подсчет выживших в ходе эксперимента дафний осуществляли через интервалы в 1, 6, 24, 48, 72 и 96 ч. При этом считали выжившими особей, которые были способны передвигаться в толще воды или всплывали со дна сосуда в течение 15 с после легкого встряхивания⁶ [11].

Результаты

Проведено биотестирование водных вытяжек образцов на основе отходов бурового шлама с использованием дафний. Установлено, что выбранные для эксперимента тест-объекты высокочувствительны к уровню щелочности среды, что является причиной их угнетенного состояния либо гибели. В связи с этим для оценки влияния компонентов, входящих в состав исследуемых образцов буровых растворов, было необходимо исключить влияние уровня щелочности или кислотности (рН среды). Для этого тестируемые образцы были разделены на две группы (табл. 4) [10]:

– исходные водные вытяжки с уровнем рН от 5,45 (для исходного бурового раствора) до 12,43 (для исходной вытяжки);

– вытяжки, разбавленные отстоянной водопроводной водой до рН = 6,5 – 7,2; (вытяжки, нейтрализованные до рН = 6,5 – 7,2).

В качестве контроля использовалась отстоянная водопроводная вода [10].

⁵ ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. Москва : Акварос, 2007. 51 с.

⁶ ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. Москва : Акварос, 2007. 51 с.

Таблица 4. Значения pH водных вытяжек, используемых для биотестирования /
Table 4. pH values of aqueous extracts used for biotesting

№ пробы / No. of sample	1	2	3	4	Контроль / Control
pH исходной вытяжки / pH of initial water extracts	11,3	11,1	10,9	10,6	12,6
pH нейтрализованной пробы / pH of neutralized water extracts	6,4	6,45	6,5	6,22	6,9

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendyrin.

Результаты исследований представлены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты биотестирования с использованием дафний рода *Daphnia magna Straus* /
Table 5. Biotesting results using daphnia of the genus *Daphnia magna Straus*

№ пробы / No. of sample	Процент погибших дафний в образце состава, % Percentage of dead daphnia in the sample, %				
	1	2	3	4	Контроль / Control
Водные вытяжки с исходным уровнем pH (контроль) / Water extracts with the initial pH level (control)					
Через 1 ч / After 1 hour	0	0	0	0	0
Через 2 ч / After 2 hour	1	2	0	3	2
Через 24 ч / After 24 hour	12	16	11	20	9
Через 48 ч / After 48 hour	31	33	27	43	17
Через 96 ч / After 96 hour	63	68	61	72	23
Острая токсичность / Acute toxicity	+	+	+	+	+
Водные вытяжки, нейтрализованные / Neutralized water extracts					
Через 1 ч / After 1 hour	0	0	0	0	0
Через 2 ч / After 2 hour	0	0	0	5	0
Через 24 ч / After 24 hour	17	16	15	18	5
Через 48 ч / After 48 hour	24	27	22	27	9
Через 96 ч / After 96 hour	48	47	42	48	10
Острая токсичность / Acute toxicity	–	–	–	–	–

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendyrin.

Методика ФР.1.39.2007.03222⁷ основана на определении смертности дафний (*Daphnia magna Straus*) при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой среде, по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ (контроль). Острое токсическое действие на дафнии определялось по их смертности (летальности) за определенный период экспозиции. Критерием острой токсичности служила гибель 50 % и более дафний за 96 ч в исследуемой пробе при условии, что в контрольном эксперименте все рачки сохраняли свою жизнеспособность.

⁷ ФР.1.39.2007.03222 Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. Москва : Акварос, 2007. 51 с.

В растворах с исходным уровнем pH процент гибели дафний свидетельствует о негативном воздействии щелочной среды. В нейтрализованных и разбавленных процент погибших дафний не превышал 50 %, следовательно, анализируемые среды не оказывали острого токсического действия на гидробионты. Полученные результаты согласуются с результатами многочисленных исследований воздействия отходов бурения нефтегазовой промышленности методами биотестирования [12–20], что свидетельствует об эффективности использования метода высокотемпературной утилизации буровых шламов с получением функциональных материалов строительного назначения.

Выводы

1. Проведенные исследования физико-химических свойств исходных образцов буровых шламов Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения показали, что основными компонентами в составе данных отходов являются барит, кварц, каолинит и другие глинистые минералы;

2. Учитывая химический состав образцов, определено наиболее перспективное направление утилизации данного вида отходов в виде получения образцов обжиговых материалов строительного назначения;

3. Биотестирование водных вытяжек полученных образцов с использованием в качестве тест-объектов дафний *Daphnia magna Straus* показало низкий уровень биотоксичности полученных материалов.

4. Высокотемпературная обработка дает возможность получения функциональных материалов строительного назначения с низким уровнем биотоксичности и влияния на живые организмы, что является важным аспектом разработки технологий утилизации отходов бурения ПАО «Газпром» с высокой долей вовлечения в технологический процесс переработки потенциального отхода, что несет экономический эффект без риска биологического ущерба.

Список литературы

- [1] Леонтьев С.В., Югов В.В. Перспективы использования буровых шламов в производстве строительных материалов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2020. Т. 1. С. 294–298. EDN: FOILIO
- [2] Власов А.С., Пугин К.Г., Тюрюханов К.Ю., Глушанкова И.С., Рудакова Л.В. Использование отходов бурения в составе дорожно-строительных материалов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 3 (30). С. 510–521. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-510-521> EDN: FCAXPR
- [3] Ягафарова Г.Г., Матвеев Ю.Г., Аззамов Ф.А., Рахматуллин В.Р., Рахматуллин Д.В. Применение утилизированного бурового шлама в качестве добавки к портландцементу // Нефтегазовое дело. 2011. Т. 9. № 4. С. 37–39. EDN: PANENP
- [4] Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Инновационные направления по использованию бурового шлама в производстве керамических материалов на основе межслан-

- цевой глины — перспективное направление для «зеленой» экономики // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 3. С. 26–31. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-3-26-31> EDN: YJBYNJ
- [5] Гурьева В.А., Бутримов Н.В., Дорошин А.В., Дубинецкий В.В., Вдовин К.М. Эколого-экономический эффект применения нефтешламов при производстве керамического кирпича // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. Вып. 11 (53). С. 50–53. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.53.002> EDN: XBDONF
- [6] Зимнухова А.Е., Гаевая Е.В. Исследование физико-механических свойств бурового шлама при его высокотемпературном обезвреживании // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 155–162. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-155-162> EDN: WQY TZY
- [7] Тарасова С.С., Гаевая Е.В. Исследования токсичности буровых шламов и возможности их утилизации // Проблемы региональной экологии. 2021. № 3. С. 75–79. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2021-3-75-79> EDN: TBSLWO
- [8] Климова А.А., Мишунина А.С., Азарова С.В., Фоминых Д.Е., Язиков Е.Г. Определение токсичности бурового шлама с территории Томской области методами биотестирования для оценки возможности его дальнейшего использования // Нефтяное хозяйство. 2018. № 4. С. 108–111. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2018-4-108-111> EDN: YWTUHQ
- [9] Выродов О.С., Токач Ю.Е. Технология утилизации отходов бурения в производстве композиционных материалов, обеспечивающих защиту живых организмов от вредного воздействия // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования : Всероссийская научная конференция. 2019. Ч. 2. С. 30–35. EDN: WXORLA
- [10] Старостина И.В., Пендюрин Е.А., Смоленская Л.М. Оценка токсикологических свойств шламовых отходов феррованадиевого производства // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7979> (дата обращения: 05.04.2025). EDN: TODMDX
- [11] Невский А.В. Анализ и синтез водных ресурсосберегающих химико-технологических систем : монография / под ред. В.П. Мешалкин, В.А. Шарнин. Москва : Наука, 2004. 212 с. EDN: QNKRVH
- [12] Брежнева И.Н., Трифонова М.П. Биотестирование бурового шлама на экотоксичность // Проблемы региональной экологии. 2019. № 3. С. 38–41. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-13038> EDN: ETSIUU
- [13] Капелькина Л.П., Чугунова М.В., Бардина Т.В., Малышкина Л.А. Биотестирование буровых шламов нефтяных месторождений // Экологический вестник России. 2013. № 8. С. 25–29. EDN: QZAHQZ
- [14] Тимофеева С.С., Тимофеев С.С. Методы биотестирования для контроля отходов нефтедобычи // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 6 (46). С. 71–76. EDN: NAWXNN
- [15] Крючков В.Н., Курапов А.А. Оценка влияния отходов бурения на гидробионтов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2012. № 1. С. 60–65. EDN: OWPXEB
- [16] Капелькина Л.П., Чугунова М.В., Бардина Т.В., Малышкина Л.А., Герасимов А.О. Оценка токсичности буровых шламов // Токсикологический вестник. 2013. № 6 (123). С. 46–51. EDN: RSODRP
- [17] Саксонов М.Н., Балаян А.Э., Бархатова О.А., Стом Д.И. Использование биотестирования для контроля токсичности компонентов буровых растворов и бурового

шлама // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2008. № 6 (72). С. 32–38. EDN: JVOFGT

- [18] Сипулинов Р.Б., Карагайчева Ю.В., Шилова Н.А., Рогачева С.М. Оценка токсичности отходов нефтедобычи методами биотестирования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 5–2. С. 695–699. EDN: VYZNBP
- [19] Гинц А.В., Никитина Н.Я., Кравцов О.Ю., Кожевников А.А., Парфенюк В.И. Экспресс-методика оценки возможности утилизации буровых шламов // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2007. Т. 248. С. 44–50. EDN: IBWJCR
- [20] Балыев Т.В., Шумаев А.А., Токач Ю.Е. Экологическое воздействие буровых растворов на окружающую среду // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования : сборник докладов Всероссийской научной конференции. 2019. Ч. 1. С. 45–49. EDN: QECQPY

References

- [1] Leontev SV, Yugov VV. Prospects for the use of drill cuttings in the production of building materials application of bored piles at construction on soft soils. *Modern technologies in construction. Theory and practice*. 2020;1:294–298. (In Russ.) EDN: FOILIO
- [2] Vlasov AS, Pugin KG, Tyuryukhanov KYu, Glushankova IS, Rudakova LV. Use of drilling waste as road construction materials. *Izvestiya vuzov Investitsiyi Stroyitelstvo Nedvizhimost*. 2019;3(30):510–521. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-510-521> EDN: FCAXPR
- [3] Yugafarova GG, Matveev YuG, Agzamov FA, Rakhmatullin VR, Rakhmatullin DV. Using utilized drillings ludge as additive s to portland cement. *Oil and gas business*. 2011;9(4):37–39. (In Russ.) EDN: PANEHP
- [4] Abdrakhimov VZ, Abdrakhimova ES. Innovative directions for the use of drilling mud in the production of ceramic materials based on shale clay — a promising direction for the “green” economy. *Ecology and industry of Russia*. 2017;21(3):26–31. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-3-26-31> EDN: YJBYHJ
- [5] Guryeva VA, Butrimova NV, Doroshin AV, Dubinetsky VV, Vdovin KM. Ecological and economic effect of the use of oil sludge in the production of ceramic bricks. *International Scientific Research Journal*. 2016;11(53):50–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.53.002> EDN: XBDONF
- [6] Zimnukhova AE, Gaevaya EV. Research of physical and mechanical properties of drilling sludges during its high-temperature neutralization. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):155–162. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-155-162> EDN: WQYTZY
- [7] Tarasova SS, Gaevaya EV. Research of the toxicity of drill sludges and the possibility of their disposal. *Problems of Regional Ecology*. 2021;3:75–79. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2021-3-75-79> EDN: TBSLWO
- [8] Klimova AA, Mishunina AS, Azarova SV, Fominykh DE, Yazikov EG. Determining the toxicity of drilling muds using the methods of biotesting, case study of Tomsk region the territory. *Oil industry*. 2018;4:108–111. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2018-4-108-111> EDN: YWTUHQ
- [9] Vyrodov OS., Tokach YuE. Technology of drilling waste disposal in the production of composite materials that protect living organisms from harmful effects. *Safety, protection and protection of the natural environment: fundamental and applied research. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference*. 2019;2:30–35. (In Russ.) EDN: WXORLA

- [10] Starostina IV, Pendyurin EA, Smolenskaya LM. Toxicological properties of sludge waste production ferrovanadium. *Modern Problems of Science and Education*. 2012;(6). (In Russ.) Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7979> (accessed: 05.04.2025). EDN: TODMDX
- [11] Nevsky AV. *Analysis and synthesis of water resource chemical processes systems*. VP Meshalkin, VA Sharnin (eds.). Moscow: Nauka Publ.; 2004, 212 p. (In Russ.). EDN: QNKRVH
- [12] Brezhneva IN, Trifonova MP. Biotesting of drilling cuttings on ecotoxicity. *Problems of Regional Ecology*. 2019;3:38–41. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-13038> EDN: ETSIUU
- [13] Kapelkina LP, Chugunova MV, Bardina TV, Malyshkina LA. Biotesting of drilling sludge from oil fields. *Ecological Bulletin of Russia*. 2013;8:25–29. (In Russ.) EDN: QZAHQZ
- [14] Timofeeva SS, Timofeev SS. Biotesting methods to control petroleum production wastes. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2010;(6):71–76. (In Russ.) EDN: NAWXNN
- [15] Kryuchkov VN, Kurapov AA. Assessment of the impact of drilling waste on hydrobionts. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2012;(1):60–65. (In Russ.) EDN: OWPXEB
- [16] Kapelkina LP, Chugunova MV, Bardina TV, Malyshkina LA, Gerasimov AO. Evaluation of drill cuttings toxicity. *Toxicological Review*. 2013;(6):46–51. (In Russ.) EDN: RSODRP
- [17] Saksonov MN, Balayan AE, Barkhatova OA, Stom DI. Use of biotesting to control toxicity of drilling muds and sludge components. *Oil and Gas Studies*. 2008;(6):32–38. (In Russ.) EDN: JVOFGT
- [18] Sipulinov RB, Karagaycheva YuV, Shilova NA, Rogacheva SM. Estimation the toxicity of oil production waste by biotesting methods. *Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015;17(5-2):695–699. (In Russ.) EDN: VYZNBP
- [19] Gintz AV, Nikitina NYa, Kravtsov OYu, Kojevnikov AA, Parfenuk VI. The express-method to assess possibilities of drilling sludge utilization. *Izvestija VNIIG im. B.E. Vedeneeva — Proceedings of the VNIIG*. 2007;248:44–50. (In Russ.) EDN: IBWJCR
- [20] Baluyev TV, Shumaev AA, Tokach YuE. Environmental impact of drilling fluids on the environment. *Safety, Protection and Protection of the Natural Environment: Fundamental and Applied Research. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference*. 2019;1:45–49. (In Russ.) EDN: QECQPY

Сведения об авторах:

Выродов Олег Сергеевич, аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Российская Федерация, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46. ORCID: 0000-0001-6798-8146, eLIBRARY SPIN-код: 1098-4350. E-mail: iogig@yandex.ru

Токач Юлия Егоровна, кандидат технических наук, доцент, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Российская Федерация, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46. ORCID: 0000-0002-2516-0938; eLIBRARY SPIN-код: 1981-0073. E-mail: tokach@bk.ru

Рубанов Юрий Константинович, кандидат технических наук, профессор, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Российская Федерация, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46. ORCID: 0000-0002-1953-5019; eLIBRARY SPIN-код: 2990-0032. E-mail: rubanov46@bk.ru

Пендюрин Евгений Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Российская Федерация, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46. ORCID: 0000-0003-4826-3654; eLIBRARY SPIN-код: 1507-2474. E-mail: pendyrinea@yandex.ru

Федюк Герман Романович, студент, Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация, 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10. ORCID: 0009-0005-4670-0461. E-mail: gerafediuk@gmail.com

Bio notes:

Oleg S. Vyrodov, postgraduate student, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St, Belgorod, 308012, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6798-8146; eLIBRARY SPIN-code: 1098-4350. E-mail: iogig@yandex.ru

Yulia E. Tokach, Candidate of Technical Science, Associate Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St, Belgorod, 308012, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2516-0938; eLIBRARY SPIN-code: 1981-0073. E-mail: tokach@bk.ru

Yury K. Rubanov, Candidate of Technical Science, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St, Belgorod, 308012, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1953-5019; eLIBRARY SPIN-code: 2990-0032. E-mail: rubanov46@bk.ru

Evgeniy A. Pendyrin, Candidate of Agricultural Science, Associate Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St, Belgorod, 308012, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4826-3654; eLIBRARY SPIN-code: 1507-2474. E-mail: pendyrinea@yandex.ru

German S. Fediuk, Far Eastern Federal University, 10 Ajax, Russry Island, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0009-0005-4670-0461. E-mail: gerafediuk@gmail.com