



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

2025 Том 33 № 3

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3

<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

*Бобровицкий Игорь Петрович*, член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, заместитель начальника по научной работе филиала № 2 ФГБУ «НМИЦ ВМТ им. А.А. Вишневского» 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

*Дэсан 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

*Садыков 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, East View, 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 исследований 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, радиозэкология 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 Н.А. Ясько**

## Адрес редакции:

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

---

Подписано в печать 16.08.2025. Выход в свет 30.08.2025. Формат 70×108/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times New Roman».  
Усл. печ. л. 14,88. Тираж 500 экз. Заказ № 1263. 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](mailto:publishing@rudn.ru)



## RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

2025 VOLUME 33 NO. 3

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3

<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. Bobrovitskii*, 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, East View 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 N.A. Yasko**

**Address of the editorial office:**

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭКОЛОГИЯ

- Лежнев Д.В., Коротков С.А., Меняева В.А.** Флористический состав и структура живого напочвенного покрова в сосновых насаждениях города Москвы ..... 237
- Аникина Н.А., Крышев А.И., Каткова М.Н.** Радиоэкологическая оценка состояния морской среды в районе затопления атомной подводной лодки К-159 по результатам научно-исследовательской экспедиции в 2023 году ..... 255
- Земскова Л.А., Нестеренко В.М., Анищенко Л.Н.** Лимитирующие факторы распространения *Viscum album* L. и биоиндикационные характеристики биомассы адвентивного вида в Брянской области ..... 268
- Дьякова Н.А.** Эколого-гигиеническая оценка загрязнения почв урбоценозов Центрального Черноземья приоритетными экотоксикантами ..... 284

### ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Юрк В.М., Шашкова А.А., Снегирев В.А., Третьякова Н.А.** Оценка возможности использования гидролизного лигнина для биологической рекультивации ..... 298
- Симанович С.В., Гаврилин И.И.** Некоторые аспекты адаптации средств измерений для инструментального контроля выбросов с использованием БПЛА .... 312
- Сергеев Е.С., Геннадьева А.М., Богачук Д.В., Калаева С.З., Филиппова О.П.** Совершенствование технологий утилизации гальванических шламов ..... 328
- Русских Я.М., Шерстобитов Д.Н., Машенко З.Е., Ермаков В.В., Тупицына О.В.** Изменение микробного консорциума в процессе утилизации застарелой послеспиртовой барды методом аэробного компостирования ..... 342

### ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Шилов В.А., Ладыгина О.В.** Геоэкологическая устойчивость прибрежных экосистем в условиях трансформации малых городов ..... 352
- Березкин В.Ю., Волкова В.Д., Дегтярёв А.П., Калеро Эррера В.К., Якименко О.С., Терехова В.А.** Влияние полимерных материалов на подвижные формы тяжелых металлов при разном уровне полиметаллического загрязнения дерново-подзолистой почвы ..... 366

### УГЛЕРОДНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ, ЭКОНОМИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ

- Савенкова Е.В., Кашаев К.Р., Цибарева Д.О.** Перспективы участия российских верификаторов в программе Глобального углеродного совета и их роль в обеспечении доверия к климатическим проектам и качеству верификации углеродных единиц ..... 380

## CONTENTS

### ECOLOGY

- Lezhnev D.V., Korotkov S.A., Menyaeva V.A.** Floristic composition and structure of soil vegetation cover in pine stands of Moscow ..... 237
- Anikina N.A., Kryshev A.I., Katkova M.N.** Radioecological assessment of the marine environment in the area of the sinking of the nuclear submarine K-159 based on the results of the scientific research expedition in 2023 ..... 255
- Zemskova L.A., Nesterenko V.M., Anishchenko L.N.** Limiting factors of *Viscum Album* L. spread and bioindication characteristics of alien species biomass in the Bryansk region ..... 268
- Dyakova N.A.** Ecological and hygienic assessment of soil pollution of urbocenoses of the Central Chernozem region with priority ecotoxicants ..... 284

### ENVIRONMENTAL ENGINEERING

- Yurk V.M., Shashkova A.A., Snegirev V.A., Tretyakova N.A.** Assessment of the possibility of using hydrolysis lignin for biological reclamation ..... 298
- Simanovich S.V., Gavrilin I.I.** Some aspects of adaptation of measuring instruments for instrumental emission control using UAVs ..... 312
- Sergeev E.S., Gennadyeva A.M., Bogachuk D.V., Kalaeva S.Z., Filippova O.P.** Improvement of galvanic sludges utilization technologies ..... 328
- Russkikh Y.M., Sherstobitov D.N., Mashchenko Z.E., Ermakov V.V., Tupitsyna O.V.** Changes in the microbial consortium during the disposal of aged post-fermentation distillery grain using the aerobic composting method ..... 342

### GEOECOLOGY

- Shilov V.A., Ladygina O.V.** Hydrological Stability of Coastal Ecosystems Under the Transformation of Small Towns ..... 352
- Berezkin V.Yu., Volkova V.D., Degtyarev A.P., Calero Errera V.K., Yakimenko O.S., Terekhova V.A.** Influence of polymeric materials on mobile forms of heavy metals at different levels of polymetallic pollution of sod-podzolic soil ..... 366

### CARBON REGULATION, CLIMATE PROJECTS, ECONOMY AND SAFETY

- Savenkova E.V., Kashaev K.R., Tsibareva D.O.** Prospects for participation of Russian verifiers in the Global Carbon Council program and their role in ensuring trust in climate projects and the quality of verification of carbon units ..... 380



## ЭКОЛОГИЯ

## ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-237-254

EDN: QLNFKL

УДК 574.47

Научная статья / Research article

**Флористический состав и структура живого напочвенного покрова в сосновых насаждениях города Москвы****Д.В. Лежнев<sup>1,2</sup>  , С.А. Коротков<sup>2,3</sup> , В.А. Меняева<sup>3</sup> **

<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Институт лесоведения РАН, с. Успенское, Московская обл., Российская Федерация

<sup>3</sup>Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Мытищи, Российская Федерация  
 lezhnev.daniil@yandex.ru

**Аннотация.** Приведен анализ флористического состава и структуры живого напочвенного покрова в сосновых насаждениях Москвы на примере двух участков – национального парка «Лосиный остров» и Лесной опытной дачи РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. Актуальность работы обусловлена возрастающим антропогенным воздействием на городские леса, проявляющимся в изменении видового разнообразия и структуры живого напочвенного покрова. Проведены полевые исследования на 20 пробных площадях с использованием методов геоботанических описаний, шкал Элленберга, индекса Шеннона и коэффициента Жаккара. Установлено, что общее проективное покрытие живого напочвенного покрова в «Лосином острове» составляет в среднем 76 %, в Лесной опытной даче – 51 %. Преобладают виды неморальной группы. Выявлено низкое сходство флористического состава между объектами исследования ( $K_j = 25,4$  %) и относительно низкое видовое разнообразие (индекс Шеннона  $< 1$ ), что обусловлено разной степенью рекреационной нагрузки. Зарегистрировано четыре адвентивных (в том числе инвазивных) вида, оказывающих влияние на устойчивость экосистем. Полученные

© Лежнев Д.В., Коротков С.А., Меняева В.А., 2025



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

результаты могут быть использованы для мониторинга состояния городских лесов и оценки их рекреационной устойчивости.

**Ключевые слова:** фитоценоз, травяно-кустарничковый ярус, эколого-ценотические группы, национальный парк «Лосиный остров», Лесная опытная дача, Москва

**Вклад авторов.** *Лежнев Д.В.* – проведение исследования, концептуализация, визуализация, критический анализ текста; *Коротков С.А.* – научное руководство исследованием, верификация данных; *Меняева В.А.* – проведение исследования, визуализация, создание и редактирование рукописи. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

**История статьи:** поступила в редакцию 01.04.2024; доработана после рецензирования 30.04.2025; принята к публикации 12.05.2025.

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

**Для цитирования:** *Лежнев Д.В., Коротков С.А., Меняева В.А.* Флористический состав и структура живого напочвенного покрова в сосновых насаждениях города Москвы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 3. С. 237–254. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-237-254>

## Floristic composition and structure of soil vegetation cover in pine stands of Moscow

Daniil V. Lezhnev<sup>1,2</sup>, Sergei A. Korotkov<sup>2,3</sup>, Vera A. Menyayeva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Institute of Forest Science, RAS, Uspenskoe, Moscow region, Russian Federation*

<sup>3</sup>*Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation*

lezhnev.daniil@yandex.ru

**Abstract.** The paper provides an analysis of the floral composition and structure of living ground cover in Moscow pine stands using the example of two sites – the Losiny Ostrov National Park and the Timiryazev Russian State Agricultural Academy Experimental Forest Station. The relevance of the work is due to the increasing anthropogenic impact on urban forests, manifested in changes in the species diversity and structure of the crop. Field studies were conducted on 20 test areas using methods of geobotanical descriptions, Ellenberg scales, the Shannon index and the Jaccard coefficient. It was found that the total projective coverage of the housing and communal services in Losiny Ostrov averages 76%, in the Forest Experimental Station – 51%. The types of the non-moral group prevail. A low similarity of the floral composition between the study objects ( $K_j = 25.4\%$ ) and a relatively low species diversity (Shannon index  $< 1$ ) was revealed, which is due to the varying degree of recreational activity. There are 4 adventitious (including invasive) species that have an impact on ecosystem stability. The results obtained can be used to monitor the state of urban forests and assess their recreational sustainability.

**Keywords:** pine stands, phytocenosis, floristic composition, soil vegetation cover, grass-shrub layer, Losiny Ostrov National Park, Forest Experimental Station, Moscow

**Authors' contribution.** *D.V. Lezhnev* – conducting research, conceptualization, visualization, critical analysis of the text; *S.A. Korotkov* – scientific management of research, verification of data; *V.A. Menyaeva* – conducting research, visualization, creation and editing of the manuscript. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Article history:** received 01.04.2024; revised 30.04.2025; accepted 12.05.2025.

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

**For citation:** Lezhnev DV, Korotkov SA, Menyaeva VA. Floristic composition and structure of soil vegetation cover in pine stands of Moscow. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):237–254. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-237-254>

## Введение

Изменения экологических условий, в том числе вызванных антропогенным воздействием, в лесных фитоценозах в первую очередь сказываются на живом напочвенном покрове (ЖНП) [1]. Флористические и эколого-ценотические особенности живого напочвенного покрова используются в качестве индикатора степени различного рода факторов, в том числе рекреационного воздействия [2].

Одним из интегральных показателей лесных фитоценозов как индикатора изменяющихся локальных экологических условий, в том числе и городских, является живой напочвенный покров [3]. Формирование нижних ярусов растительности в лесных сообществах детерминировано видом-эдификатором [4]. Основным источником биоразнообразия растительного покрова в лесах, как правило, является живой напочвенный покров [5–7].

В настоящее время отмечается процесс урбанизации, обусловленный развитием индустриализации и ростом городов. Это приводит к высокому антропогенному воздействию на городские леса, снижению их защитных функций [8; 9].

Московская городская агломерация характеризуется интенсивным антропогенным воздействием, проявляющимся как прямо, так и опосредованно. При этом одним из ведущих процессов в регионе является урбанизация [10–12]. Лесные насаждения города Москвы подвержены как высокому техногенному воздействию и рекреационным нагрузкам, так и влиянию климатических изменений.

Рекреация является одним из антропогенных факторов воздействия на компоненты природной среды, приводящим к ее качественному изменению [13–15]. Современное рекреационное лесопользование включает в себя разработку критериев и индикаторов оценки лесов, используемых для рекреации; подбор методов исследования процессов дигрессии рекреационных лесов под воздействием антропогенной нагрузки; осуществление мероприятий, направленных на сохранение и улучшение состояния рекреационных лесов

[16]. В методологии рекреационной оценки лесных насаждений выделяется несколько направлений, в том числе оценка рекреационного потенциала лесов по привлекательности, комфортности и устойчивости [17]. Н.П. Бунькова и С.В. Залесов показали, что при увеличении степени рекреационного воздействия снижается скорость малого биоциркуловорота в спелых сосновых насаждениях [18].

Актуальность проведения данного исследования обусловлена протекающими сукцессионными процессами в сосновых фитоценозах г. Москвы.

В настоящее время в результате изменения климатических характеристик и высокого рекреационного использования особого внимания заслуживают исследования, направленные на изучение живого напочвенного покрова в лесных фитоценозах урбанизированной среды [19–21].

**Цель исследования** – изучение флористического состава и структуры живого напочвенного покрова в сосновых фитоценозах урбанизированной среды.

**Задачи:**

- оценить флористический состав, проективное покрытие и обилие живого напочвенного покрова;
- проанализировать распределение живого напочвенного покрова по эколого-ценотическим группам;
- провести анализ распределения растений по экологическим факторам с использованием шкал Элленберга;
- рассчитать коэффициент сходства растительных сообществ Жаккара и определить индекс разнообразия Шеннона.

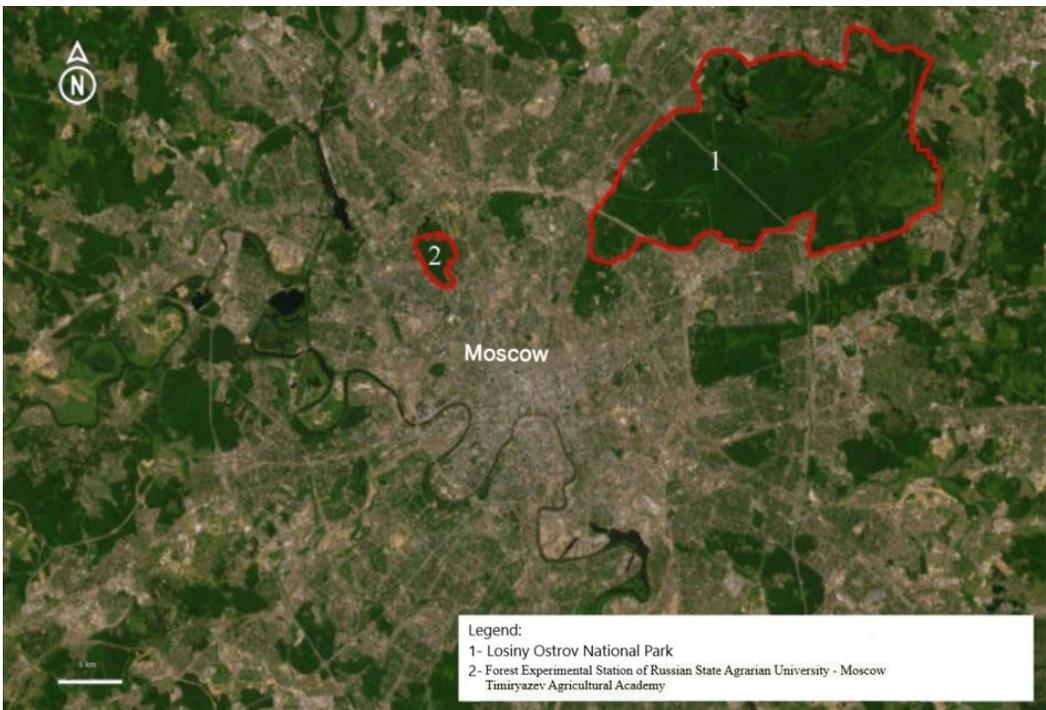
### Методика исследования

На примере 20 постоянных пробных площадей (ППП) рассмотрен флористический состав и структура живого напочвенного покрова. Предметом исследования стал живой напочвенный покров в сосновых фитоценозах, расположенных в национальном парке «Лосиный остров» и Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (рис. 1). Названия видов приведены по П.Ф. Маевскому [22], также определена адвентивная флора по С.Р. Майорову [23].

На ППП проводились следующие виды полевых работ: сплошной перебор деревьев; измерение диаметра деревьев на высоте 1,3 м с толщиной ствола > 6 см; измерение высоты у 15–25 модельных деревьев высотомером *Haglof Vertex III*; оценка жизненного состояния деревьев и распределение по категориям санитарного состояния; определены состав, бонитет, запас, относительная полнота, а также средние значения по диаметру и высоте. Тип лесорастительных условий С<sub>2</sub> – С<sub>3</sub>. Тип леса – сосняк сложный, бонитет Ia – II (табл. 1).



**Рис. 1. Карта-схема расположения объектов исследования**  
*Источник:* составлено Д.В. Лежневым, С.А. Коротковым, В.А. Меняевой.



**Figure 1. The map is a diagram of the location of the research objects**  
*Source:* compiled by D.V. Lezhnev, S.A. Korotkov, V.A. Menyayeva.

Особое внимание уделено описанию травяно-кустарникового яруса. На каждой учетной площадке определяли флористический состав живого напочвенного покрова и обилие видов, общее проективное покрытие и проективное покрытие каждого вида. При характеристике количественного участия видов в фитоценозе использовалась балльная шкала обилия Друде.

При распределении травянистой растительности на эколого-ценотические группы (ЭЦГ) использовали классификации, предложенные А.А. Ниценко [24], Г.М. Зозулиной [25] и О.В. Смирновой с соавт. [26].

Для изучения разнообразия видов на исследуемых объектах был рассчитан индекс разнообразия Шеннона [27]:

$$H = -\sum_{i=0}^q p_i \cdot \log p_i, \quad (1)$$

где  $q$  – это число видов на площадке;  $p_i$  – это относительное участие вида  $i$ :

$$p_i = \frac{A_i}{A}, \quad (2)$$

где  $A_i$  – участие вида  $i$ , а  $A$  – сумма участия всех видов.

При изучении растительных сообществ был проведен анализ сходства растительных сообществ. Для этого рассчитывали коэффициент Жаккара ( $K_j$ ):

$$K_j = \frac{N_{A+B}}{N_A + N_B - N_{A+B}}, \quad (3)$$

где  $N_{A+B}$  – число общих видов или жизненных форм в геоботанических описаниях  $A$  и  $B$ ;  $N_A$  и  $N_B$  – число видов или жизненных форм соответственно в геоботаническом описании  $A$  и  $B$ .

## Результаты и обсуждение

Исследуемые насаждения являются сложными по форме и имеют высокую относительную полноту. В «Лосином острове» относительная полнота первого яруса древостоя варьирует от 0,52 до 0,85, в Лесной опытной даче от 0,69 до 1,13 (табл. 1).

В национальном парке «Лосиный остров» зарегистрирован 51 вид сосудистых растений, относящихся к 44 родам из 28 семейств. Наиболее представлены семейства: *Rosaceae* – 11,8%; *Asteraceae* – 9,8%; *Lamiaceae*, *Ranunculaceae* – 7,8%; остальные семейства имеют долю от общего числа видов менее 6%.

В Лесной опытной даче зарегистрировано 13 видов сосудистых растений, относящихся к 11 родам из 11 семейств. Наиболее представлены семейства *Rosaceae* и *Lamiaceae* с долевым участием от общего числа видов 15,4%, остальные семейства имеют долю менее 8%.

Таблица 1. Таксационное описание ППП на объектах исследования  
Table 1. Taxational description of POP at the research sites

| № / No.  | Ярус / Tier | Состав / Composition | Возраст / Age | Средняя / Average     |                            | Полнота / Canopy | Запас, м <sup>3</sup> /га / Stock, m <sup>3</sup> /ha |
|--|-------------|----------------------|---------------|-----------------------|----------------------------|------------------|---|
|  |             |                      |               | высота, м / height, m | диаметр, см / diameter, cm |                  |   |
| Национальный парк «Лосиный остров» / National Park Losiny Ostrov |             |                      |               |                       |                            |                  |   |
| 3  | I           | 10С+Б                | 72            | 27,6                  | 28,7                       | 0,84             | 500   |
|  | II          | 5Лп5Я                | –             | 15,2                  | 14,7                       | 0,16             | 30  |
| 5  | I           | 9С1Б+Лп              | 74            | 28,4                  | 31,4                       | 0,83             | 470   |
|  | II          | 7Лп3Д                | –             | 14,6                  | 14,1                       | 0,14             | 41  |
| 11   | I           | 10С+Б                | 84            | 30,6                  | 34,4                       | 0,85             | 590   |
|  | II          | 8Лп1Е1В              | –             | 18,4                  | 17,5                       | 0,28             | 102   |
| 14   | I           | 6С4Б+Лп              | 87            | 26,5                  | 33,1                       | 0,52             | 259   |
|  | II          | 5Кло4Лп1С            | –             | 17,7                  | 16,4                       | 0,25             | 42  |
| 35   | I           | 7С2Б1Е               | 153           | 30,0                  | 40,4                       | 0,81             | 467   |
|  | II          | 3Лп2Б2Е2В1Л          | –             | 18,7                  | 18,2                       | 0,16             | 36  |
| 38   | I           | 7С2Е1Б               | 163           | 32,6                  | 44,8                       | 0,78             | 556   |
|  | II          | 8Е1В1Кло             | –             | 16,7                  | 16,6                       | 0,09             | 28  |
| 45   | I           | 4С3Л2Б1В+Барх        | 88            | 27,2                  | 36,3                       | 0,76             | 386   |
|  | II          | 6Кло2Лп1Кля1Барх     | –             | 17,5                  | 13,7                       | 0,21             | 45  |
| 53   | I           | 3С5Б1Лп1Д+В          | 73            | 32,5                  | 37,8                       | 0,69             | 320   |
|  | II          | 3Б3Кло2Лп1Д1В        | –             | 19,3                  | 15,7                       | 0,29             | 68  |
| 54   | I           | 5С4Б1Д+Лп            | 71            | 27,5                  | 33,5                       | 0,84             | 416   |
|  | II          | 5Кло3Лп2Д            | –             | 17,1                  | 21,4                       | 0,19             | 42  |
| 55   | I           | 4С5Б1Лп              | 148           | 26,4                  | 29,9                       | 0,83             | 345   |
|  | II          | 7Лп3Д                | –             | 16,1                  | 14,9                       | 0,12             | 30  |
| Лесная опытная дача / Forest Experimental Station                |             |                      |               |                       |                            |                  |   |
| 4/А  | I           | 9С1Б+Лп, Д           | 132           | 31,1                  | 32,8                       | 1,01             | 656   |
|  | II          | 10Кло                | –             | 21,2                  | 18,7                       | 0,19             | 61  |
| 4/Б  | I           | 9С1Лп                | 132           | 31,8                  | 34,5                       | 1,02             | 680   |
|  | II          | 4Лп6Кло              | –             | 15,6                  | 17,5                       | 0,19             | 40  |
| 4/В  | I           | 8С1Лп1Кло            | 132           | 30,9                  | 32,0                       | 0,93             | 609   |
|  | II          | 10Кло                | –             | 21,4                  | 19,3                       | 0,26             | 84  |
| 4/Е  | I           | 9С1Лп                | 132           | 32,5                  | 36,5                       | 1,11             | 740   |
|  | II          | 9Кло1С               | –             | 17,7                  | 18,6                       | 0,36             | 72  |
| 4/Д  | I           | 10С+Б, Лп            | 132           | 32,3                  | 32,5                       | 0,92             | 623   |
|  | II          | 6Кло3С1Лп+Б          | –             | 17,2                  | 17,1                       | 0,29             | 70  |
| 4/М  | I           | 9С1Лп                | 133           | 31,4                  | 34,8                       | 0,94             | 622   |
|  | II          | 6Лп3В1Кло            | –             | 16,8                  | 23,5                       | 0,09             | 21  |
| 4/Н  | I           | 10С                  | 133           | 31,9                  | 36,5                       | 0,69             | 459   |
|  | II          | 7Е3В                 | –             | 16,8                  | 16,8                       | 0,04             | 11  |
| 4/О  | I           | 10С+Е                | 133           | 32,5                  | 37,8                       | 1,13             | 753   |
|  | II          | 6Б4В                 | –             | 15,4                  | 19,3                       | 0,05             | 17  |
| 4/Р  | I           | 7С2Лп1Е+Д            | 132           | 29,8                  | 33,9                       | 0,90             | 563   |
|  | II          | 5Лп3Кло1Е1В          | –             | 14,3                  | 14,2                       | 0,09             | 18  |
| 4/С  | I           | 10С+Лп, Е            | 134           | 30,4                  | 35,6                       | 0,93             | 589   |
|  | II          | 8Е2В                 | –             | 17,1                  | 15,7                       | 0,11             | 30  |

Примечание/ Note: С – *Pinus sylvestris* L., Б – *Betula pendula* Roth, Лп – *Tilia cordata* M., Е – *Picea abies* K., Д – *Quercus robur* L., Кло – *Acer platanoides* L., Кля – *Acer negundo* L., В – *Ulmus laevis* P., Л – *Larix decidua* Mill., Барх – *Phellodendron amurense* Rupr, Я – *Fraxinus excelsior* L.

Источник: составлено Д.В. Лежневым, С.А. Коротковым, В.А. Меняевой.

Source: compiled by D.V. Lezhnev, S.A. Korotkov, V.A. Menyayeva.

При сравнительном анализе флористического состава в национальном парке «Лосиный остров» и в Лесной опытной даче можно сделать вывод, что преобладает семейство *Rosaceae* с долевым участием – 11,8 % и 15,4 % соответственно, что также подтверждается более ранними работами авторов [28; 29].

Для исследуемых объектов определена встречаемость видов на ППП и рассчитано долевое участие видов. В «Лосином острове» наибольшей встречаемостью обладают *Carex pilosa* Huds., *Convallaria majalis* L., *Fragaria vesca* L., встречаемость данных видов составляет 90 %. Незначительно ниже встречаемость у *Asarum europaeum* L., *Glechoma hederacea* L., *Oxalis acetosella* L., *Stellaria holostea* L. – 80 %, а остальные виды встречаются менее 70 %. Наибольшей долей участия на всех ППП в «Лосином острове» обладает *Oxalis acetosella* L. – 21,5 %; *Impatiens noli-tangere* L. – 9,3 %; *Aegopodium podagraria* L. – 8,7 %; *Glechoma hederacea* L. – 6,0 %. Общая доля участия других видов составляет менее 5 %.

В Лесной опытной даче наибольшей встречаемостью обладают *Athyrium filix-femina* (L.) Roth и *Impatiens noli-tangere* L. – 100 %; *Oxalis acetosella* L. – 90 %; *Carex pilosa* Huds. и *Galeobdolon luteum* Huds. – 80 %; *Geum urbanum* L. – 70 %, другие виды встречаются менее 30%. Наибольшей долей участия в Лесной опытной даче на всех ППП обладает *Oxalis acetosella* L. – 35,9 %; *Carex pilosa* Huds. – 25,6 %; *Impatiens noli-tangere* L. – 16,4 %; *Galeobdolon luteum* Huds. – 9,8 %. Другие виды в общей доле участия имеют менее 6 %.

В целом на объектах исследования наибольшей долей участия обладает *Oxalis acetosella* L. – 21,5 и 35,9 %; *Impatiens noli-tangere* L. – 9,3 и 16,4 %, соответственно.

Инвазивные виды представляют собой серьезную угрозу местному биоразнообразию и экосистемным функциям во всем мире [30–32]. При изучении напочвенного покрова «Лосиного острова» было обнаружено четыре адвентивных вида: *Erigeron strigosus* H.L. Muhl. ex Willd., *Impatiens glandulifera* Royle, *Impatiens parviflora* DC., *Myosotis sylvatica* Ehrh. с долевым участием 3,2 %, в том числе инвазивная *Impatiens parviflora* DC занимает долю – 2,9 %.

Для оценки структурного разнообразия растительного покрова в современных исследованиях широко используется распределение по эколого-ценотическим группам (рис. 2–3) [33–35].

В «Лосином острове» значительную часть на всех ППП занимает неморальная группа. Водно-болотная группа представлена *Cirsium palustre* (L.) Scop. и *Comarum palustre* L., а боровая – *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.

В Лесной опытной даче, так же, как и в «Лосином острове», преобладает на всех ППП неморальная группа. Всего на объекте исследования отмечено четыре группы ЭЦГ.

Сравнивая «Лосиный остров» и Лесную опытную дачу, можно сделать вывод, что на обоих объектах присутствуют виды неморальной, нитрофильной, бореальной и высокотравной групп. Типологическое разнообразие в «Лосином острове» выше, чем в Лесной опытной даче, за счет присутствия видов луговой, боровой и водно-болотной групп.

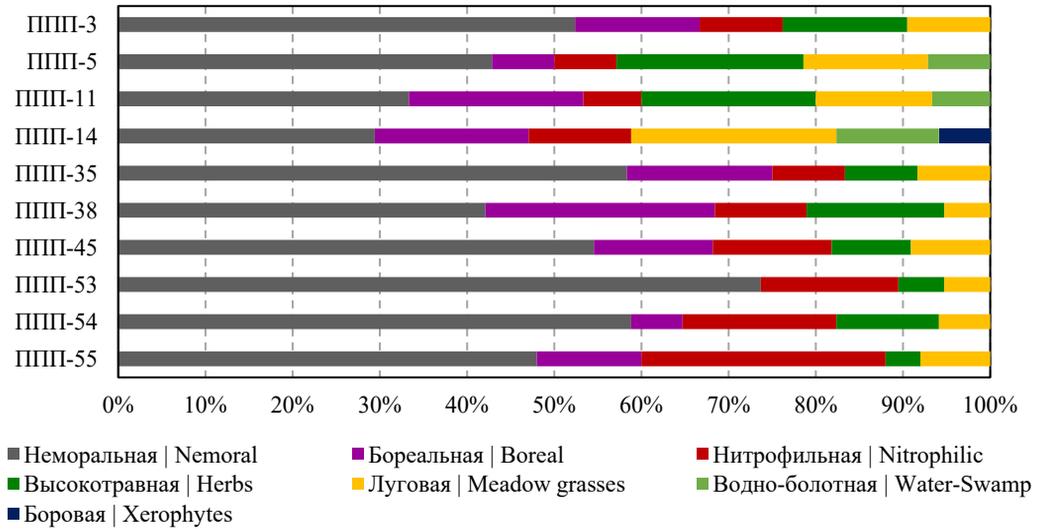


Рис. 2. Распределение живого напочвенного покрова по эколого-ценотическим группам в «Лосином острове», %

Источник: составлено Д.В. Лежневым, С.А. Коротковым, В.А. Меняевой.

Figure 2. Distribution of living ground cover by ecological and cenotic groups on the Losiny Ostrov, %  
Source: compiled by D.V. Lezhnev, S.A. Korotkov, V.A. Menyayeva.

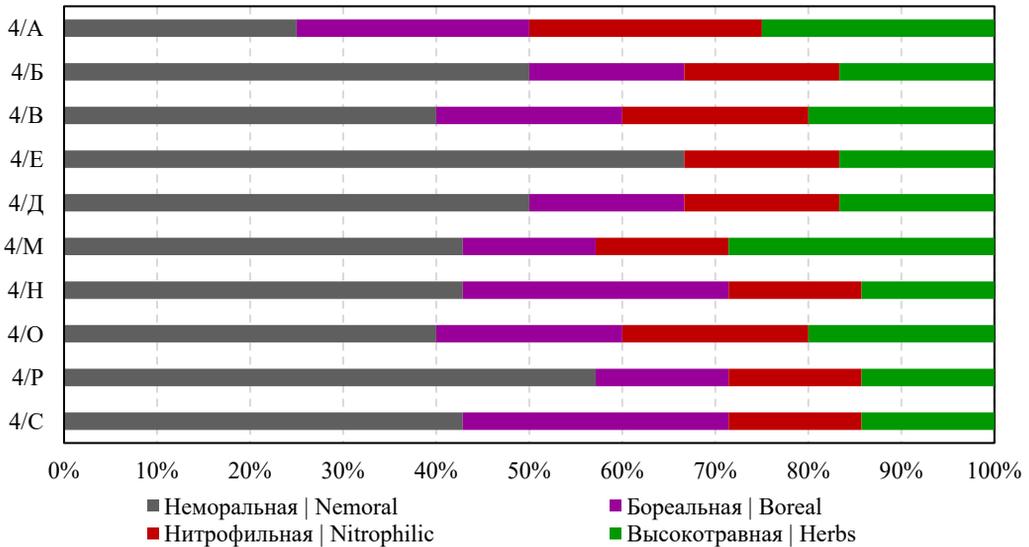


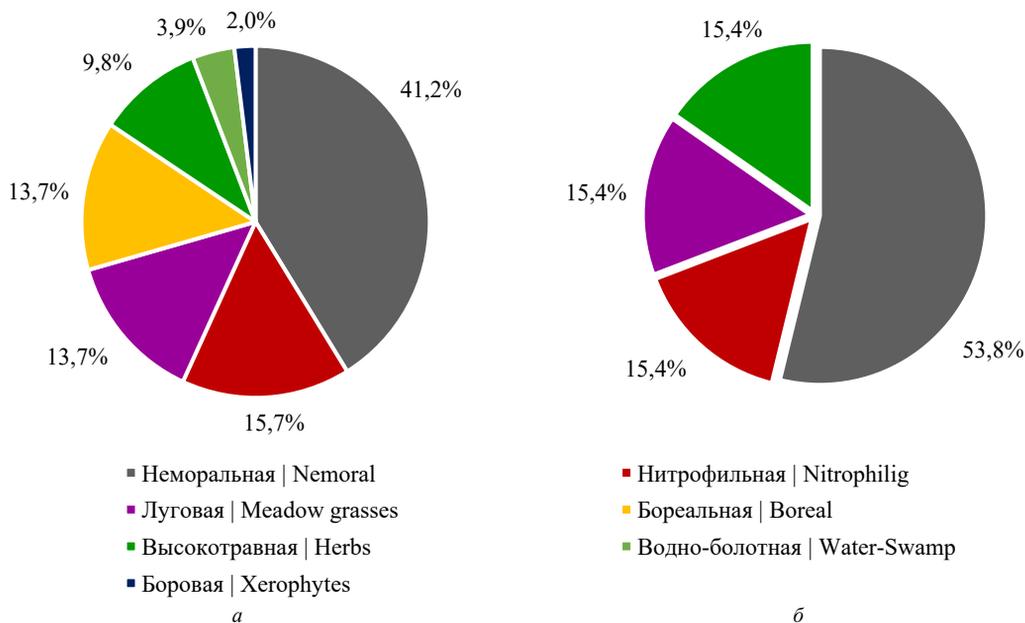
Рис. 3. Распределение живого напочвенного покрова по эколого-ценотическим группам в Лесной опытной даче, %

Источник: составлено Д.В. Лежневым, С.А. Коротковым, В.А. Меняевой.

Figure 3. Distribution of living ground cover by ecological and cenotic groups on the Forest Experimental Station, %

Source: compiled by D.V. Lezhnev, S.A. Korotkov, V.A. Menyayeva.

В целом на территории сосновых насаждений «Лосинового острова» значительную часть занимает неморальная флора 41,2 %, аналогичная тенденция отмечается в Лесной опытной даче – к неморальной группе относится 53,8 %, что свидетельствует о процессе неморализации (рис. 4).



**Рис. 4. Долевое распределение живого напочвенного покрова на объектах исследования, %:**  
**а – национальный парк «Лосиный остров»; б – Лесная опытная дача**  
 Источник: составлено Д.В. Лежневым, С.А. Коротковым, В.А. Меняевой.  
**Figure 4. The share distribution of living ground cover at the research sites, %:**  
**a – National Park Losiny Ostrov; б – Forest Experimental Station**  
 Source: compiled by D.V. Lezhnev, S.A. Korotkov, V.A. Menyayeva.

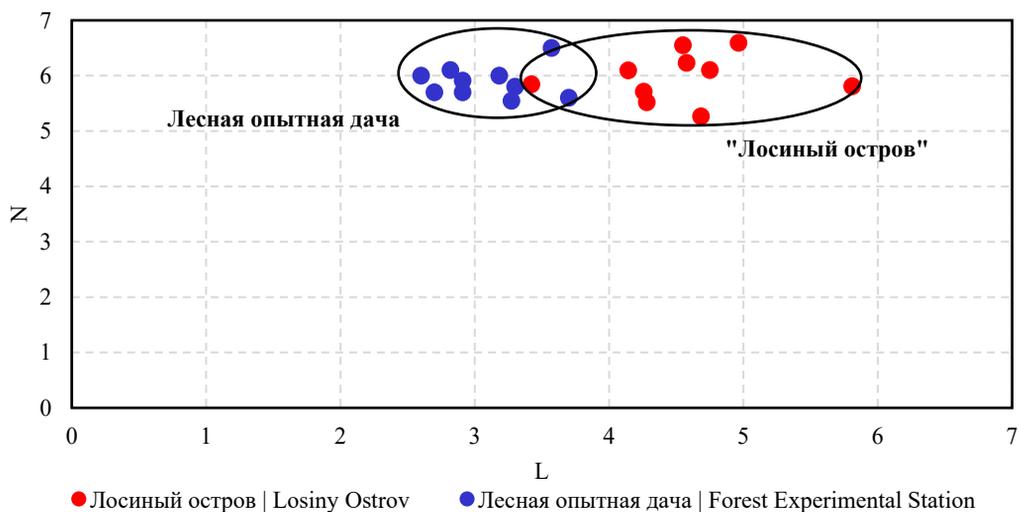
После проведения анализа экологических факторов для каждого геоботанического описания фитоценоза составили общую сводную диаграмму. Приведены данные ординации 20 геоботанических описаний на ППП (рис. 5) по отношению к экологическим факторам освещенности (L) и богатству почв (N) по шкалам Элленберга [36].

ЖНП по шкале освещенности в «Лосином острове» на большинстве ППП относится к полутеневым, средний балл по Элленбергу составляет 4,5, кроме ППП-35, которая относится к тенивым (3,4). Это обусловлено высокой относительной полнотой древостоя (0,81). Растительность травяно-кустарникового яруса на ППП-14 относится к полусветовым растениям (5,8), что обусловлено проведением выборочной санитарной рубки в 2014 г. и появлением «окон» в пологе древостоя.

Напочвенный покров в Лесной опытной даче относится к тенивым, приближаясь к полутеневым, средний балл – 3,1. Такая разница обусловлена тем, что все насаждения являются сложными по форме и относятся к высокополнотным.

Сопоставляя данные из «Лосиноного острова» и Лесной опытной дачи, можно сделать вывод, что по богатству почв исследуемые объекты относятся к богатым и умеренно богатым минеральным азотом: средний балл на объектах исследования составляет 6,0 и 5,9 соответственно. По освещенности фитоценозы значительно различаются: в «Лосином острове» – полутеневые,

а в Лесной опытной даче – тенивые, что свидетельствует о разной сомкнутости древесных насаждений. В «Лосином острове» он более разрежен, и световой режим лучше, в Лесной опытной даче сомкнутость выше, за счет чего снижается инсоляция.



**Рис. 5. Распределение живого напочвенного покрова по экологическим факторам: освещенности (L) и богатству почвы (M)**

*Источник:* составлено Д.В. Лежневым, С.А. Коротковым, В.А. Меняевой.

**Figure 5. Distribution of living ground cover by environmental factors of illumination (L) and soil richness (M)**

*Source:* compiled by D.V. Lezhnev, S.A. Korotkov, V.A. Menyayeva.

Общее проективное покрытие в «Лосином острове» варьирует от 60 до 90 % и в среднем составляет  $76 \pm 3,5$  %. В Лесной опытной даче проективное покрытие изменяется от 30 до 80 % и в среднем составляет  $51 \pm 5,3$  % (табл. 2).

**Таблица 2. Общее проективное покрытие живого напочвенного покрова на объектах исследования в Московском регионе**

**Table 2. General projective coverage of soil vegetation cover at research sites in the Moscow region**

| Национальный парк «Лосиный остров» /<br>National Park Losiny Ostrov |   | Лесная опытная дача /<br>Forest Experimental Station |   |
|---|---|--|---|
| № ППП /<br>No. POP  | Проективное покрытие, % /<br>Projective coverage, % | № ППП /<br>No. POP                                   | Проективное покрытие, % /<br>Projective coverage, % |
| 3   | 70  | 4/А  | 30  |
| 5   | 80  | 4/Б  | 60  |
| 11  | 60  | 4/В  | 50  |
| 14  | 60  | 4/Е  | 50  |
| 35  | 90  | 4/Д  | 40  |
| 38  | 80  | 4/М  | 60  |
| 45  | 90  | 4/Н  | 70  |
| 53  | 70  | 4/О  | 80  |
| 54  | 85  | 4/Р  | 30  |
| 55  | 75  | 4/С  | 40  |
| Среднее /<br>Average  | $76 \pm 3,5$  | Среднее /<br>Average                                 | $51 \pm 5,3$  |

*Источник:* составлено Д.В. Лежневым, С.А. Коротковым, В.А. Меняевой.

*Source:* compiled by D.V. Lezhnev, S.A. Korotkov, V.A. Menyayeva.

В «Лосином острове» на большинстве изученных объектов доминирует *Oxalis acetosella* L. до 70 % с субдоминантами: *Galeobdolon luteum* Huds. 20 %, *Glechoma hederacea* L. 20 %, *Athyrium filix-femina* (L.) Roth. 10–20 %. В Лесной опытной даче на пяти пробных площадях доминировала *Oxalis acetosella* L. (45–70 %), на трех доминировала *Carex pilosa* Huds. (70–85 %), на двух *Impatiens noli-tangere* L. (40–60 %).

Данные по флористическому составу фитоценозов использовали для выявления сходства и различия изученных растительных сообществ по коэффициенту Жаккара:

$$K_J = 25,4 \%$$

Невысокое сходство видового состава сообществ на объектах исследования свидетельствует о различных условиях произрастания и степени антропогенного воздействия.

В «Лосином острове» индекс разнообразия Шеннона в среднем составляет 0,856, а в Лесной опытной даче индекс имеет среднее значение 0,501, что свидетельствует о низком флористическом разнообразии живого напочвенного покрова в сосновых насаждениях города Москвы.

### Заключение

1. Общее проективное покрытие в «Лосином острове» и Лесной опытной даче в среднем составляет  $76 \pm 3,5 \%$  и  $51 \pm 5,3 \%$  соответственно.

2. В «Лосином острове» наибольшей встречаемостью обладают *Carex pilosa* Huds., *Convallaria majalis* L., *Fragaria vesca* L., – 90 %. В Лесной опытной даче наибольшей встречаемостью обладают *Athyrium filix-femina* (L.) Roth и *Impatiens noli-tangere* L. – 100 %.

3. Зарегистрировано четыре вида адвентивных растений: *Erigeron strigosus* H.L. Muhl. ex Willd., *Impatiens glandulifera* Royle, *Impatiens parviflora* DC., *Myosotis sylvatica* Ehrh. В целом адвентивная флора имеет доленое участие по проективному покрытию 3,2 %.

4. В целом на территории сосновых насаждений города Москвы отмечается преобладание неморальной флоры в живом напочвенном покрове. Типологическое разнообразие в «Лосином острове» выше, чем в Лесной опытной даче, за счет присутствия луговой, боровой и водно-болотной групп.

5. По богатству почв исследуемые объекты относятся к богатым и умеренно богатым минеральным азотом, средний балл в «Лосином острове» составляет 6,0, в Лесной опытной даче – 5,9.

По освещенности в «Лосином острове» травянистая растительность относится к полутеневым (4,5), а в Лесной опытной даче – к теневым (3,1).

6. Коэффициент флористической общности Жаккара – 0,25. Это свидетельствует о низкой общности исследуемых объектов и различной степени рекреационных нагрузок. Индекс разнообразия Шеннона на объектах исследования  $< 1$ , что свидетельствует о низком флористическом разнообразии живого напочвенного покрова в сосновых насаждениях города Москвы.

## Список литературы

- [1] *Копцик Г.Н., Багдасарова Т.В., Горленко О.В.* Взаимосвязь видового разнообразия растений и свойств почв в экосистемах южной тайги // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2001. Т. 106. Вып. 2. С. 31–38.
- [2] *Кузнецов В.А., Рыжова И.М., Телеснина В.М., Стома Г.В.* Количественная оценка влияния рекреации на растительность, подстилку и плотность почв лесопарков Москвы // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2015. № 1. С. 21–29.
- [3] *Семенюк О.В., Телеснина В.М., Богатырев Л.Г., Бенедиктова А.И.* Подстилки еловых насаждений в пределах мегаполиса как объект экологического мониторинга // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2023. № 1. С. 36–45. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-1-36-45 EDN: SFNHPC
- [4] *Перевозникова В.Д., Иванова Г.А., Иванов В.А., Ковалева Н.М.* Трансформация живого напочвенного покрова под воздействием пожаров в сосняках Средней Сибири // Экология. 2007. № 6. С. 476–480. EDN: IBJUXN
- [5] *Ковалева Н.М., Собачкин Р.С., Екимов Е.Ю.* Динамика нижних ярусов растительности после экспериментальных пожаров в сосновых древостоях // Сибирский лесной журнал. 2018. № 2. С. 61–70. DOI: 10.15372/SJFS20180206 EDN: YXOVYI
- [6] *Уфимцев В.И., Стрельникова Т.О., Куприянов О.А.* Структура живого напочвенного покрова в сосняках на участках рекультивации Кузбасса // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 44. С. 36–58. DOI: 10.17223/19988591/44/3 EDN: YSEAST
- [7] *Лежнев Д.В., Меняева В.А.* Эколого-фитоценотический анализ травяно-кустарничкового яруса в сосновых лесах национального парка «Лосиный остров» // Природоподобные растительные сообщества в городе: от теории к практике : сборник статей Научно-практического симпозиума. Москва, 29 августа 2024 года. Москва : ООО «Эксперт-Печать», 2024. С. 52–56. EDN: VSGNNU
- [8] *Рысин Л. П., Рысин С. Л.* Перспективы развития урболесоведения в России // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2007. № 4. С. 45–49. EDN: INTRIJ
- [9] *Lezhnev D., Korotkov S., Stonozenko L., Popova A.* The growing dynamic of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the Moscow Region // III International Conference “Sustainable Development: Agriculture, Energy and Ecology” (VMAEE-III-2024) : AIP Conference Proceedings, Karshi, 26–28 February 2024. Melville: AIP PUBLISHING, 2024. Article no. 20045.
- [10] *Лядова А.В., Новоселова Е.Н.* Социально-экологические риски урбанизации и развитие Московской агломерации: сравнительный анализ зарубежного опыта // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21, № 10. С. 55–61. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-10-55-61> EDN: ZQODSX
- [11] *Махрова А.Г.* Особенности стадийного развития Московской агломерации // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2014. № 4. С. 10–16. EDN: TAVMWZ
- [12] *Коротков С.А.* Смена состава древостоев и устойчивость защитных лесов центральной части Русской равнины. Москва : АНО «Доблесть Эпох», 2023. 168 с. EDN: TTHPPA
- [13] *Winter P.L., Selin S., Cerveny L., Bricker K.* Outdoor recreation, nature-based tourism, and sustainability // Sustainability. 2020. Vol. 12, iss. 1. Article no. 81. <https://doi.org/10.3390/su12010081>
- [14] *Miller A.B., Blahna D.J., Morse W.C., Leung Y.F., Rowland M.M.* From recreation ecology to a recreation ecosystem: a framework accounting for social-ecological

- systems // Journal of Outdoor Recreation and Tourism. 2022. Vol. 38. Article no. 100455. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2021.100455> EDN: BQPSAK
- [15] Zhang H., Smith J.W. A data-driven and generalizable model for classifying outdoor recreation opportunities at multiple spatial extents // Landscape and Urban Planning. 2023. Vol. 240. Article no. 104876. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104876> EDN: ZZAXRD
- [16] Воронин В.В., Третьяков С.В., Шуმიлова Ю.Н. Обоснование лесохозяйственных мероприятий для рекреационных лесов северо-востока Европейской России // Сибирский лесной журнал. 2021. № 4. С. 56–63. DOI: 10.15372/SJFS20210405 EDN: FNOUCF
- [17] Musin H.G., Denisov S.V., Khalilov I.I., Gafiyatov R.H. Assessment of recreational forests by stages of recreational digression // BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. Vol. 17. Article no. 00221. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700221> EDN: STVVWO
- [18] Бунькова Н.П., Залесов С.В. Рекреационная устойчивость и емкость сосновых насаждений в лесопарках Екатеринбурга : монография / Минобрнауки России, Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург : УГЛТУ, 2016. 124 с. EDN: ZEXVKL
- [19] Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V., Gemonov A.V. The growth and productivity of larch stands in conditions of urbanized environment, in European Russia // Baltic Forestry. 2020. Vol. 26, no. 1. P. 1–4. <https://doi.org/10.46490/BF248> EDN: YWUXMT
- [20] Лежнев Д.В., Лебедев А.В. Трансформация структуры сосновых формаций в урбанизированных экосистемах Москвы // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2023. № 2 (46). С. 74–88. <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2023.46.5> EDN: NYJOWZ
- [21] Лежнев Д.В. Структура сосновых фитоценозов в Московском регионе под влиянием климатических трансформаций // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг. 2023. № 9. С. 63–73. <https://doi.org/10.25686/foreco.2023.10.66.007> EDN: UKAPIK
- [22] Маевский П.Ф. Флора средней полосы Европейской части России. 10-е изд., исп. и доп. Москва : КМК, 2006. 600 с. EDN: QKOUXV
- [23] Майоров С.Р., Бочкин В.Д., Насимович Ю.А., Щербаков А. В. Адвентивная флора Москвы и Московской области / науч. ред. М.С. Игнатов. Москва : Т-во науч. изд. КМК, 2012. 412 с.
- [24] Ниценко А.А., Об изучении экологической структуры растительного покрова // Ботанический журнал. 1969. Т. 54, № 7. С. 1002–1014.
- [25] Зозулина Г.М. Исторические свиты растительности Европейской части СССР // Ботанический журнал. 1973. Т. 58, № 8. С. 1081–1092.
- [26] Смирнова О.В., Ханина Л.Г., Смирнов В.Э. Эколого-ценотические группы в растительном покрове лесного пояса Восточной Европы // Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность / под. ред. О.В. Смирновой. Кн. 1. Москва : Наука, 2004. С. 165–175.
- [27] Уланова Н.Г., Жмылев П.Ю., Емугаева Т.Г., Федосов В.Э. Методы анализа флористического состава и функционального разнообразия растительных сообществ. Москва : МАКС Пресс, 2023. 137 с. DOI: 10.29003/m3459.978-5-317-07016-8 EDN: UQDLOB
- [28] Лежнев Д.В., Меняева В.А. Живой напочвенный покров сосновых фитоценозов Яузского лесопарка «Лосино острова» // Проблемы озеленения крупных городов : сборник статей XXII Научно-практического форума. Москва : МК-Интертрейд, 2023. С. 113–118.

- [29] *Лежнев Д. В.* Видовой состав и структура живого напочвенного покрова в сосновых фитоценозах лесной опытной дачи Тимирязевской академии // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева, г. Москва, 5–7 июня 2023 г. : сборник статей. Т. 1. Москва : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2023. С. 59–63.
- [30] *Pyšek P., Jarošík V., Hulme P.E., Pergl J., Hejda M., Hulme P.E., Schaffner U., Vilà M.* A global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: the interaction of impact measures, invading species' traits and environment // *Global Change Biology*. 2012. Vol. 18, no. 5. P. 1725–1737. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02636.x> EDN: PGUTFJ
- [31] *Vilà M., Espinar J.L., Hejda M., Jarošík V., Pergl J., Pyšek P., Hulme P.E., Maron J.L., Schaffner U., Sun Y.* Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems // *Ecology Letters*. 2011. Vol. 14, no. 7. P. 702–708. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01628.x> EDN: YCSIDR
- [32] *Brewer J.S., Souza F.M., Callaway R.M. et al.* Impact of invasive slash pine (*Pinus elliottii*) on groundcover vegetation at home and abroad // *Biological Invasions*. 2018. Vol. 20. P. 2807–2820. <https://doi.org/10.1007/s10530-018-1734-z> EDN: RXBNNE
- [33] *Лежнев Д.В., Куликова Д.Д., Полякова Г.А.* Восстановительная динамика сосновых фитоценозов на вырубках в надпойменных террасах реки Москвы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31, № 4. С. 447–467 <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-447-467> EDN: QUBOUY
- [34] *Лежнев Д.В., Меняева В.А.* Видовой состав и структура живого напочвенного покрова в сосновых фитоценозах национального парка «Лосиный остров» // Безопасность природопользования в условиях устойчивого развития : м-лы III Междунар. науч.-практ. конф., приуроченной к 75-летию географического факультета. Иркутск, 21–23 июня 2023 года. Иркутск : Иркутский государственный университет, 2023. С. 156–161. EDN: DDTSGI
- [35] *Коротков С.А., Лежнев Д.В., Фейзрахманов А.Р.* Индикационная роль живого напочвенного покрова сосновых лесов в урбанизированной среде // Труды НОЦ – Ботанический сад МГУ : м-лы Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием, Москва, 12–13 февраля 2024 года. Москва : Изд-во Московского университета, 2024. С. 150–158 <https://doi.org/10.55959/MSU012129-2-2024-8-150-158> EDN: COMEKX
- [36] *Ellenberg H.* Zeigerwerte der Gefässpflanzen Mitteleuropas // *Scripta Geobotanica*. Vol. 9. Goltze, 1974. 97 s.

## References

- [1] *Koptsik GN, Bagdasarova TV, Gorlenko OV.* Interrelation of plant species diversity and soil properties in ecosystems of the southern taiga. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*. 2001;106(2):31–38. (In Russ.)
- [2] *Kuznetsov VA, Ryzhova IM, Telesnina VM, Stoma GV.* Quantitative assessment of the effect of recreation on vegetation, forest litter, and soil compactness in forest parks of Moscow. *Lomonosov Soil Science Journal*. 2015;(1):21–29. (In Russ.)
- [3] *Semenyuk OV, Telesnina VM, Bogatyrev LG, Benediktova AI.* The litters of spruce stands within megapolis as an object of ecological monitoring. *Moscow University Soil Science Bulletin*. 2023;(1):36–45. (In Russ.) DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-1-36-45 EDN: SFNHPC

- [4] Perevoznikova VD, Ivanova GA, Ivanov VA, Kovaleva NM. Transformation of ground vegetation under the effect of fires in pine forests of Middle Siberia. *Ecology*. 2007;(6):476–480. (In Russ.) EDN: IBJUXN
- [5] Kovaleva NM, Sobachkin RS, Ekimova EYu. Dynamics of lower vegetation layers after experimental fires in pine forests. *Siberian Journal of Forest Science*. 2018;(2):61–70. (In Russ.) DOI: 10.15372/SJFS20180206 EDN: YXOVYI
- [6] Ufimtsev VI, Strelnikova TO, Kupriyanov OA. Structure of the living ground cover in pine forests on dumps of Kuzbass. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Biologiya [Tomsk State University Journal of Biology]*. 2018;(44):36–58. (In Russ.) DOI: 10.17223/19988591/44/3 EDN: YSEAST
- [7] Lezhnev DV, Menyaeva VA. Ecological and phytocenotic analysis of the grass shrub layer in the pine forests of the Losiny Ostrov National Park. *Nature-like Plant Communities in the City: From Theory to Practice*. Moscow: Expert-Print; 2024:52–56. (In Russ.) EDN: VSGNNU
- [8] Rysin LP, Rysin SL. Prospects for the development of urban studies in Russia. *Lesnoy Vestnik / Forestry Bulletin*. 2007;(4):45–49. (In Russ.) EDN: INTRIJ
- [9] Lezhnev D, Korotkov S, Stonozenko L, Popova A. The growing dynamic of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the Moscow Region. *III International Conference “Sustainable Development: Agriculture, Energy and Ecology” (VMAEE-III-2024): AIP Conference Proceedings, Karshi, 26–28 February 2024*. Melville: AIP Publishing; 2024:20045.
- [10] Lyadova AV, Novoselova EN. Socio-ecological risks of urbanization and the development of Moscow agglomerations: a comparative analysis of foreign experience. *Ecology and Industry of Russia*. 2017;21(10):55–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-10-55-61> EDN: ZQODSX
- [11] Makhrova AG. Specific features of stadial development of the Moscow agglomeration. *Lomonosov Geography Journal*. 2014;(4):10–16. (In Russ.) EDN: TAVMWZ
- [12] Korotkov SA. *Change of the composition of stands and the stability of protective forests in the central part of the Russian Plain*. Moscow: ANO “Valor of Epochs”; 2023. (In Russ.) EDN: TTHPPA
- [13] Winter PL, Selin S, Cerveny L, Bricker K. Outdoor recreation, nature-based tourism, and sustainability. *Sustainability*. 2020;12(1):81. <https://doi.org/10.3390/su12010081>
- [14] Miller AB, Blahna DJ, Morse WC, Leung YF, Rowland MM. From recreation ecology to a recreation ecosystem: a framework accounting for social-ecological systems. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*. 2022;38:100455. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2021.100455> EDN: BQPCAK
- [15] Zhang H, Smith JW. A data-driven and generalizable model for classifying outdoor recreation opportunities at multiple spatial extents. *Landscape and Urban Planning*. 2023;240:104876. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104876> EDN: ZZAXRD
- [16] Voronin VV, Tret'yakov SV, Shumilova YuN, Karpov AA, Ermolina MS. Justification of forest management measures for recreational forests of the North-East of the European part of Russia. *Siberian Journal of Forest Science*. 2021;(4):56–63. (In Russ.) DOI: 10.15372/SJFS20210405 EDN: FNOUCF
- [17] Musin HG, Denisov S.V., Khalilov I.I., Gafiyatov R.H. Assessment of recreational forests by stages of recreational digression. *BIO Web of Conferences*. 2020;17:00221. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700221> EDN: STVVWO
- [18] Bunkova NP, Zalesov SV. *Recreational Stability and Capacity of Pine Plantations in Yekaterinburg Forest Parks*. Yekaterinburg: USFEU; 2016. 124 p. (In Russ.) EDN: ZEXVKL

- [19] Dubenok NN, Kuzmichev VV, Lebedev AV, Gemonov AV. The growth and productivity of larch stands in conditions of urbanized environment, in European Russia. *Baltic Forestry*. 2020;26(1):1–4. <https://doi.org/10.46490/BF248> EDN: YWUXMT
- [20] Lezhnev DV, Lebedev AV. Structural transformation of pine formations in urbanized ecosystems of Moscow. *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal*. 2023;2(46):74–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2023.46.5> EDN: HYJOWZ
- [21] Lezhnev DV. The structure of pine phytocoenosis in the Moscow region under climatic impact. *Forest Ecosystems Under Climate Change: Biological Productivity and Remote Monitoring*. 2023;(9):63–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.25686/foreco.2023.10.66.007> EDN: UKAPIK
- [22] Maevsky PF. *Flora of the Middle Zone of the European Part of Russia*. 10th ed. Moscow: KMK Scientific Press; 2006. (In Russ.) EDN: QKOUXB
- [23] Mayorov SR, Bochkin VD, Nasimovich YA, Scherbakov A. *Adventive flora of Moscow and the Moscow Region*. Moscow: KMK Scientific Press; 2012. (In Russ.)
- [24] Nicenko AA. On the study of the ecological structure of vegetation cover. *Botanical Journal*. 1969;54(7):1002–1014. (In Russ.)
- [25] Zozulina GM. Historical vegetation formations of the European part of the USSR. *Botanical Journal*. 1973;58(8):1081–1092. (In Russ.)
- [26] Smirnova OV, Khanina LG, Smirnov VE. Ecological and cenotic groups in the vegetation cover of the forest belt of Eastern Europe. *Eastern European Forests: History in the Holocene and Modernity*. Moscow: Nauka Publishers; 2004. p.165–175. (In Russ.)
- [27] Ulanova NG, Zhmylev PYu, Emulaeva TG, Fedosov VE. *Methods of Analysis of Floral Composition and Functional Diversity of Plant Communities*. Moscow: MAKS Press; 2023:137. (In Russ.) DOI: 10.29003/m3459.978-5-317-07016-8 EDN: UQDLOB
- [28] Lezhnev DV, Menyaeva VA. Living ground cover of pine phytocenoses of the Yauzsky forest park “Losiny Ostrov”. *Problems of Greening Large Cities*. Moscow: MK-Intertrade; 2023:113–118. (In Russ.)
- [29] Lezhnev DV. Species composition and structure of living ground cover in pine phytocenoses of the forest experimental cottage of the Timiryazev Academy. *International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists Dedicated to the 180th Anniversary of K.A. Timiryazev. Moscow, 5-7 June 2023. Collection of articles*. Vol. 1. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 2023. p. 59–63. (In Russ.)
- [30] Pyšek P, Jarošík V, Hulme PE, Pergl J, Hejda M, Hulme PE, Schaffner U, Vilà M. A global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: the interaction of impact measures, invading species’ traits and environment. *Global Change Biology*. 2012;18(5):1725–1737. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02636.x> EDN: PGUTFJ
- [31] Vilà M, Espinar JL, Hejda M, Jarošík V, Pergl J, Pyšek P, Hulme PE, Maron JL, Schaffner U, Sun Y. Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters*. 2011;14(7):702–708. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01628.x> EDN: YCSIDR
- [32] Brewer JS, Souza FM, Callaway RM., et al. Impact of invasive slash pine (*Pinus elliottii*) on groundcover vegetation at home and abroad. *Biological Invasions*. 2018;20:2807–2820. <https://doi.org/10.1007/s10530-018-1734-z> EDN: RXBNNE
- [33] Lezhnev DV, Kulikova DD, Polyakova GA. Restorative dynamics of pine phytocenoses in clearcut areas in the floodplain terraces of the Moscow River. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):447–467. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-447-467> EDN: QUBOUY

- [34] Lezhnev DV, Menyaeva VA. Species composition and structure of living ground cover in pine phytocenoses of the Losiny Ostrov National Park. *Environmental Management Safety in Conditions of Sustainable Development. Materials of the III International Scientific and Practical Conference timed to the 75th anniversary of the Faculty of Geography. Irkutsk, 21-23 June 2023*. Irkutsk: Irkutsk State University publ.; 2023:156–161. (In Russ.) EDN: DDTSGI
- [35] Korotkov SA, Lezhnev DV, Feyzrakhmanov AR. Indicatory role of soil vegetation cover of pine forests in an urbanized environment. *Proceedings of the Moscow State University Scientific and Botanical Garden*. Moscow: Moscow University Press; 2024:150-158. (In Russ.) <https://doi.org/10.55959/MSU012129-2-2024-8-150-158> EDN: COMEKX
- [36] Ellenberg H. *Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Scripta Geobotanica*. Vol. 9. Goltze; 1974. 97 p.

### Сведения об авторах:

*Лежнев Даниил Викторович*, начальник отдела научно-исследовательской работы студентов и молодых ученых, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; младший научный сотрудник Лаборатории лесоводства и биологической продуктивности, Институт лесоведения РАН, Российская Федерация, 143030, Московская область, Одинцовский г.о., с. Успенское, ул. Советская, д. 21. ORCID: 0000-0003-2706-7320; eLIBRARY SPIN-код: 5133-7760. E-mail: lezhnev.daniil@yandex.ru

*Коротков Сергей Александрович* – кандидат биологических наук, доцент, Мытищинский филиал, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; Российская Федерация, 141005, Мытищи, улица 1-я Институтская, д. 1; старший научный сотрудник лаборатории лесоводства и биологической продуктивности, Институт лесоведения РАН, Российская Федерация, 143030, Московская область, Одинцовский г.о., с. Успенское, ул. Советская, д. 21. ORCID: 0000-0003-2754-6014; eLIBRARY SPIN-код: 1514-9516. E-mail: skorotkov-71@mail.ru

*Меняева Вера Александровна*, студент кафедры лесоводства, экологии и защиты леса, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 141005, Мытищи, улица 1-я Институтская, д. 1. ORCID: 0009-0001-2901-5260; eLIBRARY SPIN-код: 1636-9028. E-mail: vmenyayeva@bk.ru

### Bio notes:

*Daniil V. Lezhnev*, Head of the Department of Research Work of Students and Young Scientists, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St, Moscow, 127434, Russian Federation; Junior Senior Researcher, Laboratory of Forestry and Biological Productivity, Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, Sovetskaya 21, Uspenskoe, Moscow region, 143030, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-2706-7320. eLIBRARY SPIN-code: 5133-7760. E-mail: lezhnev.daniil@yandex.ru

*Sergei A. Korotkov*, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University, 1 1st Institutskaya St, Mytishi, 141005, Russian Federation; Senior Researcher Laboratory of Forestry and Biological Productivity Institute of Forest Science RAS, 21 Sovetskaya St, Uspenskoe, Moscow region, 143030, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-2754-6014; eLIBRARY SPIN-code: 1514-9516. E-mail: skorotkov-71@mail.ru

*Vera A. Menyayeva*, student of the Department of Forestry, Ecology, Forest Protection, Bauman Moscow State Technical University, 1 1st Institutskaya St, Mytishi, 141005, Russian Federation. ORCID: 0009-0001-2901-5260; eLIBRARY SPIN-code: 1636-9028. E-mail: vmenyayeva@bk.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-255-267

EDN: QNJBVY

УДК 574

Научная статья / Research article

## Радиоэкологическая оценка состояния морской среды в районе затопления атомной подводной лодки К-159 по результатам научно-исследовательской экспедиции в 2023 году

Н.А. Аникина<sup>ORCID</sup>, А.И. Крышев<sup>ORCID</sup>, М.Н. Каткова<sup>✉</sup>

Научно-производственное объединение «Тайфун», Обнинск, Российская Федерация  
✉katkovan@list.ru

**Аннотация.** Атомная подводная лодка (АПЛ) К-159, затонувшая в 2003 г. в Баренцевом море в районе острова Кильдин, является потенциальным источником радиационной опасности. В 2023 г. НПО «Тайфун» была организована экспедиция с целью изучения радиационной обстановки и радиоэкологической оценки состояния морской среды в зоне затопления АПЛ К-159. Определены коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в придонных видах рыб и водных растениях. Коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  в придонных видах рыб, рассчитанные с использованием данных экспедиционного обследования, в 2–5 раз выше средних значений для Баренцева моря. Рассчитаны мощности доз облучения и обобщенные показатели радиационно-экологического риска для морской биоты. Показано, что в настоящее время АПЛ К-159 оказывает незначительное влияние на морскую среду. С учетом потенциальной опасности рассматриваемый радиационный объект требует регулярного мониторинга места затопления для своевременного выявления поступления радионуклидов в природную среду Баренцева моря.

**Ключевые слова:** Арктика, Кильдин, зона затопления АПЛ К-159, морская биота, коэффициент накопления радионуклида, радиационно-экологический риск, доза облучения, индекс экологического риска, обобщенный показатель риска

**Вклад авторов.** Аникина Н.А. – верификация данных, формальный анализ, проведение исследования, создание черновика рукописи, визуализация, администрирование проекта; Крышев А.И. – концептуализация, методология, создание рукописи и ее редактирование, руководство исследованием; Каткова М.Н. – ресурсы, администрирование данных. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

© Аникина Н.А., Крышев А.И., Каткова М.Н., 2025



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

**История статьи:** поступила в редакцию 23.12.2024; доработана после рецензирования 21.04.2025; принята к публикации 30.04.2025.

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

**Для цитирования:** Аникина Н.А., Крышев А.И., Каткова М.Н. Радиоэкологическая оценка состояния морской среды в районе затопления атомной подводной лодки К-159 по результатам научно-исследовательской экспедиции в 2023 году // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 3. С. 255–267. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-255-267>

## Radioecological assessment of the marine environment in the area of the sinking of the nuclear submarine K-159 based on the results of the scientific research expedition in 2023

Nelli A. Anikina , Alexander I. Kryshev , Margarita N. Katkova 

*Research and Production Association “Typhoon”, Obninsk, Russian Federation*  
 [katkovan@list.ru](mailto:katkovan@list.ru)

**Abstract.** The K-159 nuclear submarine that sank in 2003 in the Barents Sea near Kildin Island is a potential source of radiation hazard. In 2023, Research and Production Association «Typhoon» organized an expedition to study the radiation situation and conduct a radioecological assessment of the state of the marine environment in the sinking zone of the K-159 nuclear submarine. The accumulation factors of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in bottom fish species and aquatic plants were determined. The accumulation factors of  $^{137}\text{Cs}$  in bottom fish species, calculated using the expedition survey data, are 2 to 5 times higher than the average values for the Barents Sea. The radiation dose rates and generalized indicators of radiation and environmental risk for marine biota were calculated. It was shown that the K-159 nuclear submarine currently has an insignificant impact on the marine environment. Given the potential danger, the radiation facility in question requires regular monitoring of the sinking site to promptly detect the release of radionuclides into the natural environment of the Barents Sea.

**Keywords:** Arctic, Kildin, K-159 submarine sinking zone, marine biota, radionuclide accumulation factor, radiation-ecological risk, radiation dose, ecological risk index, generalized risk indicator

**Authors' contribution.** *N.A. Anikina* – data verification, formal analysis, study conduct, draft manuscript creation, visualisation, project administration; *A.I. Kryshev* – conceptualisation, methodology, manuscript creation and editing, study administration; *M.N. Katkova* – resources, data administration. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Article history:** received 23.12.2024; revised 21.04.2025; accepted 30.04.2025.

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

**For citation:** Anikina NA, Kryshev AI, Katkova MN. Radioecological assessment of the marine environment in the area of the sinking of the nuclear submarine K-159 based on the results of the scientific research expedition in 2023. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):255–267. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-255-267>

## Введение

Актуальность радиоэкологической оценки состояния морской среды в Арктике и защита водных организмов становятся особенно значимыми из-за множества факторов, связанных как с глобальными экологическими изменениями, так и с местными антропогенными воздействиями. Арктический регион нашей страны, будучи одним из самых уязвимых экосистем планеты, испытывает значительное давление от различных видов человеческой деятельности, в том числе промышленного освоения и изменения климата [1; 2].

Арктика имеет огромное значение из-за своего стратегического расположения, биоразнообразия, а также социальных и экономических аспектов. Северный морской путь становится все более значимым благодаря изменению климата, открывая более короткий и выгодный маршрут для судоходства между Европой и Азией [1]. Это может изменить мировую торговлю и логистику. Арктика уникальна своим биоразнообразием, однако изменение климата угрожает экосистемам и видам. Сохранение биоразнообразия важно для глобального экологического баланса [1; 3].

Для коренных народов Арктика — это дом и часть их культурной идентичности. Их жизнь тесно связана с природой, и изменения в экосистеме могут привести к разрушительным последствиям. Учет их интересов — важный аспект развития Арктики. Экономическое значение Арктики связано с ее ресурсами: нефтью, газом, минералами и рыбой. Эксплуатация должна учитывать экологические и социальные аспекты для минимизации негативных последствий. В итоге Арктика требует ответственного подхода в балансе между развитием экономики, защитой природной среды и уважением культур местных жителей [1].

Затопление атомной подводной лодки (АПЛ) К-159 в районе острова Кильдин Баренцева моря в 2003 г. стало одним из значительных инцидентов, напоминающих о потенциальных экологических рисках, связанных с использованием ядерных технологий. Это происшествие вызвало серьезные опасения относительно радиационной безопасности морской среды, учитывая присутствие на борту ядерных реакторов. За прошедшие двадцать лет исследователи активно стремились оценить и минимизировать возможное влияние радиационного загрязнения на окружающую экосистему [2].

В 2023 г. ФГБУ «НПО «Тайфун» была проведена очередная научно-исследовательская экспедиция, целью которой было отобрать пробы воды, донных отложений и биоты в районе затопления атомной подводной лодки К-159. Далее, в лабораторных условиях, производилась пробоподготовка и определение удельных активностей наиболее значимых радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ), которые были обнаружены в рассмотренных пробах.

**Цель исследования** – радиоэкологическая оценка текущего состояния морской среды в районе затопления АПЛ К-159 с помощью данных, полученных в ходе экспедиции «НПО «Тайфун». Для достижения цели требовалось решить следующие задачи: определить коэффициенты накопления радионуклидов в морских организмах в районе затопления АПЛ К-159; рассчитать обобщенные показатели радиационно-экологического риска для района затопления АПЛ К-159 по данным экспедиции в 2023 г.

Лаборатория эколога-геофизического моделирования и анализа риска ИПМ ФГБУ «НПО „Тайфун“» подготовила рекомендации для оценки риска радиоактивного загрязнения окружающей среды на основе данных радиационного мониторинга, которые позволяют провести комплексную радиоэкологическую оценку. Одним из методов такой оценки является вычисление обобщенных показателей риска (ОПР) в компонентах водной среды, включая расчет индекса экологического риска (ИЭР) загрязнения радионуклидами компонентов природной среды [3; 4].

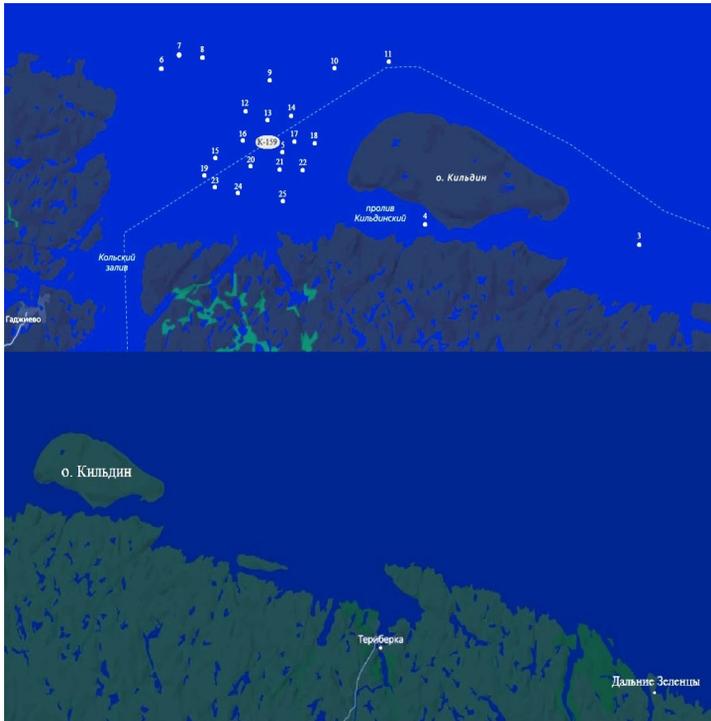
## Материалы и методы

Научно-исследовательская экспедиция проводилась с 12 по 31 мая 2023 г. на судне «Иван Петров». Пробы воды и донных отложений отбирались в точках, расположенных вблизи места затопления атомной подводной лодки К-159, а также в районе острова Кильдин (4-я станция), Териберки (3-я станция) и Дальних Зеленцов (1-я станция). На 1, 3 и 4-й станциях отбирались пробы воды, донных отложений и биоты. Пункты отбора проб изображены на рисунке.

Обработка отобранных проб производилась в ФГБУ «НПО «Тайфун» лабораторией радиационного мониторинга и контроля.

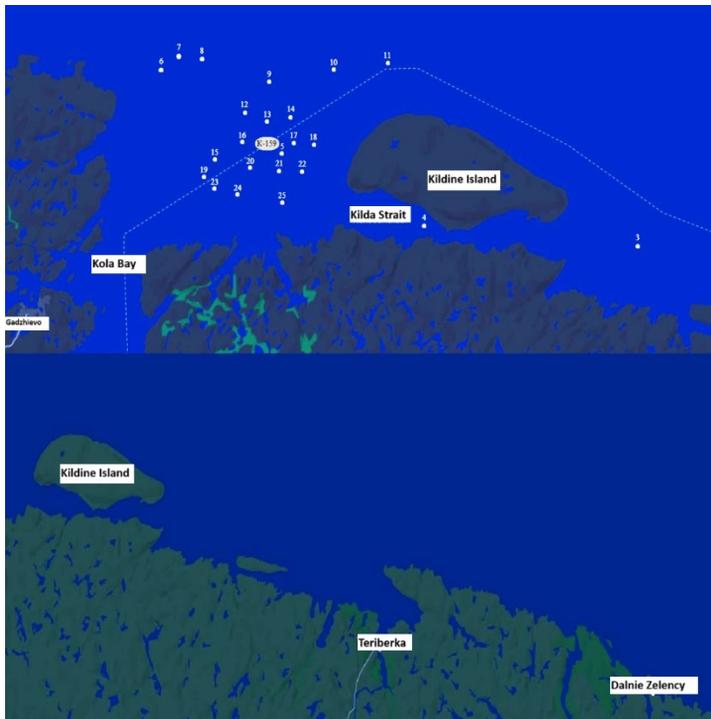
Радиоэкологическая оценка включала в себя расчет коэффициентов накопления радионуклидов в морских организмах, обитающих в районе затопления атомной подводной лодки К-159.

Определение коэффициентов накопления радионуклидов в морских организмах из водной среды и донных осадков играет важную роль в оценке радиационной безопасности и в проведении эколого-биологических исследований в морских экосистемах. Данные показатели помогают понять, насколько эффективно организмы усваивают радионуклиды из морской среды и как они накапливаются в пищевых цепях. Знание коэффициентов накопления позволяет оценить уровень загрязнения морской среды и его потенциальное воздействие на морскую флору и фауну. Это особенно важно в контексте биосферы, где организмы могут накапливать радионуклиды, что может привести к вредным последствиям для их здоровья и жизни. Также расчеты коэффициентов накопления помогают предсказать возможные риски для человека, связанного с потреблением морепродуктов.



**Карта-схема отбора проб**

*Источник:* составлено Н.А. Аникиной, А.И. Крышевым, М.Н. Катковой.



**Sampling map**

*Source:* compiled by N.A. Anikina, A.I. Kryshev, M.N. Katkova.

Таким образом, значения коэффициентов накопления радионуклидов могут использоваться при оценке состояния экосистем, разработки стратегий управления и защиты здоровья человека и морских биологических сообществ.

Коэффициенты накопления рассчитывали по формуле

$$КН = \frac{УА \text{ в биоте}}{УА \text{ в морской воде}}, \quad (1)$$

где КН – коэффициент накопления определенного радионуклида, л·кг<sup>-1</sup>; УА – удельная активность в компоненте природной среде, Бк/кг или Бк/л сырого веса<sup>1</sup>.

Коэффициенты накопления рассчитывались для водных растений и придонных видов рыб, пробы которых были отобраны в ходе экспедиции 2023 г. – фукус пузырчатый (*Fucus vesiculosus*), ламинария северная (*Laminaria hyperborea*), зубатка полосатая (*Anarhichas lupus*), пикша (*Melanogrammus aeglefinus*).

Пикша – морская рыба семейства тресковых. Она распространена в северной части Атлантического океана, включая Баренцево море, где является важным объектом промысла. В промысловом отношении пикша играет важную роль для экономики, так как ее ловят и для внутреннего потребления, и на экспорт. В Баренцевом море пикша обычно обитает на глубинах от 30 до 200 м [5].

Зубатка – рыба, обитающая в Северном Ледовитом океане, включая районы Баренцева моря. Зубатка, так же как и пикша, имеет значительное коммерческое значение как для продажи, так и для потребления. Зубатки предпочитают холодные воды и живут на глубинах от 50 до 300 м [5].

Выбранные виды морских рыб, обитающие преимущественно на глубинах и вблизи дна, являются представительными объектами для анализа радиоэкологической обстановки и накопления техногенных радионуклидов придонными организмами.

Для оценки риска от радиоактивного загрязнения морской среды по данным мониторинга радиационной обстановки 2023 г. вокруг места затопления АПЛ К-159 использовались рекомендации<sup>2</sup>.

Согласно рекомендациям<sup>2</sup> рассчитывали обобщенный показатель риска от радиоактивного загрязнения морской среды по формуле

$$ОПР = A_{пр} \cdot A_{вр} \cdot ИРВ_б, \quad (2)$$

где  $A_{пр}$  – коэффициент, учитывающий пространственный масштаб загрязнения территории;  $A_{вр}$  – коэффициент, учитывающий временной масштаб радиационного воздействия;  $ИРВ_б$  – показатель интенсивности радиационного воздействия на компоненты природной среды.

Для оценки интенсивности радиационного воздействия использовался индекс экологического риска (ИЭР).

Индекс экологического риска рассчитывается по формуле

$$\text{ИЭР} = \frac{D_i}{\text{ПДРН}_i}, \quad (3)$$

где  $D_i$  – мощность дозы облучения  $i$ -го биологического организма, мГр/сут, определяемая согласно требованиям Международной комиссии по радиологической защите<sup>1</sup>; ПДРН $_i$  – предельно допустимая радиационная нагрузка для  $i$ -го биологического организма, мГр/сут.

Значение ПДРН $_i$  принимается равным 1 мГр/сут для млекопитающих, позвоночных животных и сосны обыкновенной, и 10 мГр/сут – для растений (кроме сосны обыкновенной) и беспозвоночных животных<sup>2</sup>.

## Результаты и обсуждение

С помощью формулы (1) были рассчитаны коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в морской биоте, обитающей вблизи места затопления АПЛ К-159. В табл. 1 показаны результаты вычислений коэффициентов накопления  $^{137}\text{Cs}$  в морских организмах Баренцева моря. Для сравнения в табл. 1 и 2 представлены усредненные данные по Баренцеву морю за период с 1992 по 2020 г. [6] и коэффициенты накопления по рекомендациям<sup>1</sup>.

Наибольший коэффициент накопления  $^{137}\text{Cs}$  в водных растениях имеет место для фукуса, отобранного около села Териберка (табл. 1). Данное значение превышает в 7–10 раз коэффициенты накопления, рассчитанные для всего Баренцева моря по обобщенным данным мониторинга и среднемировые значения.

Таблица 1. Значения коэффициентов накопления  $^{137}\text{Cs}$  в биологических организмах, живущих в окрестностях места затопления АПЛ К-159

| Место отбора    | Биота     | Удельная активность $^{137}\text{Cs}$ в биоте, Бк/кг сырого веса | Удельная активность $^{137}\text{Cs}$ в морской воде, Бк/л | Коэффициент накопления по данным экспедиции 2023, л·кг <sup>-1</sup> | Коэффициент накопления по данным мониторинга за период с 1992 по 2020 год, л·кг <sup>-1</sup> [6] | Коэффициент накопления по рекомендациям <sup>1</sup> (мировые значения), л·кг <sup>-1</sup> |
|-----------------|-----------|--|--|--|---|---|
| Териберка       | Фукус     | 0,3 ± 0,1  | 0,0006 ± 0,0001  | 500 ± 250  | 69 ± 9  | 50  |
|                 | Пикша     | 0,11 ± 0,06  | 0,0006 ± 0,0001  | 180 ± 130  | 93 ± 26   | 100   |
| Дальние Зеленцы | Пикша     | 0,2 ± 0,1  | 0,0007 ± 0,0001  | 290 ± 180  | 93 ± 26   | 100   |
|                 | Зубатка   | 0,39   | 0,0007 ± 0,0001  | 490 ± 160  | 93 ± 26   | 100   |
| о. Кильдин      | Фукус     | 0,033 ± 0,015  | 0,0013 ± 0,0002  | 25 ± 15  | 69 ± 9  | 50  |
|                 | Ламинария | 0,11 ± 0,06  | 0,0013 ± 0,0002  | 85 ± 59  | 69 ± 9  | 50  |

Источник: составлено Н.А. Аникиной, А.И. Крышевым, М.Н. Катковой.

<sup>1</sup> International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants // Annals of the ICRP. 2009. 251 p.

<sup>2</sup> Ibid.

Table 1. Values of the accumulation coefficients of  $^{137}\text{Cs}$  in biological organisms living in the vicinity of the sinking site of the K-159 submarine

| Place of selection | Biota    | Specific activity $^{137}\text{Cs}$ in biota, Bq/kg wet weight | Specific activity $^{137}\text{Cs}$ in sea water, Bq/l | Accumulation coefficient according to monitoring data 2023, l·kg <sup>-1</sup> | Accumulation coefficient according to monitoring data for the period from 1992 to 2020, l·kg <sup>-1</sup> [6] | Accumulation coefficient according to recommendation <sup>1</sup> (world values), l·kg <sup>-1</sup> |
|--------------------|----------|--|--|--|--|--|
| Teriberka          | Fucus    | 0.3 ± 0.1  | 0.0006 ± 0.0001  | 500 ± 250  | 69 ± 9   | 50   |
|                    | Haddock  | 0.11 ± 0.06  | 0.0006 ± 0.0001  | 180 ± 130  | 93 ± 26  | 100  |
| Dalnie Zelentsy    | Haddock  | 0.2 ± 0.1  | 0.0007 ± 0.0001  | 290 ± 180  | 93 ± 26  | 100  |
|                    | Crandall | 0.39   | 0.0007 ± 0.0001  | 490 ± 160  | 93 ± 26  | 100  |
| Kildin Island      | Fucus    | 0.033 ± 0.015  | 0.0013 ± 0.0002  | 25 ± 15  | 69 ± 9   | 50   |
|                    | Kelp     | 0.11 ± 0.06  | 0.0013 ± 0.0002  | 85 ± 59  | 69 ± 9   | 50   |

Source: compiled by N.A. Anikina, A.I. Kryshev, M.N. Katkova.

Коэффициент накопления  $^{137}\text{Cs}$  в пикше в 2–3 раза выше, а в зубатке – в 5 раз выше, чем средняя величина по Баренцеву морю, существенно превышая также и среднемировые значения. Это подтверждает сделанное ранее предположение о возможности биологического переноса  $^{137}\text{Cs}$  промысловыми мигрирующими рыбами Баренцева моря, связанными с бентосной пищевой цепочкой. Такая возможность может реализовываться при наличии пятен повышенного содержания  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях Баренцева моря (даже небольшого размера), находящихся на путях сезонной миграции рыб [7]. Необходимо дальнейшее изучение и мониторинг радиоактивного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и другими техногенными радионуклидами мигрирующих придонных видов рыб Баренцева моря.

Выполнен расчет значений коэффициентов накопления  $^{90}\text{Sr}$  в водных растениях по данным экспедиционного обследования (табл. 2).

Таблица 2. Коэффициенты накопления  $^{90}\text{Sr}$  в живых организмах, обитающих поблизости от места затопления подводной лодки АПЛ К-159

| Место отбора | Биота     | Удельная активность $^{90}\text{Sr}$ в биоте, Бк/кг сырого веса | Удельная активность $^{90}\text{Sr}$ в морской воде, Бк/л | Коэффициент накопления по данным экспедиции 2023, л·кг <sup>-1</sup> | Коэффициент накопления по данным мониторинга за период с 1992 по 2020 год, л·кг <sup>-1</sup> [6] | Коэффициент накопления по рекомендациям <sup>1</sup> (мировые значения), л·кг <sup>-1</sup> |
|--------------|-----------|---|---|--|---|---|
| Териберка    | Ламинария | 0,03 ± 0,01   | 0,0031 ± 0,0007   | 10 ± 6   | 19 ± 10   | 10  |
|              | Фукус     | 0,01 ± 0,003  | 0,0031 ± 0,0007   | 3 ± 2  | 19 ± 10   | 10  |
| о. Кильдин   | Фукус     | 0,05 ± 0,01   | 0,0014 ± 0,0004   | 36 ± 17  | 19 ± 10   | 10  |
|              | Ламинария | 0,06 ± 0,01   | 0,0014 ± 0,0004   | 43 ± 20  | 19 ± 10   | 10  |

Источник: составлено Н.А. Аникиной, А.И. Крышевым, М.Н. Катковой.

Table 2. Accumulation coefficients of  $^{90}\text{Sr}$  in living organisms living near the site of the sinking of the K-159 submarine

| Sampling location | Biota | Specific activity $^{90}\text{Sr}$ in biota, Bq/kg wet weight | Specific activity $^{90}\text{Sr}$ in sea water, Bq/l | Accumulation coefficient according to monitoring data 2023, l*kg <sup>-1</sup> | Accumulation coefficient according to monitoring data for the period from 1992 to 2020, l*kg <sup>-1</sup> [6] | Accumulation coefficient according to recommendations <sup>1</sup> (world values), l*kg <sup>-1</sup> |
|-------------------|-------|---|---|--|--|---|
| Teriberka         | Kelp  | 0.03 ± 0.01   | 0.0031 ± 0.0007                                       | 10 ± 6   | 19 ± 10  | 10  |
|                   | Fucus | 0.01 ± 0.003  | 0.0031 ± 0.0007                                       | 3 ± 2  | 19 ± 10  | 10  |
| Kildin Island     | Fucus | 0.05 ± 0.01   | 0.0014 ± 0.0004                                       | 36 ± 17  | 19 ± 10  | 10  |
|                   | Kelp  | 0.06 ± 0.01   | 0.0014 ± 0.0004                                       | 43 ± 20  | 19 ± 10  | 10  |

Source: compiled by N.A. Anikina, A.I. Kryshev, M.N. Katkova.

Из табл. 2 следует, что коэффициент накопления  $^{90}\text{Sr}$  в ламинарии в районе Териберки ниже среднего значения для всего Баренцева моря и совпадает со среднемировым значением. Коэффициент накопления  $^{90}\text{Sr}$  в фукусе в районе Териберки существенно ниже как среднего значения для всего Баренцева моря, так и среднемирового значения. В то же время значения коэффициентов накопления  $^{90}\text{Sr}$  в фукусе и ламинарии в районе острова Кильдин, полученные по результатам экспедиционного обследования, в 2 раза выше значений средних значений по всему Баренцеву морю и в 4 раза выше среднемировых значений.

Большая часть значений коэффициентов накопления в морской биоте, определенных по данным экспедиционного обследования, существенно выше значений, рассчитанных по данным мониторинга в среднем для Баренцева моря [6]. Поэтому для оценки радиационного воздействия на биоту предпочтительно использовать не интегральный показатель загрязнения (ИПЗ), а индекс экологического риска. В данном случае оценки ИПЗ базируются на использовании величин контрольных уровней содержания радионуклидов в воде и донных отложениях Баренцева моря, при расчете которых, в свою очередь, применялись значения коэффициентов накопления радионуклидов в рыбе в среднем для Баренцева моря по данным мониторинга 2006–2020 гг. [8]. При использовании индекса экологического риска выполняется расчет мощности дозы облучения биоты.

Результаты расчетов индекса экологического риска представлены в табл. 3.

Из данных табл. 3 видно, что для морских придонных рыб значения варьируются от  $1,5 \cdot 10^{-6}$  до  $2,3 \cdot 10^{-6}$ , а для водных растений – от  $1,7 \cdot 10^{-7}$  до  $3,0 \cdot 10^{-7}$ . Таким образом, рассчитанные индексы экологического риска  $\ll 1$  для всех случаев, следовательно, показатели находятся на уровне фона.

По формуле (2) выполнены оценки обобщенного показателя риска с учетом рассчитанных индексов экологического риска, пространственного и временного масштаба радиационного воздействия.

Определим значение коэффициента, учитывающего пространственный масштаб загрязнения акватории. Согласно данным экспедиционного обследования, площадь воздействия на компоненты природной среды была не более  $10 \text{ км}^2$  и по градации<sup>2</sup> значение  $A_{\text{пр}} = 1$  (коэффициент безразмерный).

Таблица 3. Результаты расчетов индекса экологического риска загрязнения радионуклидами компонентов природной среды

| Место отбора пробы (№ станции) | Название вида | Радионуклид       | Мощность дозы облучения ( $D_i$ ), мГр/сут | Предельно допустимая радиационная нагрузка (ПДРН), мГр/сут | Индекс экологического риска (ИЭР) |
|--------------------------------|---------------|-------------------|--|--|-----------------------------------|
| Териберка (3)                  | Фукус         | $^{137}\text{Cs}$ | $3,0 \cdot 10^{-6}$                        | 10   | $3,0 \cdot 10^{-7}$               |
| Териберка (3)                  | Пикша         | $^{137}\text{Cs}$ | $2,2 \cdot 10^{-6}$                        | 1  | $2,2 \cdot 10^{-6}$               |
| Дальние Зеленцы (1)            | Пикша         | $^{137}\text{Cs}$ | $1,5 \cdot 10^{-6}$                        | 1  | $1,5 \cdot 10^{-6}$               |
| Дальние Зеленцы (1)            | Зубатка       | $^{137}\text{Cs}$ | $2,3 \cdot 10^{-6}$                        | 1  | $2,3 \cdot 10^{-6}$               |
| о. Кильдин (4)                 | Фукус         | $^{137}\text{Cs}$ | $2,5 \cdot 10^{-6}$                        | 10   | $2,5 \cdot 10^{-7}$               |
| о. Кильдин (4)                 | Ламинария     | $^{137}\text{Cs}$ | $2,7 \cdot 10^{-6}$                        | 10   | $2,7 \cdot 10^{-7}$               |
| Териберка (3)                  | Ламинария     | $^{90}\text{Sr}$  | $1,9 \cdot 10^{-6}$                        | 10   | $1,9 \cdot 10^{-7}$               |
| Териберка (3)                  | Фукус         | $^{90}\text{Sr}$  | $1,7 \cdot 10^{-6}$                        | 10   | $1,7 \cdot 10^{-7}$               |
| о. Кильдин (4)                 | Фукус         | $^{90}\text{Sr}$  | $1,9 \cdot 10^{-6}$                        | 10   | $1,9 \cdot 10^{-7}$               |
| о. Кильдин (4)                 | Ламинария     | $^{90}\text{Sr}$  | $2,0 \cdot 10^{-6}$                        | 10   | $2,0 \cdot 10^{-7}$               |

Источник: составлено Н.А. Аникиной, А.И. Крышевым, М.Н. Катковой.

Table 3. Results of calculations of the index of ecological risk of contamination of natural environment components with radionuclides

| Sampling location (station no.) | Species name | Radionuclide      | Radiation dose rate ( $D_i$ ), mGy/day | Maximum permissible radiation load (MPRLi), mGy/day | Environmental Risk Index (ERI) |
|---------------------------------|--------------|-------------------|--|---|--------------------------------|
| Teriberka (3)                   | Fucus        | $^{137}\text{Cs}$ | $3.0 \cdot 10^{-6}$                    | 10  | $3.0 \cdot 10^{-7}$            |
| Teriberka (3)                   | Haddock      | $^{137}\text{Cs}$ | $2.2 \cdot 10^{-6}$                    | 1   | $2.2 \cdot 10^{-6}$            |
| Dalnie Zelentsy (1)             | Haddock      | $^{137}\text{Cs}$ | $1.5 \cdot 10^{-6}$                    | 1   | $1.5 \cdot 10^{-6}$            |
| Dalnie Zelentsy (1)             | Crandall     | $^{137}\text{Cs}$ | $2.3 \cdot 10^{-6}$                    | 1   | $2.3 \cdot 10^{-6}$            |
| Kildin Island (4)               | Fucus        | $^{137}\text{Cs}$ | $2.5 \cdot 10^{-6}$                    | 10  | $2.5 \cdot 10^{-7}$            |
| Kildin Island (4)               | Kelp         | $^{137}\text{Cs}$ | $2.7 \cdot 10^{-6}$                    | 10  | $2.7 \cdot 10^{-7}$            |
| Teriberka (3)                   | Kelp         | $^{90}\text{Sr}$  | $1.9 \cdot 10^{-6}$                    | 10  | $1.9 \cdot 10^{-7}$            |
| Teriberka (3)                   | Fucus        | $^{90}\text{Sr}$  | $1.7 \cdot 10^{-6}$                    | 10  | $1.7 \cdot 10^{-7}$            |
| Kildin Island (4)               | Fucus        | $^{90}\text{Sr}$  | $1.9 \cdot 10^{-6}$                    | 10  | $1.9 \cdot 10^{-7}$            |
| Kildin Island (4)               | Kelp         | $^{90}\text{Sr}$  | $2.0 \cdot 10^{-6}$                    | 10  | $2.0 \cdot 10^{-7}$            |

Source: compiled by N.A. Anikina, A.I. Kryshev, M.N. Katkova.

Вычислим значение второго коэффициента, учитывающего временной масштаб радиационного воздействия. Так как атомная подводная лодка К-159 затонула в 2003 г., то по градации из рекомендаций<sup>2</sup> рассматриваемый случай можно отнести к продолжительному воздействию (свыше 1 года). Следовательно,  $A_{вр} = 3$  (безразмерная величина).

Определим значение показателя интенсивности радиационного воздействия на компоненты морской среды. Значение интенсивности радиационного воздействия зависит от индекса экологического риска, представленного в табл. 3. Как следует из табл. 3, все индексы экологического риска значительно ниже 1 и, следовательно, оказывают незначительное воздействие на радиационную обстановку. Таким образом, изменения в морской среде района затопления АПЛ К-159 не превышают пределы естественной изменчивости, а индекс радиационного воздействия равен 1.

Таким образом, обобщенный показатель риска в нашем случае составил 3. Это означает, что согласно шкале рисков из рекомендаций<sup>2</sup> компоненты морской среды воздействуют на радиационную обстановку незначительно.

В рассмотренной области не требуется проведения природоохранных мероприятий по обеспечению радиационной безопасности морской биоты. Однако с учетом потенциальной опасности необходимо проведение регулярных обследований места затопления АПЛ К-159 для своевременного выявления поступления радионуклидов в природную среду Баренцева моря.

## Выводы

Проведена радиоэкологическая оценка состояния морской среды в районе затопления атомной подводной лодки К-159 по результатам научно-исследовательской экспедиции НПО «Тайфун» в 2023 г. Определены коэффициенты накопления радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в придонной рыбе и водных растениях.

Коэффициент накопления  $^{137}\text{Cs}$  в пикше в 2–3 раза выше, а в зубатке – в 5 раз выше, чем средняя величина по Баренцеву морю, существенно превышая также и среднемировые значения. Это подтверждает возможность биологического переноса  $^{137}\text{Cs}$  промысловыми мигрирующими рыбами Баренцева моря, связанными с бентосной пищевой цепочкой. Необходимо дальнейшее изучение и мониторинг радиоактивного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и другими техногенными радионуклидами мигрирующих придонных видов рыб Баренцева моря.

Коэффициент накопления  $^{90}\text{Sr}$  в водных растениях по данным экспедиционного обследования зависит от места отбора пробы. В районе Териберки он существенно ниже как среднего значения для всего Баренцева моря, так и среднемирового значения, а в районе острова Кильдин – в 2 раза выше средних значений по всему Баренцеву морю и в 4 раза выше среднемировых значений.

Рассчитаны индексы экологического риска загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  компонентов морской среды. Все полученные значения оказались намного меньше единицы, что соответствует уровню фонового радиационного воздействия. Обобщенный показатель риска от радиоактивного загрязнения равен 3. В соответствии с принятой градацией это означает, что в рассматриваемой области отсутствует необходимость в природоохранных мероприятиях по обеспечению радиационной безопасности.

С учетом потенциальной опасности затопленной АПЛ К-159 необходимо продолжать регулярные обследования окружающей среды в этом районе, отслеживая динамику уровней содержания техногенных радионуклидов в морской воде, донных отложениях и биоте. Необходимо учитывать в моделях расчета миграции радиоактивных веществ в Баренцевом море возможность биологического переноса радионуклидов, содержащихся в донных отложениях, мигрирующими придонными видами рыб.

### Список литературы

- [1] Вакуловский С.М., Васильев А.П., Высоцкий В.Л., Губин А.Т., Данилян В.А., Крышев И.И., Мазокин В.А., Никитин А.И., Скорик Ю.И., Кобзев В.И., Лавковский С.А., Петров О.И., Пологих Б.Г. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию // Радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в Арктические и Дальневосточные моря («Белая книга – 2000»). Москва : ИздАТ, 2005. 624 с. EDN: QKOFYF
- [2] Саркисов А.А., Сивинцев Ю.В., Высоцкий В.Л., Никитин В.С. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики : радиологические и технико-экономические проблемы радиационной реабилитации морей. Москва : ИБРАЭ РАН, 2015. 699 с. EDN: XMNHNR.
- [3] Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Крышев И.И. Моделирование радиоэкологических процессов в окружающей среде. Москва : Маска, 2022. 638 с. EDN: AFREHA
- [4] Крышев И.И., Павлова Н.Н., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Косых И.В., Бурякова А.А., Росновская Н.А. Оценка экологического риска от радиоактивного загрязнения окружающей среды // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20. № 3. С. 10–26. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-10-26> EDN: FWYODN
- [5] Долгов А.В. Атлас-определитель основных промысловых рыб Баренцева моря. Мурманск : ПИНРО, 2011. 187 с.
- [6] Росновская Н.А., Крышев А.И., Крышев И.И. Определение в воде и донных отложениях Баренцева моря контрольных уровней содержания радионуклидов, обеспечивающих приемлемый экологический риск // Морской биологический журнал. 2022. Т. 7. № 4. 70–80. EDN: UEMHKSC
- [7] Крышев А.И., Сазыкина Т.Г. Расчет максимальных уровней накопления и биологического переноса  $^{137}\text{Cs}$  в рыбе Баренцева моря при гипотетической аварии с затонувшей атомной подводной лодкой К-159 // Траектория исследований – человек, природа, технологии. 2023. № 2 (6). С. 3–15. EDN: MHKEDG
- [8] Аникина Н.А., Крышев А.И. Расчет обобщенных показателей радиационно-экологического риска для районов Баренцева и Карского морей, подверженных воздействию ядерно и радиационно опасных объектов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 3. С. 274–285. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-274-285> EDN: ZMRGSU.

### References

- [1] Vakulovsky SM, Vasiliev AP, Vysotsky VL, Gubin AT, Danilyan VA, Kryshev II, Mazokin VA, Nikitin AI, Skorik Yu. Technogenic radionuclides in the seas washing Russia. *Radioecological consequences of radioactive waste disposal in the Arctic and Far Eastern seas* (“White Book – 2000”). Moscow: IzdAT; 2005 (In Russ.) EDN: QKOFYF
- [2] Sarkisov AA, Sivintsev YuV, Vysotsky VL, Nikitin VS. *The Atomic Legacy of the Cold War on the Arctic Seabed: Radiological and Technical-Economic Problems of Radiation Remediation of the Seas*. Moscow: IBRAE RAN; 2015 (In Russ.) EDN: XMNHNR
- [3] Sazykina TG, Kryshev AI, Kryshev II. *Modeling of radioecological processes in the environment*. Moscow: Mask publ.; 2022 (In Russ.). EDN: AFREHA
- [4] Kryshev II, Pavlova NN, Sazykina TG, Kryshev AI, Kosykh IV, Buryakova AA, Rosnovskaya NA. Assessment of environmental risk from radioactive pollution of the environment. *Issues of Risk Analysis*. 2023;20(3):10–26. (In Russ.) <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-10-26> EDN: FWYODN

- [5] Dolgov AV. *Atlas-identifier of the main commercial fish of the Barents Sea*. Murmansk : PINRO, 2011. (In Russ.)
- [6] Rosnovskaya NA, Kryshev AI, Kryshev II. Determination of control levels of radionuclides ensuring acceptable environmental risk in the Barents Sea water and bottom sediments. *Marine Biological Journal*. (In Russ.) 2022;7(4):70–80. EDN: UEMHKSC
- [7] Kryshev AI, Sazykina TG. Calculation of maximum accumulation levels and biological transfer of <sup>137</sup>Cs in the Barents Sea fish for scenario of the hypothetical accident with the sunken nuclear submarine “K-159”. *Trajectory of research: human, nature, technology*. (In Russ.) 2023;(2):3-15. EDN: MHKEDG
- [8] Anikina NA, Kryshev AI. Calculation of generalized indicators of radiation-ecological risk for areas of the Barents and Kara Seas exposed to the influence of nuclear and radiation hazardous objects. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(3):274–285. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-274-285> EDN: ZMRGSU

### Сведения об авторах:

*Аникина Нелли Александровна*, младший научный сотрудник, лаборатория радиационно-экологического моделирования и анализа риска, институт проблем мониторинга, ФГБУ «Научно-производственное объединение „Тайфун“», Российская Федерация, 249031, г. Обнинск, ул. Победы, д. 4. ORCID: 0000-0001-8839-5104; eLIBRARY SPIN-код: 7199-4800; AuthorID: 1143723. E-mail: [katkovan@list.ru](mailto:katkovan@list.ru)

*Крышев Александр Иванович*, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория радиационно-экологического моделирования и анализа риска, институт проблем мониторинга, ФГБУ «Научно-производственное объединение „Тайфун“», Российская Федерация, 249031, г. Обнинск, ул. Победы, д. 4. ORCID: 0000-0001-6816-0260; eLIBRARY SPIN-код: 5696-7633. E-mail: [kai@rpatyphoon.ru](mailto:kai@rpatyphoon.ru)

*Каткова Маргарита Николаевна*, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория радиационного мониторинга и контроля окружающей среды, институт проблем мониторинга, ФГБУ «Научно-производственное объединение „Тайфун“», Российская Федерация, 249031, г. Обнинск, ул. Победы, д. 4. AuthorID: 524808. E-mail: [katkova@rpatyphoon.ru](mailto:katkova@rpatyphoon.ru)

### Bio notes:

*Nelli A. Anikina*, Junior Researcher, Laboratory of Radiation-Ecological Modeling and Risk Analysis, Institute of Monitoring Problems, Federal State Budgetary Institution “Research and Production Association “Typhoon”, 4 Pobeda St, Obninsk, 249031, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8839-5104; eLIBRARY SPIN-code: 7199-4800; AuthorID: 1143723. E-mail: [katkovan@list.ru](mailto:katkovan@list.ru)

*Alexander I. Kryshev*, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Radiation-Ecological Modeling and Risk Analysis, Institute of Monitoring Problems, Institute of Monitoring Problems, Federal State Budgetary Institution “Research and Production Association “Typhoon”, 4 Pobeda St, Obninsk, 249031, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6816-0260; eLIBRARY SPIN-code: 5696-7633. E-mail: [kai@rpatyphoon.ru](mailto:kai@rpatyphoon.ru)

*Margarita N. Katkova*, Candidate of Biological Sciences, Senior Research Fellow, Laboratory of Radiation Monitoring and Environmental Control, Institute of Monitoring Problems, Federal State Budgetary Institution “Research and Production Association “Typhoon”, 4 Pobeda St, Obninsk, 249031, Russian Federation. AuthorID: 524808. E-mail: [katkova@rpatyphoon.ru](mailto:katkova@rpatyphoon.ru)



DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-268-283

EDN: QXYGRI

УДК 574.2(581.524.2)

Научная статья / Research article

## Лимитирующие факторы распространения *Viscum album* L. и биоиндикационные характеристики биомассы адвентивного вида в Брянской области

Л.А. Земскова, В.М. Нестеренко, Л.Н. Анищенко✉

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Брянск,  
Российская Федерация

✉eco\_egf@mail.ru

**Аннотация.** Для выяснения роли экологических факторов в распространении полупаразита *Viscum album* L. в местообитаниях Брянской области выполнены многолетние исследования по эколого-биологическим и эколого-химическим особенностям древесных форофитов и биомассы омелы. Омела белая – адвентивный вид с расширяющимся ареалом, поэтому организация биомониторинговых работ – важное условие для постоянного биологического контроля за особенностями распространения популяций в благоприятных местообитаниях Нечерноземья РФ. При использовании маршрутного метода, визуальных и метрических методик, лабораторно-химических приборных изысканий обработаны более 150 образцов растительной биомассы, выявлены местонахождения *Viscum album* в 218 точках. Для местообитаний городского и сельского поселения учтены ведущие экологические факторы, определяющие распространение омелы белой: кислотность и плотность коры субстратных деревьев, которые напрямую определяют скорость прорастания семян, препятствуют образованию трещиноватости коры. В наибольшей степени омелой поражены мягколиственные деревья с мягкой и близкой к нейтральным значениям кислотности коры: *Betula pendula* Roth, *Sorbus aucuparia* L., *Populus tremula* L., *Prunus domestica* L. Биохимические характеристики омелы белой по содержанию аскорбиновой кислоты и тяжелых металлов рекомендованы для эколого-геохимического картирования территорий и могут опосредованно характеризовать состояния форофитов.

**Ключевые слова:** кислотность и плотность коры, местообитания, экологические характеристики, Нечерноземье РФ

**Вклад авторов.** Земскова Л.А. – проведение исследовательского процесса, проведение экспериментов, сбор данных; Нестеренко В.М. – проведение исследовательского

© Земскова Л.А., Нестеренко В.М., Анищенко Л.Н., 2025



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

процесса, проведение экспериментов, сбор данных; *Анищенко Л.Н.* – руководство планированием и выполнением исследовательской деятельности, визуализация и представление данных. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

**История статьи:** поступила в редакцию 16.11.2024; доработана после рецензирования 26.05.2025; принята к публикации 29.05.2025.

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

**Для цитирования:** *Земскова Л.А., Нестеренко В.М., Анищенко Л.Н.* Лимитирующие факторы распространения *Viscum album* L. и биоиндикационные характеристики биомассы адвентивного вида в Брянской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 3. С. 268–283. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-268-283>

## Limiting factors of *Viscum album* L. spread and bioindication characteristics of alien species biomass in the Bryansk region

Lolita A. Zemskova, Victoria M. Nesterenko, Lidiya N. Anishchenko✉

*Bryansk State Academician I.G. Petrovski University, Bryansk, Russian Federation*

✉ [eco\\_egf@mail.ru](mailto:eco_egf@mail.ru)

**Abstract.** To clarify the role of environmental factors in the spread of the semi-parasite *Viscum album* L. in the habitats of the Bryansk region, long-term studies were carried out on the ecological-biological and ecological-chemical characteristics of woody phorophytes and mistletoe biomass. Mistletoe is an adventitious species with an expanding range, so the organization of biomonitoring work is an important condition for continuous biological control over the characteristics of the distribution of populations in favorable habitats of the Non-Black Earth Region of the Russian Federation. Using the route method, visual and metric techniques, laboratory and chemical instrumental surveys, more than 150 samples of plant biomass were processed, the locations of *Viscum album* were identified at 218 points. For the habitats of the urban and rural settlements, the leading environmental factors determining the spread of mistletoe were taken into account: acidity and density of the bark of substrate trees, which directly determine the rate of seed germination, prevent the formation of bark cracks. The trees most affected by mistletoe are soft-leaved trees with soft and almost neutral acidity bark: *Betula pendula* Roth, *Sorbus aucuparia* L., *Populus tremula* L., *Prunus domestica* L. Biochemical characteristics of mistletoe in terms of ascorbic acid and heavy metal content are recommended for ecological and geochemical mapping of territories and can indirectly characterize the state of phorophytes.

**Keywords:** acidity and density of bark, habitats, ecological characteristics, Non-Black Earth Region of the Russian Federation

**Authors' contribution.** *L.A. Zemskova* – conducting a research and investigation process, specifically performing the experiments; *V.M. Nesterenko* – conducting a research and investigation process, specifically performing the experiments; *L.N. Anishchenko* – management and coordination responsibility for the research activity planning and execution,

preparation, creation and presentation of the published work. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Article history:** received 16.11.2024; revised 26.05.2025; accepted 29.05.2025.

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

**For citation:** Zemskova LA, Nesterenko VM, Anishchenko LN. Limiting factors of *Viscum album* L. spread and bioindication characteristics of alien species biomass in the Bryansk region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):268–283. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-268-283>

## Введение

Омела белая (семейство *Santalacae*) – миксотроф, полупаразит, эпифит, на территории Брянской области зарегистрирован в основном на листовенных древесных видах. Полупаразит – вечнозеленый кустарник, двудомный, шаровидной формы, развита орнитохория: семена переносят виды семейства врановые [1–4]. В настоящее время омела белая – адвентивный вид с расширяющимся ареалом, проявляющий свойства потенциально инвазивного вида, распространяющийся в городских насаждениях, дендропарках, ботанических садах, защитных лесополосах, плодовых садах, значительно снижая декоративность посадок, вызывая гибель ценных деревьев, уменьшая урожай семечковых и косточковых культур [1; 5–11]. Общее распространение систематических таксонов вида – Кавказ – юг Скандинавии, средняя и атлантическая Европа, Средиземноморье, Малая Азия, Африка [4].

В настоящее время вид *Viscum album* L. недостаточно изучен на территории Брянской области как административного центра Нечерноземья РФ и пограничной территории с местообитаниями, которые активно осваиваются омелой. Распространение полупаразитного растения имеет тенденцию к расширению, вызванному изменением климатических характеристик местностей, что влечет «захват» этим видом культурных старовозрастных насаждений и снижение энергии роста древесных растений, приводит к потере декоративности и гибели ценных древесных видов. Однако экофакторы, обуславливающие распространение *Viscum album* на уровне ландшафта, известны недостаточно, а для Нечерноземья РФ также не выяснены предпочитаемые для заселения древесные виды и дендролого-экологические факторы расселения.

**Цель исследования** – выявить экологические факторы, способствующие распространению популяций полупаразита *Viscum album* L., и представить эколого-химические характеристики биомассы популяций адвентивного вида в целях биоиндикации.

## Материалы, методы, методики исследования

Выявление распространения и приуроченности вида проводилось маршрутным методом для обнаружения местонахождений, использовался бинокль для оценки распространения и плотности вида при поселениях на деревьях в

насаждениях: городских, лесопарковых, усадебных, придорожных. Подсчитывали все пораженные деревья (в %), устанавливали вид дерева, отмечали места прикрепления особей растения-полупаразита на побеге. Визуально определяли площадь распространения полупаразита: измеряли площадь кроны древесных видов и площадь распространения особей путем проекции на почву, рассчитывали плотность поражения. При массовой санитарной обработке деревьев в населенных пунктах площадь распространения устанавливали непосредственно путем обмера. На каждом экземпляре деревьев-форофитов были подсчитаны особи *Viscum album*, подсчет проводился в осенне-зимний период времени, а также в августе в агроценозах на плодовых насаждениях. Регистрировали окружение деревьев-хозяев (одиночное расположение, групповые посадки – в группе как минимум два дерева, расстояние между которыми меньше диаметра кроны каждого из них).

Сравнительные характеристики эколого-химических особенностей биомассы омелы белой проводили для сборов в местах массового распространения популяций адвента – в д. Добрунь Брянского района, г. Трубчевске Брянской области.

Кислотность коры деревьев отмечали по литературным источникам, а также изучали лабораторным способом [11; 12]. Кора деревьев (форофитов) изымалась при помощи ножа, рекомендации принимались во внимание по методике Д.М. Иржигитовой [13]. Для получения вытяжки 5 г сырья измельчали при помощи мельницы, заливали дистиллированной водой в соотношении 1:5, при этом 48 ч выдерживали при температуре +25 °С. Кислотность устанавливали лабораторным рН-метром [13].

Химические показатели побеговой массы омелы исследовались на предмет концентрации антиоксидантов – витамина С (аскорбиновой кислоты), поллютанов трансграничного происхождения – элементов группы тяжелых металлов по установленным ГОСТом методикам, методом титрования и спектрофотометрией, аппаратным методом с использованием прибора Спектроскан Макс фирмы Spectron<sup>1</sup>.

Видовые названия древесных растений указаны по общепринятым источникам [14]. Математическая обработка данных с учетом трудов по статистике [15].

---

<sup>1</sup> См.: Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошкообразных пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа. М 049-П/04. СПб. : ООО НПО «Спектрон», 2004. 20 с.; Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов (ПДК) в почве. Гигиенические нормативы. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с. // Консультант плюс : сайт. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 11.12.2024); Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу / пер. с англ. ; под ред. А.Г. Рябошапка. Kjeller, 2001 // NILU. URL: <http://tarantula.nilu.no/projects/ccc/manual/index.html> (дата обращения: 11.12.2024); ГОСТ 24556–89. Продукты переработки плодов и овощей : методы определения витамина С. Москва : ИПК Изд-во стандартов, 1989. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294829/4294829760.pdf> (дата обращения: 11.12.2024).

## Результаты исследований

В сопредельных с Брянской областью государствах омела белая имеет расширяющийся ареал: северная граница ареала *Viscum album* в Республике Беларусь проходит по линии Гродно – Острино – Любча – Карпиловичи – Довск. Наиболее значительные по числу местонахождений омелы белой отмечены в южных районах Беларуси [16].

Для Украины мониторинговые исследования омелы белой производились на территории Винницкой, Житомирской, Киевской, Черкасской, Хмельницкой области, обсуждались поселения полупаразита на древесных видах дендропарка Софиевка, Национального ботанического сада им. Н.Н. Гришко, дендропарка «Александрия» НАН Украины [8; 9; 17; 18].

В настоящее время отдельные авторы отмечают, что омелой заселяются молодые растения с несформировавшейся корой [9-11], другая группа отмечает поражение ослабленных старовозрастных пород деревьев с мягкой древесиной, приуроченных к долинам рек, увлажненным балкам, старинным усадебным паркам, реже городским насаждениям [1; 17; 19].

С целью охраны деревьев-форофитов, вероятно, целесообразно проводить рубку сильно пораженных деревьев, обрезку ветвей, что будет способствовать уничтожению первичных очагов возникновения паразита. Необходимо производить посадку более устойчивых видов, не допускать изреженности насаждений, так как это может стимулировать появление омелы белой на других породах.

Приуроченность экземпляров омелы белой тесно связана с кислотностью коры (табл. 1).

Показатели кислотности, характеризующие среднекислую и кислую реакцию коры, зарегистрированы для видов: *Tilia cordata*, *Quercus robur*, *Aesculus hippocastanum*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*. Для таких видов, как *Pyrus communis*, *Sorbus aucuparia*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Populus nigra*, значения рН коры выявлены в диапазоне от 8,2 до 9,4 единиц (среднещелочная среда). Для культурной дендрофлоры двух городов в основном наблюдается щелочная среда вытяжки. Для видов рода *Populus*, *Pinus*, *Picea*, *Quercus robur*, *Tilia cordata* данные практически совпали с литературными по г. Гомель (Республика Беларусь), г. Житомиру (Украина), г. Магнитогорску, г. Владимиру. Для других видов кислотность коры мало учитывалась при исследованиях. Однако результаты рН-метрии характеризуют кислотность коры преимущественно как слабокислую и околонейтальную. Таким образом, описываемые в последние десятилетия явления, которые связывались с выщелачиванием коры форофитов в связи с возросшей антропогенной нагрузкой, наблюдаются редко. Это явление повышения кислотности коры нивелировано отсутствием производств в деревне Добрунь Брянского района и малом городе Трубчевске Брянской области, где отмечено массивное распространение омелы по древесным субстратам.

Таблица 1. Распределение кислотности коры фоновых видов форофитов на территории урбопоселений  
 Table 1. Distribution of acidity of the bark of background phorophyte species in the territory of urban settlements

| Видовой состав насаждений /<br>Species composition of plantings | Значения pH /<br>pH values (M±m) | Интервал значений pH /<br>pH value range |
|---|----------------------------------|--|
| <i>Betula pendula</i> Roth                                      | 8,3 ± 0,2                        | 7,8–8,7                                  |
| <i>Sorbus aucuparia</i> L.                                      | 8,9 ± 0,2                        | 8,5–9,3                                  |
| <i>Populus tremula</i> L.                                       | 9,4 ± 0,2                        | 8,9–9,7                                  |
| <i>Populus nigra</i> L.   | 8,5 ± 0,2                        | 8,3–8,7                                  |
| <i>Tilia cordata</i> Mill.                                      | 4,6 ± 0,2                        | 4,1–4,8                                  |
| <i>Quercus robur</i> L.   | 4,3 ± 0,2                        | 4,0–4,8                                  |
| <i>Aesculus hippocastanum</i> L.                                | 4,4 ± 0,2                        | 4,2–4,7                                  |
| <i>Acer pseudoplatanus</i> L.                                   | 5,1 ± 0,2                        | 4,9–5,7                                  |
| <i>Fraxinus excelsior</i> L.                                    | 4,9 ± 0,2                        | 4,3–4,9                                  |
| <i>Robinia pseudoacacia</i> L.                                  | 5,6 ± 0,2                        | 5,2–5,9                                  |
| <i>Acer platanoides</i> L.                                      | 5,9 ± 0,3                        | 5,7–6,1                                  |
| <i>Acer negundo</i> L.  | 5,5 ± 0,2                        | 5,3–5,9                                  |
| <i>Acer tataricum</i> L.  | 4,8 ± 0,3                        | 4,4–4,9                                  |
| <i>Pinus sylvestris</i> L.                                      | 4,3 ± 0,2                        | 4,1–4,4                                  |
| <i>Picea abies</i> L.   | 4,6 ± 0,3                        | 4,2–4,7                                  |
| <i>Juglans mandshurica</i> Maxim.                               | 5,4 ± 0,3                        | 5,2–5,7                                  |
| <i>Salix caprea</i> L.  | 6,9 ± 0,2                        | 6,4–7,2                                  |
| <i>Ulmus laevis</i> Pall.                                       | 7,7 ± 0,2                        | 7,4–8,1                                  |
| <i>Cerasus vulgaris</i> Mill.                                   | 7,6 ± 0,3                        | 7,4–8,1                                  |
| <i>Malus domestica</i> Borkh.                                   | 7,9 ± 0,3                        | 7,3–7,5                                  |
| <i>Padus avium</i> Mill.  | 6,3 ± 0,2                        | 6,0–6,9                                  |
| <i>Prunus domestica</i> L.                                      | 7,5 ± 0,2                        | 7,2–8,1                                  |
| <i>Pyrus communis</i> L.  | 9,3 ± 0,3                        | 8,9–11,2                                 |
| <i>Prunus cerasus</i> L.  | 7,9 ± 0,3                        | 6,9–8,5                                  |

Источник: составлено Л.А. Земсковой, В.М. Нестеренко, Л.Н. Анищенко.  
 Source: compiled by L.A. Zemskova, V.M. Nesterenko, L.N. Anishchenko.

Чаще всего омела регистрируется на мягколиственных видах деревьев. Заселению субстратов полупаразитом способствуют птицы семейства врановые, поэтому и распространение *Viscum album* увеличивается, и места локализации в населенных пунктах соответствуют местам обитания птиц-переносчиков [2; 3; 20]. В табл. 2 представлены обобщенные данные о заселении *Viscum album* фоновых форофитов.

Таблица 2. Показатели среднего числа особей *Viscum album* на древесных форофитах в Брянской области  
 Table 2. Average number of *Viscum album* individuals on woody phorophytes in the Bryansk region

| Виды форофитов /<br>Types of phorophytes | Среднее число особей на 1 древесном растении (M ± m)<br>/ Average number of individuals per 1 woody plant (M ± m) | Виды форофитов /<br>Types of phorophytes | Среднее число особей на 1 древесном растении (M ± m) /<br>Average number of individuals per 1 woody plant (M ± m) |
|--|---|--|---|
| 1  | 2   | 3  | 4   |
| <i>Betula pendula</i>                    | 7,1 ± 0,5   | <i>Acer tataricum</i>                    | 1,5 ± 0,2   |
| <i>Sorbus aucuparia</i>                  | 7,0 ± 0,5   | <i>Pinus sylvestris</i>                  | 1,0 ± 0,2   |
| <i>Populus tremula</i>                   | 6,5 ± 0,4   | <i>Picea abies</i> L.                    | 0,7 ± 0,2   |
| <i>Populus nigra</i>                     | 6,7 ± 0,5   | <i>Juglans mandshurica</i>               | 1,1 ± 0,2   |
| <i>Tilia cordata</i>                     | 1,6 ± 0,3   | <i>Salix caprea</i>                      | 1,4 ± 0,3   |
| <i>Quercus robur</i>                     | 1,4 ± 0,2   | <i>Ulmus laevis</i>                      | 2,3 ± 0,3   |
| <i>Aesculus hippocastanum</i>            | 1,4 ± 0,2   | <i>Cerasus vulgaris</i>                  | 1,9 ± 0,2   |
| <i>Acer pseudoplatanus</i>               | 1,5 ± 0,2   | <i>Malus domestica</i>                   | 1,4 ± 0,2   |

Ending of the Table 1

| 1                           | 2         | 3                       | 4          |
|-----------------------------|-----------|-------------------------|------------|
| <i>Fraxinus excelsior</i>   | 1,1 ± 0,2 | <i>Padus avium</i>      | 1,2 ± 0,2  |
| <i>Robinia pseudoacacia</i> | 1,3 ± 0,2 | <i>Prunus domestica</i> | 15,4 ± 0,8 |
| <i>Acer platanoides</i>     | 1,6 ± 0,2 | <i>Pyrus communis</i>   | 6,8 ± 0,5  |
| <i>Acer negundo</i>         | 1,5 ± 0,2 | <i>Prunus cerasus</i>   | 4,1 ± 0,5  |

Источник: составлено Л.А. Земсковой, В.М. Нестеренко, Л.Н. Анищенко.

Source: compiled by L.A. Zemskova, V.M. Nesterenko, L.N. Anishchenko.

Наиболее заселены *Viscum album L.* дикорастущие *Betula pendula*, *Sorbus aucuparia*, *Populus tremula*, косточковая культура – *Prunus domestica* и *Pyrus communis*, наименее редко вид зарегистрирован на *Robinia pseudoacacia*, *Juglans mandshurica*, а также хвойных видах. У видов форофитов, имеющих низкие значения кислотности коры, практически не регистрировались экземпляры полупаразита (*Quercus robur*, *Aesculus hippocastanum*, виды рода *Acer*). Так, для ели обыкновенной, сосны обыкновенной, каштана конского обыкновенного распространение особей омелы показано по единичным находкам. Причем полупаразит поселялся исключительно на нижних концевых ветвях побегов.

График (рис. 1) демонстрирует связь кислотности коры и числа поселяющихся особей омелы.

Прямую положительную связь между кислотностью коры и распространением омелы характеризует уравнение корреляции

$$Y = 0,38 + 1,27 x (R^2 = 0,744).$$

Также по литературным данным для некоторых видов установлены значения твердости коры. Наиболее твердая кора характерна для *Tilia cordata*, *Aesculus hippocastanum*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Robinia pseudoacacia*, *Padus avium*, видов рода *Acer*, *Fraxinus excelsior*. Вероятно, фактор, лимитирующий распространение омелы, также дополнен и твердостью коры, которая затрудняет прораствание семян полупаразита, а также не создает трещин на коре, благоприятных для проникновения полупаразита.

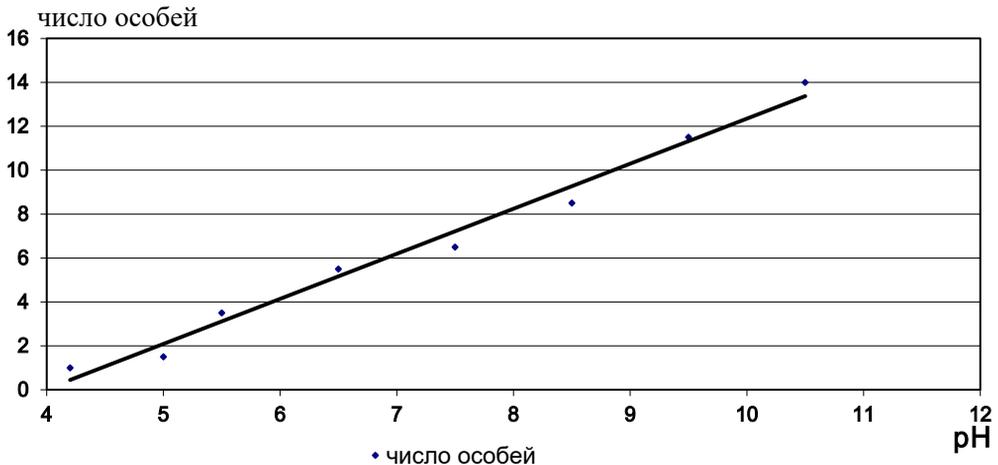
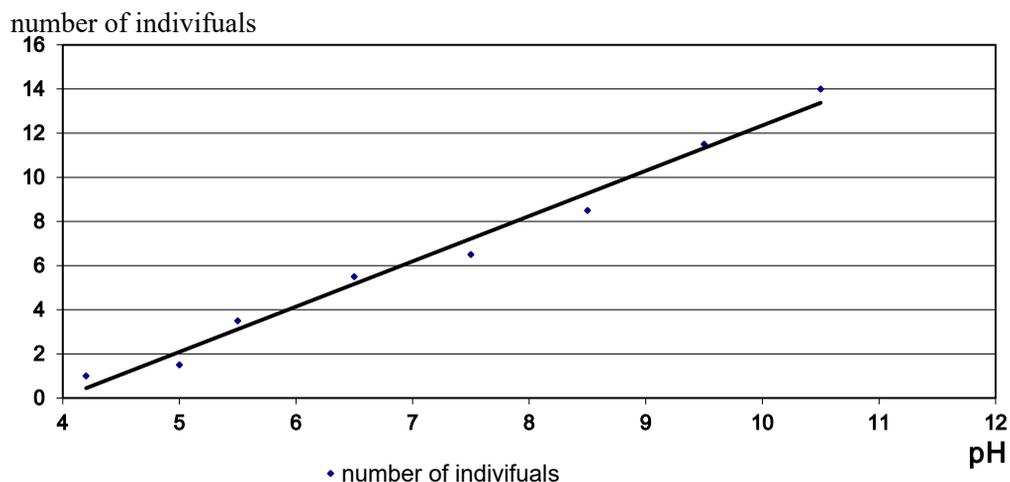


Рис. 1. Связь кислотности коры и распространения омелы

Источник: составлено Л.А. Земсковой, В.М. Нестеренко, Л.Н. Анищенко.



**Figure 1. Relationship between bark acidity and the distribution of *Viscum album* L.**  
*Source:* compiled by L.A. Zemskova, V.M. Nesterenko, L.N. Anishchenko.

Химические особенности биомассы омелы белой как биоиндикатора показаны ниже. Данные рентгенофлуоресцентного анализа содержания тяжелых металлов в образцах омелы белой двух населенных пунктов – г. Трубчевска Трубчевского района и д. Добрунь Брянского района представлены в табл. 3. Урбоэкосистемы различны по размерам, по количеству пораженных древесных стволов фоновых растений в озеленении. Однако экземпляры полупаразита отбирались для анализа в августе и с одного форофита – березы повислой. Это усреднило результаты эколого-аналитических исследований.

**Таблица 3. Валовое содержание элементов группы тяжелых металлов (мг/кг) в биомассе омелы белой г. Трубчевска (2019–2023 гг.) /**  
**Table 3. Gross content of heavy metal group elements (mg/kg) in the biomass of mistletoe in the city Trubchevsk (2019–2023)**

| ТМ | Номера образцов биомассы / Biomass sample numbers |        |         |         |         |         |         |  |
|----|---|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
|    | 1   | 2      | 3       | 4       | 5       | 7       | 11      |  |
| Sr | 77,95   | 212,25 | 123,75  | 111,6   | 147,05  | 100,7   | 124,2   |  |
| Pb | 67,15   | 75,3   | 63,3    | 67,15   | 91,9    | 104,5   | 65,3    |  |
| As | 2,145   | 1,85   | 2,445   | 2,35    | 2,09    | 2,82    | 2,665   |  |
| Zn | 77,9  | 68,4   | 105,55  | 107,75  | 58,05   | 117,75  | 105,6   |  |
| Cu | 46,9  | 49,7   | 43,8    | 45,85   | 40,2    | 42,4    | 45,85   |  |
| Ni | 23,55   | 23,1   | 22,05   | 22,55   | 17,6    | 21,4    | 21,45   |  |
| Co | 0   | 0,03   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |  |
| Fe | 13407,0   | 8208,9 | 12588,8 | 10449,5 | 6977,75 | 11073,8 | 11171,5 |  |
| Mn | 720,3   | 346,7  | 770     | 412,3   | 215,25  | 291,15  | 321,15  |  |
| Cr | 51,05   | 47,2   | 45,05   | 49,8    | 45,05   | 59,35   | 47,55   |  |
| V  | 9,85  | 8,85   | 4,2     | 1,5     | 0       | 11,05   | 13,6    |  |
| Ti | 0   | 0      | 0       | 0       | 0       | 136,15  | 229,9   |  |

*Источник:* составлено Л.А. Земсковой, В.М. Нестеренко, Л.Н. Анищенко.  
*Source:* compiled by L.A. Zemskova, V.M. Nesterenko, L.N. Anishchenko.

В г. Трубчевск во всех исследуемых образцах омелы валовое содержание свинца, мышьяка, цинка, меди, никеля превышает ОДК. Свинец, мышьяк, никель – тяжелые металлы (ТМ) техногенного происхождения. Свинец попадает в биомассу растений-полупаразитов в основном аэрогенным путем.

Содержание марганца и ванадия ни в одной из проб не превышает ОДК. В пробе № 2 зарегистрирован кобальт. Велико содержание стронция и железа. В целом химический состав биомассы исследуемого вида показывает сильно измененную среду для поселения омелы белой, т.е. изменения субстрата – форофитов как биосистем-накопителей. Сравнительный анализ содержания ТМ в слоевищах эпифитов г. Трубчевска и д. Добрунь показал незначительные отличия в химическом составе биомассы экземпляров исследуемого растения. Результаты по содержанию поллютантов в биомассе омелы в малом по численности жителей населенном пункте – д. Добрунь Брянского района отражены в табл. 4.

Таблица 4. Валовое содержание элементов группы тяжелых металлов (мг/кг) в биомассе омелы белой в д. Добрунь (2019–2023 гг.) /  
Table 4. Gross content of heavy metal group elements (mg/kg) in the biomass of mistletoe in the village of Dobrun (2019–2023)

| ТМ | Номера образцов биомассы / Biomass sample numbers |        |         |        |        |       |       |  |
|----|---|--------|---------|--------|--------|-------|-------|--|
|    | 1   | 2      | 3       | 4      | 7      | 9     | 10    |  |
| Sr | 92,95   | 90,8   | 72,0    | 88,2   | 74,5   | 100,8 | 87,3  |  |
| Pb | 22,7  | 24,95  | 25,65   | 19,05  | 14,85  | 24,55 | 17,3  |  |
| As | 1,46  | 1,755  | 1,39    | 1,6    | 1,815  | 1,565 | 1,41  |  |
| Zn | 36,15   | 29,95  | 46,4    | 46,5   | 40,15  | 21,55 | 41,4  |  |
| Cu | 28,6  | 20,3   | 21,25   | 21,75  | 26,3   | 28,8  | 23,6  |  |
| Ni | 19,35   | 12,4   | 14,9    | 18,7   | 18,15  | 19,1  | 17,55 |  |
| Co | 0   | 0      | 1,7     | 0      | 0,3    | 0     | 0,7   |  |
| Fe | 5949,5  | 7917,5 | 3874,65 | 8734,1 | 5324,3 | 6394  | 5900  |  |
| Mn | 207,15  | 309,25 | 134,65  | 413,8  | 234,4  | 224,1 | 336,4 |  |
| Cr | 43,55   | 44,0   | 41,4    | 49,65  | 41,75  | 46,85 | 39,4  |  |
| V  | 0   | 0      | 0       | 0      | 0      | 0     | 0     |  |
| Ti | 0   | 0      | 0       | 0      | 0      | 0     | 0     |  |

Источник: составлено Л.А. Земсковой, В.М. Нестеренко, Л.Н. Анищенко.  
Source: compiled by L.A. Zemskova, V.M. Nesterenko, L.N. Anishchenko.

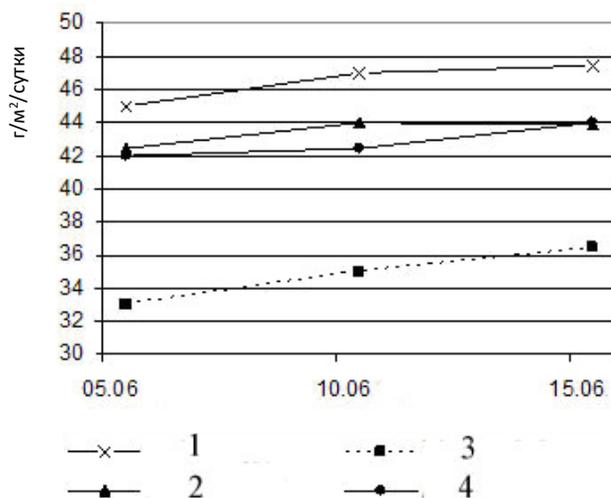
В д. Добрунь анализ фитомассы полупаразита показал достаточно благополучное состояние сред обитания, т.е. субстрата – форофита. Таким образом, эти пробы можно считать фоновыми для местообитаний, измененных человеком. Ни в одном из образцов полупаразитов валовая концентрация свинца, мышьяка, никеля, цинка, меди не превышает ОДК. В пробе точки 12 содержание марганца превышает ОДК. Минимальное содержание свинца определено в пробах 12 и 8, меди, цинка – пробе 2, никеля – пробе 2 и 8. Ванадия и титана в пробах лишайников не обнаружено.

Таким образом, исследование биомассы *Viscum album* на содержание элементов группы ТМ можно рекомендовать как индикаторный признак. Так как в среде урбоэкосистем омела белая распространяется со значительной скоростью, следовательно, этот вид может опосредованно диагностировать состояние форофитов, давать возможность индикации среды.

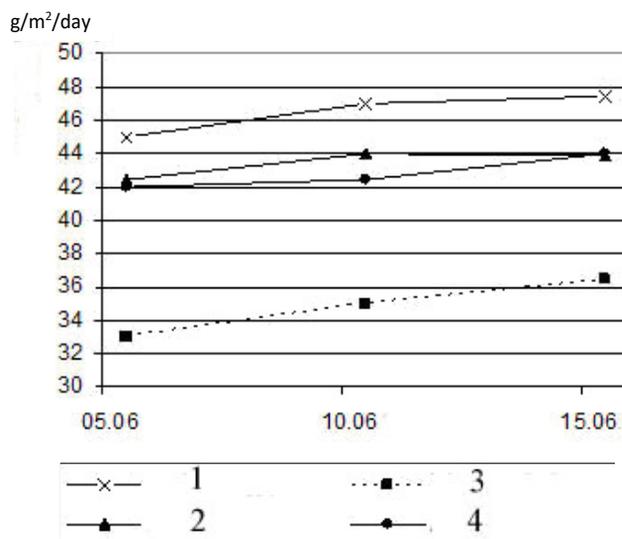
Суммарным показателем адаптации растений к новым условиям является рост растений. Эколого-биологический анализ показал, что прирост сухого вещества омелы практически не отличается у всех изученных растений (рис. 2). Наибольшая биомасса и прирост сухого вещества зарегистрированы

у экземпляров на *Betula pendula* (46 г/м<sup>2</sup>/сут). В то же время наименьшие показатели выявлены у экземпляров полупаразита на *Sorbus aucuparia*. Закономерно прирост сухого вещества увеличивается к середине июня для растений на всех форофитах. Наименьшие показатели продуктивности для омелы на *Pyrus communis*.

Аскорбиновая кислота (витамин С) – одно из важнейших органических веществ, определяющих стрессоустойчивость растений по отношению к абиотическим факторам, а также качественные характеристики растительной продукции.



**Рис. 2. Прирост сухого вещества. Субстраты:**  
1 – *Betula pendula*; 2 – *Tilia cordata*; 3 – *Sorbus aucuparia*; 4 – *Pyrus communis*  
Источник: составлено Л.А. Земсковой, В.М. Нестеренко, Л.Н. Анищенко.



**Figure 2. Dry matter growth. Substrates:**  
1 – *Betula pendula*; 2 – *Tilia cordata*; 3 – *Sorbus aucuparia*; 4 – *Pyrus communis*  
Source: compiled by L.A. Zemskova, V.M. Nesterenko, L.N. Anishchenko.

Валовое содержание аскорбиновой кислоты представлено в табл. 5.

Таблица 5. Показатели концентрации аскорбиновой кислоты (С<sub>ак</sub>, мг / 100 г.) в побеговой биомассе омелы обыкновенной

| Показатель                   | Образцы омелы в парках |   |     |     |     |      |     |     |     |     |      |     |
|------------------------------|------------------------|---|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
|                              | Виды                   | 1*  | 2   | 3   | 4   | 5    | 6   | 7   | 8   | 9   | 10   | 11  |
| С <sub>ак</sub> , мг / 100 г |                        | 9,3   | 8,6 | 8,9 | 8,4 | 9,1  | 7,3 | 7,5 | 8,1 | 8,9 | 11,8 | 7,8 |
|                              |                        | Образцы омелы на форофитах в личных подсобных хозяйствах          |     |     |     |      |     |     |     |     |      |     |
| С <sub>ак</sub> , мг / 100 г |                        | 9,9   | 8,9 | 9,4 | 8,9 | 9,6  | 7,8 | 7,9 | 8,7 | 9,4 | 12,6 | 8,4 |
|                              |                        | Образцы омелы на форофитах внутри селитебных районов              |     |     |     |      |     |     |     |     |      |     |
| С <sub>ак</sub> , мг / 100 г |                        | 10,5  | 9,4 | 9,7 | 9,4 | 10,1 | 8,5 | 8,5 | 9,2 | 9,6 | 12,9 | 8,9 |
|                              |                        | Образцы омелы на форофитах около автотрасс и придорожных посадках |     |     |     |      |     |     |     |     |      |     |
| С <sub>ак</sub> , мг / 100 г |                        | 10,7  | 9,8 | 9,9 | 9,8 | 10,3 | 8,6 | 8,7 | 9,4 | 9,7 | 13,1 | 9,2 |

Примечания:

\*Пробы побегов для определения и различные форофиты для произрастания. С<sub>ак</sub> – концентрация аскорбиновой кислоты в побегах омелы белой.

Форофиты: 1 – *Populus tremula*; 2 – *Acer platanoides*; 3 – *Prunus domestica*; 4 – *Padus avium*; 5 – *Sorbus aucuparia*; 6 – *Pyrus communis*; 7 – *Acer negundo*; 8 – *Malus domestica*; 9 – *Cerasus vulgaris*; 10 – *Betula pendula*; 11 – *Juglans mandshurica*.

Источник: составлено Л.А. Земсковой, В.М. Нестеренко, Л.Н. Анищенко.

Table 5. Ascorbic acid concentration (AAC, mg/100 g) in *Viscum album* shoot biomass

| Indicator                      | <i>Viscum album</i> specimens in parks |   |     |     |     |      |     |     |     |     |      |     |
|--------------------------------|--|---|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
|                                | Species of trees                       | 1*  | 2   | 3   | 4   | 5    | 6   | 7   | 8   | 9   | 10   | 11  |
| AAC <sub>ак</sub> , mg / 100 g |  | 9.3   | 8.6 | 8.9 | 8.4 | 9.1  | 7.3 | 7.5 | 8.1 | 8.9 | 11.8 | 7.8 |
|                                |  | <i>Viscum album</i> samples on phorophytes in private farms                       |     |     |     |      |     |     |     |     |      |     |
| AAC <sub>ак</sub> , mg / 100 g |  | 9.9   | 8.9 | 9.4 | 8.9 | 9.6  | 7.8 | 7.9 | 8.7 | 9.4 | 12.6 | 8.4 |
|                                |  | <i>Viscum album</i> specimens on phorophytes inside residential areas             |     |     |     |      |     |     |     |     |      |     |
| AAC <sub>ак</sub> , mg / 100 g |  | 10.5  | 9.4 | 9.7 | 9.4 | 10.1 | 8.5 | 8.5 | 9.2 | 9.6 | 12.9 | 8.9 |
|                                |  | <i>Viscum album</i> specimens on phorophytes near highways and roadside plantings |     |     |     |      |     |     |     |     |      |     |
| AAC <sub>ак</sub> , mg / 100 g |  | 10.7  | 9.8 | 9.9 | 9.8 | 10.3 | 8.6 | 8.7 | 9.4 | 9.7 | 13.1 | 9.2 |

Notes:

\*Shoot samples for determination and various phorophytes for growth. AAC – ascorbic acid concentration in *Viscum album* shoots.

Phorophytes: 1 – *Populus tremula*; 2 – *Acer platanoides*; 3 – *Prunus domestica*; 4 – *Padus avium*; 5 – *Sorbus aucuparia*; 6 – *Pyrus communis*; 7 – *Acer negundo*; 8 – *Malus domestica*; 9 – *Cerasus vulgaris*; 10 – *Betula pendula*; 11 – *Juglans mandshurica*.

Source: compiled by L.A. Zemskova, V.M. Nesterenko, L.N. Anishchenko.

Произрастание *Viscum album* на различных форофитах, располагающихся в местообитаниях, различающихся по уровню антропогенного стресса, вызывает накопление антистрессорных веществ. Наблюдается закономерное увеличение концентрации аскорбиновой кислоты в побегах омелы: наибольшее содержание вещества диагностировалось в биомассе растений, произрастающих на всех форофитах около автотрасс, в придорожных посадках. Различия между показателями концентраций аскорбиновой кислоты в побеговой части статистически недостоверны. Однако увеличение воздействия комплекса стрессовых факторов закономерно повышает содержание «вещества стресса».

Также концентрация витамина различается и в биомассе *Viscum album* на разных форофитах: размах изменений содержания вещества колеблется от 9,3 до 13,1 мг / 100 г. Наибольшее валовое содержание аскорбиновой кислоты в побегах омелы, собранной с *Betula pendula*, *Sorbus aucuparia*, *Prunus*

*domestica*, *Padus avium*, *Cerasus vulgaris*. Минимальные значения выявлены для биомассы на форофитах – *Juglans mandshurica*, *Pyrus communis*, *Acer platanoides*. Таким образом, для биоиндикационных мероприятий необходимо учитывать и вид дерева-форофита, на котором собираются экземпляры адвентивного вида – омелы белой.

### Заключение

Итак, по итогам трехлетних изысканий представлены к обсуждению и учету ведущие экологические факторы, лимитирующие распространение омелы: кислотность коры дерева-форофита и твердость коры, которая затрудняет прорастание семян растения, препятствует созданию трещин на коре, благоприятных для проникновения полупаразита. Наиболее заселены *Viscum album* L. дикорастущие виды форофитов: *Betula pendula*, *Sorbus aucuparia*, *Populus tremula*, культурные – *Prunus domestica*. В наименьшей степени вид осваивает субстраты – *Robinia pseudoacacia*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Aesculus hippocastanum*: распространение особей омелы показано по единичным находкам. Получено уравнение корреляции, характеризующее прямую положительную связь между кислотностью коры и распространением омелы:

$$Y = 0,38 + 1,27 x (R^2 = 0,744).$$

Исследование экологических возможностей вида в Брянской области показало, что вид осваивает в качестве субстрата старовозрастные деревья, часто мягколиственные породы, занимая в основном верх древесной кроны. Хвойные виды устойчивы к заражению *Viscum album*.

Накопление биомассой омелы белой аскорбиновой кислоты, так же как и элементов группы тяжелых металлов, рекомендовано как биоиндикационные признаки и эколого-геохимического картирования территорий. Изученный вид может опосредованно диагностировать состояние деревьев-форофитов в условиях антропогенного стресса.

Местообитания территории Брянской области обладают благоприятным совокупным набором экологических факторов, стимулирующих распространение омелы белой: ареал вида, изучаемый со середины XX в., расширился непосредственно для Брянской области на северо-восток. Ввиду значительного разрушительного воздействия *Viscum album* на зеленые насаждения и промышленные посадки необходима организация системы экомониторинга с рекогносцировочными и постоянными наблюдениями за освоением инвазивным видом субстратов и местообитаний.

### Список литературы

- [1] Величкин Э. М. О распространении омелы белой (*Viscum album* L., Loranthaceae) в Брянской области // Вестник Брянского государственного университета. 2012. № 4–2. С. 124–126. EDN: RDGVIJ
- [2] Лях Ю. Г., Латушко С.С., Юрель В. А. Видовое разнообразие пернатых – распространителей омелы белой (*Viscum album* L.) в южных регионах Беларуси // Наука,

- образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2020) : материалы XVI Международной научно-технической конференции : в 2 т. Т. 1. Уфа : Уфимский государственный авиационный технический университет, 2020. С. 142–144. EDN: KYSX1Y
- [3] Нечаев В.А. Об экологических связях между птицами и омелой окрашенной *Viscum coloratum* в Приморье и Приамурье // Русский орнитологический журнал. 2008. Т. 17, № 408. С. 443–447. EDN: IJUGZL
- [4] Цвелев Н.Н. Род Омела *Viscum* L. // Флора Восточной Европы. Санкт-Петербург : Мирисемя – 95, 1996. Т. IX. С. 409.
- [5] Василенко І.Д., Філіпова Л.М., Фучило Я.Д. Боротьба з омелою на деревах тополі у зеленій зоні білої церкви // Науковий вісник НЛТУ України. 2013. № 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/borotba-z-omeloyu-na-derevah-topoli-u-zeleniy-zoni-biloyi-tserkvi> (дата обращения: 07.04.2025).
- [6] Олешук Е.Н., Попов Е.Г., Чумаков Л.С. Экологическая угроза распространения омелы белой в Беларуси и методы борьбы с ней // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия флоры: матер. Междунар. науч. конф. Минск : Белтаможсервис, 2022. С. 240–243. EDN: OXKGKB
- [7] Олешук Е.Н., Попов Е.Г. Оценка гербицидов для борьбы с омелой белой (*Viscum album* L.) в модельных опытах // Защита растений от вредных организмов: материалы X Международной научно-практической конференции. Краснодар : Кубанский ГАУ, 2021. С. 260–263. EDN: VJBGNN
- [8] Разанов С.Ф., Кавун Е. М., Гнатюк О.М. Центри розповсюдження омели білої (*Viscum album* L.) її вплив на види, що мають народно-господарське значення // Сільське господарство та лісівництво. 2017. № 5. С. 193–203.
- [9] Рибалка І.О., Вергелес Ю.І., Коваль І.М. Вплив омели білої (*Viscum album* L.) на динаміку радіального приросту клена сріблястого (*Acer saccharinum* L.) у лісостеповій зоні України // Науковий вісник НЛТУ України. 2012. № 15. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vpliv-omeli-biloyi-viscum-album-l-na-dinamiku-radialnogo-prirostu-klena-sriblyastogo-acer-saccharinum-l-u-lisostepoviy-zoni-ukrayini> (дата обращения: 07.04.2025).
- [10] Таран Н.Ю., Светлова Н.Б., Бацманова Л.М., Улинець В.З., Ганчурін В.В. Біологія розвитку *Viscum album* L. та екологічний моніторинг її поширення в лісопаркових біоценозах ресурс // Український ботанічний журнал. 2008. Т. 65, № 2. С. 242–251.
- [11] Skrypnik L., Maslennikov P., Feduraev P., Pungin A., Belov N. Ecological and landscape factors affecting the spread of European mistletoe (*Viscum album* L.) in urban areas (a case study of the Kaliningrad City, Russia) // Plants 2020. Vol. 9, iss. 3. Article no. 394. <https://doi.org/10.3390/plants9030394> EDN: EYMLLV
- [12] *Hawksworth F.G. Mistletoes as forest parasites* / Calder M., Bernardt P. (eds), 1983. P. 317-333.
- [13] Иржигитова Д.М., Корчиков Е.С. Некоторые химические особенности коры деревьев как субстрата для развития лишайников (на примере Красносамарского лесного массива // Вестник Самарского государственного университета. Естественно-научная серия. 2011. № 5 (86). С. 144–152. EDN: OODIFZ
- [14] Маевский П.Ф. Флора средней полосы европейской части России. Москва : КМК, 2014. 600 с. EDN: QJDEED
- [15] Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике / отв. ред. В. Н. Былов; АН СССР, Гл. ботан. сад. Москва : Наука, 1990. 294 с.
- [16] Масловский О.И., Пугачевский А.В. Государственный кадастр растительного мира Республики Беларусь. Основы кадастра. Первичное обследование 2002–2012 г. / под ред. О.М. Масловского. Минск : Беларуская навука, 2019. 599 с.

- [17] Іванців В.В., Іванців О.Я. Екологічні особливості поширення омели звичайної в біотопах м. Луцька // *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2013. № 10. С. 94–100.
- [18] Ігнатюк О.М. Ураження омелою білою (*Viscum album* L.) яблуні домашньої (*Malus domestica*) та інших плодових і ягідних культур // *Сільське господарство та лісівництво. Овочівництво та грибництво, сучасний стан та тенденції розвитку*. 2016. № 3. С. 156–163.
- [19] Болтенко А.В., Урманова Х.В., Томаровщенко О.Н. Проблема распространения полупаразита деревьев омелы белой в г. Шебекино // *Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования* : сб. докладов Всероссийской научной конференции. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С. 3–5. EDN: JHOCVD
- [20] Якименко О.В., Григорьевская А.Я., Терновец М.А. Омела белая *Viscum album* L. (Loganthaceae) и «ведьмина метла» (пролиферация) в Воронежской области // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: География. Геоэкология. 2019. № 2. С. 82–85. EDN: BBBRWG

### References

- [1] Velichkin EM. About the distribution of *Viscum album* L., (Loranthaceae) in the Bryansk region. *The Bryansk State University Herald*. 2012;(4-2):124–126. (In Russ.) EDN: RDGVII
- [2] Lyakh YuG, Latushko SS, Yurel VA. Species diversity of birds – velves (*Viscum album* L.) in the south regions of Belarus. *Science, Education, Production in Solving Environmental Problems (Ecology-2020): Proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference. Vol. 1*. Ufa: Ufa State Aviation Technical University; 2020. p. 142–144. (In Russ.) EDN: KYSXIY
- [3] Nechaev VA. Ecological linkage between birds and *Viscum coloratum* in primorie and Amur land. *Russkij ornitologičeskij žurnal*. 2008;17(408):443–447. (In Russ.) EDN: IJUGZL
- [4] Tsvelev NN. Genus Mistletoe *Viscum* L. *Flora of Eastern Europe. Vol. IX*. St. Petersburg: Mir i Semya–95; 1996. p. 409. (In Russ.)
- [5] Vasilenko ID, Filippova LM, Fuchilo YaD. Control of mistletoe on poplar trees in the green zone of Belaya Tserkov. *Scientific Bulletin of Ukraine*. 2013;(12). (In Ukrainian). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/borotba-z-omeloyu-na-derevah-topoli-uzeleniy-zoni-biloyi-tserkvi> (accessed: 07.04.2025).
- [6] Oleshuk EN, Popoff EH, Chumakov LS. Methods of dealing with mistletoe (*Viscum album* L.) In nature and the botanical garden arboretums. *Introduction, Conservation and Use of Biological Diversity of Flora: Proceedings of the International Scientific Conference*. Minsk: Beltamozhservice; 2022. p. 240–245. (In Russ.) EDN: OXKGKB
- [7] Oleshuk EN, Popov EH. Express-assessment of certain herbicides for the eradication of mistletoe (*Viscum album* L.). *Plant Protection from Pests: Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference*. Krasnodar: KubSAU; 2021. p. 260–263. (In Russ.) EDN: VJBGNN
- [8] Razanov SF, Kavun EM, Gnatyuk OM. Centers of distribution of white mistletoe (*Viscum album* L.) and its impact on species of economic importance. *Agriculture and Forestry*. 2017;(5):193–203. (In Ukrainian)
- [9] Rybalka IO, Verheles YuI., Koval IM. Study of the effect of white mistletoe (*Viscum album* L.) on tree biomass growth (on the example of Canadian poplar, *Populus deltoides*

- Moench.). *Ecological Safety and Balanced Resource Use*. 2017;2(16):72–77. (In Ukrainian)
- [10] Taran NYu, Svetlova NB, Batsmanova LM, Ulinets VZ, Ganchurin VV. Biology of *Viscum album* L. development and ecological monitoring of its distribution in forest park biocenoses. *Ukrainian Botanical Journal*. 2008;65(2):242–251. (In Ukrainian)
- [11] Skrypnyk L, Maslennikov P, Feduraev P, Pungin A, Belov N. Ecological and landscape factors affecting the spread of European mistletoe (*Viscum album* L.) in urban areas (a case study of the Kaliningrad City, Russia). *Plants*. 2020;9(3):394. <https://doi.org/10.3390/plants9030394> EDN: EYMLLV
- [12] Hawksworth FG. Mistletoes as forest parasites. In: Calder M, Bernhardt P. (eds.). *The Biology of Mistletoes*. Sydney: Academic Press; 1983. p. 317–333.
- [13] Irzhigitova DM, Korchikov ES. Some chemical properties of tree bark as a substrate for lichen development (using the Krasnosamara forest massif as an example). *Vestnik of Samara University. Natural Sciences*. 2011;86(5):144–152. (In Russ.) EDN: OODIFZ
- [14] Maevsky PF. *Flora of the Middle zone of the European part of Russia*. Moscow: KMK Scientific Press; 2014. (In Russ.) EDN: QJDEED
- [15] Zaitsev GN. *Mathematics in Experimental Botany*. Moscow: Nauka Publ.; 1990. 296 p. (In Russ.)
- [16] Maslovsky OM, Pugachevsky AV. State Cadastre of Flora of the Republic of Belarus. *Basics of the Cadastre. Primary Survey 2002–2012*. Minsk: Belaruskaya Navuka; 2019. 599 p. (In Russ.)
- [17] Ivantsiv VV, Ivantsiv OYa. Ecological features of the distribution of common mistletoe in the biotopes of Lutsk. *Nature of Western Polissya and Adjacent Territories*. 2013;(10):94–100. (In Ukrainian)
- [18] Ignatyuk OM. Damage to domestic apple (*Malus domestica*) and other fruit and berry crops by white mistletoe (*Viscum album* L.). *Agriculture and Forestry. Vegetable and Mushroom Growing, Current State and Development Trends*. 2016;(3):156–163. (In Ukrainian)
- [19] Boltenko AV, Urmanova HV, Tomarovshchenko ON. The problem of the spread of the semi-parasite mistletoe on trees in the city of Shebekino. *Safety, Protection and Conservation of the Natural Environment: Fundamental and Applied Research: Collection of Reports of the All-Russian Scientific Conference*. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov; 2021. p. 3–5. (In Russ.) EDN: JHOCVD
- [20] Yakimenko OV, Grigor'yevskaya AYа, Ternovets MA. Mistletoe *Viscum album* L. (Loranthaceae) and witch's broom (proliferation) in the Voronezh region. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geocology*. 2019;(2):82–85. (In Russ.) EDN: BBBRWG

### Сведения об авторах:

Земскова Лолита Алексеевна, аспирант кафедры географии, экологии и землеустройства, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Российская Федерация, 241036, г. Брянск, ул. Бежицкая, д. 14. E-mail: eco\_egf@mail.ru

Нестеренко Виктория Михайловна, аспирант кафедры географии, экологии и землеустройства, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Российская Федерация, 241036, г. Брянск, ул. Бежицкая, д. 14. E-mail: eco\_egf@mail.ru

*Анищенко Лидия Николаевна*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры географии, экологии и землеустройства, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Российская Федерация, 241036, г. Брянск, ул. Бежицкая, д. 14. E-mail: Lanishchenko@mail.ru

**Bio notes:**

*Lolita A. Zemskova*, postgraduate student of the Department of Geography, Ecology and Land Management, Bryansk State Academician I.G. Petrovski University, 14 Bezhitskaya St, Bryansk, 241036, Russian Federation. E-mail: eco\_egf@mail.ru

*Victoria M. Nesterenko*, postgraduate student of the Department of Geography, Ecology and Land Management, Bryansk State Academician I.G. Petrovski University, 14 Bezhitskaya St, Bryansk, 241036, Russian Federation. E-mail: eco\_egf@mail.ru

*Lidiya N. Anishchenko*, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Geography, Ecology and Land Management, Bryansk State Academician I.G. Petrovski University, 14 Bezhitskaya St, Bryansk, 241036, Russian Federation. E-mail: Lanishchenko@mail.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-284-297

EDN: QZZVCM

УДК 574.24:615.322

Научная статья / Research article

## Эколого-гигиеническая оценка загрязнения почв урбоценозов Центрального Черноземья приоритетными экотоксикантами

Н.А. Дьякова  *Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация* [Ninotchka\\_V89@mail.ru](mailto:Ninotchka_V89@mail.ru)

**Аннотация.** Цель исследования – эколого-гигиеническая оценка почв урбоценозов Центрального Черноземья по содержанию наиболее приоритетных экотоксикантов. На примере Воронежской области было выбрано 13 площадок отбора образцов верхних слоев почв урбоценозов города Воронеж, а также одна заповедная территория в качестве образцов сравнения. Проведено изучение содержания в почвах урбоценозов и заповедных зон города Воронежа основных токсичных элементов, а также природных и техногенных радионуклидов. Содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка выявлялось атомно-абсорбционным методом. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов определялась методом радиометрической спектроскопии. Исследование почв на содержание природных и техногенных радионуклидов в сравнении со среднемировыми показателями и средними значениями удельных активностей по России позволило подтвердить их относительное радиологическое благополучие. Лимитирующим показателем качества почв урбоценозов региона явилось содержание в них подвижных форм меди – превышение предельно допустимых норм по данному показателю выявлено более чем в половине исследуемых образцов, что можно связать с недостаточной эффективностью очистки выбросов промышленных предприятий и транспорта, а также с низкой гумусированностью урбанизированных почв и, как следствие, малой способностью к прочной фиксации металлов. Полученные результаты комплексных эколого-гигиенических исследований почв Воронежской области демонстрируют в целом преимущественно их соответствие требованиям действующих нормативов, что открывает значительные перспективы дальнейшего развития региона.

**Ключевые слова:** мышьяк, тяжелые металлы, валовое содержание, подвижные формы, природные радионуклиды, техногенные радионуклиды

© Дьякова Н.А., 2025



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

**История статьи:** поступила в редакцию 13.05.2025; доработана после рецензирования 19.05.2025; принята к публикации 25.05.2025.

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

**Для цитирования:** Дьякова Н.А. Эколого-гигиеническая оценка загрязнения почв урбоценозов Центрального Черноземья приоритетными экотоксикантами // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 3. С. 284–297. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-284-297>

## Ecological and hygienic assessment of soil pollution of urbocenoses of the Central Chernozem region with priority ecotoxicants

Nina A. Dyakova  

*Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation*

 [Ninotchka\\_V89@mail.ru](mailto:Ninotchka_V89@mail.ru)

**Abstract.** The purpose of the study was an ecological and hygienic assessment of the soils of the urbocenoses of the Central Chernozem region according to the content of the highest priority ecotoxicants. Using the example of the Voronezh region, 13 sites for sampling the upper layers of soils of urbocenoses in the city of Voronezh were selected, as well as 1 protected area as comparison samples. The main toxic elements, as well as natural and man-made radionuclides, were studied in the soils of urbocenoses and protected areas of the city of Voronezh. The content of gross and mobile forms of heavy metals and arsenic was determined by the atomic absorption method. Specific activity of natural and technogenic radionuclides was determined by radiometric spectroscopy. The study of soils for the content of natural and man-made radionuclides in comparison with the world average indicators and average values of specific activities in Russia made it possible to confirm their relative radiological well-being. The limiting indicator of the quality of the studied soils of urbocenoses was the content of mobile forms of copper in them – exceeding the maximum permissible standards for this indicator was detected in more than half of the studied samples, which can be associated with insufficient efficiency of cleaning emissions into the atmosphere of industrial enterprises and transport, as well as with low humanization of urbanized soils, which is a consequence of low ability to strong fixation of metals. The results of comprehensive ecological and hygienic studies of the soils of the Voronezh region generally demonstrate their compliance with the requirements of the current standards, which opens up significant prospects for the further development of the region.

**Keywords:** arsenic, heavy metals, gross content, mobile forms, natural radionuclides, man-made radionuclides

**Article history:** received 13.05.2025; revised 19.05.2025; accepted 25.05.2025.

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

**For citation:** Dyakova NA. Ecological and hygienic assessment of soil pollution of urbocenoses of the Central Chernozem region with priority ecotoxicants. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):284–297. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-284-297>

## Введение

Увеличение антропогенной нагрузки на окружающую среду диктует необходимость мониторинга экологического состояния как естественных, так и искусственно созданных человеком экосистем [1; 2]. Известно, что почвы являются ключевыми аккумулирующими компонентами антропогенной экосистемы [3; 4].

Воронежская область относится к экономически и стратегически значимым промышленным субъектам Российской Федерации [5–7], отличается ежегодным приростом индекса промышленного производства, составляющим на 2023 г. 107 %<sup>1</sup>. Возрастание техногенной нагрузки на окружающую среду объясняет необходимость эколого-гигиенического исследования основных тенденций развития урбоценозов [8; 9].

Наиболее значимыми источниками попадания экотоксикантов в окружающую среду являются автотранспорт, применение ядохимикатов и удобрений, промышленные предприятия [10; 11]. Выбросы автотранспорта происходят преимущественно непосредственно над поверхностью почвы, однако концентрация экотоксикантов и расстояние, на которое осуществляется их рассеивание, значительно варьируют [12–14]. Распространение загрязняющих веществ от промышленных предприятий зависит от особенностей очистных и выхлопных сооружений, климатических и погодных условий, розы ветров [16; 17].

Почвы Воронежской области представлены преимущественно черноземами, для которых характерны высокие концентрации гумуса и других органических веществ, что обеспечивает высокую способность к сорбции ряда экотоксикантов, в частности тяжелых металлов и радиоизотопов [18–20]. В связи с этим отмечается относительно более высокое содержание в черноземных почвах радионуклидов как техногенного, так и природного происхождения. Прочность сорбции радиоизотопов также увеличивается с уменьшением размера частиц почвы и увеличением pH [18; 21; 22].

Учитывая ежегодно возрастающее воздействие на флору и фауну тяжелых металлов и радионуклидов как наиболее приоритетных экотоксикантов в силу их распространенности, токсического эффекта и способности к кумуляции, актуальным является комплексное исследование экологического состояния почв урбоценозов Воронежской области.

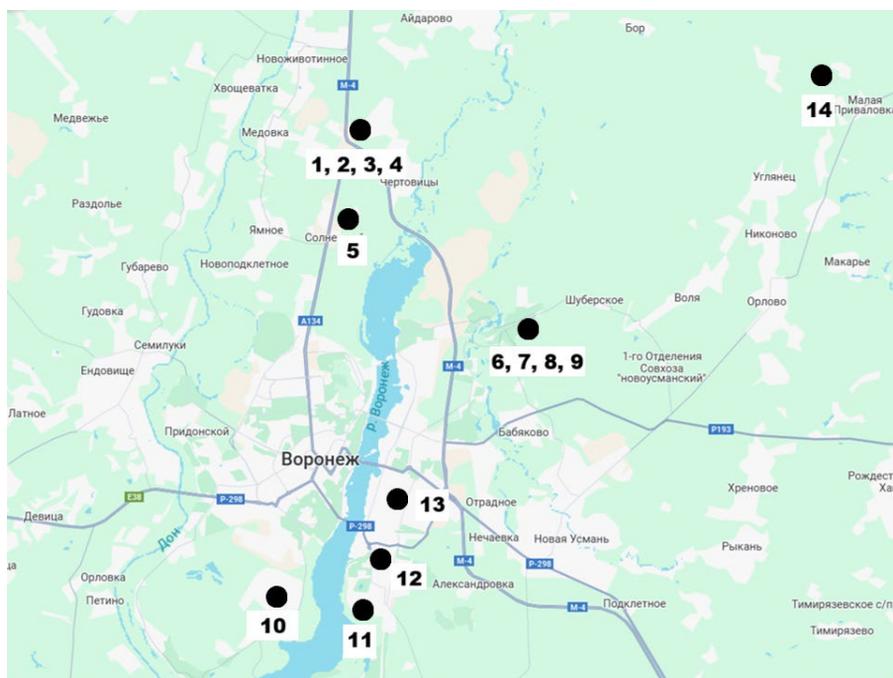
---

<sup>1</sup> Управление Роспотребнадзора по Воронежской области. URL: <http://36.rosпотребнадзор.ru/key-areas/sanitary/14645> (дата обращения: 29.03.2025).

**Цель исследования** – эколого-гигиеническая оценка почв урбоценозов Центрального Черноземья по содержанию наиболее токсичных тяжелых металлов, а также природных и техногенных радионуклидов.

## Материалы и методы

Исследования проводили на примере урбоценозов города Воронежа, вблизи наиболее значимых объектов хозяйственного пользования [17] (табл. 1, рис.). Пробы почв отбирали согласно ГОСТ Р 58595-2019 методом конверта на удалении 0–50 м от обочины дороги на улице Димитрова; на удалении 500–800 м от теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) «ВОГРЭС»; на удалении 500–900 м от химического предприятия ОАО «Воронежсинтезкаучук»; вблизи взлетно-посадочных полос международного аэропорта Воронеж им. Петра Первого; на расстоянии 0–50 м от правого берега низовья Воронежского водохранилища (вблизи Химзатона); на удалении 0–300 м с шагом в 100 м от автомагистрали М4 «Дон» на выезде из г. Воронежа; на удалении 0–300 м с шагом в 100 м от железнодорожных пути вблизи станции Графская Железнодорожного района г. Воронежа; в Воронежском государственном природном биосферном заповеднике им. В.М. Пескова вблизи поселка Краснолесный (Железнодорожный район г. Воронежа) – контрольная точка заготовки образцов (табл. 1). Исследовали верхние слои почв (0–10 см), так как именно они подвергаются наибольшему антропогенному воздействию.



Карта-схема пунктов отбора проб (обозначения расшифрованы в табл. 1)

Источник: составлено Н.А. Дьяковой.

Schematic map of sampling points (symbols are deciphered in Table 1)

Source: compiled by N.A. Dyakova.

Таблица 1. Список учетных площадок для отбора проб почв  
Table 1. List of soil sampling sites

| № п/п  | Территория отбора пробы /<br>Sampling area   | Координаты места<br>заготовки / Coordinates<br>of harvesting site | Тип почвы /<br>Soil type   |
|--|--|---|--|
| <i>Урбоценозы / Urbocenoses</i>              |  |   |  |
| 1.   | Автоматрираль М4 «Дон» (0 м) /<br>M4 Don Motorway (0 m)  | 51°37' с.ш., 39°18' в.д. /<br>51° 37' N, 39° 18' E                | Серые лесостепные<br>среднесуглинистые / Gray<br>forest-steppe medium loamy    |
| 2.   | Автоматрираль М4 «Дон» (100 м) /<br>M4 Don Motorway (100 m)  | 51°37' с.ш., 39°18' в.д. /<br>51° 37' N, 39° 18' E                | Серые лесостепные<br>среднесуглинистые /<br>Gray forest-steppe medium<br>loamy |
| 3.   | Автоматрираль М4 «Дон» (200 м) /<br>M4 Don Motorway (200 m)  | 51°37' с.ш., 39°18' в.д. /<br>51° 37' N, 39° 18' E                | Серые лесостепные<br>среднесуглинистые / Gray<br>forest-steppe medium loamy    |
| 4.   | Автоматрираль М4 «Дон» (300 м) /<br>M4 Don Motorway (300 m)  | 51°37' с.ш., 39°18' в.д. /<br>51° 37' N, 39° 18' E                | Серые лесостепные<br>среднесуглинистые / Gray<br>forest-steppe medium loamy    |
| 5.   | Аэропорт Воронеж им. Петра I /<br>Airport Voronezh named after Peter I                                       | 51°51' с.ш., 39°11' в.д. /<br>51° 51' N, 39° 11' E                | Аллювиальные засоленные /<br>Alluvial saline                                   |
| 6.   | Железнодорожные пути (0 м) /<br>Railway tracks (0 m)   | 51°58' с.ш., 36°58' в.д. /<br>51° 58' N, 36° 58' E                | Серые лесные суглинистые /<br>Gray forest loamy                                |
| 7.   | Железнодорожные пути (100 м) /<br>Railway tracks (100 m)   | 51°58' с.ш., 36°58' в.д. /<br>51° 58' N, 36° 58' E                | Серые лесные суглинистые /<br>Gray forest loamy                                |
| 8.   | Железнодорожные пути (200 м) /<br>Railway tracks (200 m)   | 51°58' с.ш., 36°58' в.д. /<br>51° 58' N, 36° 58' E                | Серые лесные суглинистые /<br>Gray forest loamy                                |
| 9.   | Железнодорожные пути (300 м) /<br>Railway tracks (300 m)   | 51°58' с.ш., 36°58' в.д. /<br>51° 58' N, 36° 58' E                | Серые лесные суглинистые /<br>Gray forest loamy                                |
| 10.  | Низовье Воронежского<br>водохранилища (Химзатон) /<br>Lower reaches of the Voronezh<br>reservoir (Khimzaton) | 51°57' с.ш., 39°17' в.д. /<br>51° 57' N, 39° 17' E                | Серые лесостепные<br>среднесуглинистые / Gray<br>forest-steppe medium loamy    |
| 11.  | ОАО «Воронежсинтезкаучук» /<br>OJSC Voronezhsintezkauchuk  | 51°51' с.ш., 39°27' в.д. /<br>51° 51' N, 39° 27' E                | Аллювиальные луговые<br>оглеенные суглинистые /<br>Alluvial meadow clayey loam |
| 12.  | ТЭЦ «ВОГРЭС» / СНПП "VOGRES"   | 51°52' с.ш., 39°25' в.д. /<br>51° 52' N, 39° 25' E                | Аллювиальные луговые<br>оглеенные суглинистые /<br>Alluvial meadow clayey loam |
| 13.  | Улица г. Воронежа (ул. Димитрова)<br>/ Voronezh Street (Dimitrova St.)                                       | 51°57' с.ш., 39°27' в.д. /<br>51° 57' N, 39° 27' E                | Урбано-дерново-лесные<br>песчаные / Urban-sod-forest<br>sandy                  |
| <i>Контроль (фон) / Control (background)</i> |  |   |  |
| 14.  | Воронежский биосферный<br>заповедник / Voronezh Biosphere<br>Reserve   | 51°59' с.ш., 39°53' в.д. /<br>51°59' N, 39°53' E                  | Дерновые лесные / Sod forest   |

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

Определение содержания в пробах почв валовых и подвижных форм токсичных элементов проводили на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915МД в соответствии с «МУ по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства»<sup>2</sup>. Исследования проводили

<sup>2</sup> Постановление от 28.01.2021 г. № 2 об утверждении СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Москва, 2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 08.04.2025).

с тремя параллельными опытами, допускаемые расхождения определяли при доверительной вероятности 95 %.

Определение в пробах почв удельной активности радионуклидов проводили с использованием спектрометра-радиометра МКГБ-01 «РАДЭК» в соответствии с МР 2.6.1/2.3.7.0216-20<sup>3</sup>.

## Результаты и обсуждение

Средние концентрации валовых и подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах урбоценозов города Воронежа приведены в табл. 2 и 3 соответственно.

Таблица 2. Средние значения валовых концентраций токсичных элементов в почвах урбоценозов города Воронеж, мг/кг  
Table 2. Average values of gross concentrations of toxic elements in soils of urbcenoses of the city of Voronezh, mg/kg

| № п/п   | Территория отбора пробы / Sampling area   | Pb          | Hg   | Cd   | As   | Ni   | Cr   | Co   | Cu    | Zn    |
|---|---|-------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| <i>Урбоценозы / Urbocenoses</i>                                 |   |             |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 1.  | Автомагистраль М4 «Дон» (0 м) / M4 Don Motorway (0 m)   | 26,6        | 0,08 | 0,68 | 1,9  | 37,3 | 25,3 | 15,0 | 59,1  | 94,1  |
| 2.  | Автомагистраль М4 «Дон» (100 м) / M4 Don Motorway (100 m)   | 12,6        | 0,07 | 0,59 | 1,7  | 26,9 | 32,1 | 13,2 | 30,6  | 87,4  |
| 3.  | Автомагистраль М4 «Дон» (200 м) / M4 Don Motorway (200 m)   | 10,1        | 0,03 | 0,22 | 1,2  | 11,2 | 18,4 | 8,1  | 19,5  | 46,3  |
| 4.  | Автомагистраль М4 «Дон» (300 м) / M4 Don Motorway (300 m)   | 8,0         | 0,02 | 0,21 | 1,1  | 8,2  | 19,4 | 5,1  | 19,5  | 30,4  |
| 5.  | Аэропорт Воронеж им. Петра I / Airport Voronezh named after Peter I                                 | <b>33,8</b> | 0,11 | 0,20 | 1,6  | 15,6 | 24,6 | 6,3  | 28,1  | 25,9  |
| 6.  | Железнодорожные пути (0 м) / Railway tracks (0 m)   | 20,2        | 0,24 | 0,31 | 0,9  | 28,0 | 18,3 | 12,8 | 65,4  | 90,8  |
| 7.  | Железнодорожные пути (100 м) / Railway tracks (100 m)   | 6,2         | 0,06 | 0,23 | 0,8  | 15,7 | 14,2 | 9,7  | 58,1  | 83,8  |
| 8.  | Железнодорожные пути (200 м) / Railway tracks (200 m)   | 3,9         | 0,09 | 0,46 | 0,4  | 10,2 | 10,6 | 4,1  | 42,9  | 74,4  |
| 9.  | Железнодорожные пути (300 м) / Railway tracks (300 m)   | 3,0         | 0,02 | 0,41 | 0,1  | 6,3  | 9,4  | 2,2  | 31,4  | 64,8  |
| 10.   | Низовье Воронежского водохранилища (Химзатон) / Lower reaches of the Voronezh reservoir (Khimzaton) | 11,9        | 0,13 | 0,17 | 1,5  | 8,5  | 18,1 | 7,3  | 7,9   | 37,1  |
| 11.   | ОАО «Воронежсинтезкаучук» / OJSC Voronezhskintezkauchuk   | 17,4        | 0,14 | 0,13 | 1,6  | 4,2  | 43,5 | 11,3 | 28,7  | 132,1 |
| 12.   | ТЭЦ «ВОГРЭС» / SHPP «VOGRES»  | 7,4         | 0,16 | 0,09 | 3,8  | 5,4  | 36,7 | 12,1 | 37,9  | 94,3  |
| 13.   | Улица г. Воронежа (ул. Димитрова) / Voronezh Street (Dimitrova St.)                                 | 15,8        | 0,15 | 0,18 | 1,7  | 6,2  | 35,5 | 21,8 | 38,3  | 123,3 |
| <i>Контроль (фон) / Control (background)</i>                    |   |             |      |      |      |      |      |      |       |       |
| 14.   | Воронежский биосферный заповедник / Voronezh Biosphere Reserve                                      | 4,1         | 0,04 | 0,02 | 0,9  | 2,2  | 3,9  | 3,0  | 3,3   | 11,5  |
| Ориентировочно допустимый уровень / Approximate allowable level |   | 32,0        | 2,1  | 2,0  | 10,0 | 80,0 | –    | –    | 132,0 | 220,0 |

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

<sup>3</sup> Методические рекомендации МР 2.6.1/2.3.7.0216-20 «Радиохимическое определение удельной активности природных РН в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах». Москва, 2020. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74835247/> (дата обращения: 15.04.2025).

Таблица 3. Средние значения концентрации подвижных форм токсичных элементов в почвах урбоценозов города Воронеж, мг/кг  
 Table 3. Average values of concentration of mobile forms of toxic elements in soils of urbocenoses of the city of Voronezh, mg/kg

| № п/п  | Территория отбора пробы / Sampling area   | Pb           | Hg   | Cd   | As   | Ni          | Cr          | Co          | Cu           | Zn           |
|--|---|--------------|------|------|------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| <i>Урбоценозы / Urbocenoses</i>              |   |              |      |      |      |             |             |             |              |              |
| 1.   | Автоматгистраль М4 «Дон» (0 м) / M4 Don Motorway (0 m)  | <b>7,18</b>  | 0,03 | 0,12 | 0,15 | <b>6,34</b> | <b>6,57</b> | 3,61        | <b>17,12</b> | <b>26,50</b> |
| 2.   | Автоматгистраль М4 «Дон» (100 м) / M4 Don Motorway (100 m)  | 3,66         | 0,01 | 0,12 | 0,07 | 3,24        | 4,09        | 2,35        | <b>3,18</b>  | 19,20        |
| 3.   | Автоматгистраль М4 «Дон» (200 м) / M4 Don Motorway (200 m)  | 2,84         | 0,01 | 0,04 | 0,05 | 1,47        | 3,52        | 1,49        | 2,27         | 13,88        |
| 4.   | Автоматгистраль М4 «Дон» (300 м) / M4 Don Motorway (300 m)  | 1,85         | 0,01 | 0,04 | 0,03 | 1,23        | 4,07        | 0,77        | 1,46         | 8,16         |
| 5.   | Аэропорт Воронеж им. Петра I / Airport Voronezh named after Peter I                                 | <b>10,82</b> | 0,03 | 0,05 | 0,12 | 2,18        | 5,92        | 1,23        | <b>5,88</b>  | 5,48         |
| 6.   | Железнодорожные пути (0 м) / Railway tracks (0 m)   | <b>7,09</b>  | 0,06 | 0,07 | 0,06 | <b>4,21</b> | 3,85        | 2,85        | <b>12,97</b> | <b>26,36</b> |
| 7.   | Железнодорожные пути (100 м) / Railway tracks (100 m)   | 2,04         | 0,01 | 0,05 | 0,04 | 2,52        | 1,98        | 1,47        | <b>4,96</b>  | 18,45        |
| 8.   | Железнодорожные пути (200 м) / Railway tracks (200 m)   | 0,99         | 0,01 | 0,09 | 0,03 | 1,24        | 1,78        | 0,47        | 2,15         | 14,85        |
| 9.   | Железнодорожные пути (300 м) / Railway tracks (300 m)   | 0,82         | 0,01 | 0,07 | 0,01 | 0,82        | 1,15        | 0,42        | 1,14         | 14,92        |
| 10.  | Низовье Воронежского водохранилища (Химзатон) / Lower reaches of the Voronezh reservoir (Khimzaton) | 2,52         | 0,02 | 0,03 | 0,12 | 1,10        | 3,42        | 1,76        | 2,72         | 11,89        |
| 11.  | ОАО «Воронежсинтезкаучук» / OJSC Voronezhsintezkauchuk  | 4,08         | 0,02 | 0,02 | 0,13 | 0,47        | <b>9,12</b> | 2,57        | <b>6,33</b>  | <b>38,30</b> |
| 12.  | ТЭЦ «ВОГРЭС» / СНРР "VOGRES"  | 2,43         | 0,03 | 0,02 | 0,37 | 0,49        | <b>6,87</b> | 2,42        | <b>9,07</b>  | 19,77        |
| 13.  | Улица г. Воронежа (ул. Димитрова) / Voronezh Street (Dimitrova St.)                                 | <b>6,94</b>  | 0,06 | 0,04 | 0,17 | 0,99        | <b>9,58</b> | <b>5,45</b> | <b>10,35</b> | <b>35,75</b> |
| <i>Контроль (фон) / Control (background)</i> |   |              |      |      |      |             |             |             |              |              |
| 14.  | Воронежский биосферный заповедник / Voronezh Biosphere Reserve                                      | 1,04         | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,26        | 0,59        | 0,61        | 0,92         | 3,44         |
| ПДК / Maximum allowable concentration        |   | 6,0          | -    | -    | -    | 4,0         | 6,0         | 5,0         | 3,0          | 23,0         |

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

Валовая концентрация свинца в изучаемых образцах почв урбоценозов варьировала в пределах 3,0–33,8 мг/кг. В контрольном образце валовое содержание элемента составило 4,1 мг/кг. В почве, отобранной вблизи аэропорта, превышены ориентировочно допустимые нормы (32,0 мг/кг) валового содержания металла. Концентрация подвижных форм свинца варьировала в пределах 0,8–10,8 мг/кг, с превышением предельно допустимых норм (6 мг/кг) вблизи аэропорта, а также на улице города, вдоль трассы М4, железной дороги, что можно объяснить хроническим загрязнением почв выбросами транспорта [13].

В отношении ртути все изучаемые образцы почв соответствовали установленным нормативам. Валовое содержание данного элемента не превышало 50 % от допустимых концентраций. Концентрация подвижных форм ртути не превышала 0,06 мг/кг. Наиболее высокое содержание ртути

отмечено в почвах вдоль железнодорожных путей, вблизи ТЭЦ, на улице города, что может объясняться хроническим загрязнением промышленными и транспортными выбросами [2; 8].

В образце контрольной зоны валовое содержание кадмия составило 0,02 мг/кг, в почвах урбоценозов – 0,09–0,68 мг/кг. Концентрация подвижных форм элемента колебалась в пределах 0,01–0,12 мг/кг. Наиболее высокое содержание кадмия отмечено в почвах, отобранных на удалении 0–100 м от трассы М4.

Валовое содержание мышьяка в почве контрольной зоны составило 0,9 мг/кг, в почвах урбоценозов – 0,1–3,8 мг/кг, достигая значений, превышающих установленные нормативы, в образцах, отобранных вблизи ТЭЦ, которая более 70 лет работала на каменном угле, естественной примесью к которому является мышьяк [2; 6]. Концентрация подвижных форм мышьяка достигала 0,37 мг/кг, наибольшие значения отмечены вблизи ТЭЦ, химического предприятия, на улице города и вдоль трассы М4, что связано с относительно высоким валовым содержанием элемента [9].

Валовая концентрация никеля в почвах урбанизированных территорий составляла 4,2–37,3 мг/кг, в образце контрольной зоны – 2,2 мг/кг. Содержание подвижных форм металла достигало 6,3 мг/кг, с превышением допустимых норм в образцах, отобранных вдоль трассы М4 и железной дороги, что связано с высокой концентрацией в них валовых форм элемента и особенностями почв, бедных гумусовыми кислотами, связывающими металлы в прочные комплексы [16].

Валовое содержание хрома в почвах урбоценозов варьировало в пределах 9,4–43,5 мг/кг. Более низкий уровень концентраций хрома в почве выявлен для образца контрольной территории (3,9 мг/кг). Превышение допустимых норм подвижного хрома (6 мг/кг), содержание которого варьировало 0,6–9,6 мг/кг, отмечено в образцах, заготовленных на улице города, вблизи ТЭЦ, промышленного предприятия, вдоль трассы М4.

Валовое содержание кобальта в почвах урбоценозов составило 2,2–21,8 мг/кг, в почве контрольной зоны – 3,0 мг/кг. Концентрация подвижных форм элемента составила 0,42–5,45 мг/кг. Наиболее высокая валовая концентрация элемента и превышение предельно допустимой концентрации подвижного кобальта отмечены в почве улицы г. Воронежа.

Валовая концентрация меди в почвах урбоценозов колебалась в пределах 7,9–65,4 мг/кг. В образце контрольной зоны содержание элемента составило 3,3 мг/кг. Наиболее высокие валовые концентрации меди в почвах выявлены вдоль трассы М4 «Дон», вдоль и на удалении 100 м от железной дороги. Концентрация подвижных форм меди в почвах варьировала в пределах 0,9–17,1 мг/кг. Превышение допустимых норм подвижных форм металла выявлено в 8 образцах почв (вблизи аэропорта, ОАО «Воронежсинтезкаучук», ТЭЦ, на улице города, на удалении 0–100 м от железной дороги и трассы М4),

что связано с высокими валовыми концентрациями элемента данных территорий, а также с низкой гумусированностью урбанизированных почв [4; 17].

Валовая концентрация цинка в почвах урбоценозов составила 25,9–132,1 мг/кг, в образце контрольной территории – 11,5 мг/кг, концентрация подвижных форм цинка в почвах – 3,4–38,3 мг/кг с превышением допустимых его норм вблизи ОАО «Воронежсинтезкаучук», на улице города, вдоль трассы М4 и железной дороги. На этих же территориях отмечены более высокие валовые концентрации цинка (более 80 мг/кг), что, вероятно, связано с недостаточной очисткой выбросов производственного предприятия (цинк используется для вулканизации каучуков), а также с истиранием оцинкованных деталей транспорта, шин и применением в машинных маслах цинксодержащих присадок [1; 2; 4; 13].

ПДК как техногенных, так и природных радионуклидов в почве в настоящее время не нормированы<sup>4</sup>. Удельная активность стронция-90 в почвах урбоценозов города Воронеж варьировала в пределах 5,9–8,0 Бк/кг, для контрольного образца составила 6,8 Бк/кг (табл. 4). Удельная активность цезия-137 в почвах урбоценозов колебалась в пределах 31,8–74,7 Бк/кг, в образце контрольной зоны выявлено 51,7 Бк/кг.

Удельная активность калия-40 в почвах урбоценозов Воронежской области составила 346–895 Бк/кг, в почве контрольной территории – 312 Бк/кг. Удельная активность радия-226 в почвах города Воронежа составляла 6,8–13,6 Бк/кг, а в почве контрольной зоны – 5,4 Бк/кг. Удельная активность тория-232 в образцах урбоценозов варьировала в пределах 31,6–63,8 Бк/кг при значениях для заповедной территории 32,1 Бк/кг. Значения удельной активности природных радионуклидов в почвах урбоценозов Воронежской области в целом относительно невелики и сопоставимы со среднестатистическими (табл. 4).

Отмечено, что относительно более высокой удельной активностью природных радиоизотопов, а также цезия-137 отличались образцы почв, отобранные вблизи и на небольшом удалении от ТЭЦ (около ООО «Воронежсинтезкаучук», вдоль низовья водохранилища, на улице г. Воронежа). Данные результаты объяснимы тем, что более полувека ТЭЦ «ВОГРЭС» функционировала, используя в качестве топлива различные сорта каменного угля, сжигание которого является источником выбросов ряда естественных радиоизотопов. Известно, что в выбросах теплоэлектростанций, функционирующих на твердом топливе, радиоизотопы содержатся в количествах, формирующих порой даже большую эффективную эквивалентную дозу, чем атомные электростанции сопоставимой мощности [18].

---

<sup>4</sup> См.: [2; 3]; Управление Роспотребнадзора по Воронежской области. URL: <http://36.rospotrebnadzor.ru/key-areas/sanitary/14645> (дата обращения: 29.03.2025).

Таблица 4. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в почвах урбоценозов города Воронежа, Бк/кг  
 Table 4. Specific activity of natural and man-made radionuclides in soils of urbocenoses of the city of Voronezh, Bq/kg

| № п/п  | Территория отбора пробы / Sampling area   | Радионуклиды / Radionuclides |                        |                         |                        |                         |
|--|---|------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
|  |   | Техногенные / Man-made       |                        | Естественные / Natural  |                        |                         |
|  |   | Стронций-90 / Strontium-90   | Цезий-137 / Cesium-137 | Калий-40 / Potassium-40 | Радий-226 / Radium-226 | Торий-232 / Thorium-232 |
| <i>Урбоценозы / Urbocenoses</i>              |   |                              |                        |                         |                        |                         |
| 1.   | Автоматраль М4 «Дон» (0 м) / M4 Don Motorway (0 m)  | 6,7 ± 1,5                    | 53,8 ± 19,7            | 366 ± 37                | 7,8 ± 3,4              | 33,0 ± 10,4             |
| 2.   | Автоматраль М4 «Дон» (100 м) / M4 Don Motorway (100 m)  | 6,9 ± 1,9                    | 55,0 ± 18,0            | 361 ± 41                | 7,4 ± 3,8              | 35,8 ± 11,2             |
| 3.   | Автоматраль М4 «Дон» (200 м) / M4 Don Motorway (200 m)  | 6,2 ± 1,1                    | 54,9 ± 17,5            | 346 ± 38                | 6,8 ± 2,7              | 32,8 ± 8,5              |
| 4.   | Автоматраль М4 «Дон» (300 м) / M4 Don Motorway (300 m)  | 6,5 ± 2,4                    | 53,7 ± 15,6            | 375 ± 45                | 7,3 ± 3,5              | 33,9 ± 9,4              |
| 5.   | Аэропорт Воронеж им. Петра I / Airport Voronezh named after Peter I                                       | 5,9 ± 2,7                    | 45,9 ± 12,6            | 390 ± 23                | 8,0 ± 3,6              | 35,8 ± 7,4              |
| 6.   | Железнодорожные пути (0 м) / Railway tracks (0 m)   | 7,2 ± 3,1                    | 32,5 ± 12,6            | 367 ± 29                | 7,8 ± 3,5              | 33,5 ± 7,9              |
| 7.   | Железнодорожные пути (100 м) / Railway tracks (100 m)   | 7,0 ± 3,9                    | 34,6 ± 15,8            | 360 ± 27                | 7,4 ± 3,6              | 33,0 ± 7,0              |
| 8.   | Железнодорожные пути (200 м) / Railway tracks (200 m)   | 7,4 ± 4,1                    | 31,8 ± 14,4            | 346 ± 30                | 7,9 ± 2,9              | 31,6 ± 5,8              |
| 9.   | Железнодорожные пути (300 м) / Railway tracks (300 m)   | 7,5 ± 3,6                    | 34,5 ± 13,6            | 372 ± 37                | 7,2 ± 3,3              | 34,7 ± 7,2              |
| 10.  | Низовье Воронежского водохранилища (Химзатон) / Lower reaches of the Voronezh reservoir (Khimzaton)       | 7,4 ± 3,9                    | 70,5 ± 23,7            | 809 ± 61                | 13,3 ± 4,7             | 52,9 ± 8,0              |
| 11.  | ОАО «Воронежсинтезкаучук» / OJSC Voronezhskintezkauchuk   | 7,0 ± 3,8                    | 72,1 ± 19,8            | 807 ± 56                | 13,5 ± 5,0             | 55,2 ± 7,7              |
| 12.  | ТЭЦ «ВОГРЭС» / SHPP "VOGRES"  | 6,4 ± 1,8                    | 74,7 ± 13,0            | 895 ± 38                | 13,6 ± 4,9             | 63,8 ± 9,8              |
| 13.  | Улица г. Воронежа (ул. Димитрова) / Voronezh Street (Dimitrova St.)                                       | 8,0 ± 3,3                    | 70,8 ± 17,5            | 811 ± 48                | 12,9 ± 5,9             | 52,3 ± 9,5              |
| <i>Контроль (фон) / Control (background)</i> |   |                              |                        |                         |                        |                         |
| 14.  | Воронежский биосферный заповедник / Voronezh Biosphere Reserve  | 6,8 ± 3,2                    | 51,7 ± 14,7            | 312 ± 42                | 5,4 ± 2,4              | 32,1 ± 10,6             |
|  | Кларк по России по Орлову П.М. и Луневу М.И. (2009 г.) / Clark for Russia by Orlov PM and Lunev MI (2009) | –                            | –                      | 460                     | 28                     | 22                      |
|  | Мировой кларк по Орлову П.М. и Луневу М.И. (2009 г.) / World Clark by Orlov PM and Lunev MI (2009)        | –                            | –                      | 460                     | 26                     | 26                      |
|  | Мировой кларк по Тихомирову Ф.А. (1988 г.) / World Clark by Tikhomirov FA (1988)                          | –                            | –                      | 450                     | 38                     | 32                      |

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

## Выводы

Проведено изучение содержания в почвах урбоценозов и заповедных зон города Воронежа области валовых и подвижных форм основных токсичных элементов, природных и техногенных радиоизотопов. Исследование почв на содержание природных и техногенных радионуклидов в сравнении со среднемировыми показателями и средними значениями удельных активностей по России позволило подтвердить их относительное радиологическое благополучие. Лимитирующим показателем качества почв урбоценозов региона явилось содержание в них подвижных форм меди – превышение предельно допустимых норм по данному показателю выявлено более чем в половине исследуемых образцов, что можно связать с недостаточной эффективностью очистки выбросов промышленных предприятий и транспорта, а также с низкой гумусированностью урбанизированных почв и, как следствие, малой способностью к прочной фиксации металлов. Полученные результаты комплексных эколого-гигиенических исследований почв Воронежской области демонстрируют в целом преимущественно их соответствие требованиям действующих нормативов, что открывает значительные перспективы дальнейшего развития региона.

## Список литературы

- [1] Дьякова Н.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Центрального Черноземья // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА». 2019. № 95. С. 19–30. EDN: PHZWCV
- [2] 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. <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2020-59-61-72> EDN: OCEKIS
- [3] Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в городских почвах. Москва : Логос, 2014. 310 с. EDN: UDFTJD
- [4] Епринцев С.А., Клетиков О.В., Дьякова Н.А., Виноградов П.М., Шекоян С.В. Геоинформационный мониторинг формирования очагов экологически-обусловленной заболеваемости населения крупных городов при воздействии факторов окружающей среды // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2024. № 3. С. 135–141. <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/135-141> EDN: JGXNDN
- [5] Дьякова Н.А. Экологическая оценка сырьевых ресурсов лекарственных растений Воронежской области. Воронеж : Цифровая полиграфия, 2022. 264 с. EDN: KURTMZ
- [6] 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
- [7] Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гравель И.В. Эколого-фармакогностическая оценка качества лекарственного растительного сырья Центрального Черноземья. Москва : РУСАЙНС, 2023. 238 с.

- [8] Дьякова Н.А., Епринцев С.А., Клепиков О.В., Виноградов П.М. Эколого-гигиеническая оценка верхних слоев почв антропогенно нарушенных территорий средней полосы России по содержанию подвижных форм тяжелых металлов // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2024. № 2 (36). С. 19–26. EDN: CUXYRN
- [9] 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
- [10] Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4<sup>th</sup> ed. Boca Raton, FL, USA : CRS Press, 2010. 548 p.
- [11] Dziubanek G., Baranowska R., Ćwieląg-Drabek M., Sychala A., Piekut A., Rusin M., Hajok I. Cadmium in edible plants from Silesia, Poland, and its implications for health risk in populations // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017. Vol. 142. P. 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.048>
- [12] Dziubanek G., Piekut A., Rusin M., Baranowska R., Hajok I. Contamination of food crops grown on soils with elevated heavy metals content // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015. Vol. 118. P. 183–189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.032>
- [13] Плахов Г.А., Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Горбов С.Н. Взаимосвязь свинца, цинка и меди с органическим веществом и карбонатами в городских почвах (на примере Ростова-на-Дону) // *АгроЭкоИнфо*. 2023. № 4 (58). № ст. 419. EDN: DZOHST
- [14] Аристархов А., Лунев М., Павлихина А. Эколого-агрохимическая оценка состояния пахотных почв России по содержанию в них подвижных форм тяжелых металлов // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2016. № 6. С. 42–48. EDN: XCDFND
- [15] Чимитдоржиева Г.Д., Нимбуева А.З., Чимитдоржиева Э.О. Кобальт и хром в системе: порода почва – растение – гумус (на примере Западного Забайкалья) // *Агрохимия*. 2018. № 3. С. 81–85. DOI: 10.1134/S0002188118080057 EDN: UWYHGP
- [16] Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенков Ю.Б., Мильхеев Е.Ю., Нимбуева А.З., Бодеева Е.А. Никель лесостепных экосистем Западного Забайкалья в системе порода – почва – гумусовые вещества – растения // *Агрохимия*. 2016. № 3. С. 58–64. EDN: VXJDMV
- [17] Медико-экологический атлас Воронежской области : монография / С.А. Куролап, Н.П. Мамчик, О.В. Клепиков и др. Воронеж : ГУП ВО «Воронежская областная типография – издательство им. Е.А. Болховитинова», 2010. 167 с.
- [18] Бекман И.Н. Радиозология и экологическая радиохимия. Москва : Юрайт, 2018. 400 с. EDN: LIDUFV
- [19] Калдыбаев Б.К. Содержание стронция-90 и цезия-137 в почвенном покрове Прииссыккуля // *Наука и новые технологии*. 2009. № 7. С. 65–68. EDN: WADKBN
- [20] Воропаев В.Н., Сотников Б.А. Многолетняя динамика содержания стронция-90 в профиле почвы чернозёма выщелоченного // *Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации*. 2016. № 1 (35). С. 6–9. EDN: XINTJH
- [21] Балыкин Д.Н., Пузанов А.В., Балыкин С.Н., Салтыков А.В., Рождественская Т.А. Радионуклиды  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  в почвах и донных отложениях территории космодрома «Восточный» (Амурская область) // *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. 2019. № 3 (54). С. 98–104. EDN: RHBZJO
- [22] Ефремов И.В., Рахимова Н.Н., Янчук Е.Л. Особенности миграции радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в системе почва-растение // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2005. № 12 (50). С. 42–46. EDN: JVG0BD

## References

- [1] Dyakova NA. Assessment of heavy metals and arsenic pollution in urban and agroecosystems upper soil layers, Central Black Earth Region. *Scientific and practical journal "Vestnik IrGSHA"*. 2019;95:19–30. (In Russ.). EDN: PHZWCV
- [2] Dyakova NA, Gaponov SP., Slivkin AI. Ecological and hygienic assessment of soil condition of the anthropogenic ecosystems of the Voronezh region. *News of Kaliningrad State Technical University*. 2020;59:61–72. (In Russ.). <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2020-59-61-72> EDN: OCEKIS
- [3] Alekseenko VA, Alekseenko AV. *Chemical elements in urban soils*. Moscow: Logos; 2014. (In Russ.). EDN: UDFTJD
- [4] Yeprintsev SA, Klepikov OV, Dyakova NA, Vinogradov PM, Shekoyan SV. Geoinformational monitoring of the formation of foci of environmentally related morbidity of the large cities' population under the influence of environmental factors. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*. 2024;3:135–141. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/3/135-14> EDN: JGXNDN
- [5] Dyakova NA *Environmental assessment of raw materials of medicinal plants of the Voronezh region*. Voronezh: Cifrovaya poligrafiya; 2022. (In Russ.). EDN: KURTMZ
- [6] D'yakova NA, Samylina IA, Slivkin AI, Gaponov SP, Kukueva LL, Myndra AA, Shushunova TG. Assessment of the ecological state of samples of the upper layers of soils and roots of medicinal dandelion taken in the Voronezh region. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry, Biology, Pharmacy*. 2016;2:119–126. (In Russ.). EDN: WBKVQT
- [7] 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*. Moscow: RUSAJNS publ.; 2023. (In Russ.).
- [8] Dyakova NA, Eprintsev SA, Klepikov OV, Vinogradov PM. Ecological and hygienic assessment of the upper soil layers of anthropologically disturbed territories of the middle strip of Russia by the content of mobile forms of heavy metals. *Grozny Natural Science Bulletin*. 2024;(2):19–26. (In Russ.). EDN: CUXYRN
- [9] Nechaeva EG, Belozerceva IA, Naprasnikova EV, Vorob'eva IB, Davy'dova ND, Duby'nina SS, Vlasova NV. *Monitoring and forecasting of real-dynamic state of geosystems of Siberian regions*. Novosibirsk: Nauka Publishers; 2010. (In Russ.). EDN: SGMWXD
- [10] Kabata-Pendias A. *Trace elements in soils and plants*. 4th ed. Bosa Raton, FL, USA: CRS Press; 2010.
- [11] Dziubanek G, Baranowska R, Ćwieląg-Drabek M, Spychała A, Piekut A, Rusin M, Hajok I. Cadmium in edible plants from Silesia, Poland, and its implications for health risk in populations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017;142:8–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.048>
- [12] Dziubanek G, Piekut A, Rusin M, Baranowska R, Hajok I. Contamination of food crops grown on soils with elevated heavy metals content. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015;118:183–189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.032>
- [13] Plakhov GA, Bezuglova OS, Tagiverdiev SS, Gorbov SN. Interrelation of lead, zinc, and copper with organic matter and carbonates in urban soils (a case study of Rostov-on-Don). *AgroEcoInfo*. 2023;4:14. (In Russ.). EDN: DZOHST
- [14] Aristarkhov A, Lunev M, Pavlikhina A. Ecological and agrochemical assessment of the state of arable soils in Russia by the content of mobile forms of heavy metals in them. *Mezhdunarodnyi Sel'skokhozyaistvennyi Zhurnal*. 2016;6:42–48. (In Russ.). EDN: XCDFND

- [15] Chimitdorzhieva GD, Nimbueva AZ, Chimitdorzhieva EO. Cobalt and chromium in the system: breed soil – plant – humus (on the example of Western Transbaikalia). *Agrochemistry*. 2018;3:81–85. (In Russ.). DOI: 10.1134/S0002188118080057 EDN: UWYHGP
- [16] Chimitdorzhieva GD, Tsybenkov YuB, Milkheev EY, Nimbueva AZ. Nickel of forest-steppe ecosystems of Western Transbaikalia in the system of rock – soil – humus substances – plants. *Agrochemistry*. 2016;3:58–64. (In Russ.). EDN: VXJDMB
- [17] Kurolap SA, Mamchik NP, Klepikov OV, et al. *Medical and ecological atlas of the Voronezh region: monograph*. Voronezh: State Unitary Enterprise of the Voronezh Region “Voronezh regional printing house – publishing house named after E.A. Bolkhovitinova”; 2010. (In Russ.).
- [18] Beckman IN. *Radioecology and environmental radiochemistry*. Moscow: Publishing URAIT; 2018. (In Russ.). EDN: LIDUFV
- [19] Kaldybaev BK. Concentration and distribution of experimental radionuclide strontium-90 and caesium-137 in the soil sample cover of near Issyk-Kul. *Science and new technologies*. 2009;7:65–68. (In Russ.). EDN: WADKBN
- [20] Voropaev VN, Sotnikov BA. Long-term dynamics of strontium-90 content in soil profile of leached chernozem. *Ecology of the Central Black Earth Region of the Russian Federation*. 2016;(1):6–9. (In Russ.). EDN: XINTJH
- [21] Balykin DN, Puzanov AV, Balykin SN, Saltykov AV, Rozhdestvenskaya TA. Radionuclides  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  in soils and bottom sediments of the territory of the Vostochny cosmodrome (Amur region). *Bulletin of the Altay Branch of the Russian Geographical Society*. 2019;(3):98–104. (In Russ.). EDN: RHBZJO
- [22] Efremov IV, Rakhimova NN, Yanchuk EL. Peculiarities of migration of cesium-137 and strontium-90 LV in the soil-plant system. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2005;(12):42–46. (In Russ.). EDN: JVGOBD

### Сведения об авторе:

Дьякова Нина Алексеевна, доктор фармацевтических наук, доцент, доцент кафедры фармацевтической технологии, Воронежский государственный университет, Российская Федерация, 394007, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1. ORCID: 0000-0002-0766-3881; eLIBRARY SPIN-код: 3477-0510. E-mail: Ninochka\_V89@mail.ru.

### Bio note:

Nina A. Dyakova, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Docent, Associate Professor at the Department of Pharmaceutical Technology, Voronezh State University, 1 Universitetskaya Sq, Voronezh, 394007, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0766-3881; eLIBRARY SPIN-code: 3477-0510. E-mail: Ninochka\_V89@mail.ru



## ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ ENVIRONMENTAL ENGINEERING

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-298-311

EDN: RDGODG

УДК 504.5.06:630\*181.351:676.084

Научная статья / Research article

### Оценка возможности использования гидролизного лигнина для биологической рекультивации

В.М. Юрк  , А.А. Шашкова, В.А. Снегирев , Н.А. Третьякова 

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Российская Федерация  
 [v.yurk@yandex.ru](mailto:v.yurk@yandex.ru)

**Аннотация.** Гидролизный лигнин является крупнотоннажным промышленным отходом, который не находит полезного применения и размещается на специальных полигонах, выступая причиной отчуждения полезных земель и оказывая негативное воздействие на окружающую среду. Цель исследования – оценка возможности использования гидролизного лигнина, образовавшегося в результате деятельности Ивдельского лесозавода, для биологической рекультивации нарушенных земель. Объект исследования – гидролизный лигнин из лигнинохранилища, расположенного в г. Ивдель Свердловской области. Изучение состава отхода, накопленного в лигнинохранилище, показало, что содержание лигнина в нем составляет 58,97 % масс., также значительную часть составляет минеральная фракция, представленная в основном оксидами кремния, алюминия и кальция. Суммарное содержание тяжелых металлов не превышает 0,15 % масс. Проведенные эксперименты показали, что токсический эффект водной вытяжки на тест-культуру (красный клевер *Trifolium pratense* L.) отсутствует, соответственно, отход имеет V класс опасности. Используемые для биологической рекультивации субстраты не должны оказывать токсический эффект на выращиваемые культуры. В связи с этим была проведена оценка фитотоксичности по выращиванию тест-культур – овса *Avena sativa* L. и клевера лугового красного *Trifolium pratense* L. – на субстрате из отхода. Результаты эксперимента показали меньший по сравнению с контролем процент всхожести и прирост биомассы растений, но при этом тест-культуры развивались нормально, на

© Юрк В.М., Шашкова А.А., Снегирев В.А., Третьякова Н.А., 2025



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

листьях и побегах отсутствовали какие-либо повреждения. Таким образом, исследования показали возможность использования рассматриваемого гидролизного лигнина в качестве субстрата для биологической рекультивации без предварительной обработки.

**Ключевые слова:** фитотоксичность, рекультивация, рекультивационный материал, переработка отходов

**Вклад авторов.** *Юрк В.М.* – научное руководство исследованием, проведение исследовательского процесса; *Шашкова А.А.* – проведение исследовательского процесса, отслеживание воспроизводимости результатов экспериментов; *Снегирев В.А.* – предоставление лабораторных образцов азотфиксирующих бактерий для проведения исследования; *Третьякова Н.А.* – курирование данных, подготовка черновика рукописи. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

**История статьи:** поступила в редакцию 06.02.2025; доработана после рецензирования 10.04.2025; принята к публикации 20.04.2025.

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

**Для цитирования:** *Юрк В.М., Шашкова А.А., Снегирев В.А., Третьякова Н.А.* Оценка возможности использования гидролизного лигнина для биологической рекультивации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 3. С. 298–311. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-298-311>

## Assessment of the possibility of using hydrolysis lignin for biological reclamation

Victoria M. Yurk<sup>ID</sup>✉, Aleksandra A. Shashkova,  
Vyacheslav A. Snegirev<sup>ID</sup>, Natalia A. Tretyakova<sup>ID</sup>

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russian Federation

✉v.yurk@yandex.ru

**Abstract.** Hydrolysis lignin is a large-scale industrial waste that has no useful application. It is disposed in special landfills, causing alienation of valuable lands and having a negative impact on the environment. The aim of the work was to evaluate the possibility of using hydrolysis lignin formed as a result of the activities of the Ivdelsky timber processing plant for biological reclamation of disturbed lands. The object of the study is hydrolysis lignin from a lignin storage facility located in the city of Ivdel, the Sverdlovsk region. The study of the composition of the runoff accumulated in the lignin deposit showed that the content of lignin in it is 58.97 wt. %, also a significant part is the mineral fraction, represented mainly by oxides of silicon, aluminum and calcium. The total content of heavy metals does not exceed 0.15 wt. %. The experiments have shown that the toxic effect of the aqueous extract on the test culture (red clover *Trifolium pratense* L.) is absent, respectively, the waste is not dangerous to the environment. The substrates used for biological reclamation should not have a toxic effect on the crops grown. In this regard, a phytotoxicity assessment was carried out by growing test object (oats *Avena sativa* L. and red clover *Trifolium pratense* L.) on a substrate from the waste. The results of the experiment showed a lower percentage of germination and growth of plant biomass compared to the control, but the test objects developed normally, there were no

damages on the leaves and shoots. Thus, the studies have shown the possibility of using the hydrolysis lignin as a substrate for biological reclamation without preliminary treatment.

**Keywords:** phytotoxicity, reclamation, reclamation material, recycling

**Authors' contribution.** *V.M. Yurk* – scientific supervision of the study, conducting a research and investigation process; *A.A. Shashkova* – conducting a research and investigation process, monitoring the reproducibility of experimental results; *V.A. Snegirev* – providing laboratory samples of nitrogen-fixing bacteria for the study; *N.A. Tretyakova* – data curation, preparation of the draft manuscript. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Article history:** received 06.02.2025; revised 10.04.2025; accepted 20.04.2025.

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

**For citation:** Yurk VM, Shashkova AA, Snegirev VA, Tretyakova NA. Assessment of the possibility of using hydrolysis lignin for biological reclamation. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):298–311. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-298-311>

## Введение

Во многих производствах, осуществляющих первичную переработку различных видов сырья, образуются крупнотоннажные отходы. Такие отходы представляют собой инертные, непрореагировавшие, сопутствующие или вспомогательные материалы, не находящие полезного применения. В настоящее время основная масса этих отходов размещается на полигонах или отвалах вблизи предприятий, на которых они образовались. Негативное воздействие этих объектов проявляется в отчуждении земель, потенциально полезных для народного хозяйства, а также в токсичности примесных соединений в составе отхода, способных мигрировать в окружающую среду и отравлять ее. Поэтому решение проблемы утилизации крупнотоннажных отходов является одной из актуальных экологических задач. К числу крупнотоннажных отходов относится гидролизный лигнин.

Гидролизный лигнин – это отход, который образуется в гидролизном производстве в результате делигнификации древесины. Он является негидролизуемым остатком обработки древесины, разбавленным раствором серной кислоты, и представляет собой сложную смесь лигнина, трудногидрализуемых полисахаридов, смолы, различных золь, моносахаридов, остатков серной и органических кислот, чаще уксусной и муравьиной, а также влаги [1]. Он не растворим в органических растворителях, щелочах и кислотах [2].

В настоящее время гидролизный лигнин практически не используется и размещается на лигнинохранилищах и в отвалах [3]. Несмотря на то, что материал трудно растворяется в различных условиях, объекты его размещения могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Так, некоторые примеси, содержащиеся в составе отхода, могут мигрировать с территории полигона вместе с поверхностным стоком. К таким соединениям относятся серная кислота и ее соли, водорастворимые органические кислоты, фенольные соединения. Также, как отмечают авторы работы [4], поверхность

гидролизного лигнина содержит большое количество радикалов, которые при взаимодействии с кислородом воздуха проявляют высокую способность к самовоспламенению, поэтому нередко на лигнинохранилищах образуются очаговые воспламенения.

Поскольку в гидролизном лигнине достаточно много органической фракции, то его иногда используют в качестве топлива на гидролизных производствах [2; 5]. Однако сжигание не всегда является рациональным способом обращения с отходами, поскольку способствует выбросу большого количества загрязняющих веществ и потере потенциально полезного сырья.

В настоящее время ведется поиск альтернативных способов переработки гидролизного лигнина. Например, из данного отхода возможно получать лигнино-альдегидные смолы [6], лигнинопластик [7], сорбенты [8; 9] и другие ценные продукты. Но технический лигнин характеризуется неоднородностью состава и изменчивостью химических свойств, поэтому его использование в производственных процессах затруднено [10]. Оно требует постоянного контроля и корректировки технологического процесса, что может привести к снижению качества продукции, увеличению производственных затрат и ухудшению экологической ситуации.

Одним из перспективных и простых способов полезного использования многотоннажных нетоксичных отходов является их применение для рекультивации нарушенных земель.

Помимо большого количества органической части гидролизный лигнин может содержать достаточное количество питательных элементов, что делает его привлекательным сырьем для получения удобрений [11], а также потенциальным субстратом для биологической рекультивации нарушенных земель.

Известны способы, когда крупнотоннажный органический отход использовался как сырье для получения удобрений и почвогрунтов. Например, авторами работы [12] был разработан специальный двухкомпонентный почвенный субстрат из отходов лесоперерабатывающего производства и канализационных очистных сооружений для рекультивации полигонов размещения ТКО. В работе [13] для получения плодородного субстрата к избыточному активному илу добавляли лигнин-шлам.

**Цель исследования** – оценка возможности использования отхода гидролизного лигнина, образовавшегося в результате деятельности Ивдельского лесозавода, для биологической рекультивации нарушенных земель.

## Материалы и методы

Отход гидролизного лигнина, подвергшийся испытаниям в настоящей работе, был отобран с лигнинохранилища в г. Ивдель Свердловской области. Внешний вид отхода представлен на рис. 1. Отход был отобран с верхней части полигона методом квадрата в соответствии с ГОСТ 12071–2014<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> ГОСТ 12071-2014. ГРУНТЫ. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. Введ. 2015-07-01. Москва : Стандартинформ, 2015. 12 с.



**Рис. 1. Снимок гидролизного лигнина**  
Источник: фото В.М. Юрк, А.А. Шашкова.

В соответствии с ФККО<sup>2</sup> гидролизный лигнин относится к группе 3 01 212 00 00 0 «Лигнин от переработки сельскохозяйственного сырья» без указания класса опасности отхода. В связи с этим необходимо установить класс опасности для определения возможных путей его дальнейшего использования. Класс опасности отхода был определен в соответствии с методическими рекомендациями<sup>3</sup> по воздействию его водной вытяжки на тест-культуру. В качестве тест-культуры использовали красный клевер *Trifolium pratense* L.

Дополнительно был проведен расчет класса опасности отхода по Критериям отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду<sup>4</sup>. Элементный анализ субстратов проводился методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии (ARL Advant’X 4200, TermoFisher Scientific Inc., США). Для расчета содержания гумуса в почвогрунте полученное содержание углерода умножали на коэффициент

<sup>2</sup> Федеральный классификационный каталог отходов // Росприроднадзор : Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. URL: <https://rpn.gov.ru/fkko/> (дата обращения: 15.10.2024).

<sup>3</sup> Русаков Н.В., Крятов И.А., Пиртахия Н.В., Тонкопий Н.И., Карцева Н.Ю., Стародубов А.Г. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности : методические рекомендации, МР 2.1. 7.2297-07. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008.

<sup>4</sup> Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 04.12.2014 № 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=265683&ysclid=mb9lftoh6a87783084> (дата обращения: 15.10.2024).

1,724 согласно [14]. Содержание лигнина в отходе рассчитывали по приближительной брутто-формуле соединения  $C_{31}H_{34}O_{11}$ .

Анализ содержания питательных и водорастворимых компонентов в водной вытяжке субстратов проводился в соответствии с [14]. Были определены следующие показатели: сухой остаток водной вытяжки, прокаленный остаток, ионы кальция и магния, сульфат-ион. Также были измерены величины рН водной и солевой вытяжек гидролизного лигнина (рН-метр 4100, ООО НПП «Инфраспек-Аналит», Российская Федерация).

С целью установления возможности использования гидролизного лигнина для биологической рекультивации была определена его фитотоксичность. В качестве тест-культур были выбраны семена овса *Avena Sativa* L. и клевера лугового красного *Trifolium pratense* L. Обе культуры являются неприхотливыми к климатическим условиям, реагируют на состав субстрата, а также могут быть практически использованы при рекультивации реальных отвалов. В качестве субстратов для выращивания тест-культур использовали гидролизный лигнин и универсальный почвогрунт для рассады (контрольный опыт).

Эксперименты по оценке фитотоксичности проводили в различных условиях, указанных в табл. 1. Выращивание тест-культур осуществлялось на субстрате без добавок (опыты № 1–4), с внесением 2 мл удобрения «Аммофоска» в субстрат (опыты № 5–8), а также с внесением в субстрат удобрения «Аммофоска» и 1 мл биологического препарата, представляющего собой культуру азотфиксирующих бактерий (опыты № 9–12). Каждый опыт проводили в двух параллелях.

Оценку фитотоксичности проводили по следующей методике. Навеску сухого субстрата (фракция менее 1 мм) массой 80 г помещали в пластиковый горшочек и увлажняли. Добавляли удобрение или биопрепарат, а затем на глубину 1,0–1,5 см высевали семена тест-культуры. В каждый горшочек высеивали по 10 семян. Опытные посеы помещали в термостат воздушный ХТ 3/70 (производитель ЗАО «Пять океанов»). В течение эксперимента поддерживались постоянные условия: температура  $25 \pm 1$  °С, длительность светового дня 16 ч, периодический полив по мере необходимости. Длительность эксперимента составляла 14 дней.

Азотфиксирующие бактерии выделяли из дерново-подзолистой почвы. Для этого 10 г измельченной почвы добавляли в 100 мл жидкой элективной среды Бёрка и культивировали в течение 7 дней при 30 °С в шейкере-инкубаторе BIOSAN ES-20 с числом оборотов  $250 \text{ мин}^{-1}$ . Затем бактерии отделяли от дрожжей путем посева на твердую среду Бёрка. Полученные колонии бактерий вновь добавляли в жидкую среду. По подсчетам бактерий цитофлуориметрическим методом количество клеток в 1 мл суспензии составляет  $5,9 \times 10^7$  шт./мл.

Таблица 1. Условия проведения экспериментов по оценке фитотоксичности

| № опыта | Субстрат           | Тест-культура                | Удобрение | Биопрепарат |
|---------|--------------------|------------------------------|-----------|-------------|
| 1       | Почвогрунт         | <i>Avena Sativa</i> L.       | –         | –           |
| 2       | Почвогрунт         | <i>Trifolium pratense</i> L. | –         | –           |
| 3       | Гидролизный лигнин | <i>Avena Sativa</i> L.       | –         | –           |
| 4       | Гидролизный лигнин | <i>Trifolium pratense</i> L. | –         | –           |
| 5       | Почвогрунт         | <i>Avena Sativa</i> L.       | +         | –           |
| 6       | Почвогрунт         | <i>Trifolium pratense</i> L. | +         | –           |
| 7       | Гидролизный лигнин | <i>Avena Sativa</i> L.       | +         | –           |
| 8       | Гидролизный лигнин | <i>Trifolium pratense</i> L. | +         | –           |
| 9       | Почвогрунт         | <i>Avena Sativa</i> L.       | +         | +           |
| 10      | Почвогрунт         | <i>Trifolium pratense</i> L. | +         | +           |
| 11      | Гидролизный лигнин | <i>Avena Sativa</i> L.       | +         | +           |
| 12      | Гидролизный лигнин | <i>Trifolium pratense</i> L. | +         | +           |

Источник: составлено В.М. Юрк, А.А. Шашковой.

Оценка фитотоксичности субстрата проводилась по следующим показателям: всхожесть семян, сухая биомасса растений, длина проростков и корней, иные визуально регистрируемые негативные изменения в разных частях растений.

## Результаты и обсуждение

Оценка возможности использования отходов производства в первую очередь связана с определением их токсичности и класса опасности, что напрямую влияет на оформление процедуры обращения с отходом и возможные варианты его переработки. Для целей биологической рекультивации подойдут только неопасные и нетоксичные отходы, которые не будут способствовать миграции загрязняющих веществ по пищевым цепочкам.

Фитотестирование водной вытяжки из гидролизного лигнина в соответствии с методическими рекомендациями<sup>5</sup> показало следующие результаты. В анализируемой пробе проросло 19 ростков из 25 посаженных семян, а в контрольной (дистиллированная вода) – 16 из 25. Средняя величина корней в опытной пробе ( $L_{оп} = 31$  мм) сопоставима со средней длиной корней в контрольной пробе ( $L_{к} = 30$  мм), следовательно, отсутствует неблагоприятное воздействие отхода на растение. К тому же величина эффекта торможения  $E_t$ , рассчитанная по результатам опыта, составляет 3,3 %, т.е. менее 20 %, и, согласно методическим рекомендациям<sup>6</sup>, фитотоксическое действие не доказано. На рис. 2 приведены результаты тестирования водной вытяжки отхода.

Измерение водородного показателя водной и солевой вытяжек из гидролизного лигнина показало следующие результаты:  $pH_{водн.} = 6,67$ ,  $pH_{KCl} = 6,34$ . Полученные данные свидетельствуют о слабокислой или нейтральной среде отхода, благоприятной для выращивания различных дикорастущих культур.

<sup>5</sup> Русаков Н.В., Крятов И.А., Пиртахия Н.В., Тонкопий Н.И., Карцева Н.Ю., Стародубов А.Г. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности: методические рекомендации, МР 2.1. 7.2297-07. Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008.

<sup>6</sup> Там же.



Рис. 2. Результат фитотестирования водной вытяжки из гидролизного лигнина с красным клевером

Источник: фото В.М. Юрк, А.А. Шашкова.

Компонентный состав гидролизного лигнина и контрольного субстрата – универсального почвогрунта – приведены в табл. 2, в ней показаны данные только по основным компонентам субстратов.

Таблица 2. Содержание основных компонентов в составе гидролизного лигнина и почвогрунта

| Гидролизный лигнин             |                       | Почвогрунт                     |                       |
|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Компонент                      | Концентрация, % масс. | Компонент                      | Концентрация, % масс. |
| <i>Органическая часть</i>      |                       |                                |                       |
| Лигнин / Lignin                | 58,97 ± 0,66          | Гумус                          | 52,29 ± 0,22          |
| <i>Минеральная часть</i>       |                       |                                |                       |
| SiO <sub>2</sub>               | 14,06 ± 0,19          | SiO <sub>2</sub>               | 1,42 ± 0,07           |
| CaO                            | 6,54 ± 0,14           | CaO                            | 10,08 ± 0,18          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,37 ± 0,1            | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,39 ± 0,02           |
| SO <sub>3</sub>                | 4,36 ± 0,11           | SO <sub>3</sub>                | 0,35 ± 0,02           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,94 ± 0,09           | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,51 ± 0,03           |
| MgO                            | 0,84 ± 0,04           | MgO                            | 0,24 ± 0,01           |
| <i>Питательные компоненты</i>  |                       |                                |                       |
| SO <sub>3</sub>                | 4,36 ± 0,11           | SO <sub>3</sub>                | 0,35 ± 0,02           |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 1,79 ± 0,07           | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,47 ± 0,02           |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,48 ± 0,02           | Na <sub>2</sub> O              | 0,05 ± 0,003          |
| K <sub>2</sub> O               | 0,39 ± 0,02           | K <sub>2</sub> O               | 0,72 ± 0,04           |
| N                              | 0,20 ± 0,08           | N                              | 0,47 ± 0,08           |
| <i>Тяжелые металлы</i>         |                       |                                |                       |
| Mn                             | 0,059 ± 0,003         | Mn                             | 0,018 ± 0,001         |
| Zn                             | 0,022 ± 0,0011        | Zn                             | 0,002 ± 0,001         |
| Cu                             | 0,020 ± 0,001         | Cu                             | –                     |
| Cr                             | 0,014 ± 0,0007        | Cr                             | 0,023 ± 0,001         |
| V                              | 0,0080 ± 0,0004       | V                              | 0,001 ± 0,0004        |
| Pb                             | 0,0073 ± 0,0016       | Pb                             | –                     |
| As                             | 0,0044 ± 0,0002       | As                             | –                     |
| Ni                             | 0,0030 ± 0,0004       | Ni                             | –                     |

Источник: составлено В.М. Юрк, А.А. Шашковой.

Как видно по результатам испытаний, основным компонентом отхода является лигнин – 58,97 % масс., который представляет собой полимер растительного происхождения, компонент древесины. Минеральная часть отхода представлена преимущественно оксидом кремния (14,06 % масс.). Присутствие минеральной фракции является благоприятным фактором, поскольку способствует улучшению физико-химических свойств грунтов, регулирует токсичность и кислотность сред, повышает устойчивость органических соединений. Исследованный гидролизный лигнин также содержит необходимые для роста и развития растений питательные элементы – P, Mg, Na, K, Ca, Mn, S, суммарная концентрация тяжелых металлов (V, Pb, As, Zn и др.) менее 0,15 % масс.

Содержание органической части, представленной гумусом, в контрольном субстрате немного меньше, чем в отходе. Следует отметить, что в контрольном почвогрунте присутствуют растительные остатки.

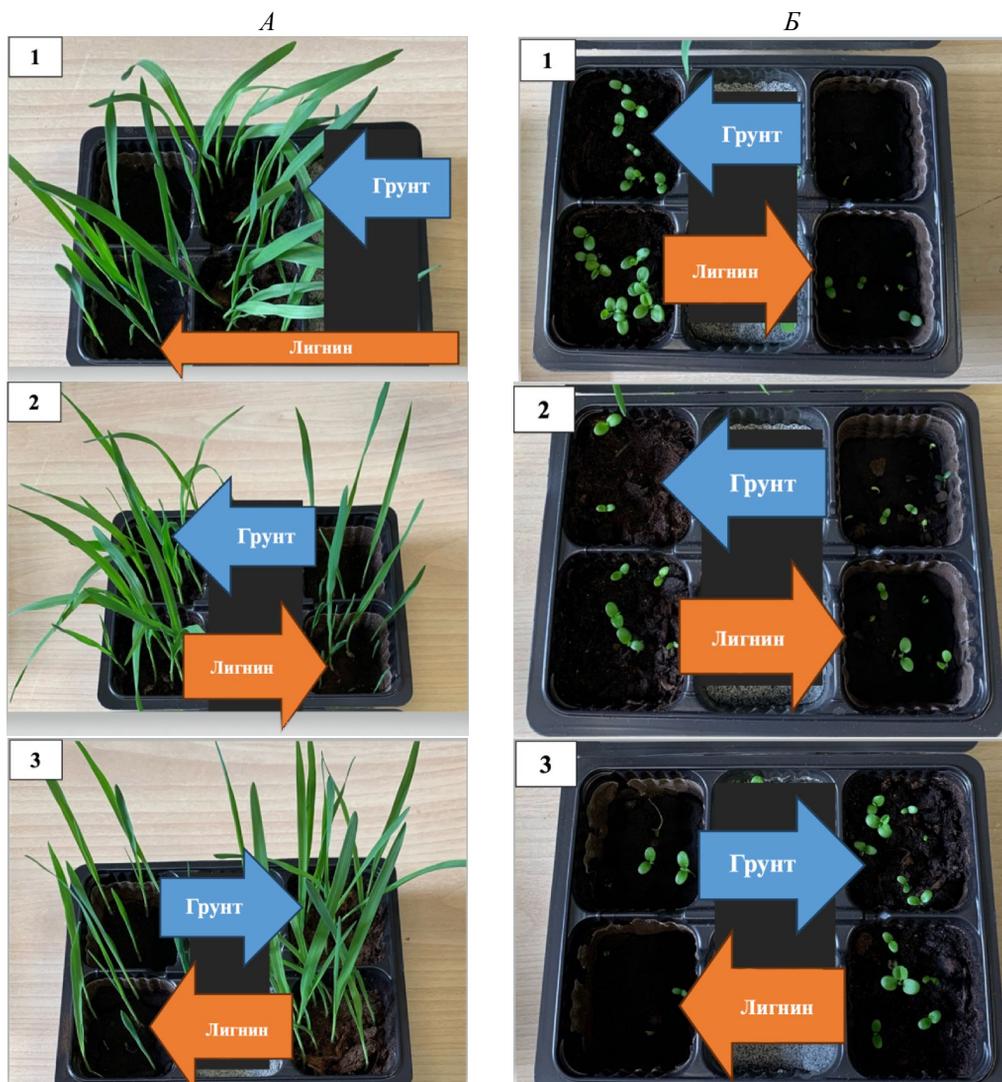
Интересно отметить, что питательных биогенных компонентов – N, P, K – в отходе больше, чем в почвогрунте. Также в отходе отмечается повышенное содержание серы по сравнению с контрольной почвой, что является следствием использования серной кислоты в процессе гидролиза древесины.

По результатам проведенных исследований можно заключить, что в составе гидролизного лигнина не содержатся токсические компоненты, а содержание питательных веществ не меньше, чем в контрольной почве. Расчет класса опасности в соответствии с Приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 04.12.2014 № 536<sup>7</sup> показал, что отход может быть отнесен к V классу при подтверждении экспериментальным методом. Таким образом, рассматриваемый гидролизный лигнин может быть использован в качестве субстрата при проведении биологической рекультивации.

Внешний вид растений после проведения экспериментов по оценке фитотоксичности представлен на рис. 3. Как видно, через 14 дней после начала эксперимента не было зарегистрировано негативных изменений в образцах тест-растений. Обе тест-культуры во всех опытных условиях не проявляют никаких повреждений листьев или побегов, что подтверждает отсутствие в составе исследованного гидролизного лигнина токсичных биодоступных компонентов.

---

<sup>7</sup> Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 04.12.2014 № 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» // КонтурНорматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=265683&ysclid=mb9lftoh6a87783084> (дата обращения: 15.10.2024).



**Рис. 3. Результаты фитотестирования гидролизного лигнина:**

*А* – тест-культура овес (*Avena sativa* L.); *Б* – тест-культура красный клевер (*Trifolium pratense* L.);

1 – выращивание на субстрате без добавок; 2 – с добавлением удобрения «Аммофоска»;

3 – с добавлением удобрения «Аммофоска» и с биопрепаратом бактерий рода *Azotobacter*

Источник: фото В.М. Юрк, А.А. Шашкова.

Результаты измерений тестовых показателей опытных посевов культур на гидролизном лигнине и контрольном почвогрунте приведены в табл. 3.

Для всех опытов наблюдается более низкий процент всхожести тест-культур на гидролизном лигнине по сравнению с контрольным почвогрунтом. Это можно также наблюдать на рис. 3. Наибольшее значение биомассы также зафиксировано при выращивании тест-растений на почвогрунте.

Результаты эксперимента показали, что овес лучше всего произрастает на субстратах (гидролизном лигнине и почвогрунте), в которые дополнительно вносилось удобрение. Красный клевер лучше растет на субстратах без

внесения добавок. Это можно объяснить особенностями тест-культур и их различной потребностью в питательных компонентах в разные периоды роста и развития.

Таблица 3. Результаты измерений тестовых показателей опытных посевов культур на гидролизном лигнине и контрольном почвогрунте

| Тест-культура                                    | Без добавок        |            | С удобрением       |            | С биопрепаратом    |            |
|--|--------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
|  | Гидролизный лигнин | Почвогрунт | Гидролизный лигнин | Почвогрунт | Гидролизный лигнин | Почвогрунт |
| 1  | 2                  | 3          | 4                  | 5          | 6                  | 7          |
| <i>Процент всхожести семян тест-культур, %</i>   |                    |            |                    |            |                    |            |
| <i>Avena Sativa L.</i>                           | 55                 | 100        | 85                 | 95         | 55                 | 100        |
| <i>Trifolium pratense L.</i>                     | 60                 | 75         | 65                 | 45         | 30                 | 60         |
| <i>Сухая биомасса, г</i>                         |                    |            |                    |            |                    |            |
| <i>Avena Sativa L.</i>                           | 0,185              | 0,375      | 0,225              | 0,420      | 0,155              | 0,410      |
| <i>Trifolium pratense L.</i>                     | 0,010              | 0,023      | 0,034              | 0,010      | 0,002              | 0,015      |
| <i>Средняя длина проростков тест-культур, см</i> |                    |            |                    |            |                    |            |
| <i>Avena Sativa L.</i>                           | 2,3                | 4,7        | 2,8                | 3,7        | 1,6                | 4,5        |
| <i>Trifolium pratense L.</i>                     | 1,5                | 3,1        | 1,4                | 0,8        | 0,7                | 1,8        |
| <i>Средняя длина корня тест-культур, см</i>      |                    |            |                    |            |                    |            |
| <i>Avena Sativa L.</i>                           | 10,5               | 9,6        | 12,4               | 10,7       | 10,5               | 11,8       |
| <i>Trifolium pratense L.</i>                     | 2,6                | 2,4        | 2,2                | 1,3        | 1,0                | 1,5        |

Источник: составлено В.М. Юрк, А.А. Шашковой.

Необходимо отметить, что гидролизный лигнин содержит достаточное количество питательных элементов, однако не дает большой прирост биомассы по сравнению с контрольными пробами. Возможно, эти элементы находятся в недоступных для растений формах, поэтому внесение удобрения оказывает положительный эффект на рост тест-культур.

На среднюю длину проростков и корней добавление удобрения практически не влияет. При этом дополнительное внесение биопрепарата снижает значение данных показателей у обеих тест-культур, выращенных на гидролизном лигнине. Образцы, выращенные на почвогрунте, показывают меньшую восприимчивость к присутствию бактерий. Как показали результаты исследований, внесение биопрепарата, который представляет собой бактерии рода *Azotobacter*, оказалось неэффективным в случае проращивания растений на гидролизном лигнине. Возможная причина этого – обильное размножение и питание микроорганизмов минеральными элементами, которых становится недостаточно для удовлетворения потребностей растений.

В целом значения показателей всхожести и развития растений можно считать удовлетворительными, что указывает на перспективность использования гидролизного лигнина для биологической рекультивации.

Результаты химического анализа водной вытяжки из гидролизного лигнина и почвогрунта представлены в табл. 4. Наблюдаемые значения показателя сухого остатка позволяют сделать вывод, что отход содержит больше растворимых примесей, чем контрольный грунт. Причем половина этих примесей представлена растворимыми в воде органическими веществами (что можно определить по разнице между сухим и прокаленным остатком). Несмотря на это, рост и развитие тест-культур проходят лучше на контрольном почвогрунте, чем на исследуемом отходе гидролизного лигнина. Вероятно, часть минеральных компонентов в составе водной вытяжки из раствора не относится к питательным элементам, необходимым растениям для прорастания семян и развития проростков.

Возможно, при использовании гидролизного лигнина для рекультивации территорий в процессе его разложения, зарастания травянистыми культурами и развития почвенного биоценоза почвенный раствор будет подкисляться, что приведет к дополнительному выщелачиванию питательных компонентов. Однако на начальном этапе рекультивации такого происходить явно не будет и в качестве питательных добавок можно рассмотреть другие удобрения, которые будут содержать кальций, магний и прочие полезные компоненты, необходимые растениям.

Также следует отметить, что, несмотря на большее валовое содержание серы в гидролизном лигнине, в водной вытяжке сульфатов меньше, чем в контрольной почве. Низкую концентрацию сульфат-ионов можно объяснить тем, что в работе рассматривался отход из лигнинохранилища, который уже некоторое время размещался на полигоне. В течение этого периода некоторое количество водорастворимых компонентов могло быть вымыто при инфильтрации поверхностного стока. Сульфат-ион может образовывать малорастворимые соли с некоторыми металлами либо входить в состав продуктов гидролиза лигнина. Таким образом, данный компонент не будет ингибировать рост растений и негативно влиять на процесс рекультивации.

Таблица 4. Результаты химического анализа водных вытяжек из гидролизного лигнина и контрольного почвогрунта

| Показатель          | Ед. измерения | Гидролизный лигнин | Почвогрунт |
|---------------------|---------------|--------------------|------------|
| Сухой остаток       | %             | 1,395              | 0,86       |
| Прокаленный остаток | %             | 0,71               | 0,59       |
| Ионы кальция        | мг-экв/100 г  | 1,0                | 0,15       |
| Ионы магния         | мг-экв/100 г  | –                  | 0,03       |
| Сульфат-ионы        | мг-экв/100 г  | 0,17               | 0,25       |

Источник: составлено В.М. Юрк, А.А. Шашковой.

## Выводы

Результаты проведенных исследований показали, что рассматриваемый гидролизный лигнин не содержит токсичных компонентов и не оказывает фитотоксического действия на тест-культуры, что указывает на перспективу его использования в качестве субстрата для выращивания растений. Однако,

несмотря на достаточное количество питательных компонентов, таких как фосфор, азот, калий и натрий, рост и развитие тест-культур овса и клевера красного происходит достаточно медленно. Это может быть связано с присутствием этих элементов в составе отхода в недоступной растениям форме или недостатком других важных компонентов, например магния, необходимого на этапе прорастания семени, а также роста и развития проростка.

Для проведения биологической рекультивации использование данного отхода экономически целесообразно, поскольку позволит сократить занимаемые под его размещение площади и снизить экологический ущерб. Наиболее быстрый результат зарастания рекультивируемых участков могут дать смеси гидролизного лигнина с другим, более питательным субстратом. В таком случае лигнин будет играть роль структуратора почвы.

С учетом удаленного расположения некоторых лесоперерабатывающих предприятий не всегда есть возможность добавлять к рекультивационному материалу питательные субстраты без ущерба для существующих экосистем. Поэтому в перспективе практический и научный интерес также представляют посевы на одном субстрате различных видов культур растений и микроорганизмов, способных сформировать устойчивый биоценоз. Подбор совокупности видов может способствовать более быстрому процессу почвообразования с участием гидролизного лигнина.

#### Список литературы

- [1] Шорыгина Н.Н., Резников В.М., Елкин В.В. Реакционная способность лигнина. Москва : Наука, 1976. 368 с.
- [2] Чудаков М.И. Промышленное использование лигнина. Москва : Гослесбумиздат, 1962. 183 с.
- [3] Никишов В.Д. Комплексное использование древесины. Москва : Лесн. пром-сть, 1985. 264 с.
- [4] Симкин Ю.Я., Лемешевский А.И. Перспективные направления переработки гидролизного лигнина из хранилищ // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики : в 3 томах. Том 2 / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова. Красноярск: СибГУ им. академика М.Ф. Решетнева, 2019. С. 503–505. EDN: SYOQHT
- [5] Валюжинич М.А. Сжигание гидролизного лигнина и фрезерного торфа в котельной установке с предтопком кипящего слоя // Новости теплоснабжения. 2011. № 4. С. 33–38.
- [6] Wrzesniewska-Tosik K., Tomaszewski W., Struszczyk H. Manufacturing and thermal properties of Lignin-based resins // Fibres and Textiles in Eastern Europe. 2001. Vol. 9, no. 2. P. 50–53.
- [7] Капустина И.Б., Якимцов В.П., Казаян В.И. Применение гидролизного лигнина для получения композиционных материалов // Химия в интересах устойчивого развития. 2003. Т. 11, № 3. С. 489–492. EDN: OXPIFJ
- [8] Маркелов Д.А., Ницак О.В., Геращенко И.И. Сравнительное изучение адсорбционной активности медицинских сорбентов // Химико-фармацевтический журнал. 2008. Т. 42, № 7. С. 30–33. EDN: TLROUX

- [9] *Беляев Е.Ю.* Получение и применение древесных активированных углей в экологических целях // *Химия растительного сырья*. 2000. № 2. С. 5–15. EDN: HYRHSB
- [10] *Михайлов А.В.* Открытая разработка хранилища лигнина // *Записки Горного института*. 2017. Т. 223. С. 44–50. <https://doi.org/10.18454/PMI.2017.1.44> EDN: YGCWLJ
- [11] *Волчатова И.В., Медведева С.А.* Эффективность удобрения на основе гидролизного лигнина на серой лесной почве // *Агрохимия*. 2014. № 11. С. 30–33. EDN: SYIVXF
- [12] *Борматенков А.М., Графова Е.О., Зайцева М.И., Сюньев В.С.* Использование смеси осадков сточных вод и отходов лесоперерабатывающего производства как почвенного субстрата для рекультивации нарушенных земель // *Resources and Technology*. 2020. Т. 17, № 2. С. 97–113. <https://doi.org/10.15393/j2.art.2020.5342> EDN: OMMAUW
- [13] *Пашкевич М.А., Петрова Т.А., Рудзиш Э.* Оценка потенциальной возможности использования лигнин-шламов для лесохозяйственной рекультивации нарушенных земель // *Записки Горного института*. 2019. Т. 235. С. 106–112. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.1.106> EDN: BJFLBU
- [14] *Расворова О.Г., Андреев Д.П., Гагарина Э.И., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н.* Химический анализ почв. Санкт-Петербург : Издательство Санкт-Петербургского университета. 1995. 264 с. EDN: TJQFRD

#### **Сведения об авторах:**

*Юрк Виктория Михайловна*, кандидат химических наук, доцент кафедры химической технологии топлива и промышленной экологии, химико-технологический институт, Уральский федеральный университет, Российская Федерация, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19. ORCID: 0000-0002-5261-742X; eLIBRARY SPIN-код: 2477-3934. E-mail: v.yurk@yandex.ru

*Шашкова Александра Артемовна*, студент бакалавриата кафедры химической технологии топлива и промышленной экологии, химико-технологический институт, Уральский федеральный университет, Российская Федерация, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19. E-mail: aleksa\_shashkova2207@mail.ru

*Снегирев Вячеслав Алексеевич*, ассистент кафедры химической технологии топлива и промышленной экологии, химико-технологический институт, Уральский федеральный университет, Российская Федерация, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19. ORCID: 0000-0002-6348-4271. E-mail: v.a.snegirev@urfu.ru

*Третьякова Наталья Александровна*, кандидат химических наук, доцент кафедры химической технологии топлива и промышленной экологии, химико-технологический институт, Уральский федеральный университет, Российская Федерация, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19. ORCID: 0000-0003-3319-270X; eLIBRARY SPIN-код: 3385-5894. E-mail: n-tretyakova@mail.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-312-327

EDN: RQQWJP

УДК 504.064.3

Научная статья / Research article

## Некоторые аспекты адаптации средств измерений для инструментального контроля выбросов с использованием БПЛА

С.В. Симанович  , И.И. Гаврилин

*Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург,  
Российская Федерация  
rewriters@yandex.ru*

**Аннотация.** Исследование посвящено проблеме адаптации измерительных приборов, регламентированных для инвентаризации промышленных объектов в рамках экологического мониторинга, к использованию на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для проведения замеров дистанционно в режиме реального времени. Рассматривается возможность модификации существующих средств измерений посредством технических и программных решений как альтернатива разработке новых специализированных приборов, интегрированных с конструкцией БПЛА. Особое внимание уделено влиянию внешних факторов и условий на точность измерений. В частности, проанализированы результаты эксперимента с целью изучения колебаний чувствительных элементов прибора «Метеоскоп-М» при различных уровнях вибрационного воздействия. Проанализированы ошибки измерений, вызванные динамическими нагрузками, и обоснована необходимость использования устройств механической стабилизации и демпфирования, а также алгоритмов цифровой коррекции данных. На основе сравнительного анализа выявлены преимущества и недостатки существующих подходов к реализации разработанной авторами технологии инвентаризации промышленных объектов с использованием измерительных приборов на базе БПЛА, рассмотрена эффективность их использования в различных условиях эксплуатации. Обоснован вывод о том, что адаптация серийных приборов посредством реализации инженерных решений с учетом условий полета БПЛА, в частности вибрационных воздействий, является наиболее рациональным решением на текущий момент, а накопленный опыт позволит в будущем разработать новое поколение средств измерений, интегрированных с несущей платформой БПЛА. Работа ориентирована на специалистов в области экологического мониторинга в части, касающейся инвентаризации промышленных объектов, загрязняющих атмосферный воздух.

© Симанович С.В., Гаврилин И.И., 2025



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

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, выбросы загрязняющих веществ, инвентаризация промышленных объектов, источник загрязнений окружающей среды, ИЗАВ, беспилотный летательный аппарат, средства измерения, вибрационные воздействия, точность измерений.

**Вклад авторов.** *Гаврилин И.И.* – концептуализация статьи; ресурсы – предоставление учебных материалов и приборов; создание рукописи и ее редактирование – комментирование и пересмотр; администрирование проекта; *Симанович С.В.* – методология – разработка и создание экспериментального стенда; проведение исследования; администрирование данных; создание черновика рукописи; создание рукописи и ее редактирование. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

**История статьи:** поступила в редакцию 05.03.2025; доработана после рецензирования 11.04.2025; принята к публикации 20.04.2025.

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

**Для цитирования:** *Симанович С.В., Гаврилин И.И.* Некоторые аспекты адаптации средств измерений для инструментального контроля выбросов с использованием БПЛА // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 3. С. 312–327. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-312-327>

## Some aspects of adaptation of measuring instruments for instrumental emission control using UAVs

Semyon V. Simanovich  , Igor I. Gavrilin

*Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russian Federation*

rewriters@yandex.ru

**Abstract.** The study is devoted to the problem of adapting measuring instruments regulated for inventory of industrial facilities within the framework of environmental monitoring to be used on the basis of unmanned aerial vehicles (UAVs) for making measurements remotely in real time. The research considers the possibility of modifying existing measuring instruments by means of technical and software solutions as an alternative to the development of new specialized instruments integrated with the UAV design. Special attention is paid to the influence of external factors and conditions on the accuracy of measurements. In particular, the results of the experiment to study the oscillations of the sensitive elements of the device “Meteoskop-M” at different levels of vibration impact are analyzed. The measurement errors caused by dynamic loads are analyzed, and the necessity of using mechanical stabilization and damping devices, as well as algorithms of digital data correction is justified. On the basis of comparative analysis the advantages and disadvantages of the existing approaches to the implementation of the technology of inventory of industrial facilities using UAV-based measuring devices developed by the authors are revealed, the efficiency of their use in different operating conditions is considered. The conclusion is substantiated that the adaptation of serial devices through the implementation of engineering solutions taking into account the UAV flight conditions, in particular – vibration effects, is the

most rational solution at the moment, and the accumulated experience will allow in the future to develop a new generation of measuring instruments integrated with the UAV carrier platform. The article is aimed at specialists in the field of environmental monitoring as it relates to the inventory of industrial facilities polluting the atmospheric air.

**Keywords:** environmental monitoring, pollutant emissions, inventory of industrial facilities, environmental pollution source, EPI, unmanned aerial vehicle, measurement tools, vibration effects, measurement accuracy

**Authors' contribution.** *I.I. Gavrilin* – conceptualization – ideas; resources – provision of educational materials and instruments; writing – review and editing – commentary and revision; project administration; *S.V. Simanovich* – methodology – development and construction of the experimental setup; investigation; data curation; writing – original draft; writing – review and editing. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Article history:** received 05.03.2025; revised 11.04.2025; accepted 20.04.2025.

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

**For citation:** Simanovich SV, Gavrilin II. Some aspects of adaptation of measuring instruments for instrumental emission control using UAVs. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):312–327. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-312-327>

## Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в настоящее время показали высокую эффективность применения в различных сферах деятельности человека – от картографирования и геодезии до экологического мониторинга и контроля за промышленными выбросами [1; 2].

Некоторыми авторами отмечается, что использование БПЛА дает возможность реализации методики измерений характеристик выбросов из источников, загрязняющих атмосферный воздух (ИЗАВ), расположенных в недоступных и опасных для человека местах, при этом – с применением сигнализирующих и аналитических измерений характеристик среды инструментальным методом, то есть с высокой достоверностью [3]. Использование БПЛА в качестве средства доставки измерительных приборов позволяет проводить оперативный мониторинг загрязнения среды на больших территориях и на различных горизонтах, определять интенсивность загрязнений выбросами конкретных ИЗАВ промышленных объектов. При этом оперативность получения информации позволяет значительно сократить время ее обработки, а точность измерений значительно повышает объективность функционирования системы экологического мониторинга, в том числе при определении зон загрязнений окружающей среды конкретными вредными и (или) опасными веществами.

Так, существует способ комплексного мониторинга окружающей среды региона, описанный в патенте RU 2778495 С1, МПК G01W 1/00, опубл. 22.08.2022 Бюл. № 24 [4], предполагающий использование приборного комплекса на базе БПЛА для измерений и оценки состояния и изменений

атмосферного воздуха региона с целью формирования базы данных для дальнейшего прогнозирования. Выполняются измерения текущих параметров источников выбросов как дистанционно, так и методом прямых измерений, что позволяет оценивать изменения характеристик окружающей среды в динамике. Данный метод дает возможность классифицировать объекты окружающей среды по их роли, но лишь в контексте круговорота углекислого газа: выделение или поглощение, включая техногенные и природные источники, а также антропогенные факторы.

Работы зарубежных исследователей в основном посвящены анализу эффективности использования БПЛА в сфере геомониторинга, например, при сборе данных для разработки систем управления рисками в нефтегазовой отрасли [5]. В этом контексте некоторые отечественные авторы рассматривают эффективность, объективность и перспективы использования технологии «роя» (группы БПЛА) для определения координат точечного ИЗАВ в случае аварийных выбросов [6], исключая проведение прямых измерений. Так, в работе Ю.С. Леговича проведен сравнительный анализ существующих решений, сделан акцент на использовании моделей управления группой БПЛА и разработке подходов, основанных на математической теории планирования и позволяющих совершенствовать алгоритмы координации и навигации БПЛА для точного обнаружения ИЗАВ.

Использование БПЛА для проведения измерений параметров окружающей среды отмечено в работе С.И. Ягельдина, предлагающего в целях экологического мониторинга в промышленных зонах использовать мультироторные БПЛА с интегрированными датчиками фиксации в реальном времени пороговых показателей температуры, давления, влажности и концентрации газов [7]. Предлагаемая технология позволяет оперативно и адресно реагировать на имеющиеся место зональные загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных объектов, но не предусматривает определение интенсивности выбросов вредных и (или) опасных веществ конкретными ИЗАВ.

Краткий анализ возможностей данных технологий позволяет сделать вывод о том, что своей основной целью они имеют определение картины уже состоявшегося загрязнения, а также позволяют прогнозировать ее изменения на значительных территориях, но с невысокой точностью, порой гипотетически, и не имеют превентивного потенциала в целях предотвращения возможных загрязнений.

При этом следует отметить, что правила отнесения приборов и устройств к средствам измерений и их применения регулируются федеральными органами исполнительной власти. Так, согласно положениям Федерального закона от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»<sup>1</sup> сред-

---

<sup>1</sup> Об обеспечении единства измерений. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ // КонсультантПлюс. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_77904/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/) (дата обращения: 06.11.2024).

ством измерений признается лишь то техническое средство, которое позволяет производить измерения в строгом соответствии с регламентируемыми метрологическими и техническими требованиями. Эти требования распространяются на устройства, предназначенные для проведения и сигнализирующих, и аналитических измерений.

Однако в нашем случае следует принимать во внимание приборы, технически способные производить аналитические измерения параметров (температуры, скорости газовоздушного потока и т.д. как исходных данных для определения концентрации) окружающей среды или, как частный случай окружающей среды, ограниченной сечением газохода, – газовоздушного потока выбросов из устья ИЗАВ. Очевидно, что только такие измерительные приборы позволяют производить количественную оценку и анализ аэродинамических характеристик газовоздушного потока в достаточно широком диапазоне и с высокой точностью, в отличие от детекторов и датчиков, предназначенных для сигнализирующих измерений для последующего оповещения о критических (пороговых) значениях оценки состояния среды или анализа состояния вещества [8; 9].

Для применения в рамках государственного регулирования средство измерения должно пройти утверждение типа и поверку. В частности, конструкция средств измерений должна предотвращать несанкционированный доступ и вмешательства, которые могут исказить результаты измерений, иметь уникальные идентификационные номера.

Такие требования актуальны и объективны, так как эффективность выполнения задач экологического мониторинга напрямую зависит от достоверности получаемых результатов и точности измерений в процессе сбора первичных данных. Отсутствие точных, комплексных и своевременно полученных первичных данных приводит к искажению информации на последующих уровнях анализа, что может вызвать принятие неактуальных и неэффективных управленческих решений государственными органами [10].

Наряду с этим подавляющее большинство современных приборов, применяемых в сфере экологического мониторинга и инвентаризации промышленных объектов, изначально разработано для стационарного использования в условиях лабораторий или на объектах контроля. При этом управление приборами в процессе работы, а также считывание результатов замеров осуществляется непосредственно техническим работником (оператором).

Предлагаемая авторами статьи технология инвентаризации подразумевает возможность управления приборами оператором (экспертом) дистанционно с автоматическим считыванием полученных в ходе замеров данных с последующей их передачей оператору в режиме реального времени. Далее – выполнение ряда сопутствующих требований: массогабаритные параметры приборов, надежность и длительность их функционирования в режиме полета, управляемость, устойчивость и координация БПЛА в различных метеоусловиях.

Безусловно, существующие современные технологии и технические возможности позволяют разработать и использовать принципиально новую приборную базу, однако для этого требуются не только значительные материальные ресурсы и время, но и кардинальные изменения существующих технологий экологического мониторинга и инвентаризации, влекущие за собой, в свою очередь, изменения нормативно-правовой базы, регламентирующей сферу этой деятельности.

Альтернативным решением этой проблемы авторы считают адаптацию существующих стандартных измерительных приборов к использованию на подвесах БПЛА путем реализации отдельных инженерных решений, что позволит компенсировать указанные выше недостатки приборной базы и эффективно использовать регламентированные действующими технологиями приборы в новых условиях.

В целях решения этой проблемы авторами статьи проведено исследование технических аспектов адаптации стандартных измерительных приборов, размещенных в подвесах БПЛА, для дистанционного использования в режиме реального времени.

**Цель исследования** – разработка подходов к адаптации измерительных приборов для использования в условиях полета.

Для достижения этой цели авторами были поставлены следующие задачи:

- 1) провести анализ основных ограничений стандартных средств измерений при эксплуатации в подвесах БПЛА;
- 2) определить внешние факторы, потенциально способные оказывать воздействие на точность измерения приборов;
- 3) предложить технические решения для защиты приборов от внешних воздействий, включая демпфирование и стабилизацию;
- 4) изучить возможности применения программных методов для корректировки данных, таких как фильтрация и корректирующие коэффициенты;
- 5) предложить рекомендации по выбору подходов для адаптации или разработки новых средств измерений.

Выявлены имеющиеся проблемы технического характера, рассматриваются возможности физических модификаций, направленных на обеспечение функционирования измерительных приборов дистанционно, программных решений, обеспечивающих эффективность и надежность использования приборного комплекса на базе БПЛА, предлагаются пути реализации таких возможностей посредством инженерных решений.

## Материалы и методы

Одной из проблем, выявленных при использовании стандартных измерительных приборов на платформе БПЛА, является малая изученность воздействия на них вибраций и динамических нагрузок, вызванных работой двигателей и перегрузками при изменениях траектории полета.

Для изучения влияния вибраций на точность измерений был проведен эксперимент с использованием прибора «Метеоскоп-М» на специальном стенде, имитирующем условия работы измерительных средств в условиях полета БПЛА. Исследование включало анализ изменения скорости воздушного потока при различных уровнях вибрационного воздействия, передаваемого через конструкцию подвеса. Результаты эксперимента представлены в следующем разделе.

Воздействие данных факторов может приводить к значительным отклонениям в показаниях приборов, ведущих, в свою очередь, к значительным погрешностям при дальнейшем использовании этих данных в расчетах. Кроме того, сложность заключается в обеспечении стабильности считывания получаемых данных при изменениях ориентации и высоты полета дрона, что также может влиять на качество и объективность получаемой оператором (экспертом) информации.

Другой важной и, по сути, ключевой проблемой является неприспособленность регламентированных измерительных приборов к дистанционному управлению экспертом (оператором). Стандартные приборы разработаны и ориентированы на непосредственное воздействие оператора на их органы управления в процессе эксплуатации. Используя медицинскую терминологию, можно сказать, что размещение прибора (его рабочих органов) относительно устья газовоздушного (газопылевого) потока ИЗАВ, управление им и считывание данных осуществляется вручную, что в условиях полета БПЛА становится невозможным и, соответственно, требует надлежащей адаптации средств измерения.

Для этого, а также для компенсации негативного воздействия внешних факторов на БПЛА и измерительные приборы в целях обеспечения точности измерений посредством дистанционного управления приборами, надежности получения и передачи данных замеров оператору (эксперту) предлагается:

- совмещение комплекса дополнительных приспособлений с измерительными приборами без конструктивного изменения последних;
- разработка и использование автоматизированных систем на основе современного программного обеспечения и ИКТ;
- использование математических методов коррекции данных, в частности корректирующих коэффициентов, позволяющих нивелировать негативное влияние внешних и антропогенных факторов на работу комплекса в целом.

В настоящее время существует нормативно регламентированный перечень средств измерений, которые по метрологическим и массогабаритным характеристикам могут быть использованы на базе БПЛА. Однако для того чтобы такие измерительные приборы могли штатно функционировать в условиях полета, необходим ряд технических модификаций [11], направленных:

- на оптимизацию конструкции приборного комплекса для его размещения на подвесе к платформе БПЛА;

- обеспечение возможности дистанционно воздействовать на органы управления приборами, считывать и передавать данные измерений;
- снижение воздействия вибраций, динамических нагрузок и других внешних факторов, которые могут существенно повлиять на точность измерений.

В этом контексте авторы предлагают следующие основные элементы модификаций.

**1. Использование подвесов с системами стабилизации.** Основным конструкторским решением является установка измерительных приборов на подвесы с использованием систем стабилизации и демпфирования, которые обеспечивают стабильное положение прибора в пространстве и позволяют нивелировать воздействие на него инерциальных сил и вибраций. Для этого целесообразно использовать в конструкции крепления прибора к подвесу амортизирующие манжеты или демпферные сочленения, гасящие воздействие мелких и частых вибраций, что особенно важно для измерительных приборов высокой чувствительности.

**2. Экранирование и защита от метеорологических факторов.** Измерительные приборы, устанавливаемые на БПЛА, могут подвергаться воздействию резких перепадов температуры, давления и влажности. Для обеспечения надежности работы приборов в таких условиях требуется их гидро- и термозащита с применением специальных материалов с частичной или полной герметизацией корпусов подвесов.

**3. Накладки для манипуляции органами управления.** Условия дистанционного управления измерительными приборами определяют необходимость механического воздействия на их органы управления – кнопки, переключатели, сенсоры. Для этого целесообразно использовать специальные накладки с радиоуправляемыми электромеханическими манипуляторами (соленоидами), позволяющими оказывать потребное механическое воздействие на органы управления и (или) элементы прибора. Такие накладки интегрированы с подвесом БПЛА и обеспечивают оператору возможность дистанционного управления и корректировки настроек прибора в процессе проведения замеров.

**4. Система считывания показаний приборов и передачи данных.** Размещение приборов в подвесе несущей платформы БПЛА предполагает наличие средства подсветки измерительных шкал с использованием миниатюрной видеокамеры как средства считывания результатов измерений и передачей видеопотока оператору радиосигналом.

Необходимо отметить, что отдельные элементы инженерных решений могут варьироваться в зависимости от типа, предназначения и конструктивных особенностей измерительных приборов в комбинации с оптимизацией программного обеспечения. Программная оптимизация является важным звеном в обеспечении точности измерений содержательных и аэродинамических параметров газоздушных потоков. Она позволяет не только нивелировать

ошибки, вызванные внешними факторами, но и адаптировать данные для анализа и последующего использования.

В процессе сбора данных в полете могут возникать аномалии, вызванные кратковременными изменениями ориентации вследствие порывов ветра, сильных осадков или резких маневров дрона. Программные решения, такие как фильтры Калмана, позволяют отслеживать и устранять такие аномалии, повышая точность и надежность получаемых данных.

Для повышения точности измерений и компенсации ошибок, вызванных динамическими факторами в сложных условиях полета, в программном обеспечении целесообразно использовать корректирующие коэффициенты, основанные на данных о полете (скорость, угол наклона, вибрации и др.).

В сочетании с техническими решениями по стабилизации и защите приборов программные методы обеспечивают комплексный подход к повышению точности измерений, стабильности считывания и передачи данных.

## Результаты и обсуждение

В качестве образца для демонстрации внедрения представленных модификаций и создания прототипа приборного комплекса в части, касающейся системы дистанционного управления приборами, считывания и передачи данных измерений, авторами был выбран измерительный прибор «Метеоскоп-М». Данный прибор предназначен для измерения параметров микроклимата, таких как температура, влажность, атмосферное давление и скорость воздушного потока. Вместе с тем согласно положениям ГОСТ 17.2.4.07-90 «Атмосфера. Методы определения давления и температуры газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения» и ГОСТ 17.2.4.06-90 «Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения»<sup>2</sup>, а также ГОСТ 17.2.4.07-90 «Охрана природы. Атмосфера. Методы определения давления и температуры газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения»<sup>3</sup> допускается использование средств измерений, аналогичных тем, что приведены в документе, но с обязательным соблюдением условия: выбранные средства измерения должны иметь аналогичные метрологические характеристики. В табл. 1 представлен анализ метрологических характеристик при измерении температуры и скорости газоздушного потока с помощью термометра ТЛ-1, трубкой Пито и прибором «Метеоскоп-М».

<sup>2</sup> ГОСТ 17.2.4.06-90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007367?ysclid=mb9pqwd3dx987852665> (дата обращения: 06.01.2025).

<sup>3</sup> ГОСТ 17.2.4.07-90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения давления и температуры газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007365> (дата обращения: 06.01.2025).

Таблица 1. Метрологические характеристики различных приборов при измерениях температур и скорости газовой воздушного потока

| Средство измерения                                    | Метеоскоп-М с сенсометрическим щупом                                   | Трубка Пито   | ТЛ-2        | ТЛ-3        |
|---|--|---|-------------|-------------|
| Температура, °С и погрешность                         | –40...+85 ± 0,2  | –   | 0...100 ± 1 | 0...200 ± 2 |
| Скорость газовой воздушного потока, м/с и погрешность | 0,1...1 м/с ±(0,05 + 0,05V)  | Пито (исполнение В)<br>2...30 ± 3   | –           | –           |
|   | 1...20 м/с ±(0,1 + 0,05V)<br>где V – значение измеряемой скорости, м/с | Пито цилиндрическая (исполнение В)<br>4...30 ± 5<br><br>Пито (исполнение П)<br>2...60 ± 3 |             |             |

Источник: составлено С.В. Симановичем и И.И. Гаврилиным.

Измерения температуры и скорости критически важны при аналитических измерениях выбросов, где основной задачей является не просто регистрация параметров воздушного потока, а их учет при расчете концентраций загрязняющих веществ. Данные характеристики газовой воздушного потока влияют на процессы дисперсии загрязнителей, что необходимо учитывать при моделировании и прогнозировании экологической обстановки.

При полете БПЛА с полезной нагрузкой постоянным вибрационным воздействием подвергаются конструкция несущей платформы и установленное на ней навесное оборудование. Вибрационные воздействия возникают в результате работы двигателей, вращения пропеллеров в различных режимах и резонансных явлений рамы, а также, в меньшей мере, воздействия внешних факторов – турбулентности и порывов ветра.

По данным ряда исследований, установлено, что вибрации, возникающие на раме, в местах крепления подвесов и, соответственно, на корпусах установленного в подвесах оборудования мультикоптеров различных конфигураций охватывают широкий диапазон частот – от десятков до сотен герц, а возникающие при этом резонансные колебания – в пределах от 86 до 673 Гц [12]. В частности, в работах специалистов, анализировавших спектр магнитного шума, регистрируемого при взлете БПЛА, были зафиксированы выраженные низкочастотные компоненты. Такие спектральные изменения являются косвенным индикатором вибрационной активности, даже в случаях, когда прямое измерение ускорений не проводилось [13].

Дальнейшее изучение вибрационных воздействий на несущую платформу мультикоптеров, проводимое на специально разработанных стендах в условиях промышленных предприятий, показало, что величины виброскорости, виброускорения и вызываемые ими виброперемещения пропорциональны режимам тяги и вращения воздушных винтов, максимально проявляясь при высоких оборотах двигателей. Экспериментально установлено, что даже при максимальных режимах работы двигателей мультикоптеров линейные величины виброперемещений его несущей платформы не превышают десятых долей миллиметра [14].

В свою очередь, в соответствии с законами механики и основами теории виброзащиты величины виброперемещений, воздействующих на основу (несущую платформу), многократно снижаются (порой – полностью нивелируются) для оборудования, размещенного на подвижном двух-, трехосевом подвесе к этой платформе, особенно при наличии демпфирующих узлов крепления [15].

Следует отметить, что целью вышеуказанных исследований являлась оценка влияния вибрационных воздействий на раму мультикоптеров и корпуса оборудования, непосредственно размещенных на них. В случае же использования приборов для измерения аэродинамических показателей газовоздушного потока и концентрации в нем загрязняющих веществ следует учитывать воздействие вибраций на рабочий орган прибора – вынесенный датчик, щуп. Это требование наряду с имеющимися экспериментальными данными было учтено при моделировании условий вибрационного воздействия на рабочий орган прибора, вместе с тем в рамках настоящего эксперимента интенсивность вибрационного воздействия оценивалась в дБА, что отражает логарифмическую величину виброускорения по трем осям.

Для имитации вибрационных воздействий на рабочий орган измерительного прибора, размещенного на подвесе в условиях полета БПЛА, были собраны два стенда (рис. 1).

Эксперимент состоял из двух этапов.

1. Измерение контрольных значений без вибраций для определения фоновых значений скорости газовоздушного потока.

2. Воздействие вибрациями с различной амплитудой и частотой на платформу с закрепленным на ней щупом прибора.

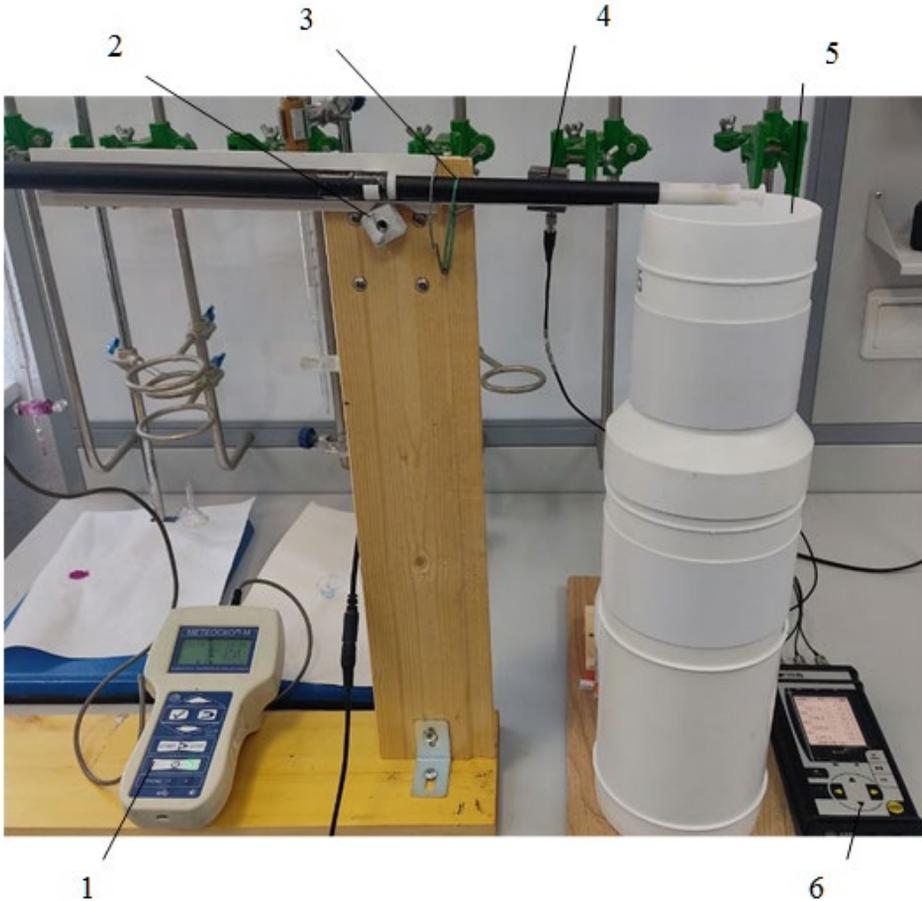
Позатпно задавались режимы работы кулачкового механизма: 1 об/с (низкая частота); 1,5 об/с (средняя частота); 2 об/с (высокая частота).

Амплитуда смещения платформы с закрепленным на ней щупом прибора варьировалась: 0, 0,5 и 1 мм.

Для каждого сочетания параметров регистрировались: значения виброускорения (дБА), измеренная скорость движения воздуха (м/с).

Контрольные измерения без вибраций показали, что скорость воздуха при нагнетании потока в воздуховод составляет 0,48 м/с, а в окружающей среде (без нагнетания) – 0,07 м/с. Ниже приведены результаты эксперимента (табл. 2).

Эксперимент подтвердил влияние вибраций на точность измерений скорости воздушного потока прибором «Метеоскоп-М» в условиях, приближенных к эксплуатации на подвесе БПЛА. Несмотря на то что в эксперименте использовалась логарифмическая оценка интенсивности (в дБА) без частотного анализа, результаты подтверждают связь между уровнем вибрационного воздействия и стабильностью данных. Таким образом, вибрации следует учитывать как значимый фактор при эксплуатации приборов с выносными рабочими элементами на платформе БПЛА.



**Рис. 1. Стенды для имитации поведения средства измерения в подвесе БПЛА и точечного источника загрязнения воздуха:**

1 – блок управления прибора «Метеоскоп-М»; 2 – кулачковый механизм для создания периодических механических воздействий на платформу; 3 – платформа с сенсометрическим щупом (щуп зафиксирован таким образом, чтобы избежать проворачивания при воздействии вибрации; измерительная часть находится в геометрическом центре устья); 4 – акселерометр, установленный на щуп и подключенный к виброметру; 5 – макет ИЗАВ с диаметром воздуховода 95 мм и регулируемой тягой; 6 – виброметр «Экофизика-110В».

*Источник:* составлено С.В. Симановичем и И.И. Гаврилиным.

*Таблица 2. Сводная таблица результатов эксперимента*

| Скорость мотора, об/с | Виброускорение, дБА, по трем осям | Результат измерений |
|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Амплитуда 0 мм        |                                   |                     |
| 1,0                   | 123,5; 120,3; 126,7               | 0,48                |
| 1,5                   | 135,6; 126,3; 139,8               | 0,48                |
| 2,0                   | 134,7; 121,1; 141,8               | 0,47                |
| Амплитуда 0,5 мм      |                                   |                     |
| 1,0                   | 121,6; 118,2; 128,2               | 0,48                |
| 1,5                   | 131,8; 136,0; 138,5               | 0,48                |
| 2,0                   | 127,9; 134,6; 138,9               | 0,49                |
| Амплитуда 1 мм        |                                   |                     |
| 1,0                   | 121,3; 125,9; 126,2               | 0,48                |
| 1,5                   | 134,4; 135,1; 141,9               | 0,45                |
| 2,0                   | 127,9; 134,6; 138,9               | 0,43                |

*Источник:* составлено С.В. Симановичем и И.И. Гаврилиным.

При малых амплитудах (0–0,5 мм) вибрации не оказали значительного влияния на результаты измерений – скорость потока оставалась стабильной (0,48–0,49 м/с).

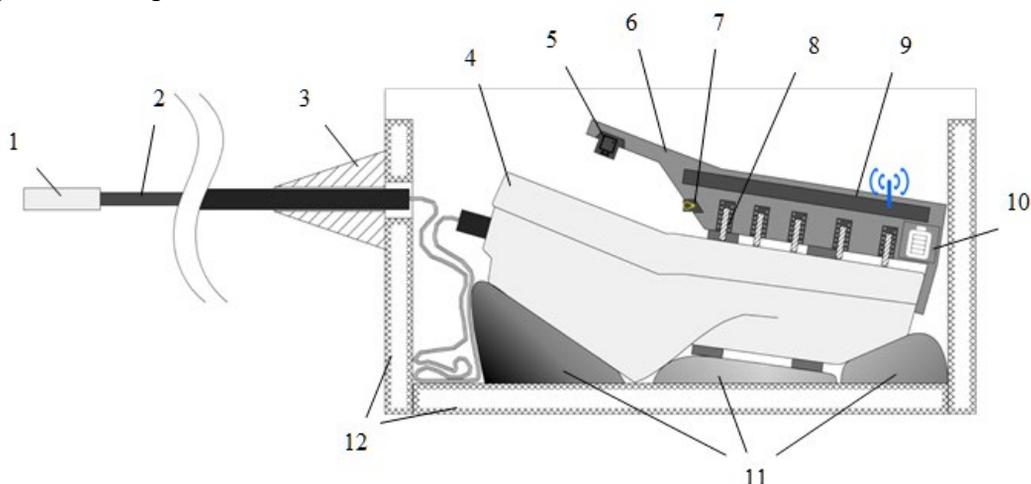
При увеличении амплитуды до 1 мм зафиксировано систематическое снижение скорости потока до 0,43 м/с при 2 об/с, что может быть связано с дестабилизацией положения шупа относительно воздушного потока.

Наибольшие вибрации (до 137 дБА) зафиксированы при 1,5 об/с, что указывает на возможные резонансные эффекты в конструкции.

Полученные данные подтверждают необходимость механической стабилизации подвеса с прибором и его сенсометрического шупа, а также программной обработки результатов для компенсации вибрационного воздействия. Также следует отметить, что вибрации передавались на сам измерительный блок «Метеоскоп-М», однако их влияние на точность измерений принималось во внимание как второстепенный фактор.

Таким образом, для обеспечения корректности измерений при использовании прибора на беспилотных платформах требуется комплексный подход, включающий:

- механическую стабилизацию (демпфирующие элементы в конструкции подвеса);
- автоматизированную коррекцию измерений (фильтрация данных и использование корректирующих коэффициентов);
- специализированную накладку для дистанционного управления прибором (рис. 2), обеспечивающую считывание и передачу данных в режиме реального времени.



**Рис. 2. Вариант компоновки и размещения прибора «Метеоскоп-М» в подвесе БПЛА:**

1 – оконечность сенсометрического шупа с датчиками температуры, влажности, скорости движения воздуха и атмосферного давления; 2 – сенсометрический шуп, подключенный к прибору; 3 – штуцер с демпфирующим слоем, фиксирующий шуп; 4 – блок управления прибора «Метеоскоп-М»; 5 – камера, направленная на дисплей прибора; 6 – корпус накладки; 7 – лампочка для подсвечивания дисплея прибора; 8 – соленоиды, расположенные напротив органов управления прибора; 9 – плата с антенной для передачи данных; 10 – независимый источник питания накладки; 11 – демпфирующие подкладки под прибор; 12 – внутренняя обшивка корпуса подвеса из демпферного материала.

*Источник:* составлено С.В. Симановичем и И.И. Гаврилиным.

Использование данных решений в совокупности позволит существенно снизить влияние вибраций и других внешних факторов на результаты измерений, обеспечивая их стабильность и точность в реальных полетных условиях.

### **Заключение**

Результаты проведенного исследования подтверждают возможность использования измерительных приборов в подвесах БПЛА двумя основными способами: адаптацией существующих приборов посредством технических и программных методов или созданием новых средств измерений, целевым образом разработанных для использования на платформе БПЛА в полетных условиях.

Адаптация серийно производящихся приборов дает экономические и логистические преимущества, так как использует сертифицированные устройства, уже апробированные практикой. Вместе с тем эксперимент показал, что вибрационные нагрузки, возникающие в ходе полета, оказывают негативное влияние на точность измерений, особенно при увеличении амплитуды колебаний. Представленные в работе технические модификации и предложенные варианты программной обработки данных позволяют минимизировать влияние вибраций, повысить точность измерений и обеспечить корректное функционирование приборов в подвесе БПЛА.

Предложенный подход универсален, так как использует возможность интеграции БПЛА с традиционными средствами экологического контроля, что, по мнению специалистов, позволяет взаимно дополнять данные и обеспечивать возможность сравнения показателей качества воздуха на различных высотах [16]. К тому же он гибок, поскольку позволяет адаптировать различные типы измерительных приборов для выполнения задач экологического мониторинга в части, касающейся инвентаризации промышленных объектов.

К недостаткам такого подхода можно отнести лишь незначительные затраты на изготовление дополнительного оборудования, влекущие допустимое увеличение массы комплекса и повышение энергопотребления системы, необходимость постоянного контроля и обновления корректирующих данных. Однако такой подход позволяет уже сегодня интегрировать БПЛА в систему экологического мониторинга, обеспечивая сбор объективных данных и позволяя предупреждать возможные загрязнения среды.

При этом важно отметить, что для обеспечения достоверности и стабильности результатов в условиях конкретной платформы и задачи адаптация приборов должна сопровождаться натурными испытаниями с учетом характеристик рамы, подвеса, двигательной установки и полетной динамики, что, в свою очередь, позволит скорректировать влияние внешних факторов и повысить точность результатов.

В дальнейшем накопленный опыт послужит основой для использования другого подхода – разработки и создания специализированных, дистанционно управляемых приборов, конструктивно интегрированных с несущей платформой БПЛА для работы в условиях полета. Благодаря оптимальной конструкции с учетом всех особенностей условий эксплуатации, органичному сочленению транспортной платформы БПЛА и измерительных приборов новый комплекс, безусловно, будет более эффективен и работоспособен. Однако в настоящее время нецелесообразность внедрения этого подхода в практику экологического мониторинга определяется его недостатками: высокими затратами на разработку и промышленное производство, потребностью в проведении серии испытаний и сертификаций, что значительно увеличивает сроки изготовления в промышленных масштабах и внедрения в эксплуатацию.

### Список литературы

- [1] *Моисеева А.А.* Возможности современных инженерно-экологических изысканий // Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы : материалы VII Международной научно-практической конференции, приуроченной к Году педагога и наставника. Новокузнецк, 8 декабря 2023 года. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. С. 265–267. EDN: UIVWFR
- [2] *Романова М.А., Трефилов П.М., Шевченко А.В., Исхаков А.Ю., Мамченко М.В., Ищук И.Н., Долгов А.А.* Мониторинг экологической обстановки окружающей среды с применением БПЛА // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2019 : материалы двенадцатой международной конференции. Москва, 1–3 октября 2019 года / под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. Москва : Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2019. С. 1072–1074. <https://doi.org/10.25728/mlsd.2019.1.1072> EDN: RVINFL
- [3] *Адамян Д.А., Ашихмина Т.В.* Применение БПЛА для экологического мониторинга // Студенческий научный форум 2024 : сборник статей XII Международной научно-практической конференции. Пенза, 27 мая 2024 года. Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2024. С. 62–65.
- [4] *Каленский А.В., Звекоев А.А., Боровикова А.П.* Патент № 2816093 С1 Российская Федерация, МПК G01N 33/00. Способ определения эмиссии диоксида углерода : № 2023119704 : заявл. 26.07.2023; опубл. 26.03.2024. Заявитель : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет».
- [5] *Haske B., Rudolph T., Bernsdorf B., Pawlik M.* Innovative Environmental Monitoring Methods Using Multispectral UAV and Satellite Data // First Break. 2024. No. 42. P. 4147.
- [6] *Легович Ю.С., Ефремов А.Ю., Фатеева Ю.Г.* Современные подходы к решению задачи обнаружения точечного источника загрязнения атмосферного воздуха с использованием беспилотных летательных аппаратов // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2018 : труды одиннадцатой международной конференции : в 3 т. Москва, 01–03 октября 2018 года / под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. Том III. Москва : Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2018. С. 276–284.

- [7] *Ягельдин С.И.* Автономная атмосферная станция на базе мультироторного БПЛА для экологического мониторинга // Новые информационные технологии : тезисы докладов XX Международной студенческой конференции-школы-семинара. Судак, 17–23 мая 2012 года. Судак : Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ, 2012. С. 209–211.
- [8] *Пудалов А.Д.* Унифицированная измерительная схема приборов аналитического контроля // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 3 (31). С. 220–223.
- [9] *Вавилов В.Д., Суконкин А.Н.* Обзор отечественных и зарубежных сигнализаторов обледенения // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 4 (101). С. 297–310. EDN: SEZXGN
- [10] *Зязев Б.Ю., Гуторова Н.В., Любская О.Г.* Современные информационные технологии в общественном экологическом мониторинге // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2023. № 3 (89). С. 36–47. EDN: OOAGWS
- [11] *Кремчеев Э.А., Данилов А.С., Смирнов Ю.Д.* Состояние метрологического обеспечения систем мониторинга на базе беспилотных воздушных судов // Записки Горного института. 2019. Т. 235. С. 96–105. EDN: WABBWQ
- [12] *Verbeke J., Debruyne S.* Vibration analysis of a UAV multirotor frame // Proceedings of ISMA. 2016. URL: [https://past.isma-isaac.be/downloads/isma2016/papers/isma2016\\_0797.pdf](https://past.isma-isaac.be/downloads/isma2016/papers/isma2016_0797.pdf) (accessed: 07.04.2025).
- [13] *Гончаренко Б.И., Кузьменков В.Ю., Котов А.Н.* Экспериментальное исследование особенностей формирования спектра шумов беспилотного летательного аппарата // Noise Theory and Practice. 2020. Т. 6, № 4 (22). С. 49–59. EDN: САННФА
- [14] *Гу П., Авсиевич А.М., Лобатый А.А.* Математическая модель оценки влияния вибраций на элементы мультикоптера // Системный анализ и прикладная информатика. 2024. № 1. С. 37–42. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2024-1-37-42> EDN: TPPEKS
- [15] *Суконкина М.Л., Гайнов С.И.* Обзор методов и устройств виброзащиты приборных платформ // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 4 (101). С. 311–319. EDN: SEZXGX
- [16] *Xiao Yu S, Yuanhang L, Ligang C, Xin Z.* Research and Design of UAV Environmental Monitoring System // Advanced Hybrid Information Processing. 4th EAI International Conference, ADHIP 2020, Binzhou, China, September 26-27, 2020, Proceedings, part I. 2021. P. 11–17.

### Сведения об авторах:

*Симанович Семён Васильевич*, научный сотрудник, инженер по охране труда и промышленной безопасности; аспирант, УрМФ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт труда» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, Российская Федерация, 620144, г. Екатеринбург, ул. Щорса, д. 15; Уральский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66. ORCID: 0009-0005-7408-9858; SPIN-код: 5094-6745; AuthorID: 1203689. E-mail: [rewriters@yandex.ru](mailto:rewriters@yandex.ru)

*Гаврилин Игорь Игоревич*, кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности, Уральский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66. SPIN-код: 2526-2048; AuthorID: 649940. E-mail: [i.gavrilin@list.ru](mailto:i.gavrilin@list.ru)

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-328-341

EDN: RZLBTD

УДК 628.54

Научная статья / Research article

## Совершенствование технологий утилизации гальванических шламов

Е.С. Сергеев<sup>ID</sup>, А.М. Геннадьева<sup>ID</sup>✉, Д.В. Богачук<sup>ID</sup>,  
С.З. Калаева<sup>ID</sup>, О.П. Филиппова<sup>ID</sup>

*Ярославский государственный технический университет (ЯГТУ), Ярославль,  
Российская Федерация*  
✉gennadivalena@gmail.com

**Аннотация.** Сохранение качества окружающей среды является одной из приоритетных задач человечества. Антропогенная деятельность привела к накоплению огромного количества промышленных отходов, которые природа не способна использовать, в результате чего они наносят ей непоправимый вред. В данном исследовании рассмотрена проблема образования и накопления гальванических шламов и предлагаются пути их утилизации: получение антикоррозионных и дорожных покрытий, а также магнитной жидкости для очистки сточных вод от нефтепродуктов. В результате реализации указанных технологий негативное воздействие отходов снижается, а их ценные компоненты вторично используются.

**Ключевые слова:** антикоррозионное покрытие, дорожное покрытие, магнетит, магнитная жидкость, сточная вода, нефтепродукты

**Вклад авторов.** *Сергеев Е.С., Геннадьева А.М., Богачук Д.В.* – проведение исследования, анализ результатов исследования, создание рукописи и ее редактирование; *Калаева С.З., Филиппова О.П.* – руководство исследованием, анализ результатов исследования, создание рукописи и ее редактирование. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

**История статьи:** поступила в редакцию 24.01.2025; доработана после рецензирования 27.03.2025; принята к публикации 12.04.2025.

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

© Сергеев Е.С., Геннадьева А.М., Богачук Д.В., Калаева С.З., Филиппова О.П., 2025



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

Для цитирования: Сергеев Е.С., Геннадьева А.М., Богачук Д.В., Калаева С.З., Филиппова О.П. Совершенствование технологий утилизации гальванических шламов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 3. С. 328–341. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-328-341>

## Improvement of galvanic sludges utilization technologies

Egor S. Sergeev<sup></sup>, Alena M. Gennadyeva<sup></sup>✉, Dmitry V. Bogachuk<sup></sup>,  
Sahiba Z. Kalaeva<sup></sup>, Olga P. Filippova<sup></sup>

*Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation*

✉[gennadivalena@gmail.com](mailto:gennadivalena@gmail.com)

**Abstract.** Preserving the quality of the environment is one of humanity’s priority tasks. Man-made activities have led to the accumulation of an enormous amount of industrial waste, which nature is unable to use, causing irreparable harm. This study considers the problem of formation and accumulation of galvanic slags and proposes ways to recycle them: production of anticorrosive and road pavements, as well as magnetic fluid for purification of waste water from petroleum products. As a result of implementing the specified technologies, the negative impact of the waste is reduced and its valuable components are reused.

**Keywords:** galvanic sludge, anticorrosion coating, road coating, magnetite, magnetic fluid, wastewater, oil products

**Authors’ contribution.** *E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk* – investigation, analyse study data, writing – review and editing; *S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova* – supervision, analyse study data, writing – review and editing. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Article history:** received 24.01.2025; revised 27.03.2025; accepted 12.04.2025.

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

**For citation:** Sergeev ES, Gennadyeva AM, Bogachuk DV, Kalaeva SZ, Filippova OP. Improvement of galvanic sludges utilization technologies. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):328–341. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-328-341>

## Введение

В процессе промышленного производства образуется значительное количество опасных отходов, накопление которых представляет серьезную проблему для окружающей природной среды. На состав и свойства таких отходов существенное влияние оказывает технологический процесс получения целевого продукта, вследствие чего не существует «универсального» способа их утилизации. К тому же в большинстве случаев такие отходы содержат в своем составе высокотоксичные компоненты, ликвидация которых крайне

актуальна из-за снижения самоочищающей способности природы. Перспективным способом предотвращения отрицательного влияния отходов на окружающую среду и здоровье населения является их утилизация в народном хозяйстве.

Одними из наиболее опасных промышленных крупнотоннажных отходов являются гальванические шламы (гальваношламы). Это токсичные отходы пастообразного вида, образующиеся в ходе очистки сточных вод, преимущественно электрохимических и машиностроительных производств. Данные отходы разнообразны по консистенции, составу, физическому состоянию и природе происхождения.

Главная опасность гальваношламов (ГШ) в том, что они являются поставщиками тяжелых металлов, которые имеют тенденции к накоплению в пищевых цепочках и практически не выводятся из организма. В составе ГШ преобладают ионы трехвалентного железа  $Fe^{3+}$ , находящиеся в виде гидроксида трехвалентного железа  $Fe(OH)_3$ , вследствие чего их относят к отходам II-III класса опасности [1-4].

ГШ в большинстве случаев не перерабатываются в востребованные продукты, а изолируются от окружающей среды: складировются на территории «предприятий-поставщиков» данных отходов, подвергаются захоронению или, что недопустимо, вывозятся на несанкционированные свалки. Для правильного захоронения ГШ полигоны должны быть оборудованы в соответствии с СП 127.13330.2023, чего в настоящее время не наблюдается в большинстве регионов России. К тому же при высыхании ГШ переходит из состояния суспензии в твердое сыпучее состояние, что запрещено нормами СанПиН 2.1.3684-21. Все это приводит к возникновению источников вторичного загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами [5].

## Материалы и методы

На базе кафедры «Охрана труда и природы» ФГБОУ ВО «ЯГТУ» уже существуют наработки в области технологий утилизации данных токсичных отходов. Авторами представлены способы их доработки и совершенствования.

Основной сложностью работы с отходами является непостоянство их химического состава, даже в пределах одного производственного процесса. Поэтому перед использованием ГШ был определен их химический состав, представленный в табл. 1. Химический состав ГШ был определен стандартизированными аналитическими методами и методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на приборе Skyauf EDX6000B (рис. 1, 2). Были использованы отходы двух предприятий, на которых реализуется электрокоагуляционная очистка сточных вод: АО «Ярославский завод дизельной аппаратуры» (ЯЗДА) и АО «Судостроительный завод „Вымпел“» (СЗЗ «Вымпел»).

Таблица 1. Химический состав гальванических шламов

| Показатель                                | Значение, %   |              | Метод определения                 |
|---|---------------|--------------|-----------------------------------|
|   | ЯЗДА          | СЗЗ «Вымпел» |                                   |
| Влажность                                 | 78,81 ± 1,58  | 67,91 ± 1,36 | ГОСТ 21119.1-75                   |
| Содержание органических веществ           | 4,01 ± 0,08   | 4,52 ± 0,09  | ГОСТ 21119.1-75                   |
| Содержание минеральных веществ, а именно: | 17,17 ± 0,34  | 27,57 ± 0,55 | –                                 |
| веществ, растворимых в воде               | 2,00 ± 0,04   | 0,07 ± 0,01  | ГОСТ 21119.2-75                   |
| веществ, нерастворимых в соляной кислоте  | 3,30 ± 0,07   | 4,15 ± 0,08  | ГОСТ 30550-98                     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>            | 51,99 ± 1,04  | 36,20 ± 0,72 | По данным прибора Skyray EDX6000B |
| ZnO                                       | 3,49 ± 0,07   | 2,86 ± 0,06  |                                   |
| CaO                                       | 9,01 ± 0,09   | 5,33 ± 0,11  |                                   |
| CuO                                       | 0,02 ± 0,0004 | 0            |                                   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>            | 1,29 ± 0,03   | 0,54 ± 0,01  |                                   |
| NiO                                       | 0,15 ± 0,003  | 0            |                                   |

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

Table 1. Chemical composition of galvanic sludges

| Characteristic                            | Value, %      |              | Test method   |
|---|---------------|--------------|---|
|   | YaZDA         | SZZ «Vympel» |   |
| Humidity                                  | 78.81 ± 1.58  | 67.91 ± 1.36 | GOST 21119.1-75   |
| Organic content                           | 4.01 ± 0.08   | 4.52 ± 0.09  | GOST 21119.1-75   |
| Inorganic content, namely:                | 17.17 ± 0.34  | 27.57 ± 0.55 | –   |
| Water-soluble substances                  | 2.00 ± 0.04   | 0.07 ± 0.01  | GOST 21119.2-75   |
| Substances insoluble in hydrochloric acid | 3.30 ± 0.07   | 4.15 ± 0.08  | GOST 30550-98   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>            | 51.99 ± 1.04  | 36.20 ± 0.72 | Based on the results of the analysis on Skyray EDX6000B |
| ZnO                                       | 3.49 ± 0.07   | 2.86 ± 0.06  |   |
| CaO                                       | 9.01 ± 0.09   | 5.33 ± 0.11  |   |
| CuO                                       | 0.02 ± 0.0004 | 0            |   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>            | 1.29 ± 0.03   | 0.54 ± 0.01  |   |
| NiO                                       | 0.15 ± 0.003  | 0            |   |

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

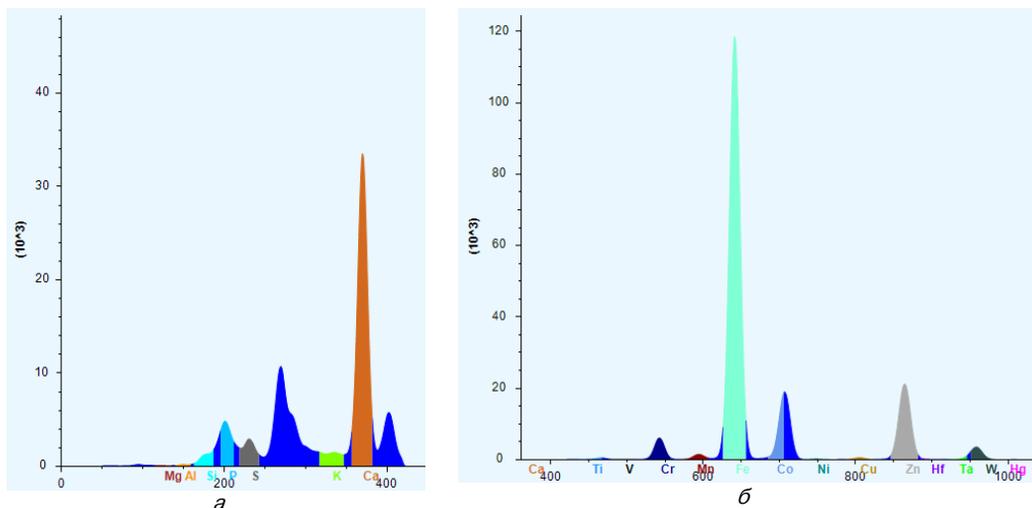
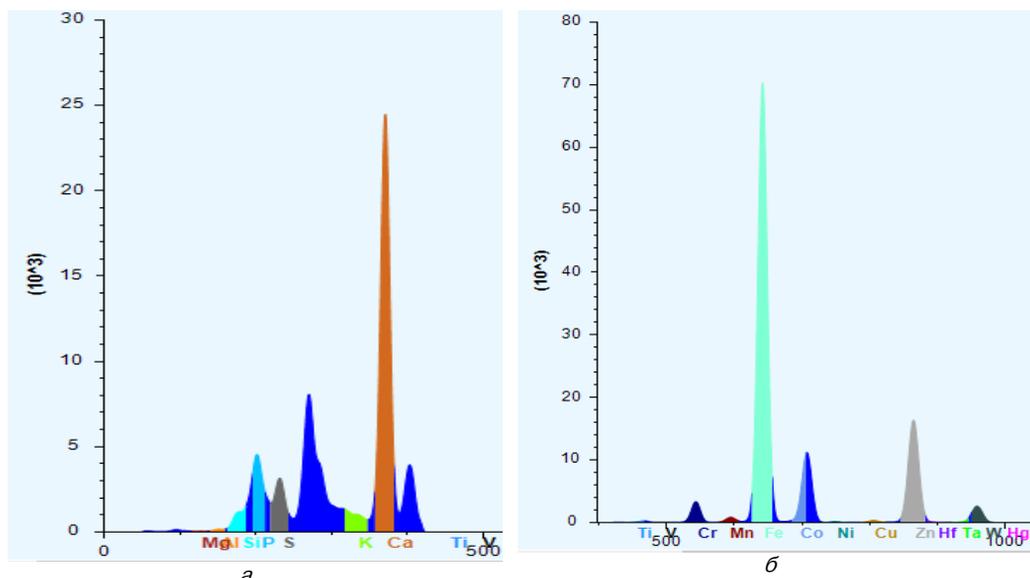


Рис. 1. Спектр содержания «легких» (а) и «тяжелых» (б) элементов в ГШ ЯЗДА

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

Figure 1. The spectrum of the content of «light» (a) and «heavy» (b) elements in galvanic sludge of YAZDA

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.



**Рис. 2.** Спектр содержания «легких» (а) и «тяжелых» (б) элементов в ГШ СЗЗ «Вымпел»

*Источник:* составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

**Figure 2.** The spectrum of the content of “light” (a) and “heavy” (b) elements in galvanic sludge of SZZ “Vympel”

*Source:* compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

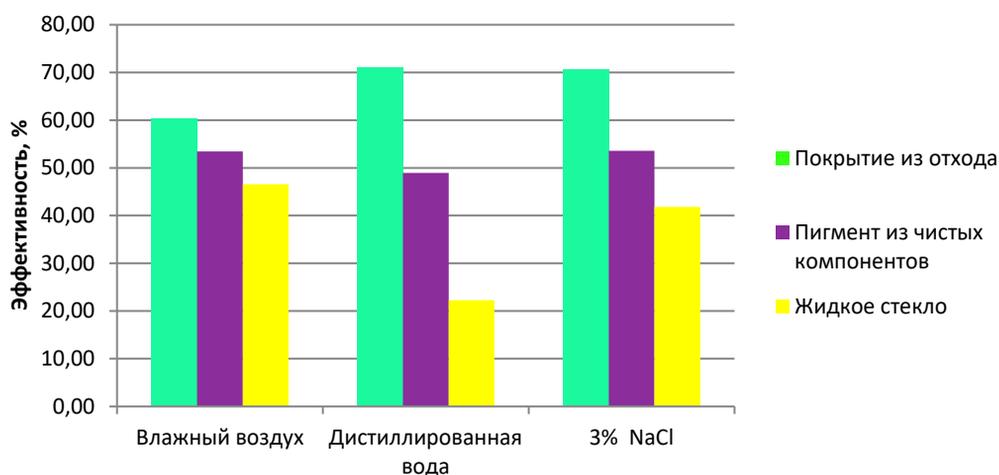
Предлагается использование представленных ГШ для получения временных антикоррозионных и дорожных покрытий, а также сорбентов для объемной очистки сточных вод от нефтепродуктов – магнитных жидкостей (МЖ). Временные антикоррозионные покрытия были испытаны по ГОСТ 9.080-77, дорожные покрытия – по ГОСТ 12801-98. Полученные образцы МЖ были охарактеризованы с помощью физических и физико-химических методов анализа (с использованием ИК-Фурье спектрометра RX (Perkin Elmer) с приставкой НПВО Spectrum Two, в интервале частот  $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ ). Концентрация нефтепродуктов в воде определялась флуориметрическим методом на аппарате «Флюорат-02».

## Результаты и обсуждение

Антикоррозионное покрытие было получено с использованием ГШ ЯЗДА. Так как в его состав входит значительное количество железа, данный отход можно применять в качестве железосодержащего компонента для приготовления антикоррозионного пигмента методом ферритизации – дисперсной фазы антикоррозионного покрытия. Получаемый пигмент не уступает промышленным аналогам, а наличие в составе гальваношламов ионов различных тяжелых металлов, а именно хрома и цинка усиливает его коррозионную стойкость [6]. В качестве дисперсионной среды используется жидкое стекло по ГОСТ 13078-81. Таким образом, получаемое антикоррозионное покрытие будет являться аналогом силикатной краски со всеми ее преимуществами.

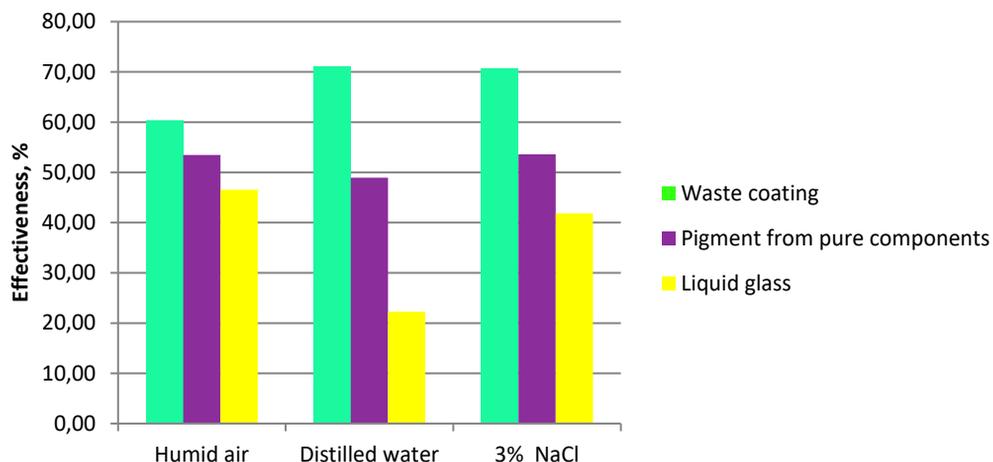
Данное антикоррозионное покрытие получено на основе отхода, поэтому рационально его применять лишь для временной консервации, а его силикатная основа позволяет конкретизировать сферу использования данного покрытия – для временной консервации колес железнодорожного состава в периоды его простоя или ремонта. На основе проведенных экспериментов [7] наиболее эффективным является покрытие, состоявшее на 30 % из пигмента и на 70 % из жидкого стекла. Вследствие предполагаемой среды эксплуатации защитное действие антикоррозионного покрытия было оценено методом ускоренных испытаний в среде влажного воздуха, дистиллированной воды и 3%-го раствора NaCl при температуре испытания 22–26 °С в течение 72 ч в сравнении с покрытием на основе чистого жидкого стекла и покрытием того же состава, но дисперсная фаза которого получена на основе чистых компонентов (рис. 3). Как видно, антикоррозионное покрытие, полученное на основе отхода, намного эффективнее.

Асфальтобетонное дорожное покрытие было получено с использованием ГШ СЗЗ «Вымпел». Основными компонентами асфальтобетона являются минеральный наполнитель, песок и битумное вяжущее БНД 60/90, количество которых было выбрано в соответствии с ГОСТ 9128-2013. При этом стандартный наполнитель – доломитовая мука – был полностью заменен на ГШ. Так как отход содержит различные токсичные компоненты, для снижения их подвижности была проведена высокотемпературная обработка при температуре 900 °С. Для сравнения прочностных характеристик (табл. 2) были получены образцы асфальтобетонов с использованием в качестве минерального наполнителя доломитовой муки. Можно сделать вывод, что асфальтобетонное покрытие с использованием в качестве минерального наполнителя ГШ весьма эффективно и соответствует нормативной документации.



**Рис. 3. Эффективность использования антикоррозионных покрытий в различных средах**

*Источник:* составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.



**Figure 3. Effectiveness of anticorrosion coatings in different environments**

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

**Таблица 2. Результаты испытания асфальтобетонного покрытия**

| Показатель   | Асфальтобетонное покрытие      |                            | Норма по ГОСТ 9128-2013 |
|--|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|
|  | Наполнитель – доломитовая мука | Наполнитель – гальваношлам |                         |
| Предел прочности на растяжение при раскалывании, МПа | 4,44                           | 5,44                       | Не менее 2,0            |
| Предел прочности при сжатии, МПа                     | 5,74                           | 5,96                       | Не менее 2,0            |
| Водоустойчивость, доли                               | 0,81                           | 0,69                       | Не менее 0,6            |
| Водонасыщение, %                                     | 1,06                           | 0,64                       | 0,5 – 2,5               |

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

**Table 2. Test results of asphalt concrete pavement**

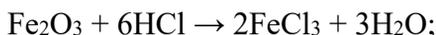
| Characteristic                     | Bituminous surfacing     |                          | GOST Standart 9128-2013 |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                                    | Filler – Dolomite powder | Filler – galvanic sludge |                         |
| Tensile strength at splitting, MPa | 4.44                     | 5.44                     | Not less 2.0            |
| Compressive strength, MPa          | 5.74                     | 5.96                     | Not less 2.0            |
| Water resistance, percentage       | 0.81                     | 0.69                     | Not less 0.6            |
| Water saturation, %                | 1.06                     | 0.64                     | 0.5 – 2.5               |

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

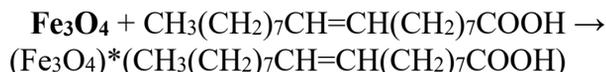
Еще одним направлением применения ГШ является использование их в качестве сырья при синтезе сорбентов – магнитных жидкостей (МЖ) методом химической конденсации, представляющих собой двухфазные коллоидные растворы, состоящие из дисперсной фазы (ферромагнитные или ферримагнитные наночастицы) и дисперсионной среды (керосин), в которой частицы равномерно распределены по всему объему. Из-за магнитных и Ван-дер-Ваальсовых взаимодействий между частицами образуются агрегаты [8]. Чтобы избежать этого, необходимо стабилизировать МЖ с помощью поверхностно-активного вещества (ПАВ), толщина слоя которого должна составлять около 2 нм [9].

Этапы получения МЖ, свойства которых представлены в табл. 3.

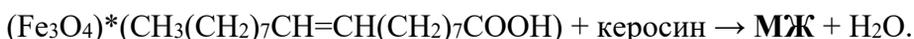
1. Синтез магнетита на основе композита, состоящего из ГШ (см. табл. 1) и отхода травления стальных листов ОАО «Северсталь»:



2. Нагрев суспензии магнетита до 95 °С при постоянном перемешивании. По достижении нужной температуры вводится стабилизатор – олеиновая кислота:



и жидкость-носитель – керосин:



В результате химической реакции образуется коллоидная система, в которой частицы частично растворены в носителе, что обеспечивает их стабильность и возможность манипуляции под воздействием магнитного поля.

Таблица 3. Свойства синтезированных магнитных жидкостей

| Сорбент | Отход, использованный в качестве сырья | Намагниченность насыщения, кА/м | Объемная доля магнетита, % | Плотность, кг/м <sup>3</sup> |
|---------|--|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| МЖ-1    | ЯЗДА                                   | 15,83                           | 5,44                       | 985                          |
| МЖ-2    | СЗЗ «Вымпел»                           | 14,21                           | 5,12                       | 960                          |
| МЖ-3    | Чистые компоненты                      | 18,31                           | 6,3                        | 996                          |

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

Table 3. Properties of synthesized magnetic fluids

| Sorbent | Waste used as raw materials | Saturation magnetization, kA/m | Magnetite volume fraction, % | Density, kg/m <sup>3</sup> |
|---------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| MF-1    | YaZDA                       | 15.83                          | 5.44                         | 985                        |
| MF-2    | SZZ «Vypel»                 | 14.21                          | 5.12                         | 960                        |
| MF-3    | Pure components             | 18.31                          | 6.3                          | 996                        |

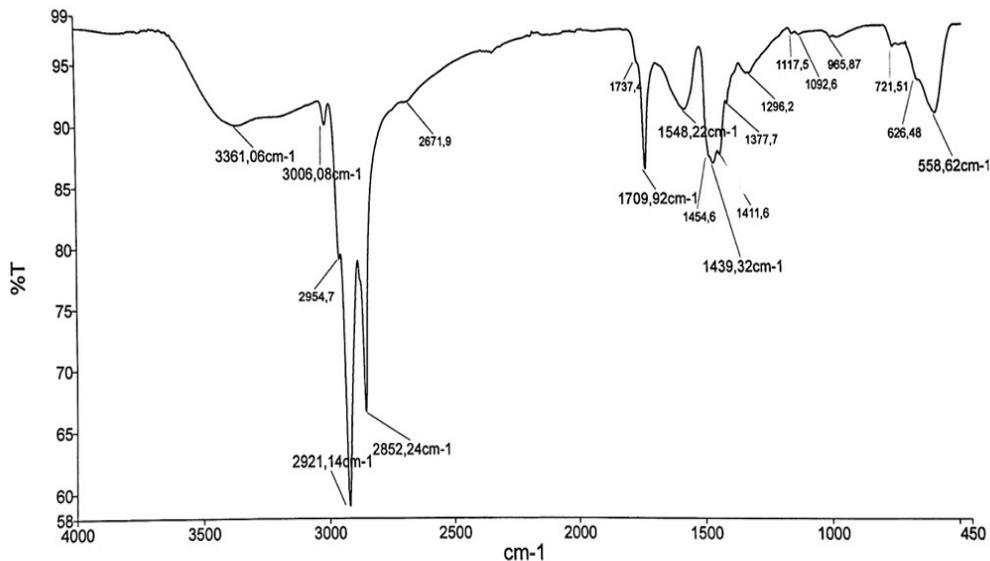
Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

Исходя из данных табл. 3, параметры МЖ, синтезированных из ГШ, практически соответствуют параметрам МЖ, полученной из чистых компонентов.

Для уточнения состава МЖ из ГШ были сняты их инфракрасные спектры (рис. 4, 5). Показано, что полосы поглощения от 558 до 721 см<sup>-1</sup> соответствуют колебанию связей Fe–O в кристаллической решетке магнетита (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Также присутствуют полосы поглощения, характерные для олеиновой кислоты и керосина.

Полученные МЖ можно использовать, например, для объемной очистки воды от нефтепродуктов (НП) [10]. Исследование эффективности очистки воды проводилось с использованием устройства, описанного в патенте РФ № 2602566 [11].

В процессе исследования была изучена эффективность очистки воды в зависимости от соотношения объема МЖ к НП, при заданной скорости потока загрязненных вод, равной 0,02 м/с, значения которой представлены на рис. 4.

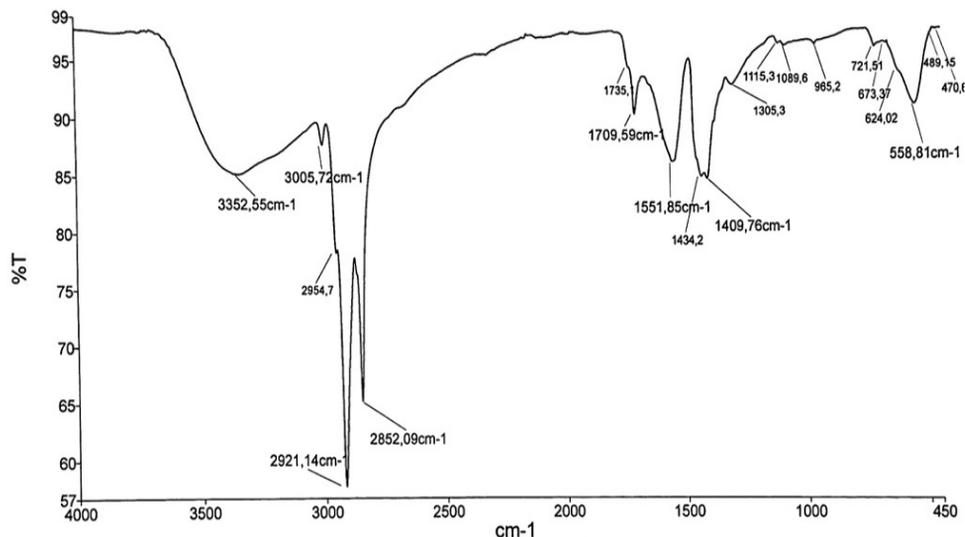


**Рис. 4. Инфракрасный спектр МЖ, полученной из отхода ЯЗДА**

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

**Figure 4. Infrared spectrum of MF obtained from YaZDA waste**

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

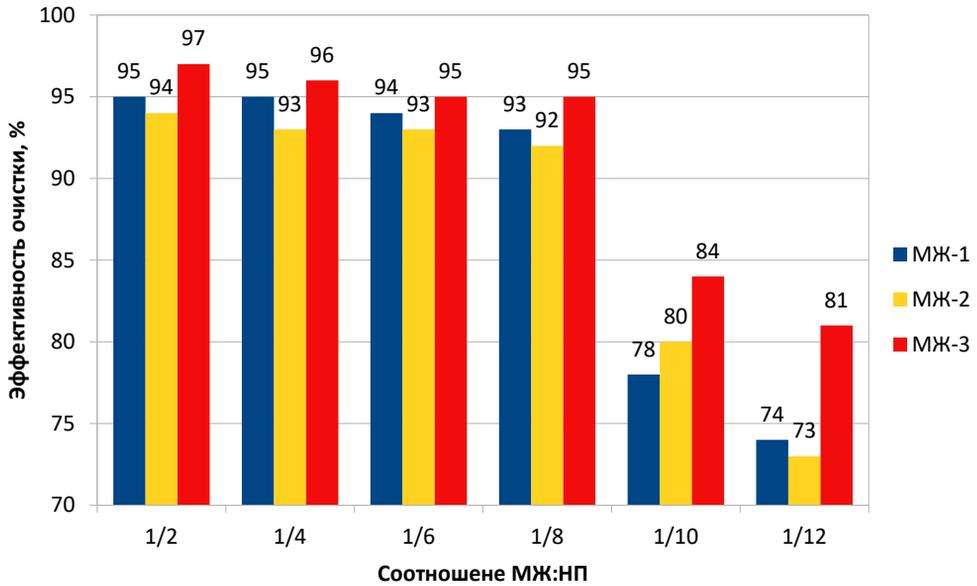


**Рис. 5. Инфракрасный спектр МЖ, полученной из отхода СЗЗ «Вымпел»**

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

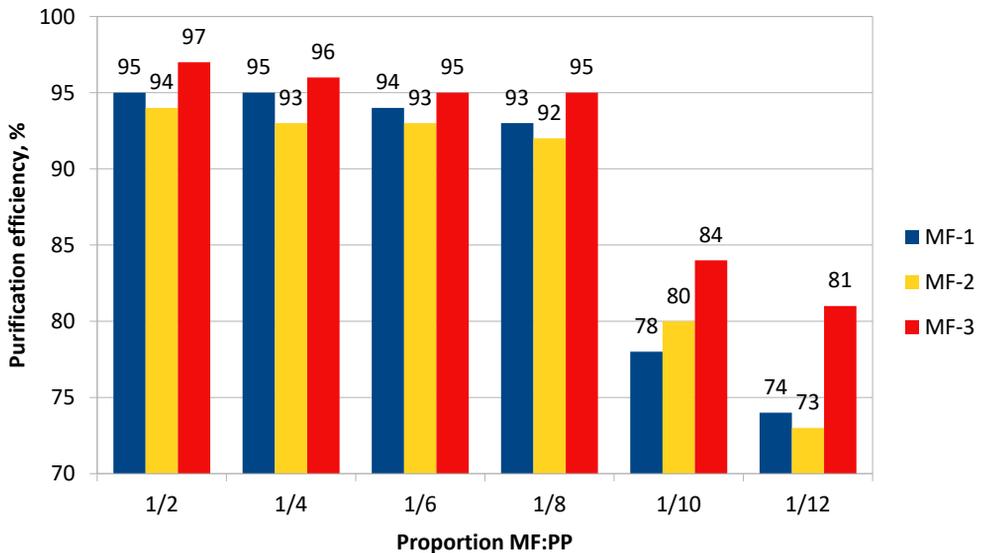
**Figure 5. Infrared spectrum of MF obtained from the waste of SZZ "Vympel"**

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.



**Рис. 6. Диаграмма зависимости эффективности очистки воды от соотношения МЖ:НП**

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.



**Figure 6. Diagram of dependence of water purification efficiency on the proportion MF:PP**

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

Таким образом, при объемной очистке сточной воды от НП наиболее приемлемое (рациональное) соотношение МЖ : НП = 1 : 8, при этом степень очистки составляет около 93 %. Такой процесс происходит с минимальными затратами энергии и без нанесения вреда окружающей среде.

## Выводы

Гальванические шламы являются одними из наиболее опасных отходов производства, представляющих опасность как для окружающей среды, так и для здоровья человека, но обладающих рядом полезных свойств. Поэтому крайне необходимо грамотно осуществлять процесс их утилизации.

Получение в результате рассматриваемых процессов продуктов утилизации отхода позволит решить не только экологические задачи, но также экономические и эксплуатационные, так как сырье на основе отходов имеет меньшую стоимость, по сравнению с сырьем на основе чистых компонентов, а основные технические характеристики продуктов при этом остаются на том же уровне или даже имеют лучшие значения.

Так, эффективность коррозионной защиты металлических изделий с помощью покрытий, где действующим веществом является антикоррозионный пигмент, полученный на основе ГШ, составляет примерно 60–70 % в рассматриваемых средах, в то время как использование аналогичных покрытий, но с действующим веществом на основе чистых компонентов обеспечивает эффективность защиты примерно на уровне 50–60 %. Асфальтобетонные покрытия, в которых наполнитель полностью заменен на прокаленный ГШ, обладают на 22,5 % большим пределом прочности на растяжение при раскалывании и на 3,8 % большим пределом прочности при сжатии, при этом на 17,4 % меньшей водоустойчивостью и на 65,6 % меньшим водонасыщением по сравнению с асфальтобетонным покрытием, в котором используется стандартный наполнитель – доломитовая мука. МЖ, полученная на основе ГШ, практически идентична по своим параметрам МЖ из чистых компонентов, а ее применение для объемной очистки воды от НП обеспечивает эффективность очистки 93 %.

## Список литературы

- [1] *Ольшанская Л.Н., Лазарева Е.Н., Татаринцева Е.А., Арефьева О.А., Яковлева Е.В., Симонова З.А.* Гальваношламы – источник вторичных материальных ресурсов при получении пигментов-наполнителей для лакокрасочных изделий // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 89–95. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-089-095. EDN: GXRDOA
- [2] *Моняк Т.М., Кульбицкая Л.В., Романовский В.И.* Анализ перспектив использования отходов гальванических производств // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2020. № 16. С. 96–102. EDN: LCUZZ
- [3] *Ольшанская Л.Н., Булкина Л.А., Лазарева Е.Н., Шайхиев И.Г.* Технологические аспекты извлечения токсичных металлов из гальваноотходов для вторичного применения // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 7. С. 195–198. EDN: SCNLTL
- [4] *Мосталыгина Л.В., Костин А.В., Шерстобитов Г.С., Прокопьева Е.А., Мосталыгин А.Г., Бирюков М.Ф.* Изучение качественного состава гальванического отхода от

- очистки гальванической ванны и возможностей его обезвреживания // Вестник Курганского государственного университета. Серия: Технические науки. 2014. № 2 (33). С. 88–90. EDN: STBKVF
- [5] *Сергеев Е.С., Филиппова О.П.* Проблема хранения гальванических шламов и пути ее решения // Производственные системы будущего: опыт внедрения Lean и экологических решений : материалы международной научно-практической конференции, Кемерово, 2022 / под ред. Т.В. Галаниной, М.И. Баумгартэна. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. С. 526.1–526.6. EDN: GHKCFV
- [6] *Сергеев Е.С., Филиппова О.П.* Исследование влияния примесей тяжелых металлов на антикоррозионную активность пигментов, полученных из отходов гальванических производств // Семьдесят четвертая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием : сборник материалов конференции. Том 1. Часть 1. Ярославль, 2021. Ярославль : Ярославский государственный технический университет, 2021. С. 271–274. EDN: TYNJKM
- [7] Патент № 2776953 С1, Российская Федерация, МПК С10М 77/00 (2006.01), С09С 1/00 (2006.01), С09С 3/04 (2006.01). Способ получения силикатной пластичной смазки : заявл. 24.05.2021 ; опубл. 29.07.2022 / Филиппова О.П., Сергеев Е.С. ; патентообладатель : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет». № 2021114536. Бюл. № 22.
- [8] *Новопашин С.А., Серебрякова М.А., Хмель С.Я.* Методы синтеза магнитных жидкостей (обзор) // Теплофизика и аэромеханика. 2015. Т. 22, № 4. С. 411–427. EDN: UCCEGP
- [9] *Пучков П.В.* К вопросу о возможности применения магнитных жидкостей в качестве смазочного материала в узлах трения машин и механизмов // NovaInfo.Ru. 2018. Т. 1, № 78. С. 95–99 EDN: YNZDIE
- [10] *Геннадьева А.М., Калаева С.З., Филиппова О.П., Петропавловская В.Б., Кузнецова Г.М.* Технология очистки воды от нефтепродуктов с использованием магнитных жидкостей из промышленных отходов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2024. № 3 (149). С. 191–203. <https://doi.org/10.17122/nj-oil-2024-3-191-203> EDN: NWCLGJ
- [11] Патент № 2602566 С1, Российская Федерация, МПК С02F 1/48(2006.01), С02F 1/40(2006.01). Способ очистки воды от нефтепродуктов с помощью магнитной жидкости и устройство его реализации : заявл. 06.04.2015 ; опубл. : 20.11.2016 / Страдомский Ю.И., Морозов Н.А.; патентообладатель : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». № 2015112535/05. Бюл. № 30.

## References

- [1] Olshanskaya LN, Lazareva EN, Tatarintseva EA, Arefeva OA, Yakovleva EV, Simonova ZA. Galvanic sludge is a source of secondary material resources in the production of filler pigments for paints and varnishes. *Theoretical and Applied Ecology*. 2023;(2):89–95. (In Russ.). DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-089-095 EDN: GXRDOA
- [2] Monak TM, Kulbitskaia LV, Romanovski VI. Analysis of the perspectives of use of electroplating industry waste. *Herald of Polotsk State University. Series F. Civil Engineering. Applied Sciences*. 2020;(16):96–102 (In Russ.). EDN: LCYUZZ

- [3] Olshanskaya LN, Bulkina LA, Lazareva EN, Shajhiev IG. Technological aspects of the extraction of toxic metals from galvanic waste for secondary use. *Herald of Technological University*. 2014;17(7):195–198 (In Russ.). EDN: SCNLTL
- [4] Mostalygina LV, Kostin AV, Sherstobitov GS, Prokopeva EA, Mostalygin AG, Biryukov VF. A profile analysis of the galvanic waste sludge formed in cleaning a plating bath and the possibilities of its treatment. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. Series: Technical Sciences*. 2014;(2):88–90 (In Russ.). EDN: STBKVF
- [5] Sergeev ES, Filippova OP. The problem of accumulation of galvanic sludges and ways to solve it. In: *Materials of the International scientific and practical conference “Production systems of the future: experience in implementing Lean and environmental solutions”*. Galanina TV, Baumgarten MI (ed.). Kemerovo: T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; 2022. p. 526.1–526.6 (In Russ.). EDN: GHKCFV
- [6] Sergeev ES, Filippova OP. Study of the influence of impurities of heavy metals on the anti-corrosion activity of pigments obtained from waste of galvanic productions. In: *Collection of materials of “The seventy-fourth All-Russian Scientific and Technical conference of students, undergraduates and postgraduates of higher educational institutions with international participation”*. Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University; 2021;(1). p. 271–274 (In Russ.).
- [7] Filippova OP, Sergeev ES. Patent RF no 2776953 C1, IPC C10M 77/00 (2006.01), C09C 1/00 (2006.01), C09C 3/04 (2006.01). *Method for producing silicate-based plastic lubricant*: announced 24.05.2021; published 29.07.2022. Federal State-Funded Educational Institution of Higher Professional Education “Yaroslavl State Technical University”. No. 2021114536, Bulletin 22 (In Russ.).
- [8] Novopashin SA, Serebryakova MA, Khmel SY. Methods of magnetic fluid synthesis (review). *Thermophysics and Aeromechanics*. 2015;22(4):411–427 (In Russ.). EDN: UCECGP
- [9] Puchkov PV. On the application of magnetic fluids as a lubricant in friction units of machines and mechanisms. *NovInfo.Ru*. 2018;(1):95–99 (In Russ.). EDN: YNZDIE
- [10] Gennadyeva AM, Kalaeva SZ, Filippova OP, Petropavlovskaya VB, Kuznetsova GM. Technology of water treatment from oil products using magnetic liquids from industrial waste. *The Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2024;(3):191–203. (In Russ.). <https://doi.org/10.17122/ntj-oil-2024-3-191-203> EDN: NWCLGJ
- [11] Stradomsky YI, Morozov NA. Patent RF no 2602566 C1, IPC C02F 1/48 (2006.01), C02F 1/40 (2006.01). *Method of purifying water from oil products by means of magnetic fluid and device for its implementation*: announced 06.04.2015; published 20.11.2016. Federal State-Funded Educational Institution of Higher Professional Education “Ivanovo State Power Engineering University Lenin VI”. No. 2015112535/05, Bulletin 30 (In Russ.).

### Сведения об авторах:

Сергеев Егор Сергеевич, аспирант, Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, г. Ярославль, Московский пр-т, д. 88. ORCID: 0009-0005-2781-6258; eLIBRARY SPIN-код: 9447-7287. E-mail: egorsergeev45@mail.ru

Геннадьева Алена Максимовна, аспирант, Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, г. Ярославль, Московский пр-т, д. 88. ORCID: 0000-0002-3006-9637; eLIBRARY SPIN-код: 1977-7312. E-mail: gennadivalena@gmail.com

*Богачук Дмитрий Викторович*, магистрант, Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, г. Ярославль, Московский пр-т, д. 88. ORCID: 0009-0006-0657-9334. E-mail: dbogachuk@inbox.ru

*Калаева Сахиба Зияддин кзы*, доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Охрана труда и природы», Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, г. Ярославль, Московский пр-т, д. 88. ORCID: 0000-0002-9889-8669; eLIBRARY SPIN-код: 5046-6473. E-mail: kalaevasz@mail.ru

*Филиппова Ольга Павловна*, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Охрана труда и природы», Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, г. Ярославль, Московский пр-т, д. 88. ORCID: 0009-0009-5561-6316; eLIBRARY SPIN-код: 8901-4377. E-mail: filippovaop@ystu.ru

### **Bio notes:**

*Egor S. Sergeev*, Postgraduate Student, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky prospect, Yaroslavl, 150023, Russian Federation. ORCID: 0009-0005-2781-6258; eLIBRARY SPIN-code: 9447-7287. E-mail: egorsergeev45@mail.ru

*Alena M. Gennadyeva*, Postgraduate Student, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky prospect, Yaroslavl, 150023, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-3006-9637; eLIBRARY SPIN-code: 1977-7312. E-mail: gennadivalena@gmail.com

*Dmitry V. Bogachuk*, Undergraduate, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky prospect, Yaroslavl, 150023, Russian Federation. ORCID: 0009-0006-0657-9334. E-mail: dbogachuk@inbox.ru

*Sahiba Z. Kalaeva*, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of Labor and Nature Protection Department, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky prospect, Yaroslavl, 150023, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-9889-8669; eLIBRARY SPIN-code: 5046-6473. E-mail: kalaevasz@mail.ru

*Olga P. Filippova*, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of Labor and Nature Protection Department, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky prospect, Yaroslavl, 150023, Russian Federation. ORCID: 0009-0009-5561-6316; eLIBRARY SPIN-code: 8901-4377. E-mail: filippovaop@ystu.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-342-351

EDN: SWRRHB

УДК 628.473.24

Научная статья / Research article

## Изменение микробного консорциума в процессе утилизации застарелой послеспиртовой барды методом аэробного компостирования

Я.М. Русских<sup>1</sup>, Д.Н. Шерстобитов<sup>1</sup>✉, З.Е. Машенко<sup>1</sup>,  
В.В. Ермаков<sup>1</sup>, О.В. Тупицына<sup>1</sup>

Самарский государственный технический университет, Самара,  
Российская Федерация  
✉sherstobitovdn@gmail.com

**Аннотация.** Оценено изменение консорциума микроорганизмов при утилизации отходов застарелой послеспиртовой барды методом аэробного компостирования в результате использования биопрепарата-нефтедеструктора «Ленойл»<sup>®</sup> СХП с содержанием микроорганизмами родов *Ochrobactrum sp.* и *Acinetobacter sp.* В первоначальном отходе были выделены микроорганизмы родов: *Acidothermus sp.*, *Proteus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Escherichia sp.*, *Staphylococcus sp.* и *Enterobacter sp.* После применения биопрепарата были идентифицированы следующие рода микроорганизмов: *Ochrobactrum sp.*, *Acinetobacter sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Escherichia sp.*, *Staphylococcus sp.* и *Enterobacter sp.* Применение биопрепарата способствовало развитию существующих популяций микроорганизмов, а также интродукции новых видов. Использование биопрепарата позволило увеличить количество микроорганизмов, способствующих более эффективному разложению органических соединений и снижению концентрации неорганического азота при утилизации отходов застарелой послеспиртовой барды методом аэробного компостирования.

**Ключевые слова:** барда послеспиртовая, биоремедиация, утилизация отходов, биопрепараты

**Вклад авторов.** Русских Я.М. – разработка методологии исследования, проведение исследования, создание черновика рукописи; Шерстобитов Д.Н. – разработка идеи исследования, создание рукописи и ее редактирование; Машенко З.Е. – проведение исследования, формальный анализ; Ермаков В.В. – научное руководство исследованием; Тупицына О.В. – администрирование проекта. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

© Русских Я.М., Шерстобитов Д.Н., Машенко З.Е., Ермаков В.В., Тупицына О.В., 2025

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



**История статьи:** поступила в редакцию 10.10.2024; доработана после рецензирования 20.01.2025; принята к публикации 21.02.2025.

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

**Для цитирования:** Русских Я.М., Шерстобитов Д.Н., Мащенко З.Е., Ермаков В.В., Тупицына О.В. Изменение микробного консорциума в процессе утилизации застарелой послеспиртовой барды методом аэробного компостирования // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 3. С. 342–351. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-342-351>

## Changes in the microbial consortium during the disposal of aged post-fermentation distillery grain using the aerobic composting method

Yana M. Russkikh<sup>1</sup>, Danil N. Sherstobitov<sup>1</sup>,  
Zinaida E. Mashchenko<sup>1</sup>, Vasilij V. Ermakov<sup>1</sup>, Olga V. Tupitsyna<sup>1</sup>

*Samara State Technical University, Samara, Russian Federation*

sherstobitovdn@gmail.com

**Abstract.** The change in the consortium of microorganisms during the disposal of aged post-fermentation distillery grain by aerobic composting using the biopreparation-oil destructor “Lenoil”® SHP containing microorganisms of the genera *Ochrobactrum sp.* and *Acinetobacter sp.* has been assessed. In the initial waste, microorganisms of the genera: *Acidothermus sp.*, *Proteus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Escherichia sp.*, *Staphylococcus sp.*, and *Enterobacter sp.* were isolated. After the application of the biopreparation, the following genera of microorganisms were identified: *Ochrobactrum sp.*, *Acinetobacter sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Escherichia sp.*, *Staphylococcus sp.*, and *Enterobacter sp.* The use of the biopreparation promoted the development of existing microbial populations as well as the introduction of new species. The application of the biopreparation has made it possible to increase the number of microorganisms that contribute to more effective decomposition of organic compounds and reduction of inorganic nitrogen concentration during the disposal of aged post-fermentation distillery grain using the aerobic composting method.

**Keywords:** post-fermentation distillery grain, bioremediation, waste disposal, biopreparations

**Authors’ contribution.** *Y.M. Russkikh* – development of the research methodology, conducting the research, writing the initial draft; *D.N. Sherstobitov* – development of the research idea, writing and editing the manuscript; *Z.E. Mashchenko* – conducting the research, formal analysis; *V.V. Ermakov* – scientific supervision of the research; *O.V. Tupitsyna* – project administration. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Article history:** received 10.10.2024; revised 20.01.2025; accepted 21.02.2025.

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

**For citation:** Russkikh YM, Sherstobitov DN, Mashchenko ZE, Ermakov VV, Tupitsyna OV. Changes in the microbial consortium during the disposal of aged post-fermentation distillery grain using the aerobic composting method. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):342–351. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-342-351>

## Введение

Послеспиртовая барда – отход, представляющий собой жидкость (суспензию) светло-коричневого цвета с содержанием сухих веществ – 7–9 %. Зерновая спиртовая барда богата клетчаткой, углеводами, белками и микроэлементами [1]. Образование послеспиртовой барды происходит при производстве этилового спирта на стадии ректификации, которое сопровождается образованием не менее 13 л барды на 1 л этанола.

Послеспиртовая барда содержит в составе аминокислоты, растворенные продукты кислого брожения, растительный жир и безазотистые экстрактивные вещества [2]. В составе послеспиртовой барды присутствуют мертвые клетки дрожжей-продуцентов этанола, органические кислоты, витамины, микро- и макроэлементы [3]. Водородный показатель (рН) свежей спиртовой барды составляет 4,9 ед., в состав входят редуцирующие вещества – 0,33 %, сырой протеин – 37,0 %, азот аммонийный – 1200 мг/л, оксид фосфора (V) – 1480 мг/л, калий – 688 мг/л, кальций – 130 мг/л, магний – 300 мг/л и др. [4].

До вступления в силу нормативно-правовых актов, регламентирующих утилизацию послеспиртовой барды на производстве, отходы размещались в земляных накопителях, а после появления требований по переработке таких отходов размещение производилось не санкционировано. Подобная ситуация сложилась во время работы Рождественского спиртового завода, закрытого в 2013 г. по иску Самарской межрайонной прокуратуры.

Накопители спиртовой барды расположены на удалении 110 м от ближайшей жилой застройки с. Рождествено, в границах «Национального парка Самарская Лука». Согласно проведенным инженерным изысканиям, площадь нарушенных территорий составила 42 га, а глубина загрязнения геосреды отходами послеспиртовой барды не менее 10 м. Распространение загрязнителей из отходов происходило не только в почву и грунты, но также в подземные и поверхностные воды [5].

В 2024 г. стартовали работы по выемке и обезвреживанию застарелой послеспиртовой барды. Для более быстрого и эффективного обезвреживания отходов была применена технология аэробного компостирования. Работы велись во временных ангарах на месте в непосредственной близости от места размещения отходов. Компостирование отходов проводилось в трапециевидных буртах длиной 100 м, высотой до 2 м, объем каждого бурта составлял порядка 400 м<sup>3</sup>. Формирование компостной смеси происходило из исходного отхода застарелой спиртовой барды (30–35 % об.), незрелого компоста после 7–10 дней компостирования (30–35 % об.), а также древесных опилок

(30–35 % об.). Внесение незрелого компоста на термофильной стадии способствовало более быстрому разогреву компостной массы, а древесные опилки выступали в роли порообразователя для поддержания аэробных условий. В связи с ограниченными сроками производства работ и большим объемом отходов послеспиртовой барды, нуждающимся в утилизации (25 000 м<sup>3</sup>), было принято решение по внесению биопрепарата «Ленойл»<sup>®</sup> СХП для дополнительной интенсификации процесса переработки отходов застарелой послеспиртовой барды. «Ленойл»<sup>®</sup> СХП разработан ЗАО НПП «Биомедхим», защищен патентом РФ 2553540<sup>1</sup>.

Отходы застарелой спиртовой барды характеризуются высоким содержанием аммонийного (до 3700 мг/кг) и нитритного (до 37 мг/кг) азота. Использование метода аэробного компостирования при утилизации отходов послеспиртовой барды позволяет интенсифицировать протекание процесса нитрификации, при котором происходит снижение аммонийного и нитритного азота. Кроме того, в процессе компостирования происходит минерализация отходов спиртовой барды, результатом которого является получение органоминерального грунта с низким содержанием органического вещества [6].

## Материалы и методы

Для анализа эффективности применения «Ленойл»<sup>®</sup> СХП в качестве биопрепарата для интенсификации процесса компостирования отходов застарелой послеспиртовой барды была проведена качественная оценка микробного консорциума.

Для анализа были взяты образцы как необработанной барды, так и барды, подвергнутой обработке бактериальным препаратом «Ленойл»<sup>®</sup> СХП.

Данный препарат включает в себя микроорганизмы, принадлежащие к родам *Ochrobactrum sp.* и *Acinetobacter sp.*, которые играют ключевую роль в процессе разложения углеводов по целевому назначению биопрепарата.

Микроорганизмы указанных родов известны своей высокой адаптивностью к разнообразным экосистемам и способностью эффективно разлагать углеводороды и прочие органические соединения [7–10]. Использование препарата «Ленойл»<sup>®</sup> СХП для утилизации отходов застарелой спиртовой барды обосновано тем, что микроорганизмы рода *Acinetobacter sp.* имеет превосходную способность по снижению концентрации неорганического азота [11–13]. Интеграция родов *Ochrobactrum sp.* и *Acinetobacter sp.* в микробный консорциум может ускорить процессы разложения остатков спиртового производства, что имеет весомое значение для снижения экологической нагрузки.

---

<sup>1</sup> Патент RU 2 553 540 C2. Консорциум штаммов микроорганизмов *Acinetobacter sp.* и *Ochrobactrum sp.*, используемый для очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов : заявл. 2012151289/10, 29.11.2012 ; опубл. 20.06.2015 / патентообладатель : Закрытое акционерное общество научно-производственное предприятие «Биомедхим» (ЗАО НПП «Биомедхим»), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Уфимского научного центра РАН (ФГБУН ИБ УНЦ РАН).

Биопрепарат демонстрирует потенциал для биодеструкции нефтепродуктов и углеводов, а также при очистке сточных вод. Эффективность препарата обусловлена активностью специально отобранных штаммов бактерий, способных эффективно разлагать широкий спектр органических соединений. Использование данного препарата способствует не только улучшению экологической обстановки, но и существенному сокращению расходов на утилизацию отходов и очистку сточных вод по сравнению с традиционными методами [14; 15].

Процесс выделения микроорганизмов из послеспиртовой барды проводился на питательном агаре с последующим культивированием при температурах 30 и 50 °С в течение 24 ч.

Для изучения морфологических и физиолого-биохимических характеристик микроорганизмов были применены следующие методы: описание морфологии колоний микроорганизмов на плотной питательной среде, окрашивание по методу Грама, окрашивание по методу Нейссера, окрашивание по методу Циля – Нильсена, окрашивание по методу Дюгида, окрашивание по методу Грэя, окрашивание для выявления включений гликогена и липидов, определение ферментативной активности, включая протеолитическую, каталазную, оксидазную активность и способность к сбраживанию углеводов.

## Результаты и обсуждение

В рамках данного исследования было проведено детальное сравнительное изучение микробного консорциума послеспиртовой барды до и после обработки биопрепаратом.

В целях установления родовой принадлежности изолированных культур были применены традиционные микробиологические методы, описанные в справочнике Берджи (табл. 1–3)<sup>2</sup>.

Таблица 1. Морфология колоний микроорганизмов, выделенных из послеспиртовой барды

| Шифр         |       | Морфология колоний на плотной питательной среде   |
|--------------|-------|---|
| До обработки | A.1.1 | Мелкая колония с гладкой поверхностью и изогнутым профилем. Имеет блестящую поверхность белого цвета с ровным краем. Структура однородная, консистенция сметанообразная. Рост колоний на поверхности питательной среды                  |
|              | A.1.2 | Средняя матовая колония с гладкой изогнутой поверхностью. Структура колонии однородная, консистенция пастообразная, цвет кремовый. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды  |
|              | C.1.1 | Средняя колония неправильной формы. Профиль колонии плоский, имеет блеск. Цвет колонии желто-белый, край волнистый. Структура колонии струйчатая, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды |
|              | C.2.1 | Крупная круглая колония с фестончатым краем. Поверхность гладкая, профиль плоский. Колония блестящая, бело-желтого цвета. Структура однородная, консистенция пастообразная, рост колоний на поверхности питательной среды               |

<sup>2</sup> Определитель бактерий Берджи : в 2 томах / Р. Беркли и др.; под ред. Дж. Хоулта ; пер. с англ. под ред. акад. РАН Г. А. Заварзина. 9-е изд. Москва : Мир, 1997. Том 1. 429 с. ; Том 2. 500 с.

Окончание табл. 1

| Шифр            | Морфология колоний на плотной питательной среде |   |
|-----------------|---|---|
| После обработки | C.3.1   | Крупная круглая колония. Поверхность гладкая, профиль плоский. Бело-серого цвета. Структура однородная, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды   |
|                 | C.3.2   | Средняя непрозрачная колония кремово-желтого цвета. Колония гладкая, ровная, выпуклая с четкими краями. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды   |
|                 | C.4.1   | Крупная круглая колония с фестончатым краем. Поверхность гладкая, профиль плоский. Матовая, серого-белого цвета. Структура крупнозернистая, консистенция пастообразная, рост на поверхности питательной среды                           |
| После обработки | B.4.1   | Крупная матовая колония с гладкой поверхностью. Цвет колонии желто-белый, край неровный. Структура колонии однородная, консистенция пастообразная. Рост колонии на поверхности питательной среды  |
|                 | D.1.1   | Средняя колония неправильной формы. Профиль колонии плоский, имеет блеск. Цвет колонии желто-белый, край волнистый. Структура колонии струйчатая, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды |
|                 | D.2.2   | Крупная круглая колония с фестончатым краем. Поверхность гладкая, профиль плоский. Колония блестящая, бело-желтого цвета. Структура однородная, консистенция пастообразная, рост колоний на поверхности питательной среды               |
|                 | D.2.3   | Крупная круглая колония. Поверхность шероховатая, профиль плоский. Бледно-серого цвета. Структура однородная, консистенция сухая. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды   |
|                 | D.3.1   | Крупная круглая колония. Поверхность гладкая, профиль плоский. Бело-серого цвета. Структура однородная, консистенция пастообразная. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды   |
|                 | D.3.2   | Средняя непрозрачная колония кремово-желтого цвета. Колония гладкая, ровная, выпуклая с четкими краями. Рост колонии наблюдается на поверхности питательной среды   |
|                 | D.4.2   | Крупная круглая колония с фестончатым краем. Поверхность гладкая, профиль плоский. Матовая, серовато-белого цвета. Структура крупнозернистая, консистенция пастообразная, рост на поверхности питательной среды                         |

Источник: составлено Я.М. Русских по данным: Определитель бактерий Берджи : в 2 томах / Р. Беркли и др.; под ред. Дж. Хоулта ; пер. с англ. под ред. акад. РАН Г. А. Заварзина. 9-е изд. Москва : Мир, 1997. Том 1. 429 с. ; Том 2. 500 с.

Таблица 2. Морфологические признаки культур микроорганизмов, выделенных из послеспиртовой барды

| Шифр            | Форма клеток | Окраска по Граму | Наличие жгутиков | Наличие спор | Наличие включений |         |        |         |
|-----------------|--------------|------------------|------------------|--------------|-------------------|---------|--------|---------|
|                 |              |                  |                  |              | Гликоген          | Волютин | Липиды | Капсулы |
| До обработки    | A. 1.1       | Палочки          | -                | -            | -                 | -       | -      | -       |
|                 | A. 1.2       | Палочки          | -                | +            | -                 | -       | -      | -       |
|                 | C. 1.1       | Палочки          | -                | +            | -                 | -       | +      | -       |
|                 | C. 2.1       | Палочки          | +                | +            | +                 | -       | -      | -       |
|                 | C. 3.1       | Палочки          | -                | +            | -                 | -       | -      | +       |
|                 | C. 3.2       | Кокки            | +                | -            | -                 | -       | -      | -       |
| После обработки | C. 4.1       | Палочки          | -                | +            | -                 | -       | -      | -       |
|                 | B. 4.1       | Палочки          | -                | +            | -                 | -       | +      | -       |
|                 | D. 1.1       | Палочки          | -                | +            | -                 | -       | +      | -       |
|                 | D. 2.2       | Палочки          | +                | +            | +                 | -       | -      | -       |
|                 | D. 2.3       | Палочки          | -                | -            | -                 | -       | -      | -       |
|                 | D. 3.1       | Палочки          | -                | +            | -                 | -       | -      | +       |
|                 | D. 3.2       | Кокки            | +                | -            | -                 | -       | -      | -       |
| D. 4.2          | Палочки      | -                | +                | -            | -                 | -       | -      |         |

Источник: составлено Я.М. Русских по данным: Определитель бактерий Берджи : в 2 томах / Р. Беркли и др.; под ред. Дж. Хоулта ; пер. с англ. под ред. акад. РАН Г. А. Заварзина. 9-е изд. Москва : Мир, 1997. Том 1. 429 с. ; Том 2. 500 с.

Таблица 3. Физиолого-биохимические свойства культур микроорганизмов, выделенных из послеспиртовой барды

| Code            | Отношение к температуре | Отношение к кислороду | Протеолитическая активность | Каталазная активность | Оксидазная активность | Способность к сбраживанию углеводов |          |          |         | Род |                           |
|-----------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------|----------|---------|-----|---------------------------|
|                 |                         |                       |                             |                       |                       | Глюкоза                             | Мальтоза | Сахароза | Лактоза |     |                           |
| До обработки    | A.1.1                   | Термофилы             | Аэробы                      | –                     | +                     | +                                   | +        | +        | +       | –   | <i>Acidothermus sp.</i>   |
|                 | A.1.2                   | Термофилы             | Факультативные анаэробы     | –                     | +                     | –                                   | +        | +        | +       | –   | <i>Proteus sp.</i>        |
|                 | C.1.1                   | Мезофилы              | Аэробы                      | +                     | +                     | +                                   | –        | –        | –       | –   | <i>Pseudomonas sp.</i>    |
|                 | C.2.1                   | Мезофилы              | Факультативные анаэробы     | +                     | +                     | –                                   | +        | +        | +       | +   | <i>Bacillus sp.</i>       |
|                 | C.3.1                   | Мезофилы              | Факультативные анаэробы     | –                     | +                     | –                                   | +        | +        | +       | +   | <i>Escherichia sp.</i>    |
|                 | C.3.2                   | Мезофилы              | Факультативные анаэробы     | +                     | +                     | –                                   | +        | +        | –       | –   | <i>Staphylococcus sp.</i> |
|                 | C.4.1                   | Мезофилы              | Факультативные анаэробы     | –                     | +                     | –                                   | +        | +        | +       | –   | <i>Enterobacter sp.</i>   |
| После обработки | B.4.1                   | Термофилы             | Аэробы                      | –                     | –                     | –                                   | +        | –        | –       | –   | <i>Ochrobactrum sp.</i>   |
|                 | D.1.1                   | Мезофилы              | Аэробы                      | +                     | +                     | +                                   | –        | –        | –       | –   | <i>Pseudomonas sp.</i>    |
|                 | D.2.2                   | Мезофилы              | Факультативные анаэробы     | +                     | +                     | –                                   | +        | +        | +       | +   | <i>Bacillus sp.</i>       |
|                 | D.2.3                   | Мезофилы              | Аэробы                      | –                     | +                     | –                                   | +        | –        | –       | –   | <i>Acinetobacter sp.</i>  |
|                 | D.3.1                   | Мезофилы              | Факультативные анаэробы     | –                     | +                     | –                                   | +        | +        | +       | +   | <i>Escherichia sp.</i>    |
|                 | D.3.2                   | Мезофилы              | Факультативные анаэробы     | +                     | +                     | –                                   | +        | +        | –       | –   | <i>Staphylococcus sp.</i> |
|                 | D.4.2                   | Мезофилы              | Факультативные анаэробы     | –                     | +                     | –                                   | +        | +        | +       | –   | <i>Enterobacter sp.</i>   |

Источник: составлено Я.М. Русских по данным: Определитель бактерий Берджи : в 2 томах / Р. Беркли и др. ; под ред. Дж. Хоулта ; пер. с англ. под ред. акад. РАН Г. А. Заварзина. 9-е изд. Москва : Мир, 1997. Том 1. 429 с. ; Том 2. 500 с.

На начальном этапе анализа были идентифицированы следующие рода микроорганизмов: *Acidothermus sp.*, *Proteus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Escherichia sp.*, *Staphylococcus sp.* и *Enterobacter sp.*

После применения биопрепарата в образцах послеспиртовой барды были обнаружены рода бактерий *Ochrobactrum sp.* и *Acinetobacter sp.* Эти результаты указывают на то, что использование биопрепарата не только поддерживает существующие популяции микроорганизмов, но и способствует инвазии родов, содержащихся в препарате, что может существенно улучшить функциональные характеристики микробного сообщества в направлении интенсификации микробных процессов и выживаемости. Проведенные исследования демонстрируют, что использование микроорганизмов *Ochrobactrum sp.* и *Acinetobacter sp.* обладает потенциалом значительного сокращения временного периода, необходимого для процесса декомпозиции органических соединений [11; 13; 16–18].

## Заключение

Биопрепарат «Ленойл»<sup>®</sup> СХП эффективен для улучшения функциональных характеристик микробных сообществ, участвующих в биodeградации органических веществ. Применение препарата в образцах послеспиртовой барды увеличило разнообразие микроорганизмов за счет инвазии новых родов бактерий, таких как *Ochrobactrum sp.* и *Acinetobacter sp.*

Использование биопрепарата является перспективным подходом для утилизации послеспиртовой барды, поскольку он способствует не только поддержанию существующих популяций микроорганизмов, но и интродукции новых видов, ускоряющих процессы разложения органических отходов. Это снижает экологическую нагрузку при сокращении затрат на утилизацию отходов.

## Список литературы

- [1] Дыганова Р.Я., Беляева Ю.С. Разработка методики выбора технологий переработки отходов спиртовой промышленности как инструмента экологического менеджмента // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 4 (2). С. 1728–1736. EDN: ТКРQVX
- [2] Агафонов Г.В., Зуева Н.В., Ключников А.И., Яковлев А.Н. Сравнительная характеристика возможных технологий по переработке послеспиртовой барды // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2012. № 3 (53). С. 107–110. EDN: PjHXMX
- [3] Кузнецов И.Н., Ручай Н.С. Анализ мирового опыта в технологии переработки послеспиртовой барды // Труды БГТУ. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2010. Т. 1, № 4. С. 294–301. EDN: SJLBZP
- [4] Винаров А.Ю., Кухаренко А.А., Николайкина Н.Е. Безотходная биотехнология этилового спирта. Москва : Юрайт, 2019. 272 с. EDN: XBXFJX
- [5] Пыстин В.Н., Губарь Е.В., Тупицына О.В., Быков Д.Е., Чертез К.Л. Утилизация отходов и ликвидация объекта накопленного вреда в условиях особо охраняемой природной территории // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26, № 5. С. 22–27. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-5-22-27> EDN: MCJEYU
- [6] Шерстобитов Д.Н., Ермаков В.В., Васильев А.В., Пыстин В.Н., Быков Д.Е. Обезвреживание застарелой послеспиртовой барды, размещенной в земляных накопителях // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2024. Т. 26, № 1. С. 135–140. <https://doi.org/10.37313/1990-5378-2024-26-1-135-140>. EDN: LFPWHZ
- [7] Carvalho M., Bento de Carvalho T., Barbosa J.B., Teixeira P., Bergogne-Bérézin E. *Acinetobacter* // Encyclopedia of Food Safety. Second edition. 2024. P. 58–67. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822521-9.00212-4>
- [8] Mujumdar S., Bhojar J., Akkar A., Hundekar S., Agnihotri N., Jaybhay P., Bhuyan S. *Acinetobacter*: A versatile plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) // Plant-Microbe Interaction – Recent Advances in Molecular and Biochemical Approaches. Volume 1 : Overview of Biochemical and Physiological Alteration During Plant-Microbe Interaction. 2023. P. 327–362. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91875-6.00009-8>

- [9] Ryan M.P., Pembroke J.T. The genus *Ochrobactrum* as major opportunistic pathogens // Microorganisms. 2020. Vol. 8, no. 11. Article no. 1797. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8111797>.
- [10] Коришунова Т.Ю., Кузина Е.В., Шарипов Д.А., Рафикова Г.Ф. Бактерии родов *Acinetobacter* и *Ochrobactrum* в процессах биоремедиации нефтезагрязнённых объектов (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 13–20. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-3-013-020> EDN: ZBRDON
- [11] Zhao T., Chen P., Zhang L., Zhang L., Gao Ya., Ai Sh., Liu H., Liu X. Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by a novel *Acinetobacter* sp. TAC-1 at low temperature and high ammonia nitrogen // Bioresource Technology. 2021. Vol. 339. Article no. 125620. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125620> EDN: UVKFWI
- [12] Wu L., Ding X., Lin Ya., Lu X., Lv H., Zhao M., Yu R. Nitrogen removal by a novel heterotrophic nitrification and aerobic denitrification bacterium *Acinetobacter calcoaceticus* TY1 under low temperatures // Bioresource Technology. 2022. Vol. 353. P. 127148. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127148> EDN: DHNVVT
- [13] Yang L., He T., Chen M., Zhang M., Yang L., Zheng Ch., Wang C. Excellent phenol removal ability of *Acinetobacter guillouiae* BY18 under different inorganic nitrogen conditions // Environmental Technology & Innovation. 2024. Vol. 35. Article no. 103694. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103694>.
- [14] Тавадзе Б.Д., Белокурова Е.В. Применение биоремедиации в лабораторных условиях для очистки почв, загрязнённых нефтепродуктами, и ее экономическая эффективность // Успехи современного естествознания. 2024. № 5. С. 84–89. <https://doi.org/10.17513/use.38270>.
- [15] Кобызева Н. В. Локальная очистка промышленных сточных вод с помощью биопрепарата «Ленойл»: дис. ... канд. биол. наук. Уфа : Институт биологии Уфимского научного центра Российской академии наук, 2009. EDN: NQPSQB
- [16] Wen G., Wang T., Li K., Wang H., Wang J., Huang T. Aerobic denitrification performance of strain *Acinetobacter johnsonii* WGХ-9 using different natural organic matter as carbon source: Effect of molecular weight // Water Research. 2019. Vol. 164. Article no. 114956. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114956>
- [17] Jiang W., Chen R., Duan Ya., Wang H., Yan H., Shen X., Chen X., Yin Ch., Mao Zh. Isolation of phloridzin-degrading, IAA-producing bacterium *Ochrobactrum haematophilum* and its effects on the apple replant soil environment // Horticultural Plant Journal. 2023. Vol. 9, iss. 2. P. 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2022.08.010> EDN: LJVOMX
- [18] Feritas J.F., Silva D.F. de Lima., Castro J.N.F., Agnez-Lima L.F. Genomic and phenotypic characterization of novel *Ochrobactrum* species isolated from Brazilian oil reservoirs: Genomic diversity and bioremediation potential // Process Biochemistry. 2025. Vol. 149. P. 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2024.11.036> EDN: SNNRZS

#### Сведения об авторах:

Русских Яна Маратовна, аспирант, Высшая биотехнологическая школа, Самарский государственный технический университет, Российская Федерация, 443100, Самарская область, город Самара, Молодогвардейская ул., д. 244. ORCID: 0000-0002-8653-0744; eLIBRARY SPIN-код: 3817-0653. E-mail: yzakiyeva@gmail.com

*Шерстобитов Данил Николаевич*, аспирант, кафедра химической технологии и промышленной экологии, Самарский государственный технический университет, Российская Федерация, 443100, Самарская область, город Самара, Молодогвардейская ул., д. 244. ORCID: 0000-0002-9160-5317; eLIBRARY SPIN-код: 6822-4868. E-mail: shersobitovdn@gmail.com

*Мащенко Зинаида Евгеньевна*, кандидат фармацевтических наук, доцент, высшая биотехнологическая школа, Самарский государственный технический университет, Российская Федерация, 443100, Самарская область, город Самара, Молодогвардейская ул., д. 244. ORCID: 0000-0002-1357-1780; eLIBRARY SPIN-код: 9878-0975. E-mail: mzinaida@yandex.ru

*Ермаков Василий Васильевич*, кандидат технических наук, доцент, кафедра химической технологии и промышленной экологии, Самарский государственный технический университет, Российская Федерация, 443100, Самарская область, город Самара, Молодогвардейская ул., д. 244. ORCID: 0000-0001-7720-2418; eLIBRARY SPIN-код: 5201-1408. E-mail: wassiliy@rambler.ru

*Тупицына Ольга Владимировна*, доктор технических наук, профессор, кафедра химической технологии и промышленной экологии, Самарский государственный технический университет, Российская Федерация, 443100, Самарская область, город Самара, Молодогвардейская ул., д. 244. ORCID: 0000-0003-0638-2700; eLIBRARY SPIN-код: 4203-9529. E-mail: olgatupicyna@yandex.ru



## ГЕОЭКОЛОГИЯ

## GEOECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-352-365

EDN: TAESEE

УДК 504.03:556.5:911.3

Научная статья / Research article

### Геоэкологическая устойчивость прибрежных экосистем в условиях трансформации малых городов

В.А. Шилов✉, О.В. Ладыгина

*Ярославский государственный технический университет, Ярославль,  
Российская Федерация  
✉shilovva@ystu.ru*

**Аннотация.** Рассмотрены изменения гидрографических характеристик города Углич в период с 1985 по 2024 г. В результате анализа космических снимков с использованием нормализованного индекса водного объекта (NDWI) выявлено сокращение площади водных объектов, включая прибрежные зоны реки Волга. Установлено, что ключевыми факторами изменений являются антропогенные воздействия, такие как урбанизация, благоустройство прибрежных зон и загрязнение, а также природные процессы: эрозия берегов и изменение гидрологических циклов. Предложены меры по созданию буферных зон для минимизации негативного влияния городской инфраструктуры на гидрографию. Полученные результаты доказывают необходимость внедрения устойчивых экологических решений для сохранения и восстановления водных объектов малых городов.

**Ключевые слова:** гидрография, NDWI, урбанизация, антропогенные воздействия, река Волга, Углич, экологический мониторинг

**Вклад авторов.** *Шилов В.А.* – разработка идеи исследования, сбор и анализ исходных материалов, подбор научной литературы, проведение камеральных исследований, структурирование статьи; *Ладыгина О.В.* – руководство над проведением исследования, редактирование текста. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

© Шилов В.А., Ладыгина О.В., 2025



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

**История статьи:** поступила в редакцию 01.02.2025; доработана после рецензирования 26.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

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

**Для цитирования:** Шилов В.А., Ладыгина О.В. Геоэкологическая устойчивость прибрежных экосистем в условиях трансформации малых городов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 3. С. 352–365. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-352-365>

## Hydrological Stability of Coastal Ecosystems Under the Transformation of Small Towns

Vladimir A. Shilov✉, Olga V. Ladygina

*Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation*

✉shilovva@ystu.ru

**Abstract.** The study examines changes in the hydrographic characteristics of the city of Uglich from 1985 to 2024. Analysis of satellite imagery using the Normalized Difference Water Index (NDWI) revealed a reduction in the area of water bodies, including the coastal zones of the Volga River. It was found that the key factors driving these changes are anthropogenic impacts such as urbanization, coastal zone landscaping, and pollution, as well as natural processes such as shoreline erosion and alterations in hydrological cycles. Measures to establish buffer zones are proposed to minimize the negative impact of urban infrastructure on hydrography. The findings emphasize the need to implement sustainable environmental solutions to preserve and restore water bodies in small towns.

**Keywords:** hydrography, NDWI, urbanization, anthropogenic impacts, Volga River, Uglich, ecological monitoring

**Authors' contribution.** V.A. Shilov – development of the research concept, collection and analysis of initial data, selection of scientific literature, conducting desk studies, structuring the article; O.V. Ladygina – supervision of the research, text editing. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Article history:** received 01.02.2025; revised 26.02.2025; accepted 12.03.2025.

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

**For citation:** Shilov VA, Ladygina OV. Hydrological Stability of Coastal Ecosystems Under the Transformation of Small Towns. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):352–365. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-352-365>

## Введение

Изменение состояния водных объектов малых городов — актуальная геоэкологическая проблема, усугубляемая ростом урбанизации и изменением климата. Углич, основанный в XII в. на берегу Волги и Угличского водохранилища, испытывает значительное антропогенное воздействие из-за роста

населения и промышленной деятельности, что приводит к техногенному загрязнению водоемов, снижению биоразнообразия и ухудшению качества воды [1-3].

В глобальном контексте изменение гидрографии малых городов является частью более широкой экологической проблемы, связанной с изменением климата и интенсификацией использования природных ресурсов.

Применение современных методов дистанционного зондирования [4], включая индекс NDWI, способствует формированию мероприятий по управлению гидрологическими изменениями. В городе Углич представлены как крупные, так и малые водотоки, играющие важную роль в локальной экологии. По данным [5], суммарный приток от рек Дубна, Хотча и Медведица формирует около 29 % общего объема воды в Угличском водохранилище; за 2013–2018 гг. (рис. 1) отмечены значительные колебания этого показателя. Авторы указывают на критическую важность контроля сезонно-годовых изменений донных отложений, вызывающих уменьшение объема водоема и зарастание мелководных участков.



Рис. 1. Статистика объема притока воды в Угличское водохранилище за 2013–2018 гг., тыс. м³  
Источник: составлено В.А. Шиловым.

Figure 1. Statistics of water inflow volume into the Uglich Reservoir for 2013–2018, thousand m³  
Source: compiled by the V.A. Shilov.

Полевые исследования подтверждают, что наибольшая нагрузка на водные объекты в малых городах исходит от неорганизованных хозяйственно-бытовых стоков и поверхностных водосбросов, возникающих при строительстве и благоустройстве прилегающих территорий [2; 8]. Эти факторы влекут ухудшение качества воды, обмеление рек и сокращение биоразнообразия, что особо критично для малых городов с их рекреационными функциями.

Использование геоинформационных систем (ГИС) упрощает поиск зон эрозии, обмеления и загрязнения, особенно в условиях урбанизации [5; 6; 10; 12]. Для малых городов это обеспечивает быстрый анализ территорий с учетом туристского потенциала и проектирование инфраструктурных решений [7]. Исследования [4–9; 11] указывают на комплексность проблем сохранения водных ресурсов и предлагают, помимо охранных зон

и восстановления природных ландшафтов, внедрять инновационные системы очистки поверхностных стоков.

Работа [13] показывает, что техногенные воздействия увеличивают глубину залегания подземных вод на 6–7 м и минерализацию до 10,3 г/л, снижая потенциал водоснабжения. Исследование [14] на примере Кумо-Маньчской впадины демонстрирует влияние гидротехнических сооружений: сток взвешенных наносов достигает 1,2 кг/м<sup>3</sup>, мутность воды возрастает на 33 %, а общий объем стока увеличивается в 10–20 раз. При этом [15] подчеркивает, что даже природные факторы (рельеф, климат, почвы и растительность) могут быть радикально изменены техногенными нагрузками.

**Цель исследования** – анализ трансформации водных объектов города, включая прибрежные зоны Волги и впадающих в нее городских ручьев за период 1985–2024 гг. с применением индекса NDWI и ГИС-моделирования, которая произошла под воздействием различных антропогенных параметров, влияющих на экосистемную устойчивость и поддержание рекреационной ценности гидрографии в условиях интенсивной урбанизации, что позволит моделировать будущие сценарии экологического развития территории.

## Материалы и методы

Город Углич, расположенный на правом берегу реки Волги в Ярославской области, отличается умеренно-континентальными климатическими условиями: средняя годовая температура достигает примерно +3,4 °С, а объем осадков колеблется в диапазоне 500–600 мм [5]. Данные природно-климатические характеристики способствуют формированию в городской черте целого ряда водотоков, среди которых можно выделить Каменный, Селивановский и Троицкие ручьи. Каменный ручей, являющийся правобережным притоком Волги, выбран в качестве ключевого объекта наблюдения ввиду значительных изменений его состояния, вызванных хозяйственной деятельностью и процессами благоустройства. Его протяженность составляет около 2,2 км, при этом устьевая часть преобразуется в залив длиной порядка 400 м и шириной около 40 м. Площадь водосбора ручья равна 3,12 км<sup>2</sup>, что повышает чувствительность этой акватории к антропогенному влиянию в пределах городской застройки.

В рамках исследования проведено дешифрование космических снимков Landsat 5 (08.06.1985 г.) и Landsat 8 (28.06.2024 г.) с применением программного комплекса QGIS (версия 3.34) (рис. 2). Для уточнения режимов использования и правового статуса территорий была проанализирована Публичная кадастровая карта (рис. 3).

Источниками загрязнения водных объектов выступают поверхностный сток и отходы потребления. Подобное воздействие вызывает угнетение водных экосистем, способствует обмелению и ухудшению качества воды, а также сокращению площади водоемов, что негативно отражается на экологической обстановке в городе и снижает туристическую привлекательность Углича.



**Рис. 2. Дешифрирование фрагментов космических снимков:**

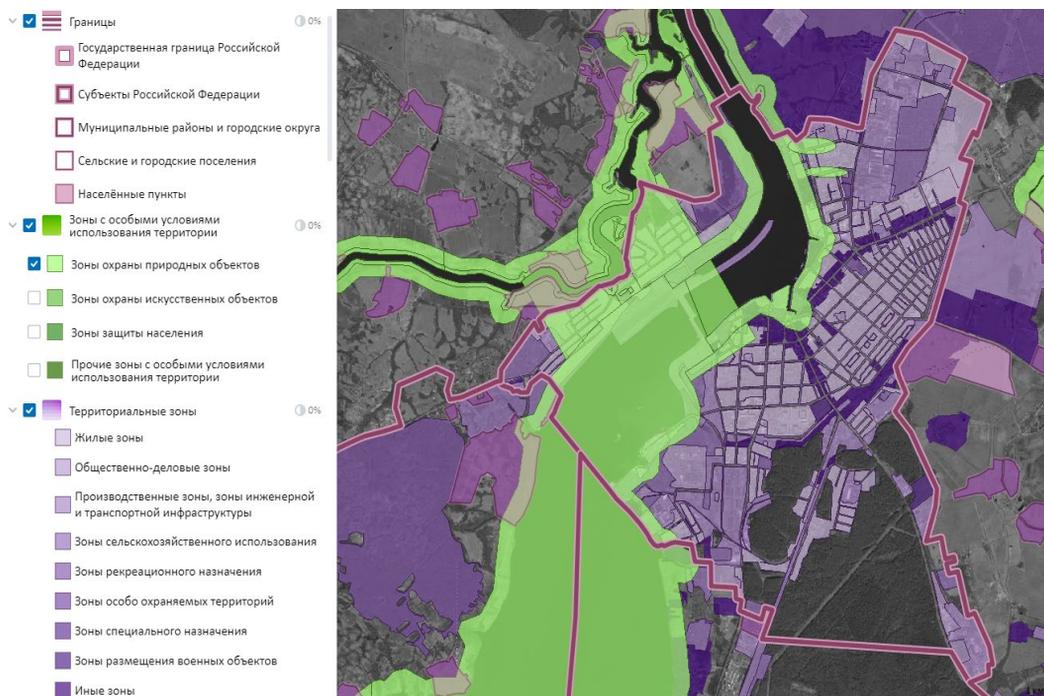
*a* – спутник: Landsat 5 от 08.06.1985; *б* – спутник: Landsat\_8 от 28.06.2024

Источник: составлено В.А. Шиловым.

**Figure 2. Interpretation of Satellite Image Fragments:**

*a* – Satellite: Landsat 5 from 08.06.1985; *б* – Satellite: Landsat 8 from 28.06.2024.

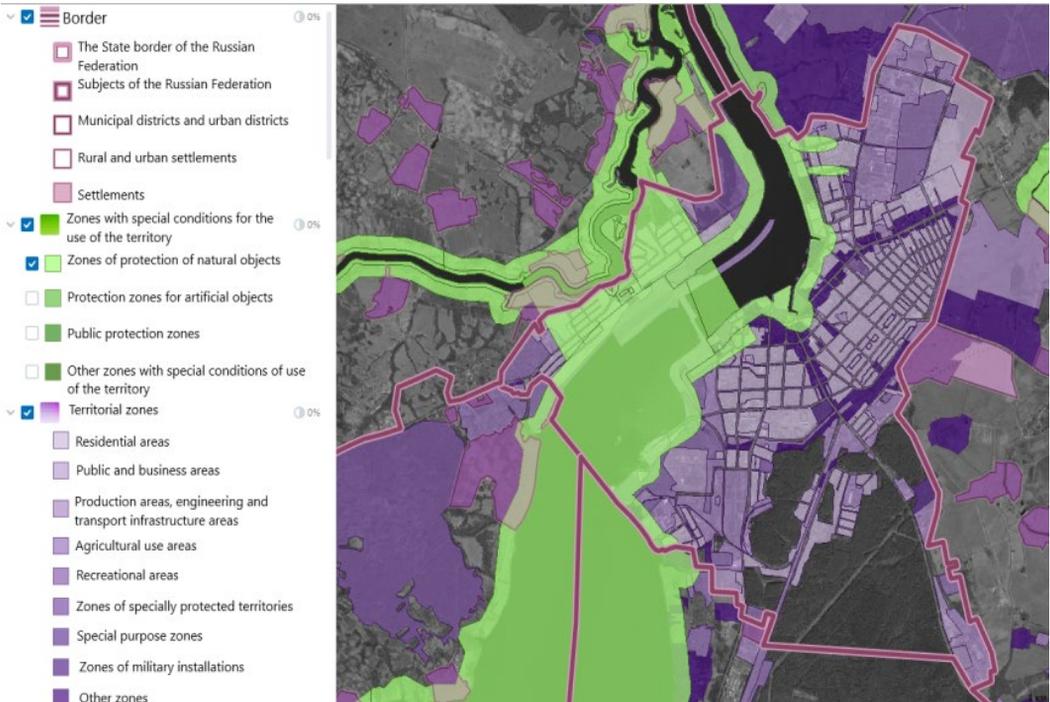
Source: compiled by the V.A. Shilov.



**Рис. 3. Карта функциональных зон городского поселения Углич**

Источник: составлено В.А. Шиловым по данным публичной кадастровой карты.

URL: <https://ik5map.ros cadastres.com/map> (дата обращения: 15.01.2025).



**Figure 3. Map of Functional Zones of the Uglich**  
 Source: compiled by the V.A. Shilov.

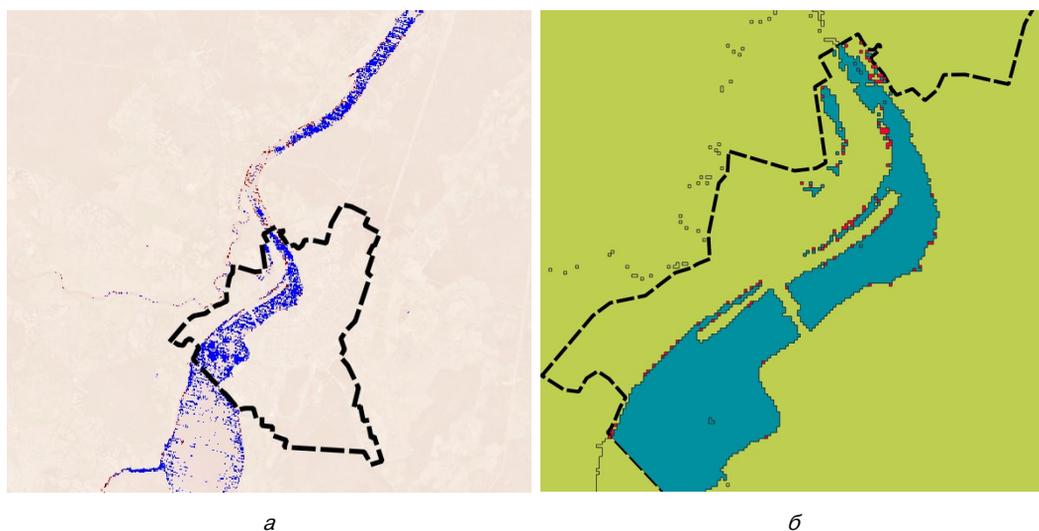
Для анализа изменений границ водоемов был применен индекс NDWI (Normalized Difference Water Index), который помогает выделить водные объекты на спутниковых снимках. NDWI рассчитывается как разница между значениями зеленого и ближнего инфракрасного каналов космического снимка, поделенная на их сумму [9]:

$$NDWI = \frac{\text{Зеленый канал} - \text{Ближний инфракрасный}}{\text{Зеленый канал} + \text{Ближний инфракрасный}} \quad (1)$$

Высокие значения индекса NDWI указывают на присутствие водных объектов, так как вода имеет низкое отражение в инфракрасном диапазоне и высокое в зеленом.

## Результаты и обсуждение

Сравнение индекса NDWI для р. Волги и ее притоков на территории города Углич в результате графического анализа послойного наложения моделей космических снимков 1985 и 2024 гг. указывает на сужение некоторых участков водоемов и изменение их контуров – красное множество точек на полученной сравнительной модели (рис. 4). В результате была составлена зависимость сокращения площади прибрежных зон р. Волги города Углич за исследуемый период, а также дан прогноз последующих изменений.



**Рис. 4. Модель изменения границ прибрежной зоны р. Волги города Углич в период с 1965 по 2024 г.:**

*а* – результат объединения космических снимков NDWI-обработки;

*б* – векторный анализ зон изменения площади

*Источник:* составлено В.А. Шиловым.

**Figure 4. Model of Changes in the Coastal Zone Boundaries of the Volga River in the City of Uglich from 1965 to 2024:**

*a* – result of merged satellite images processed with NDWI; *b* – vector analysis of area change zones.

*Source:* compiled by the V.A. Shilov.

В ходе проведенного анализа космических снимков в программном комплексе QGIS (версия 3.34) с применением индекса нормализованной разницы водного объекта (NDWI) и дальнейшей векторизации растровых данных была зафиксирована количественно оцениваемая динамика изменения площади реки Волги в пределах административных границ г. Углич. Согласно полученным данным, совокупная площадь прибрежных зон р. Волги сократилась примерно на 3,9 % (рис. 5), что соответствует 90 968,887 м<sup>2</sup>. Несмотря на кажущуюся незначительность данного показателя в абсолютном выражении, подобное уменьшение может оказать существенное влияние на экологическую стабильность локальных водных систем, особенно при рассмотрении малых водотоков и прибрежных зон, а также служить индикатором накопления загрязняющих веществ, донных отложений.

Идентифицированные преобразования могут быть обусловлены как антропогенными, так и природными факторами. К антропогенным причинам на указанной территории относятся интенсивное благоустройство прибрежных территорий, усиление урбанизации, изменения в использовании водных ресурсов и инженерные вмешательства в русловые процессы. Среди природных факторов следует выделить эрозионные процессы береговых линий, нестабильность гидрологических циклов, колебания климатических условий и снижение уровня осадков, что в совокупности может приводить к изменению контуров и площади водных объектов. Анализ архивных спутниковых снимков с 1985 по 2024 г. показывает, что сокращение прибрежных зон

р. Волги началось задолго до реконструкции прибрежных зон в 2023 г. Последние климатические изменения за исследуемое время усиливают эту тенденцию.

Аномально теплый, сухой и солнечный осенний период приводит к быстрому высыханию почв в бассейнах Верхней Волги и других рек, что вызывает поверхностное промерзание почвы (до 20 см) к началу зимы и последующее интенсивное впитывание талых вод, а теплая и сравнительно сухая весна с растянутым снеготаянием и дефицитом осадков способствует слабому половодью.

Стабильное повышение средних зимних температур ускоряет испарение воды, что в сочетании с работой каскада ГЭС в Верхневолжском бассейне, задерживающего поступление воды и способствующего заиливанию, привело к снижению водного баланса и постепенному сокращению прибрежных зон р. Волги. Происходящие явления требуют внедрения системного подхода по мониторингу экологических процессов на всем протяжении реки. Управленческие решения в сфере водохозяйственного комплекса должны основываться на комплексном анализе экологических показателей, включающем исследование состояния донных отложений и влияние хозяйственной деятельности на гидрографические объекты, тогда как в настоящее время такие решения принимаются без достаточного учета научных данных и экспертных оценок.

При доминировании антропогенной компоненты сокращение водной поверхности может рассматриваться как важный индикатор экологической нестабильности, указывающий на необходимость принятия стратегических мер по сохранению и восстановлению природных водных систем в контексте устойчивого развития городской среды.

Кроме того, наблюдается сужение отдельных участков Каменного ручья и реки Волги, особенно в зонах городской застройки, где проведено укрепление и выравнивание берегов. Эти изменения оказывают влияние на гидрологический режим, ограничивая естественное распространение воды и увеличивают антропогенное давление на экосистему водоемов. Недавнее благоустройство набережных и прилегающих территорий центральной части г. Углич (2023 г.) повысило туристическую привлекательность города, но одновременно усилило нагрузку на водные объекты.

Предлагается гипотетическая модель создания буферных зон, которые могли бы минимизировать влияние городской инфраструктуры на водные ресурсы. На рис. 6 представлена схема предполагаемых буферных зон, выделенных красной штриховой областью. Данные зоны включают в себя участки, расположенные вдоль основных мелких водотоков города с целью снижения загрязнения поверхностным стоком, улучшения водообмена и поддержания устойчивости экосистем.

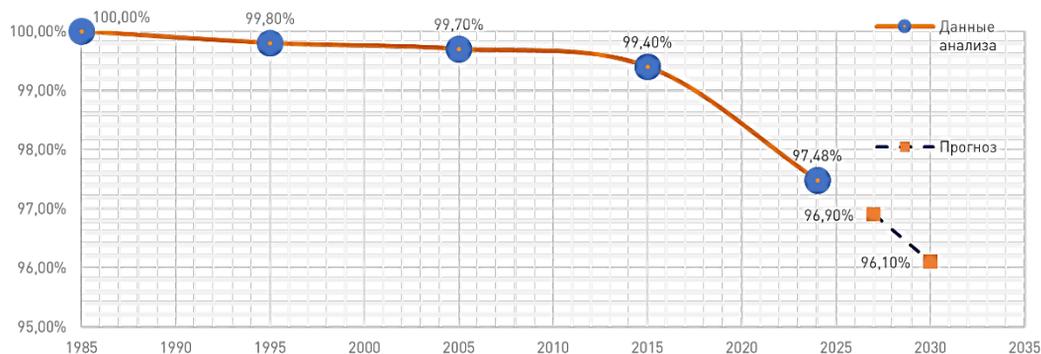


Рис. 5. Динамика сокращения площади прибрежных зон р. Волга  
Источник: составлено В.А. Шиловым.

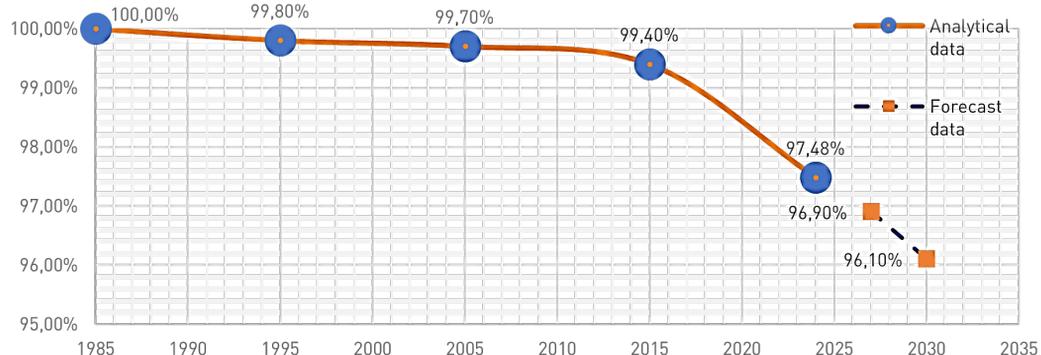


Figure 5. Dynamics of the Reduction in the Area of the Coastal Zones of the Volga River  
Source: compiled by the V.A. Shilov.



Рис. 6. Гипотетическая модель прогнозируемых буферных зон защиты ручьев на территории г. Углич  
Источник: составлено В.А. Шиловым.



**Figure 6. Hypothetical Model of Predicted Buffer Zones for Stream Protection in the Territory of Uglich**  
*Source:* compiled by the V.A. Shilov.

Буферная зона в данном исследовании рассматривается не как охранная зона в традиционном понимании требований Водного кодекса РФ (ст. 65 ВК РФ)<sup>1</sup> в части охраны водных ресурсов, а как территория, требующая особого внимания с экологической точки зрения. Это участки, на которых воздействие антропогенных факторов и природных изменений, таких как накопление отходов и загрязненный поверхностный сток с урбанизированных территорий, наиболее ярко проявляется, создавая угрозы для гидрологической и экологической устойчивости. Данная методология ГИС-моделирования буферных зон позволяет сосредоточить усилия на участках, где воздействие антропогенных факторов приводит к наиболее существенным изменениям гидрографии (в частности, малые водные объекты обладают ограниченными ресурсами для саморегуляции), и разработать стратегии по локализации и устранению источников загрязнений. Для эффективного управления буферными зонами требуется комплексный подход, включающий экологический мониторинг, разработку планов по рекультивации нарушенных территорий и внедрение природоподобных технологий<sup>2</sup>. Например, в контексте Углича создание буферных зон вдоль городских ручьев и его прибрежных территорий может включать мероприятия:

<sup>1</sup> Водный кодекс Российской Федерации : (Собрание законодательства Российской Федерации, 2006, № 23, ст. 2381) : новая редакция. 9-е изд. Москва : Ось-89, 2008.

<sup>2</sup> Указ Президента РФ от 28.02.2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» // Президент России : официальный сайт. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358> (дата обращения: 05.02.2025).

- по регенерации растительного покрова для предотвращения эрозии почвы;
- организации локальных систем очистки поверхностного стока;
- проведению регулярного экологического мониторинга с целью оценки состояния водных ресурсов.

## Выводы

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. ГИС-модели, полученные в ходе NDWI-обработки космических снимков, позволили выявить сокращение площади водных объектов примерно на 3,9 % (90 968,9 м<sup>2</sup>), что может оказывать существенное воздействие на гидрологический режим, биоразнообразие и рекреационную ценность водных ресурсов малых городов, повышая уязвимость данных экосистем к антропогенной нагрузке при интенсивной урбанизации.

2. Использование ГИС-инструментария эффективно для выявления территорий повышенной экологической уязвимости как в режиме реального времени, так и при анализе долгосрочных трансформаций, с учетом особенностей ландшафта и анализа техногенных объектов инженерной инфраструктуры.

3. Внедрение экологически безопасных инфраструктурных решений необходимо осуществлять через пространственную идентификацию и моделирование буферных зон уязвимых территорий, имеющих экологические проблемы, которые могут быть определены методами ГИС-анализа камерально.

4. Усиление системного контроля соблюдения требований водоохранного законодательства, разработка мероприятий по охране окружающей среды с использованием современных методов, включая дистанционное зондирование и пространственный анализ, являются актуальными задачами для сохранения природных ресурсов малых городов, таких как Углич, что даст возможность минимизировать экологический ущерб и повысить привлекательность города для туристов.

5. Разработка экологически безопасных технологий и включение природоподобных решений в инфраструктурные проекты, воспроизводящие системы и процессы живой природы в виде технических систем и технологических процессов и интегрированные в природную среду и естественный природный ресурсооборот, позволят не только снизить экологические риски, но и повысить эффективность управления водными ресурсами.

## Список литературы

- [1] Гапеева М.В., Законнов В.В. Геохимическая характеристика экосистемы Угличского водохранилища // Труды ИБВВ РАН. 2016. Вып. 75 (78). С. 41–46. <http://doi.org/10.24411/0320-3557-2016-10019> EDN: YRNVGX

- [2] Бекболов А.А., Абилов А.Ж. Малые города как фактор устойчивого развития // Наука и образование сегодня. 2020. № 6–1 (53). С 88–91. EDN: BIQBVС
- [3] Вавулин К.Е., Малая Е.В. Концепция устойчивого развития малых исторических городов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Т. 20. № 4. С. 5–12. EDN: SUFRBK
- [4] Копосова Н.Н., Волкова А.В. Особенности развития устойчивой городской окружающей среды // Успехи современного естествознания. 2020. № 12. С. 98–103. <http://doi.org/10.17513/use.37544> EDN: VXNXDK
- [5] Лупанова И.А., Крутенко С.А., Григорьева И.Л., Федорова Л.П. Комплексный мониторинг Угличского водохранилища // Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление : сб. м-лов Всерос. науч.-практ. конф., г. Сочи, 23–29 сентября 2019 г. Новочеркасск : Лик, 2019. С. 259–266. EDN: NICZOD
- [6] Борзенков А.А. Влияние поверхностного стока урбанизированных территорий на русловые процессы (на примере г. Курска) // Эрозионные, русловые процессы и проблемы гидроэкологии : материалы V семинара молодых ученых вузов. Москва : МГУ, 2004. С. 55–57.
- [7] Курочкина В.А. Водные объекты как основа организации открытых общественных пространств и инструмент трансформации урбосистем // Вестник Евразийской науки. 2020. Т. 12, № 5. URL: <https://esj.today/PDF/63SAVN520.pdf> (дата обращения: 23.01.2025). <http://doi.org/10.15862/63SAVN520> EDN: WERBQT
- [8] Черепанов К.А. Влияние экологических свойств городских территорий на формирование городской среды // Технические науки в России и за рубежом : м-лы IV Международ. науч. конф. Москва, январь 2015 г. Москва : Буки-Веди, 2015. С. 99–105. EDN: TREBRV
- [9] Ndehedehe C. Anthropogenic Influence on Terrestrial Hydrology // Satellite Remote Sensing of Terrestrial Hydrology. Springer Cham, 2022. P. 283–289. [http://doi.org/10.1007/978-3-030-99577-5\\_12](http://doi.org/10.1007/978-3-030-99577-5_12)
- [10] Sharannya T.M., Mahesha A. Assessing Hydrological Changes in Response to Climate and Anthropogenic Factors // Modern River Science for Watershed Management. Water Science and Technology Library. Vol. 128. Springer Cham, 2024. P. 59–69. [http://doi.org/10.1007/978-3-031-54704-1\\_5](http://doi.org/10.1007/978-3-031-54704-1_5)
- [11] Bosmans J.H.C., van Beek L.P.H., Sutanudjaja E. H., Bierkens M.F.P. Hydrological Impacts of Global Land Cover Change and Human Water Use // Hydrology and Earth System Sciences. 2017. Vol. 21, iss. 11. P. 5603–5626. <http://doi.org/10.5194/hess-21-5603-2017>
- [12] Станис Е.В. Изменение гидросферы под воздействием подземной добычи угля // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2004. № 1. С. 99–103. EDN: ПХТКВ
- [13] Позилов М.Н., Каримова Ф.С., Фарходова Ф.Ш. Возможные изменения гидрогеологических условий региона в связи с нарушением естественного процесса водообмена // Экономика и социум. 2024. № 3-1 (118). С. 807–812. EDN: GQDUYT
- [14] Базелюк А.А. Изменение гидрографии и стока рек Кумо-Манычской впадины под влиянием антропогенной деятельности // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2007. № 2. С. 89–90. EDN: LAFRND
- [15] Геращенко И.Н. Особенности гидрографии и гидрологии Северного Кавказа // Таврический научный обозреватель. 2017. № 3-1 (20). С. 106–113.

## References

- [1] Gapeeva MV, Zakonnov VV. Geochemical characteristics of the Uglich Reservoir ecosystem. *Proceedings of IBVV RAS*. 2016;75:41–46. (In Russ.) <http://doi.org/10.24411/0320-3557-2016-10019> EDN: YRNVGX
- [2] Bekbolov AA, Abilov AZh. Small towns as a factor of sustainable development. *Science and Education Today*. 2020;(6-1):88–91. (In Russ.) EDN: BIQBVC
- [3] Vavulin KE, Malaya EV. Concept of sustainable development of small historical towns. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2020;20(4):5–12. (In Russ.) EDN: SUFRBK
- [4] Kuposova NN, Volkova AV. Features of the development of a sustainable urban environment. *Advances in Current Natural Sciences*. 2020;(12):98–103. (In Russ.) <http://doi.org/10.17513/use.37544> EDN: VXNXDK
- [5] Lupanova IA, Krutenko SA, Grigoryeva IL, Fedorova LP. Comprehensive monitoring of the Uglich Reservoir. In: *Reservoirs of the Russian Federation: Modern Ecological Problems, State, Management. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Sochi, September 23–29, 2019*. Novocherkassk: Lik; 2019. p. 259–266. (In Russ.) EDN: HICZOD
- [6] Borzenkov AA. Influence of surface runoff from urbanized areas on channel processes (case study of Kursk). In: *Erosional and Channel Processes and Problems of Hydroecology. Proceedings of the V Seminar of Young University Scientists*. Moscow: MSU; 2004. p. 55–57. (In Russ.)
- [7] Kurochkina VA. Water bodies as the basis by open public spaces planning and an instrument of urban transformation. *The Eurasian Scientific Journal*. 2020;12(5). (In Russ.) Available from: <https://esj.today/PDF/63SAVN520.pdf> (accessed: 23.01.2025). <http://doi.org/10.15862/63SAVN520> EDN: WERBQT
- [8] Cherepanov KA. Influence of ecological properties of urban areas on the formation of the urban environment. In: *Technical Sciences in Russia and Abroad. Proceedings of the IV International Scientific Conference, Moscow, January 2015*. Moscow: Buki-Vedi publ.; 2015. p. 99–105. (In Russ.) EDN: TREBRV
- [9] Ndehedehe C. Anthropogenic influence on terrestrial hydrology. In: *Satellite Remote Sensing of Terrestrial Hydrology*. Springer Cham; 2022. p. 283–289. [http://doi.org/10.1007/978-3-030-99577-5\\_12](http://doi.org/10.1007/978-3-030-99577-5_12).
- [10] Sharannya TM, Mahesha A. Assessing hydrological changes in response to climate and anthropogenic factors. In: *Modern River Science for Watershed Management. Water Science and Technology Library*. Vol. 128. Springer Cham; 2024. p. 59–69. [http://doi.org/10.1007/978-3-031-54704-1\\_5](http://doi.org/10.1007/978-3-031-54704-1_5).
- [11] Bosmans JHC, van Beek LPH, Sutanudjaja EH, Bierkens MFP. Hydrological impacts of global land cover change and human water use. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2017;21(11):5603–5626. <http://doi.org/10.5194/hess-21-5603-2017>.
- [12] Stanis EV. Hydrosphere changing under effect underground output coil. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2004;(1):99–103. (In Russ.)
- [13] Pozilov MN, Karimova FS, Farkhodova FSh. Possible changes in the hydrogeological conditions of the region due to disruption of the natural water exchange process. *Economy and Society*. 2024;(3-1):807–812. (In Russ.) EDN: GQDUYT
- [14] Bazelyuk AA. Changes in hydrology and river flow of the Kumo-Manych Depression under anthropogenic impact. *Bulletin of Higher Education Institutes. North Caucasus Region. Series: Natural Sciences*. 2007;(2):89–90. (In Russ.) EDN: LAFRND
- [15] Gerashchenko IN. Features of hydrology and hydrography of the North Caucasus. *Taurida Scientific Review*. 2017;(3-1):106–113. (In Russ.)

**Сведения об авторах:**

*Шилов Владимир Александрович* – аспирант, ассистент кафедры «Инфраструктура и транспорт», Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, Ярославль, Московский проспект, д. 88. eLIBRARY SPIN-код: 7471-6675. E-mail: shilovva@ystu.ru

*Ладыгина Ольга Викторовна* – кандидат технических наук, заведующий кафедры «Инфраструктура и транспорт», Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, Ярославль, Московский проспект, д. 88. E-mail: ladyginaov@ystu.ru

**Bio notes:**

*Vladimir A. Shilov* – PhD student, Assistant at the Department of Infrastructure and Transport, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky Prospekt, Yaroslavl, 150023, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 7471-6675. E-mail: shilovva@ystu.ru

*Olga V. Ladygina* – Ph.D. in Technical Sciences, Head of the Department of Infrastructure and Transport, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky Prospekt, Yaroslavl, 150023, Russian Federation. E-mail: ladyginaov@ystu.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-366-379

EDN: TCIUVN

УДК 550.47:631.4

Научная статья / Research article

## Влияние полимерных материалов на подвижные формы тяжелых металлов при разном уровне полиметаллического загрязнения дерново-подзолистой почвы

В.Ю. Березкин<sup>1,2</sup>, В.Д. Волкова<sup>3</sup>, А.П. Дегтярёв<sup>1</sup>,  
В.К. Калеро Эррера<sup>2</sup>, О.С. Якименко<sup>3</sup>, В.А. Терехова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

victor76@list.ru

**Аннотация.** В модельном эксперименте проведено сравнение эффекта полимерных сорбентов разного происхождения – синтетических и природных – на примере гидролизованного полиакрилонитрила (ГИПАН), бинарной структуры (ГС) (ГИПАН и гумата калия «Гумат Сахалинский») и порошка грибного мицелия (ГБ), на содержание подвижных форм тяжелых металлов (ТМ). Сравнение проводилось в модельных опытах с разным уровнем загрязнения дерново-подзолистой почвы (УОПЭЦ «Чашниково», Московская обл.) солями меди, цинка, свинца. Показано, что положительный эффект от обработки загрязненной почвы полимерами выявлен при всех уровнях нагрузки ТМ. При этом наибольший эффект от ремедиации всеми испытанными препаратами наблюдался в варианте ГС (при сочетании ГИПАНа и сахалинского гумата). Наиболее эффективное снижение подвижных форм отмечено при максимальной нагрузке – 6 ОДК ТМ.

**Ключевые слова:** ремедиация, тяжелые металлы, полимеры, сорбция, ГИПАН, сахалинский гумат, препарат сухого мицелия, гриб *Alternaria alternata*, медь, цинк, свинец, агродерново-подзолистая почва

**Финансирование.** Работа выполнена по государственному заданию в лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН и на факультете почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, при участии специалистов института экологии РУДН имени Патриса Лумумбы.

© Березкин В.Ю., Волкова В.Д., Дегтярёв А.П., Калеро Эррера В.К., Якименко О.С., Терехова В.А., 2025



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

**Вклад авторов.** *Березкин В.Ю.* – администрирование проекта, проведение исследования, создание рукописи и ее редактирование; *Волкова В.Д.* – проведение исследования; *Дегтярёв А.П.* – проведение исследования; *Калеро Эррера В.К.* – проведение исследования; *Якименко О.С.* – концептуализация, руководство исследованиями и проведение исследования; *Терехова В.А.* – концептуализация, методология, написание-рецензирование и редактирование рукописи. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

**История статьи:** поступила в редакцию 25.11.2024; доработана после рецензирования 05.04.2025; принята к публикации 16.04.2025.

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

**Для цитирования:** *Березкин В.Ю., Волкова В.Д., Дегтярёв А.П., Калеро Эррера В.К., Якименко О.С., Терехова В.А.* Влияние полимерных материалов на подвижные формы тяжелых металлов при разном уровне полиметаллического загрязнения дерново-подзолистой почвы // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2025. Т. 33. № 3. С. 366–379. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-366-379>

## Influence of polymeric materials on mobile forms of heavy metals at different levels of polymetallic pollution of sod-podzolic soil

Victor Yu. Berezkin<sup>1,2</sup>  , Veronika D. Volkova<sup>3</sup> ,  
Alexander P. Degtyarev<sup>1</sup> , Vanessa Katherine Calero Errera<sup>2</sup> ,  
Olga S. Yakimenko<sup>3</sup> , Vera A. Terekhova<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>2</sup>*RUDN University, Moscow, Russian Federation*

<sup>3</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

victor76@list.ru

**Abstract.** The model experiment shows the effect of natural sorbents, such as hydrolysed polyacrylonitrile (HYPAN), HYPAN +potassium humate (Sakhalin humate) and mycelium of species *Alternaria alternata* on the content of mobile forms of heavy metals (HM) in sod-podzolic soil (Chashnikovo, Moscow region) before and after the application of copper, zinc and lead salts. It is shown that the positive effect of treatment of contaminated soil with polymers is observed at all levels of TM load. At the same time, the greatest effect of remediation with sorbents used by the authors was observed in the presence of ‘Sakhalin humate’. In general, the most effective reduction of mobile forms was observed at maximum soil contamination (in the experiment – 6 ODK TM).

**Keywords:** remediation, heavy metals, HYPAN, Sakhalin humate, mycelia of *Alternaria alternata* fungus, copper, zinc, lead, sod-podzolic soil

**Funding.** The work was carried out under the state assignment at the Laboratory of Environmental Biogeochemistry of Geochemical Institute of the Russian Academy of Sciences and at the Faculty of Soil Science of Lomonosov Moscow State University, with the participation of specialists from the RUDN University (Institute of Environmental Engineering).

**Authors' contribution.** *V.Yu. Berezkin* – Project administration, Investigation, Writing – review and editing; *V.D. Volkova* – Investigation; *A.P. Degtyarev* – Investigation; *V.K. Calero Errera* – Investigation; *O.S. Yakimenko* – Conceptualization, Supervision, Investigation; *V.A. Terekhova* – Conceptualization of work, Methodology, Writing – review & editing. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Article history:** received 25.11.2024; revised 05.04.2025; accepted 16.04.2025.

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

**For citation:** Berezkin VYu, Volkova VD, Degtyarev AP, Calero Errera VK, Yakimenko OS, Terekhova VA. Influence of polymeric materials on mobile forms of heavy metals at different levels of polymetallic pollution of sod-podzolic soil. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):366–379. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-366-379>

## Введение

Почва – важнейший компонент современного сельскохозяйственного ландшафта. Загрязнение почв тяжелыми металлами как из региональных источников, так и за счет глобальных выпадений не только снижает почвенное плодородие, но и самым пагубным образом может отразиться на выращиваемой сельскохозяйственной продукции, а как следствие, на жизни и здоровье населения. Кроме того, будучи загрязненной тяжелыми металлами (ТМ), почва оказывает неблагоприятное воздействие на все контактирующие среды: атмосферу, воду, растительность, животный мир [1; 2].

Многие микроэлементозы человека связаны с загрязнением почв сельскохозяйственного назначения, элементами, как эссенциальными, так и условно токсичными [3]. Одно из решений обозначенной выше проблемы – ремедиация загрязненных почв с помощью сорбентов, иммобилизующих тяжелые металлы как природными, так и синтетическими полимерами. При этом эффективность полимерных сорбентов, предлагаемых к использованию для рекультивации почв, загрязненных ТМ, зависит от многих факторов, в первую очередь от уровня нагрузки и типа почв [4]. Сравнительные эксперименты сорбционной активности ремедиантов разной природы на одних и тех же образцах почв в градиенте концентраций ТМ ранее не проводились.

**Цель исследования** – изучить влияние полимерных сорбентов (ГИПАН, гумат сахалинский (СГ), препарат грибного мицелия *Alternaria alternata*) на изменение содержания подвижных и валовых форм катионов металлов (меди, цинка, свинца) при разном уровне загрязнения почвы.

Выбор ремедиантов обусловлен недостаточной изученностью полимерных материалов как сорбентов при полиметаллическом загрязнении в разных почвенных условиях. Гидролизированный полиакрилонитрил (ГИПАН) широко используется в промышленных (нефтедобывающая отрасль) и сельскохозяйственных технологиях, однако его влияние на экотоксикологические показатели почв при разных уровнях загрязнения комплексом тяжелых металлов

остаётся практически не исследованным. Для усиления ожидаемого положительного эффекта ГИПАНа его испытывали в комплексе с препаратом гумата калия (ГС), который широко востребован в ремедиационных мероприятиях и коммерчески доступен. Для сравнения с синтетическим сорбентом дополнительно использовали природный полимер – препарат сухого мицелия гриба (ГБ), который, как показано ранее, обладает высоким сорбционным потенциалом по отношению к меди [5].

## Материалы и методы

**Полевой этап.** Исследования проводили с образцом почвы, отобранным в июле 2023 г. из верхнего горизонта (глубина отбора 0–20 см от поверхности) с поля на территории Учебного опытного экологического центра МГУ (УОПЭЦ) «Чашниково» (Солнечногорский район Московской области). Почва классифицирована в полевых условиях как дерново-подзолистая постагрогенная по наличию обособленного серо-гумусового аккумулятивного горизонта и последующего текстурного горизонта. Верхняя толща серых тонов имеет непрочную мелкокомковатую структуру, супесчаная. Поле ранее использовалось для выращивания сельскохозяйственных культур, в последние годы периодически подвергается вспашке в целях борьбы с сорняками. Содержание органического углерода  $C_{орг} = 1,11\%$ , рН водн. – 6,92. Почвенные образцы предварительно были высушены до воздушно сухой массы, растерты и просеяны через почвенное сито (2 мм).

**Эксперимент (лабораторный этап).** Для оценки сорбционной активности ремедиантов разной природы образец верхнего серо-гумусового горизонта дерново-подзолистой почвы предварительно был разделен на 16 частей методом квартования. Для моделирования загрязнения ТМ в двенадцать образцов почвы массой 200 г пипеткой добавляли раствор, содержащий смесь тяжелых металлов в виде растворимых солей (нитратов) меди, цинка, свинца и тщательно перемешивали. Доза внесения каждого элемента составляла 2, 4 и 6 ОДК для супесчаных почв в каждые из четырех образцов (табл. 1).

Таблица 1. Добавка катионов исследуемых металлов в образцы дерново-подзолистой почвы при моделировании загрязнения с последующим применением сорбентов

| Применяемый сорбент            | Фоновое содержание ТМ | Добавление меди, свинца и цинка, мг/кг (*) |                              |                              |
|--------------------------------|-----------------------|--|------------------------------|------------------------------|
|                                |                       | 2 ОДК                                      | 4 ОДК                        | 6 ОДК                        |
| Без сорбента (контроль)        | Cu, Zn, Pb (фон)      | Cu (66), Zn (110), Pb (64)                 | Cu (132), Zn (220), Pb (128) | Cu (198), Zn (330), Pb (192) |
| ГИПАН (Г)                      | Cu, Zn, Pb (фон)      | Cu (66), Zn (110), Pb (64)                 | Cu (132), Zn (220), Pb (128) | Cu (198), Zn (330), Pb (192) |
| ГИПАН + гумат Сахалинский (ГС) | Cu, Zn, Pb (фон)      | Cu (66), Zn (110), Pb (64)                 | Cu (132), Zn (220), Pb (128) | Cu (198), Zn (330), Pb (192) |
| Грибной мицелий (ГБ)           | Cu, Zn, Pb (фон)      | Cu (66), Zn (110), Pb (64)                 | Cu (132), Zn (220), Pb (128) | Cu (198), Zn (330), Pb (192) |

\* Cu (ОДК = 33 мг/кг), Zn (ОДК = 55 мг/кг), Pb (ОДК = 32 мг/кг).

Источник: составлено В.Ю. Берёзкиным.

Table 1. Content of cations of investigated metals and applied sorbents in samples of sod-podzolic soil at modelling of contamination

| The sorbent used             | Background content of Heavy Metals | Added copper, lead and zinc, mg/kg (approximately permissible concentration*) |                              |                              |
|------------------------------|------------------------------------|---|------------------------------|------------------------------|
|                              |                                    | 2   | 4                            | 6                            |
| Without sorbent (control)    | Cu, Zn, Pb (0 mg/kg)               | Cu (66), Zn (110), Pb (64)  | Cu (132), Zn (220), Pb (128) | Cu (198), Zn (330), Pb (192) |
| Hypan (H)                    | Cu, Zn, Pb (0 mg/kg)               | Cu (66), Zn (110), Pb (64)  | Cu (132), Zn (220), Pb (128) | Cu (198), Zn (330), Pb (192) |
| HYPAN + Sakhalin Humate (HS) | Cu, Zn, Pb (0 mg/kg)               | Cu (66), Zn (110), Pb (64)  | Cu (132), Zn (220), Pb (128) | Cu (198), Zn (330), Pb (192) |
| Mushroom mycelium (MM)       | Cu, Zn, Pb (0 mg/kg)               | Cu (66), Zn (110), Pb (64)  | Cu (132), Zn (220), Pb (128) | Cu (198), Zn (330), Pb (192) |

\*Approximately permissible concentration: Cu = 33 mg/kg, Zn = 55 mg/kg, Pb = 32 mg/kg.

Source: compiled by V.Y. Berezkin.

Образцы контрольные и загрязненные ТМ увлажняли внесением дистиллированной воды до достижения 60 % полной влагоемкости. Выдерживали 7 сут при комнатной температуре для равномерного распределения воды и солей ТМ. После чего вносили полимерные препараты, инкубировали 7 сут и отбирали на анализ. Опыт проводили в трех повторностях.

В качестве сорбентов катионов ТМ исследовали гидролизированный полиакрилонитрил ГИПАН бинарную структуру ГИПАН и промышленный препарат гумата калия – «Сахалинский гумат», а также препарат сухого грибного мицелия.

При взаимодействии исследуемых природных и синтетических ремедиантов с почвенной матрицей ГИПАН (рис. 1) проявляет себя прежде всего как структурообразователь, формируя устойчивые почвенные агрегаты с почвенными частицами за счет водородных связей, ван-дер-ваальсовых взаимодействий и даже электростатических связей.

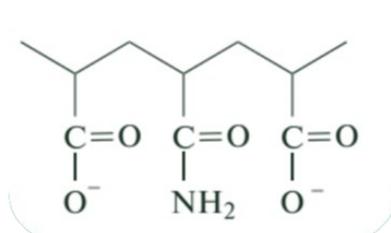


Рис. 1. Схематическое изображение структурной формулы ГИПАНА

Источник: составлено В.Ю. Березкиным.

Figure 1. Schematic representation of the structural formula of GIPAN

Source: compiled by V.Y. Berezkin.

Сахалинский гумат выступает как стимулятор биологической активности почвы и смягчает токсические эффекты поллютантов [6; 7]. Мы предположили, что совместное применение ГИПАНА с гуминовыми веществами будет иметь преимущество перед вариантом с внесением только одного синтетического препарата.

Мицелий меланизированного гриба *Alternaria alternata* Fr. Keissl. выращивали в лабораторных условиях в жидкой питательной среде Чапека в течение 14 сут. Затем биомассу мицелия отделяли от среды роста фильтрованием, многократно промывали дистиллированной водой, высушивали и измельчали до стадии порошка, который, как было показано ранее, обладал высокой сорбционной активностью [5].

Обработку почвы из расчета 0,2 % препарата проводили растворами 1 % ГИПАНа и в композиции с 0,1 % гуматом сахалинским, при этом pH всех растворов доводили до 7,0. Порошок мицелия вносили в виде водной суспензии в той же дозе (0,2 %).

Таким образом, в эксперименте использовали 16 образцов: загрязненные исследуемыми ТМ: 2 ОДК, 4 ОДК, 6 ОДК и контрольный образец (незагрязненный), с внесением в почвенные образцы с каждым вариантом загрязнения трех полимерных препаратов в отдельности и воды (один контрольный – без сорбента) (табл. 1). Подготовленные таким образом почвенные образцы (12 вариантов) инкубировали еще 7 суток при комнатной температуре. Из каждого варианта отбирали пробы для дальнейших химических анализов, по 3 аналитические повторности из каждого сосуда.

**Определение содержания исследуемых ТМ после эксперимента.** Атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС) в ее пламенном варианте в настоящее время является одним из распространенных методов многоэлементного анализа различных по природе объектов [8]. Пробоподготовка твердых образцов, в частности почв, для ААС-анализа проводится растворением 0,5 г почвы в смеси концентрированных  $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$  и последующим разбавлением полученных солей в 2 % азотной кислоте.

Валовые формы исследуемых ТМ (свинец, медь и цинк) определялись в почвенном образце, измельченном до размера частиц менее 1 мм. Следовала стандартная пробоподготовка образца [9] и определение тяжелых металлов методом ААС в полученной вытяжке.

Содержание подвижных форм свинца, цинка и меди в тех же почвах определяли с помощью ацетатно-аммонийного буферного раствора с  $\text{pH} = 4,8$  при соотношении почва:раствор, равном 1:10 (в результате из почвы извлекают ТМ, способные к миграции по почвенному профилю и поглощению растениями). Из образца каждой почвы отбирали навеску 5 г в коническую колбу, заливали предварительно приготовленным ацетатно-аммонийным буфером (50 мл) и подвергали взбалтыванию в течение 1 ч. После взаимодействия почвы с раствором полученную суспензию сепарировали на центрифуге лабораторной СМ-12. В полученных вытяжках пламенным вариантом ААС определялись подвижные формы исследуемых элементов.

## Результаты и обсуждение

Как уже упоминалось выше, эффект добавок полимерных препаратов оценивали как в образцах с модельным загрязнением дерново-подзолистой почвы, так и без внесения ТМ (К – контрольные пробы, исходная почва).

### Влияние полимерных препаратов на подвижные формы ТМ в исходной почве (без внесения ТМ)

Исходное содержание валовых форм исследуемых ТМ в почве без модельного загрязнения (серия 1, или контрольная) не превышала допустимые нормы: свинец – 9,3–17,4 мкг/г (ПДК = 30 мкг/г), медь – 8,1–9,3 мкг/г (ПДК = 55 мкг/г), цинк – 46–84,9 мкг/г (ПДК = 100 мкг/г). При этом значительная часть меди находилась в доступной для растений форме (Cu подвижные формы = 7–9 мкг/г воздушно-сухой почвы), в то время как подвижные формы свинца (Pb = 1,2–1,9 мкг/г) и цинка (Zn = 4–6,9 мкг/г) составляли незначительный процент от его общего содержания в почве (см. рис. 1).

Применение полимерных препаратов разной природы незначительно увеличило подвижность некоторых из исследуемых металлов: грибной мицелий (ГБ1) – Cu (0,99 % подвижные/валовые); ГИПАН (Г1) – Pb 0,15 % подвижные/валовые) и бинарная структура ГИПАН + сахалинский гумат (ГС1) – Zn (0,12 % подвижные/валовые) (рис. 2).

При модельном загрязнении ТМ почвы применение ГИПАНа гарантировало пусть незначительное, но снижение содержания подвижных форм свинца, меди и цинка в независимости от величины внесенной дозы исследуемых элементов.

Следует отметить, что наименьший процент подвижных форм к валовым установлен для свинца и цинка (Pb – 7 %; Zn – 6 %), а наибольший – для меди (Cu – 75 %).

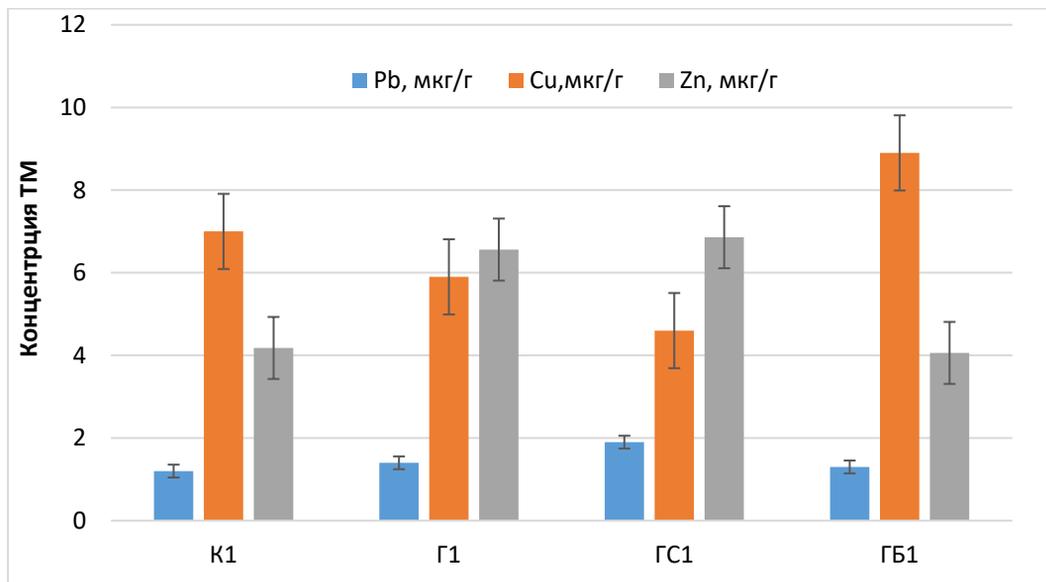


Рис. 2. Фоновые образцы почв (без внесения ТМ) – содержание подвижных форм Pb, Cu, Zn (в пересчете на мкг/г-почвы) в контрольных (незагрязненных) образцах дерново-подзолистой почвы:

K1 – без полимеров (фон); Г1 – с ГИПАНОм; ГС1 – с ГИПАНОм и сахалинским гуматом; ГБ1 – с мицелием.

Источник: составлено В.Ю. Березкиным.

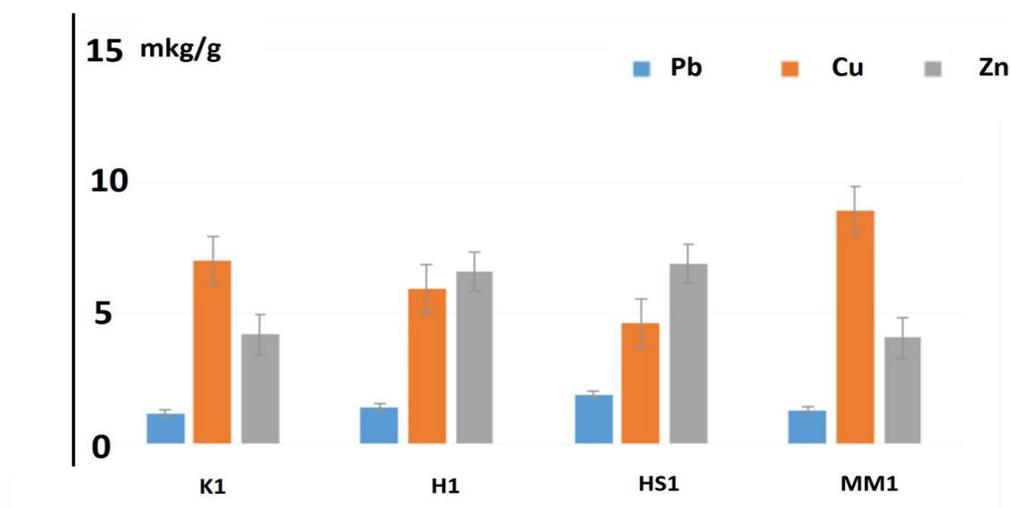


Figure 2. Background soil samples (without contamination of heavy metals). Content of mobile forms of Pb, Cu, Zn (in terms of  $\mu\text{g}/\text{gram-soil}$ ) in control (not contaminated) samples of sod-podzolic soil:

K1 – without polymers (control); H1 – with HYPAN; HS1 – with HYPAN and Sakhalin humate;

MM – with mushroom mycelium.  
Source: compiled by V.Y. Berezkin.

Наибольший процент перехода свинца и цинка в почвенный раствор отмечен для загрязненных почв с применением в качестве сорбента бинарной структуры ГС (ГИПАН + сахалинский гумат) (Pb – 50 %; Zn – 77 %). Наименьший процент меди переходил в раствор в почвах разной степени загрязненности, но с применением в качестве сорбента – ГС или ГБ (табл. 2).

Таблица 2. Процент подвижных форм меди, свинца и цинка в исследуемых пробах дерново-подзолистой почвы

| № образцов | Модельное загрязнение ТМ | Подвижные формы |           |           | Валовые формы |           |           | Процент подвижных форм от валовых |       |       |
|------------|--------------------------|-----------------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------------------------------|-------|-------|
|            |                          | Pb, мкг/г       | Cu, мкг/г | Zn, мкг/г | Pb, мкг/г     | Cu, мкг/г | Zn, мкг/г | Pb, %                             | Cu, % | Zn, % |
| K1         | фон                      | 1,2             | 7         | 4,18      | 16,8          | 9,3       | 66        | 7,1                               | 75,3  | 6,3   |
| Г1         | фон                      | 1,4             | 5,9       | 6,56      | 9,3           | 8,7       | 84,9      | 15,1                              | 67,8  | 7,7   |
| ГС1        | фон                      | 1,9             | 4,6       | 6,86      | 17,4          | 8,1       | 58,5      | 10,9                              | 56,8  | 11,7  |
| ГБ1        | фон                      | 1,3             | 8,9       | 4,06      | 13,5          | 9         | 46,8      | 9,6                               | 98,9  | 8,7   |
| K2         | 2 ОДК                    | 14              | 27,1      | 60,56     | 60            | 87,9      | 145       | 23,3                              | 30,8  | 41,8  |
| Г2         | 2 ОДК                    | 11,5            | 21,7      | 50,76     | 64,2          | 90,9      | 148,8     | 17,9                              | 23,9  | 34,1  |
| ГС2        | 2 ОДК                    | 20,3            | 31,4      | 85,76     | 57            | 87,9      | 156,3     | 35,6                              | 35,7  | 54,9  |
| ГБ2        | 2 ОДК                    | 14,1            | 25,7      | 36,76     | 38,4          | 51,3      | 115,2     | 36,7                              | 50,1  | 31,9  |
| K3         | 4 ОДК                    | 33,8            | 54,8      | 140,76    | 105,9         | 195       | 283,5     | 31,9                              | 28,1  | 49,7  |
| Г3         | 4 ОДК                    | 33,7            | 54,9      | 127,76    | 106,5         | 219,6     | 247,8     | 31,6                              | 25    | 51,6  |
| ГС3        | 4 ОДК                    | 49,4            | 77,9      | 168,76    | 102           | 198,9     | 280,2     | 48,4                              | 39,2  | 60,2  |
| ГБ3        | 4 ОДК                    | 37,3            | 52,5      | 95,96     | 109,5         | 196,5     | 266,4     | 34,1                              | 26,7  | 36    |
| K4         | 6 ОДК                    | 52,9            | 95        | 202,76    | 149,7         | 351,6     | 385       | 34,1                              | 26,7  | 36    |
| Г4         | 6 ОДК                    | 51,8            | 91,9      | 189,76    | 137,7         | 316,8     | 328,8     | 37,6                              | 29    | 57,7  |
| ГС4        | 6 ОДК                    | 77,6            | 116,9     | 265,76    | 154,2         | 354,3     | 345,9     | 50,3                              | 33    | 76,8  |
| ГБ4        | 6 ОДК                    | 54,8            | 87,3      | 170,76    | 152,4         | 372       | 343,2     | 36                                | 23,5  | 49,8  |

Источник: составлено В.Ю. Березкиным.

Table 2. Percentage of mobile forms of copper, lead and zinc in the studied samples of sod-podzolic soil

| No. samples | Model pollution of HM (approx. permissible concentrations) | Mobile forms |           |           | Total forms |           |           | Mobile forms / Total forms |       |       |
|-------------|--|--------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|----------------------------|-------|-------|
|             |  | Pb, mkg/g    | Cu, mkg/g | Zn, mkg/g | Pb, mkg/g   | Cu, mkg/g | Zn, mkg/g | Pb, %                      | Cu, % | Zn, % |
| K1          | 0  | 1.2          | 7         | 4.18      | 16.8        | 9.3       | 66        | 7.1                        | 75.3  | 6.3   |
| H1          | 0  | 1.4          | 5.9       | 6.56      | 9.3         | 8.7       | 84.9      | 15.1                       | 67.8  | 7.7   |
| HS1         | 0  | 1.9          | 4.6       | 6.86      | 17.4        | 8.1       | 58.5      | 10.9                       | 56.8  | 11.7  |
| MM1         | 0  | 1.3          | 8.9       | 4.06      | 13.5        | 9         | 46.8      | 9.6                        | 98.9  | 8.7   |
| K2          | 2  | 14           | 27.1      | 60.56     | 60          | 87.9      | 145       | 23.3                       | 30.8  | 41.8  |
| H2          | 2  | 11.5         | 21.7      | 50.76     | 64.2        | 90.9      | 148.8     | 17.9                       | 23.9  | 34.1  |
| HS2         | 2  | 20.3         | 31.4      | 85.76     | 57          | 87.9      | 156.3     | 35.6                       | 35.7  | 54.9  |
| MM2         | 2  | 14.1         | 25.7      | 36.76     | 38.4        | 51.3      | 115.2     | 36.7                       | 50.1  | 31.9  |
| K3          | 4  | 33.8         | 54.8      | 140.76    | 105.9       | 195       | 283.5     | 31.9                       | 28.1  | 49.7  |
| H3          | 4  | 33.7         | 54.9      | 127.76    | 106.5       | 219.6     | 247.8     | 31.6                       | 25    | 51.6  |
| HS3         | 4  | 49.4         | 77.9      | 168.76    | 102         | 198.9     | 280.2     | 48.4                       | 39.2  | 60.2  |
| MM3         | 4  | 37.3         | 52.5      | 95.96     | 109.5       | 196.5     | 266.4     | 34.1                       | 26.7  | 36    |
| K4          | 6  | 52.9         | 95        | 202.76    | 149.7       | 351.6     | 385       | 34.1                       | 26.7  | 36    |
| H4          | 6  | 51.8         | 91.9      | 189.76    | 137.7       | 316.8     | 328.8     | 37.6                       | 29    | 57.7  |
| HS4         | 6  | 77.6         | 116.9     | 265.76    | 154.2       | 354.3     | 345.9     | 50.3                       | 33    | 76.8  |
| MM4         | 6  | 54.8         | 87.3      | 170.76    | 152.4       | 372       | 343.2     | 36                         | 23.5  | 49.8  |

Source: compiled by V.Yu. Berezkin.

Кроме того, в отличие от варианта с ГИПАНОм (Г) применение СГ привело не к снижению, а к увеличению подвижных форм исследуемых элементов. Возможно, это связано с присутствием минорного содержания подвижных форм металлов в самом комплексном сорбенте. Возможность увеличения подвижности тяжелых металлов, содержащихся в исследуемых пробах дерново-подзолистой почвы в присутствии СГ, требует дополнительной проверки. Тем не менее в эксперименте установлено, что начиная с дозы 2 ОДК и выше его применение способствует увеличению подвижных форм меди, свинца и цинка в почвах по сравнению с контрольными пробами (рис. 3, а, б, в).

Наиболее эффективные сорбенты из применявшихся в эксперименте – ГИПАН и мицелий. Применение последнего наиболее эффективно снижало подвижность цинка (элемента первого класса опасности, СанПиН 2.1.7.1287-03<sup>1</sup>), особенно при наиболее высоких дозах загрязнения (см. рис. 2), и в меньшей степени – подвижность меди.

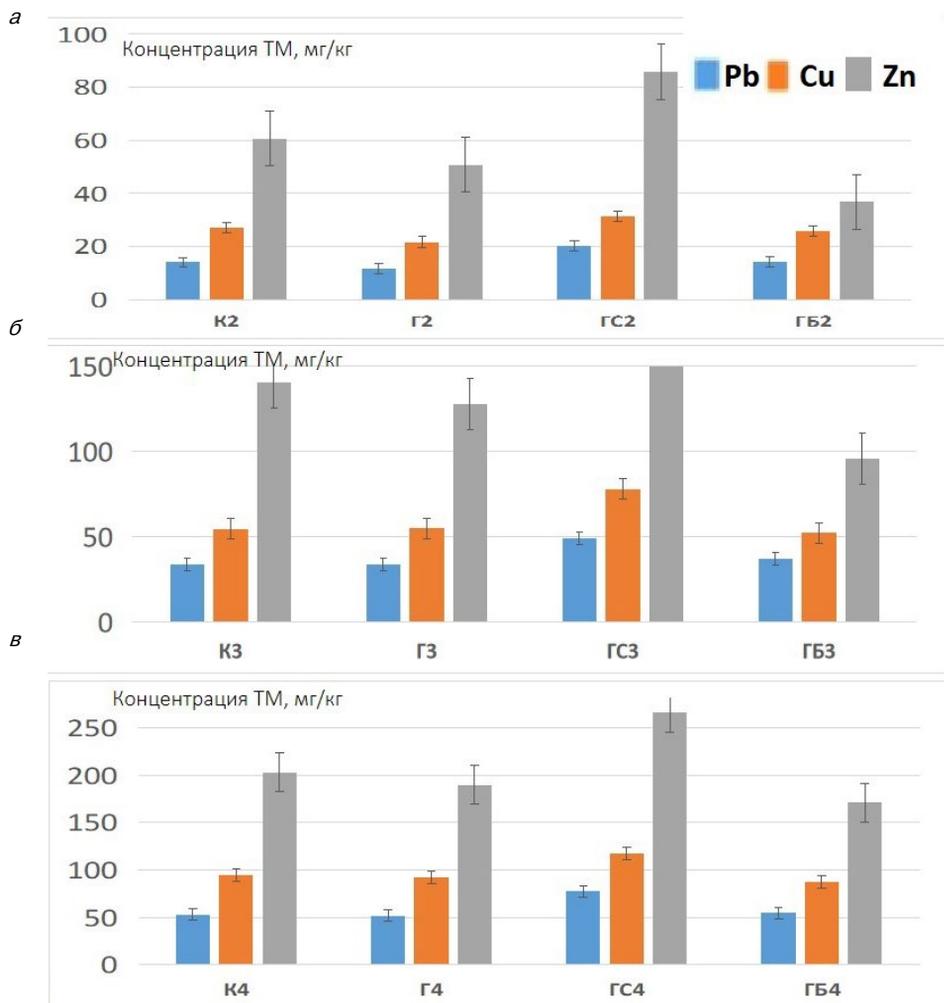
Вместе с тем нельзя не отметить, что применение мицелия приводило к незначительному (менее 3 %) повышению содержания подвижных форм свинца по сравнению с применением ГИПАНА. Столь незначительные колебания содержания подвижных форм свинца могут быть объяснены высокой гетерогенностью исследуемых почв, а не влиянием сорбента как такового.

Следует отметить, что тенденция к росту, заданная добавкой катионов, хорошо прослеживается для валовых форм (по мере роста дозы – 0 ОДК,

<sup>1</sup> СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы и грунтов. URL: <https://eng-eco.ru/upload/iblock/551/5514b8efc08243ca3bdb3501ab4e363d.pdf?ysclid=мсaарозук0404570096> (дата обращения: 15.11.2024).

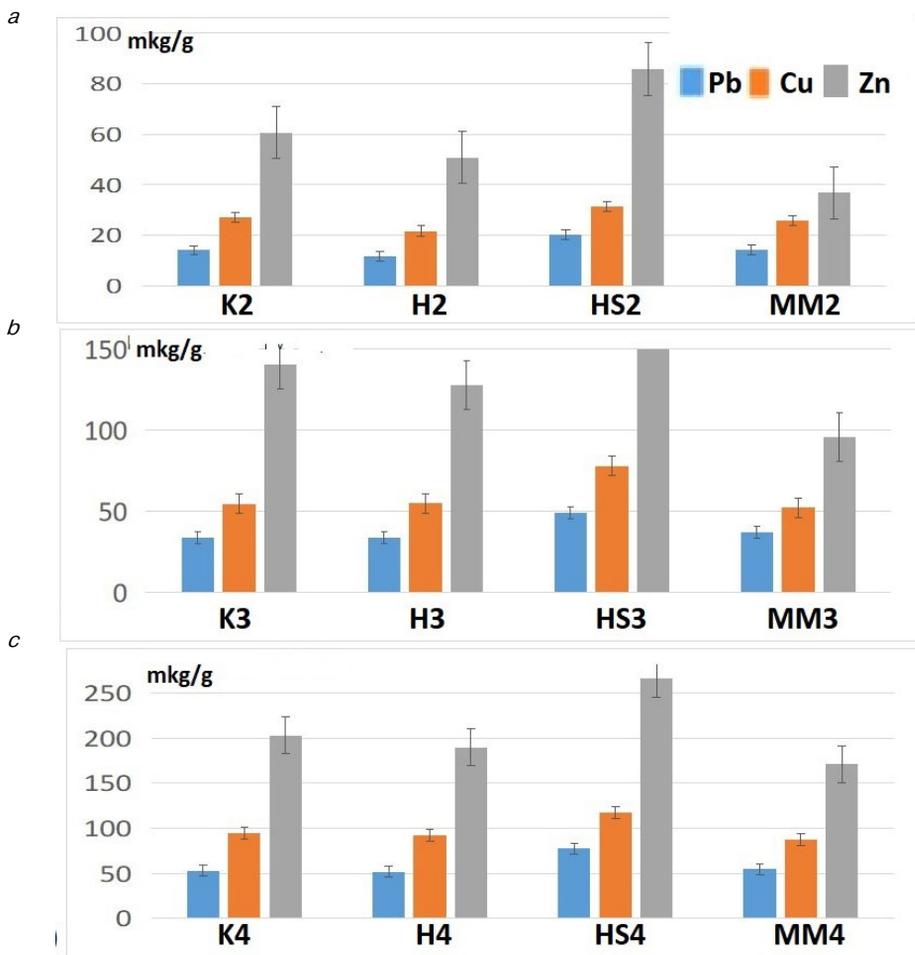
2 ОДК, 4 ОДК, 6 ОДК), но явно нарушена для подвижных форм тех же металлов. Более низкие тенденции к росту подвижных форм отражают процесс их поглощения сорбентами.

Влияние полимерных препаратов во всех трех вариантах проявилось в снижении доли подвижных форм меди. Наибольшее поглощение подвижных форм всех трех элементов можно отметить при применении мицелия, на втором месте находится ГИПАН и на третьем – комплекс ГИПАН + сахалинский гумат. Этот эффект наиболее четко проявляется при максимальном уровне загрязнения.



**Рис. 3.** Влияние полимерных препаратов на содержание подвижных форм меди, свинца и цинка (ось ординат – мкг/г почвы) в дерново-подзолистой почве при разных дозах загрязнения ТМ: а – 2 ОДК; б – 4 ОДК; в – 6 ОДК; К2, К3, К4 – без внесения полимеров, Г2, Г3, Г4 – с ГИПАНОм, GS2, GS3, GS4 – с ГИПАНОм и сахалинским гуматом, GB2, GB3, GB4 – с мицелием.

*Источник:* составлено В.Ю. Березкиным.



**Figure 3. Effect of polymer preparations on the content of mobile forms of copper, lead and zinc (ordinate axis –  $\mu\text{g/g}$  soil) in sod-podzolic soil at different doses of TM pollution:**

*a* – 2 approx. permissible concentration; *b* – 4 approx. permissible concentration;

*c* – 6 approx. permissible concentration; K2, K3, K4 – without polymer application, H2, H3, H4 – with HYPAN, HS2, HS3, HS4 – with HYPAN and Sakhalin humate, MM2, MM3, MM4 – with mushroom mycelium.

Source: compiled by V.Yu. Berezkin.

## Заклучение

Проведенные исследования подтвердили, что вносимые сорбенты могут снижать переход поступающих в почву химических загрязнителей в почвенный раствор, что в значительной степени определяет вовлеченность химических элементов в трофическую цепь.

Наибольший эффект воздействия применяемых полимерных сорбентов отмечен при максимально высоких дозах загрязнения почв исследуемыми тяжелыми металлами (6 ОДК).

Таким образом, различия в сорбционной способности полимерных составов могут быть связаны с их молекулярной структурой. Вариации в снижении

перехода поступающих в почву химических загрязнителей в почвенный раствор при применении исследованных сорбентов в определенной степени определялись их природой и составом. Очевидно, что исследуемые сорбенты могут воздействовать не на всю группу исследуемых загрязнителей, а связывать их катионы избирательно, в зависимости от химических свойств элемента или формы его нахождения.

### Список литературы

- [1] *Азнабаева Р.В.* Содержание тяжёлых металлов (Pb, Co, Cu, Zn) в почвах сельскохозяйственного назначения Чекмагушевского района РБ // *Экология и природопользование: прикладные аспекты : материалы IX Международной научно-практической конференции / Башкирский государственный педагогический университет. Том 1. Уфа : ООО Аэтерна, 2019. С. 16–19. EDN: ZBCMGL*
- [2] *Короочкина Е.А.* Влияние микроэлементов цинка, кобальта, йода, селена, марганца, меди на здоровье и продуктивные качества животных // *Генетика и разведение животных. 2016. № 3. С. 69–73. EDN: XRFTYV*
- [3] *Ковальский В.В.* Геохимическая экология. Москва : Наука, 1974. 299 с.
- [4] *Сергеева Ю.Д., Кирюшина А.П., Калеро В.К., Федорова О.А., Терехова В.А.* Сравнение эффективности микро- и наночастиц нульвалентного железа при детоксикации техногенно-загрязненной почвы // *Почвоведение. 2023. № 2. С. 273–282. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600962> EDN: BIUQRA*
- [5] *Волкова В.Д., Федосеева Е.В., Терехова В.А.* Сорбционная активность микромицетов *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. и *Fusarium oxysporum* Schldt. по отношению к меди // *Поволжский экологический журнал. 2024. № 1. С. 20–35. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2024-1-20-35> EDN: QYXVQF*
- [6] *Holatko J., Hammerschmidt T., Datta R., Baltazar T., Kintl A., Latal O., Pecina V., Sarec P., Novak P., Balakova L., Danish S., Zafar-ul-Hye M., Fahad Sh., Brtnicky M.* Humic acid mitigates the negative effects of high rates of biochar application on microbial activity // *Sustainability. 2020. Vol. 12, no. 22. <https://doi.org/10.3390/su12229524> EDN: CZWEVL*
- [7] *Bondareva L., Kudryasheva N.* Direct and indirect detoxification effects of humic substances // *Agronomy. 2021. Vol. 11, no. 2. Article no. 198. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020198> EDN: UIGEOY*
- [8] *Беляцкий В.Н.* Основы методов атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектроскопии. Минск : БГМУ, 2015. 47 с.
- [9] *Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. Москва : ГЕОС, 2006. 400 с.*

### References

- [1] *Aznabaeva RV.* Content of heavy metals (Pb, Co, Cu, Zn) in soils of agricultural purpose of Chekmagushevsky district of RB. *Ecology and nature management: applied aspects: proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference. Bashkir State Pedagogical University. Volume 1. Ufa: LLC Aeterna; 2019. p. 16–19. (In Russ.) EDN: ZBCMGL*
- [2] *Korochkina, EA.* The influence of trace elements zinc, cobalt, iodine, selenium, manganese, copper on the health and productive ability of animals. *Genetics and animal breeding. 2016;(3):69–73. (In Russ.) EDN: XRFTYV*

- [3] Kovalsky VV. *Geochemical Ecology*. Moscow: Nauka; 1974. (In Russ.)
- [4] Sergeeva YuD, Kiryushina AP, Calero VK, Fedorova OA, Terekhova VA. Comparison of the efficiency of micro- and nanoparticles of zero-valent iron in the detoxification of technogenically polluted soil. *Eurasian Soil Science*. 2023, (2), 273–282. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600962> EDN: BIUQRA
- [5] Volkova VD, Fedoseeva EV, Terekhova VA. *Copper ion sorption ability of Alternaria alternata (Fr.) Keissl. and Fusarium oxysporum Schldt. micromycetes. Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2024;(1):20–35. (In Russ.) <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2024-1-20-35> EDN: QYXVQF
- [6] Holatko J, Hammerschmidt T, Datta R, Baltazar T, Kintl A, Latal O, Pecina V, Sarec P, Novak P, Balakova L, Danish S, Zafar-ul-Hye M, Fahad Sh, Brtnicky M. Humic acid mitigates the negative effects of high rates of biochar application on microbial activity. *Sustainability*. 2020;12(22). <https://doi.org/10.3390/su12229524> EDN: CZWEVL
- [7] Bondareva L, Kudryasheva N. Direct and indirect detoxification effects of humic substances. *Agronomy*. 2021;11(2):198 <https://doi.org/10.3390/agronomy11020198> EDN: UIGEOY
- [8] Belyatsky VN. *Fundamentals of methods of atomic absorption and atomic emission spectroscopy*. Minsk; BGMU; 2015. 47 p. (In Russ.)
- [9] Vorobyeva LA. *Theory and practice of chemical analysis of soils*. Moscow: GEOS publ.; 2006. (In Russ.)

#### Сведения об авторах:

*Березкин Виктор Юрьевич*, кандидат геолого-минералогических наук, доцент департамента экологии человека и биоэлементологии, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, г. Москва, ш. Подольское, д. 8/5; старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН, Российская Федерация, 119991, г. Москва, ул. Косыгина, 19. ORCID: 0000-0002-1025-638X; eLIBRARY SPIN-код: 7074-9478. E-mail: victor76@list.ru

*Волкова Вероника Денисовна*, аспирант кафедры земельных ресурсов и оценки почв, факультет почвоведения, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1–12. ORCID: 0000-0002-0193-840X; eLIBRARY SPIN-код: 4063-1831. E-mail: v\_v\_d\_2000@mail.ru

*Дегтярёв Александр Петрович*, научный сотрудник лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН, Российская Федерация, 119991, г. Москва, ул. Косыгина, д. 19. ORCID: 0000-0002-2668-8427; eLIBRARY SPIN-код: 6058-7995. E-mail: degtyarev\_a@mail.ru

*Калеро Эррера Ванесса Катерине*, аспирант департамента экологии человека и биоэлементологии, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, г. Москва, ш. Подольское, д. 8/5. ORCID: 0000-0001-8636-7951; eLIBRARY SPIN-код: 1849-3877. E-mail: vkalero@bk.ru

*Якименко Ольга Сергеевна*, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, кафедры химии почв, факультет почвоведения, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, г. Москва, Ленинские горы, д. 1–12. ORCID: 0000-0003-0499-5482; eLIBRARY SPIN-код: 7525-7090. E-mail: iakim@soil.msu.ru

*Терехова Вера Александровна*, доктор биологических наук, профессор кафедры земельных ресурсов и оценки почв, факультет почвоведения, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, г. Москва, Ленинские горы, д. 1–12. ORCID: 0000-0001-9121-639X; eLIBRARY SPIN-код: 4488-9505. E-mail: vterekhova@gmail.com

**Bio notes:**

*Victor Yu. Berezkin*, Ph.D. of Geology, Associate Professor of the Department of Human Ecology and Bioelementology, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 8/5 Podolskoe shosse, Moscow, 115093, Russian Federation; Senior Researcher Laboratory of Environmental Biogeochemistry GEOKHI RAS, 19 Kosygina St, Moscow, 119991, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1025-638X; eLIBRARY SPIN-code: 7074-9478. E-mail: victor76@list.ru

*Veronika D. Volkova*, Postgraduate Student, Soil Science Department, Lomonosov Moscow State University, 1–12 Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0193-840X; eLIBRARY SPIN-code: 4063-1831. E-mail: v\_v\_d\_2000@mail.ru

*Alexander P. Degtyarev*, Researcher, Laboratory of Environmental Biogeochemistry, Vernadsky Institute, 19 Kosygina St, Moscow, 119991, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2668-8427; eLIBRARY SPIN-code: 6058-7995. E-mail: degtyarev\_a@mail.ru

*Vanessa Katerine Calero Errera*, Postgraduate Student of the Department of Human Ecology and Bioelementology, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 8/5 Podolskoe shosse, Moscow, 115093, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8636-7951; eLIBRARY SPIN-code: 1849-3877. E-mail: vkalero@bk.ru

*Olga S. Yakimenko*, Ph.D. in Biology, Leading Researcher, Department of Soil Chemistry, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, 1–12 Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0499-5482; eLIBRARY SPIN-code: 7525-7090. E-mail: iakim@soil.msu.ru

*Vera A. Terekhova*, Dr. Biol. Sci., Professor, Soil Science Department, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, 1–12 Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9121-639X; eLIBRARY SPIN-code: 4488-9505. E-mail: vterekhova@gmail.com



## УГЛЕРОДНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ, ЭКОНОМИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ

## CARBON REGULATION, CLIMATE PROJECTS, ECONOMY AND SAFETY

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-380-399

EDN: TKLDWR

УДК 504.06:338.012

Научная статья / Research article

### Перспективы участия российских верификаторов в программе Глобального углеродного совета и их роль в обеспечении доверия к климатическим проектам и качеству верификации углеродных единиц

Е.В. Савенкова  , К.Р. Кашаев, Д.О. Цибарева

*Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация*

 [savenkova\\_ev@pfur.ru](mailto:savenkova_ev@pfur.ru)

**Аннотация.** Добровольный рынок углеродных единиц является объектом повышенного внимания со стороны российского бизнеса, представляя собой финансовый инструмент привлечения инвестиций в создание и реализацию собственных низкоуглеродных решений, обеспечивающих, в свою очередь, технологическую независимость и экологическую безопасность нашей страны. Открывающиеся возможности не ограничиваются внутренним рынком: первые отечественные компании уже направили свои климатические проекты на регистрацию в реестре углеродных единиц Глобального углеродного совета (GCC). Ожидается, что участие в программе GCC позволит им выпускать и осуществлять сделки с углеродными единицами на международном рынке. В июне 2024 г. между Федеральной службой по аккредитации (Росаккредитация) и GCC на полях Петербургского международного экономического форума подписан протокол о намерениях в сфере аккредитации и оценки соответствия в области валидации и верификации выбросов парниковых газов. В исследовании рассмотрены механизмы функционирования института верификаторов в структуре программы GCC. Определены

© Савенкова Е.В., Кашаев К.Р., Цибарева Д.О., 2025



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

перспективы получения российскими верификаторами одобрения в международной программе углеродной торговли GCC, в том числе обеспечивающего возможность участия в проходящих в рамках организации профессиональных дискуссиях и процессе принятия решений о выпуске углеродных единиц по результатам реализации климатических проектов.

**Ключевые слова:** GCC, парниковые газы, углеродное регулирование, экологическая безопасность, экология природопользования, валидация, верификация, проекты

**Вклад авторов.** *Савенкова Е.В.* – концептуализация (формулирование идеи, исследовательских целей и задач); методология (разработка или проектирование методологии исследования, создание модели исследования); *Кашаев К.Р., Цибарева Д.О.* – администрирование данных, деятельность по аннотированию (созданию метаданных), аккумулярованию исследовательских данных. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

**История статьи:** поступила в редакцию 05.04.2025; доработана после рецензирования 10.04.2025; принята к публикации 20.04.2025.

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

**Для цитирования:** *Савенкова Е.В., Кашаев К.Р., Цибарева Д.О.* Перспективы участия российских верификаторов в программе Глобального углеродного совета и их роль в обеспечении доверия к климатическим проектам и качеству верификации углеродных единиц // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 3. С. 380–399. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-380-399>

## Prospects for participation of Russian verifiers in the Global Carbon Council program and their role in ensuring trust in climate projects and the quality of verification of carbon units

Elena V. Savenkova  , Karim R. Kashaev, Daria O. Tsibareva 

*RUDN University, Moscow, Russian Federation*

savenkova\_ev@pfur.ru

**Abstract.** The voluntary market of carbon units is the subject of increased attention from Russian business, as a financial tool to attract investments in the creation and implementation of own low-carbon solutions, that ensure in turn the technological independence and environmental safety of our country. The opportunities are not confined to the domestic market: the first domestic companies have already submitted their climate projects for registration in the registry of carbon units of the Global Carbon Council (GCC). Participation in the GCC programme is expected to enable them to license and trade carbon units on the international market. In June 2024, a protocol of intent was signed between the Federal Service for Accreditation of the Russian Federation (RusAccreditation) and the GCC on the sidelines of the St. Petersburg International Economic Forum in the accreditation sector and conformity assessment in the field of validation and verification of greenhouse gas emissions. The article has examined the mechanisms of functioning of the institution of verifiers in the structure of

the GCC program. The prospects for the Russian verifiers to obtain approval in the international carbon trading program the GCC have been identified, including the opportunity to participate in professional discussions held within the organization and the decision-making process on the release of carbon units based on the results of the implementation of climate projects.

**Keywords:** GCC, greenhouse gases, carbon management, environmental safety, ecology of natural resource management, validation, verification, projects

**Authors' contribution.** *E.V. Savenkova* – conceptualization (formulation of ideas, research goals and objectives); methodology (development or design of research methodology, creation of a research model); *K.R. Kashaev, D.O. Tsibareva* – data administration, activities related to annotation (metadata creation), accumulation of research data. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

**Article history:** received 05.04.2025; revised 10.04.2025; accepted 20.04.2025.

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

**For citation:** Savenkova EV, Kashaev KR, Tsibareva DO. Prospects for participation of Russian verifiers in the Global Carbon Council program and their role in ensuring trust in climate projects and the quality of verification of carbon units. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):380–399. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-380-399>

## Введение

В докладе на саммите мировых лидеров по климатическим действиям в рамках 29-й сессии Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP29) Председатель Правительства России Михаил Мишустин отметил, что наша страна выступает за объединение усилий в борьбе с изменениями климата. Одним из приоритетов в реализации глобальной климатической повестки он назвал внедрение практических механизмов реализации международных договоренностей и создание единой системы оценки качества климатических проектов<sup>1</sup>. Как отмечают Г.В. Сафонов, М.Л. Козельцев, А.В. Стеценко и др.: «Регионы и страны мира обладают различным потенциалом для реализации углеродных проектов и программ. Кооперативные стратегии, позволяющие направлять финансовые, технические и иные ресурсы для достижения максимального эффекта (не только углеродного, но социальных и экологических выгод) за счет механизмов международного климатического сотрудничества, могут обеспечить более эффективное и быстрое достижение углеродной нейтральности» [1, с. 56].

Во всем мире растет количество сделок с углеродными единицами, совершаемых на регулируемых и добровольных углеродных рынках [4–7]. При этом углеродные единицы часто путают с сертификатами возобновляемой энергии, например с международными сертификатами возобновляемой энергетики (I-REC). Это похожие инструменты, которые способствуют поддержке

---

<sup>1</sup> Михаил Мишустин принял участие в 29-й сессии Конференции Сторон Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата. URL: <http://government.ru/news/53292/> (дата обращения: 14.02.2025).

возобновляемых источников энергии и снижению выбросов, но суть у них разная (табл. 1). Углеродная единица — это факт, подтверждающий, что в результате реализации некоего проекта были снижены выбросы в атмосферу. Количество снижения этих выбросов документально фиксируется, верифицируется, и владельцу этого проекта выдается соответствующий документ<sup>2</sup>. По мнению Стефано Де Клара, главы секретариата Международного партнерства по борьбе с изменением климата (ICAP) «Торговля квотами на выбросы — это проверенный инструмент политики, который позволяет сократить выбросы быстрее и с меньшими затратами, чем другие варианты»<sup>3</sup>.

**Таблица 1. Различия между углеродными единицами и сертификатами возобновляемой энергии**

| Характеристики   | Углеродные единицы  | Сертификаты возобновляемой энергии  |
|--|---|---|
| Единица измерения  | Метрические тонны CO <sub>2</sub> или эквивалент CO <sub>2</sub>  | Мегаватт-часы (МВт·ч)   |
| Источник   | Проекты, позволяющие избежать или сократить выбросы парниковых газов в атмосферу  | Установки возобновляемой электроэнергии   |
| Цель   | Представлять сокращение выбросов парниковых газов; оказывать поддержку мероприятиям по сокращению выбросов и снижать затраты на смягчение последствий выбросов парниковых газов   | Передавать информацию об использовании возобновляемой электроэнергии; обосновывать заявления об использовании возобновляемой электроэнергии; расширять выбор услуг по электроснабжению для потребителей и поддерживать развитие возобновляемой электроэнергии |
| Корпоративные инвентаризации и отчетность по выбросам парниковых газов | Уменьшить или «компенсировать» выбросы организации категории 1, 2 или 3 в виде чистой корректировки   | Могут снизить валовые рыночные выбросы организации категории 2 от закупленной электроэнергии  |
| Экологические заявления потребителей                                   | Могут утверждать, что сократили или избежали выбросов парниковых газов за пределами своей организации   | Могут заявлять об использовании возобновляемой электроэнергии из источника с низким или нулевым уровнем выбросов  |
| Требования по проверке дополнительно-сти                               | Обязательно. Каждый проект проверяется на дополнительную, чтобы убедиться, что он выходит за рамки обычного бизнеса. Проверка включает в себя юридические/нормативные, финансовые, барьерные, общепринятые и эксплуатационные тесты. Комбинация тестов, которая лучше всего подходит для демонстрации дополнительной, зависит от типа проекта | Не требуется. Дополнительность проекта не требуется для заявления об использовании возобновляемой энергии или для сообщения об использовании энергии с нулевым уровнем выбросов   |

*Источник:* составлено Е.В. Савенковой, К.Р. Кашаевым, Д.О. Цибаревой по: EPA. Green Power Partnership. Offsets and RECs: What's the Difference? URL: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-03/documents/gpp\\_guide\\_recs\\_offsets.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-03/documents/gpp_guide_recs_offsets.pdf) (accessed: 11.03.2025).

<sup>2</sup> Купи себе немного солнца, ветра или атомов. 02.12.2021. URL: <https://strana-rosatom.ru/2021/12/02/kupi-sebe-nemnogo-solnca-vetra-ili-ato/> (дата обращения: 14.02.2025).

<sup>3</sup> Emissions Trading Worldwide: 2024 ICAP Status Report. URL: <https://icapcarbonaction.com/en/publications/emissions-trading-worldwide-2024-icap-status-report> (accessed: 21.02.2025).

Table 1. Differences between carbon units and renewable energy certificates

| Characteristics  | Carbon units  | Renewable Energy Certificates   |
|--|---|---|
| Unit of measurement  | Metric tons of CO <sub>2</sub> or CO <sub>2</sub> -equivalent   | Megawatt hours (MWh)  |
| Source   | Projects that avoid or reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere  | Renewable energy installations  |
| Purpose  | Provide greenhouse gas emission reductions; support emission reduction activities; and reduce the costs of greenhouse gas emission mitigation   | Communicate information about the use of renewable electricity; substantiate claims about the use of renewable electricity; expand the choice of electricity services for consumers; and support the development of renewable electricity |
| Corporate greenhouse gas emissions inventories and reporting | Reduce or “offset” an organization’s Scope 1, 2 or 3 emissions as a net adjustment  | May reduce the organization’s gross market emissions of category 2 from purchased electricity   |
| Environmental Consumer Claims                                | May claim to have reduced or avoided greenhouse gas emissions outside their organization  | Can claim to use renewable electricity from a low or zero emission source   |
| Requirements for verification of additionality               | Required. Each project is tested for additionality to ensure that it is outside the scope of business as usual. The test includes legal/regulatory, financial, hurdle, customary, and operational tests. The combination of tests that is best suited to demonstrate additionality depends on the type of project | Not required. Project additionality is not required to claim renewable energy use or to report zero-emission energy use   |

Source: compiled by E.V. Savenkova, K.R. Kashaev, D.O. Tsibareva: EPA. *Green Power Partnership. Offsets and RECs: What’s the Difference?* Available from: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-03/documents/gpp\\_guide\\_recs\\_offsets.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-03/documents/gpp_guide_recs_offsets.pdf) (accessed: 11.03.2025).

Регулируемый углеродный рынок работает по принципу «сверху вниз». Как отмечают эксперты, обратный подход «снизу вверх» характерен для добровольного рынка углеродных единиц, где сами эмитенты стремятся сократить свой углеродный след в целях выполнения корпоративных обязательств по снижению воздействия на климат, улучшения имиджа компании, повышения инвестиционной привлекательности, получения премий в отношении углеродно-нейтральной продукции либо подготовки к будущему зачету углеродных единиц при введении регуляторных инструментов по контролю эмиссий. Прогнозируемый рост оборотов углеродных рынков составит от 100 млрд долл. США к 2030 г. до 550 млрд долл. США к 2050 г.<sup>4</sup> По данным Всемирного банка, около 90 % погашений углеродных кредитов во всем мире в 2023 г. относятся к добровольным целям по сравнению с около 10 % углеродных кредитов, погашаемых в целях соблюдения обязательств в рамках регулируемого углеродного рынка и снижения углеродного налога<sup>5</sup>. Таким образом, добровольный рынок углеродных единиц является наиболее

<sup>4</sup> Добровольный углеродный рынок: понятие, примеры и потенциал. URL: <https://qazaqgreen.com/journal-qazaqgreen/analytics/874/> (дата обращения: 04.03.2025).

<sup>5</sup> Отчет AIFC «Системы торговли выбросами и добровольный углеродный рынок: глобальный обзор и перспективы для Казахстана». URL: <file:///C:/Users/LebedevaAV/Downloads/cistemy-torgovli-vybrosami-i-dobrovolnyj-uglerodnyj-rynok-globalnyj-obzor-i-perspektivy-dlya-kazahstana.pdf> (дата обращения: 18.04.2025).

привлекательным финансовым механизмом компенсации неизбежных выбросов парниковых газов, позволяющим его участникам из различных стран размещать свои климатические проекты, выпускать углеродные единицы и/или осуществлять сделки с ними, не ограничиваясь особенностями систем регионального регулирования.

Россия принимает последовательные взвешенные шаги по формированию целостной системы привлечения инвестиций в устойчивое развитие, что придает российскому бизнесу необходимый импульс к реализации климатических проектов. Безусловно, обеспечить реальную вовлеченность компаний в мероприятия по достижению углеродной нейтральности призваны механизмы экономического характера, обеспечивающие прямую зависимость между эффективностью предпринятых действий и монетизацией результатов. Так, за двухлетний период существования российского реестра углеродных единиц в нем зарегистрированы 50 климатических проектов с потенциалом выпуска более 88 млн углеродных единиц<sup>6</sup>. В национальной системе углеродных офсетов регистрации климатических проектов и выпуску углеродных единиц предшествуют процедуры валидации проектов и верификации их результатов, выполняемые организациями, имеющими аккредитацию в соответствующей области. По оценке Минэкономразвития России, координирующего вопросы развития инвестиционной деятельности и привлечения внебюджетных средств в проекты устойчивого развития, созданная инфраструктура вполне готова для развития международной торговли. Более того, в интервью партнеру Kept Игорю Коротецкому Глава ведомства Максим Решетников сообщил об уже состоявшейся первой успешной сделке с зарубежными партнерами из ОАЭ по продаже углеродных единиц из российского реестра<sup>7</sup>.

Вместе с тем интерес инвесторов не ограничивается установленным законодательством Российской Федерации об ограничении выбросов парниковых газов правом юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и физических лиц на реализацию климатических проектов и выпуск углеродных единиц на национальный рынок<sup>8</sup>, а распространяется на возможность самостоятельного проведения сделок на зарубежных рынках. В данном аспекте отдельное внимание обращает на себя тот факт, что целевой сценарий Стратегии низкоуглеродного развития нашей страны разработан исходя из предпосылок достижения странами – членами Парижского соглашения

<sup>6</sup> Реестр углеродных единиц. URL: <https://carbonreg.ru/ru/> (дата обращения: 04.03.2025).

<sup>7</sup> «Мы исходим из того, что бизнес у нас в стране работает осознанно, с пониманием ответственности». Интервью Министра экономического развития России Максима Решетникова медиапорталу // Kept. 12.11.2024. URL: <https://mustread.kept.ru/interviews/my-ishhodim-iz-togo-chto-biznes-u-nas-v-strane-rabotaet-osoznanno-s-ponimaniem-otvetstvennosti/> (дата обращения: 04.03.2025).

<sup>8</sup> Федеральный закон от 02.07.2021 № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» // Президент России : официальный сайт. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47013> (дата обращения: 04.03.2025).

договоренностей по обеспечению соответствия систем верификации результатов климатических проектов международным стандартам, а также унификации правил выпуска и соответствие международным стандартам углеродных единиц от добровольных климатических проектов и других единиц сокращения выбросов парниковых газов<sup>9</sup>. Соответственно, именно гармонизация методологий, лежащих в основе функционирования различных добровольных углеродных рынков, призвана обеспечить возможность осуществления сделок с углеродными единицами на уровне компаний.

**Цель исследования** – оценить возможности выполнения российскими органами по валидации и верификации парниковых газов требований к верификаторам добровольного углеродного рынка Глобального углеродного совета (GCC) и перспективы их участия в процедуре обеспечения доверия к углеродным единицам, выпускаемым в Реестре GCC.

## Материалы и методы

В качестве источников в рамках данного исследования применялись международные соглашения, международные стандарты (ISO), документы Международного форума по аккредитации (IAF), нормативные правовые акты в области аккредитации в национальной системе аккредитации, а также документы GCC<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» // Законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации. URL: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-29102021-n-3052-r-ob-utverzhenii/?ysclid=mcckveldv0822186467> (дата обращения: 04.03.2025).

<sup>10</sup> Парижское соглашение, принятое 12 декабря 2015 г. 21-й сессией Конференции Сторон Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. URL: <https://www.un.org/ru/climatechange/paris-agreement?ysclid=mcnhks6ya7683801548> (accessed: 04.03.2025); Меморандум о взаимопонимании между Росаккредитацией и Международным форумом по аккредитации (Memorandum of Understanding between the Federal Service for Accreditation and the International Accreditation Forum, Inc.). URL: <https://fsa.gov.ru/documents/11093/?ysclid=mcnhi1f0is985082439> (accessed: 04.03.2025); APAC MRA-002 “APAC Mutual Recognition Arrangement”. URL: <https://fsa.gov.ru/infrastructure/mezhdunarodnoe-priznanie/sotrudnichestvo-s-mezhdunarodnymi-organizatsiyami/> (accessed: 04.03.2025); ISO/IEC 17029:2019. Conformity assessment – General principles and requirements for validation and verification bodies. URL: <https://www.iso.org/standard/29352.html> (accessed: 04.03.2025); ISO 14065:2020. General principles and requirements for bodies validating and verifying environmental information. URL: <https://www.iso.org/standard/74257.html> (accessed: 04.03.2025); ISO 14064-3:2019. Greenhouse gases – Part 3: Specification with guidance for the verification and validation of greenhouse gas statements. URL: <https://www.iso.org/standard/66455.html> (accessed: 04.03.2025); ISO 14066:2023. Environmental information – Competence requirements for teams validating and verifying environmental information. URL: <https://www.iso.org/standard/82544.html> (accessed: 04.03.2025); ISO 14064-2:2019. Greenhouse gases – Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements. URL: <https://www.iso.org/standard/66454.html> (accessed: 04.03.2025); ISO 14064-1:2018. Greenhouse gases – Part 1: Specification with guidance

На фоне прогнозируемых положительных последствий для Российской Федерации в случае начала функционирования мирового рынка квот на выбросы парниковых газов [2] особую привлекательность для российских компаний приобретает международная площадка GCC, представляющая собой независимый механизм, позволяющий выпускать и торговать углеродными единицами, образовавшимися в результате реализации климатических проектов, на международном рынке. Это первая глобальная добровольная программа компенсации выбросов парниковых газов, базирующаяся в странах Глобального Юга, созданная по инициативе Организации по исследованиям и развитию стран Персидского залива (GORD) в 2016 г.<sup>11</sup>

Программа GCC уверенно закрепились на международном рынке благодаря запуску собственного реестра, а также соответствию выпускаемых углеродных единиц требованиям Программы углеродных квот Сингапура, Международной организации гражданской авиации ООН (ИКАО) в рамках Схемы компенсации и сокращения выбросов углерода в международной авиации (CORSIA) и Международного альянса по сокращению выбросов углерода и компенсации (ICROA).

По данным GCC, более 930 проектов из 29 стран проходят оценку для включения в Программу GCC (табл. 2). Особое доверие и спрос на участие в программе отмечаются в Индии, Турции, Бразилии и Вьетнаме. Россия

---

at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. URL: <https://www.iso.org/standard/66453.html> (accessed: 04.03.2025); IAF MD 6:2023. Обязательный документ IAF для применения стандарта ISO 14065:2020 (Официальный перевод). URL: <https://fsa.gov.ru/documents/14444/?ysclid=mbjchtnvkm689318263> (accessed: 04.03.2025); IAF MD 14:2023. Обязательный документ IAF по применению стандарта ISO/IEC 17011 для валидации и верификации парниковых газов (ISO 14065:2013) (технический перевод). URL: <https://fsa.gov.ru/documents/14118/?ysclid=mbjciwfd0a977044788> (дата обращения: 04.03.2025); Федеральный закон от 28.12.2013 № 412-ФЗ (ред. от 24.07.2023) Об аккредитации в национальной системе аккредитации (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024). URL: <https://base.garant.ru/70552684/?ysclid=mcnixtey5r733863780> (дата обращения: 04.03.2025); Приказ Министерства экономического развития РФ от 26 октября 2020 г. № 707 (ред. от 23.01.2023) Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации (Зарегистрировано в Минюсте России 16.11.2020 № 60907). URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=456476&ysclid=mcnj643qq1378944934> (дата обращения: 04.03.2025); СМ № 03.1-1.0020. Руководство по проведению оценки соответствия органов по валидации и верификации парниковых газов критериям аккредитации (утв. Росаккредитацией 26.12.2024). URL: <https://fsa.gov.ru/documents/21868/?ysclid=mcnjhlp5ag716913812> (дата обращения: 04.03.2025); СМ № 03.1-9.0002. Схема аккредитации органов по валидации и верификации парниковых газов в национальной системе аккредитации (утв. Росаккредитацией 11.07.2024). URL: <https://fsa.gov.ru/documents/15063/?ysclid=mcnk46psu0574132416> (дата обращения: 04.03.2025); Procedure for Approval of GCC. URL: <https://www.globalcarboncouncil.com/wp-content/uploads/2024/02/procedure-for-approval-of-gcc-verifiers-v3.pdf> (accessed: 14.02.2025); GCC Verification Standard. URL: <https://www.globalcarboncouncil.com/wp-content/uploads/2024/02/verification-standard-v3.1.pdf> (accessed: 14.02.2025).

<sup>11</sup> GCC: The First Carbon Credit Program of the Global South. URL: <https://globalcarboncouncil.com/about/who-we-are/> (accessed: 14.02.2025).

представлена двумя проектами, находящимися на различных этапах рассмотрения.

Таблица 2. Страны, представившие проекты для участия в Программе GCC

| Страна      | Количество проектов | Страна                        | Количество проектов |
|-------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|
| Афганистан  | 1                   | Либерия                       | 1                   |
| Аргентина   | 2                   | Намибия                       | 1                   |
| Азербайджан | 2                   | Непал                         | 3                   |
| Беларусь    | 4                   | Пакистан                      | 15                  |
| Бразилия    | 52                  | Палестина                     | 1                   |
| Чили        | 3                   | Перу                          | 2                   |
| Китай       | 91                  | Катар                         | 2                   |
| Египет      | 7                   | Российская Федерация          | 2                   |
| Венгрия     | 2                   | Саудовская Аравия             | 1                   |
| Индия       | 422                 | Таиланд                       | 9                   |
| Индонезия   | 3                   | Турция                        | 256                 |
| Иордания    | 5                   | Украина                       | 1                   |
| Казахстан   | 2                   | Объединенные Арабские Эмираты | 4                   |
| Кения       | 2                   | Вьетнам                       | 38                  |
| Лаос        | 7                   |                               |                     |

Источник: сформировано Е.В. Савенковой, К.Р. Кашаевым, Д.О. Цибаревой по результатам анализа сведений, размещенных на портале проектов GCC. URL: [https://projects.globalcarboncouncil.com/pages/submitted\\_projects](https://projects.globalcarboncouncil.com/pages/submitted_projects) (accessed: 11.03.2025).

Table 2. Countries that submitted projects for participation in the GCC Program

| Country     | Number of projects | Country              | Number of projects |
|-------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| Afghanistan | 1                  | Liberia              | 1                  |
| Argentina   | 2                  | Namibia              | 1                  |
| Azerbaijan  | 2                  | Nepal                | 3                  |
| Belarus     | 4                  | Pakistan             | 15                 |
| Brazil      | 52                 | Palestine            | 1                  |
| Chile       | 3                  | Peru                 | 2                  |
| China       | 91                 | Qatar                | 2                  |
| Egypt       | 7                  | Russian Federation   | 2                  |
| Hungary     | 2                  | Saudi Arabia         | 1                  |
| India       | 422                | Thailand             | 9                  |
| Indonesia   | 3                  | Turkey               | 256                |
| Jordan      | 5                  | Ukraine              | 1                  |
| Kazakhstan  | 2                  | United Arab Emirates | 4                  |
| Kenya       | 2                  | Vietnam              | 38                 |
| Laos        | 7                  |                      |                    |

Source: compiled by E.V. Savenkova, K.R. Kashaev, D.O. Tsibareva based on the results of the analysis of information posted on the GCC projects portal. Available from: [https://projects.globalcarboncouncil.com/pages/submitted\\_projects](https://projects.globalcarboncouncil.com/pages/submitted_projects) (accessed: 11.03.2025).

Механизм обеспечения признания углеродных единиц лежит в принятых GCC основополагающих подходах к объединению региональных знаний и передового мирового опыта в собственные стандарты и методологию, способствующие повышению доверия и целостности глобального углеродного рынка.

В программе GCC реализована многоступенчатая система проверок, благодаря чему в реестре GCC регистрируются высококачественные проекты со всего мира, которые продемонстрировали свою эффективность в сокращении

или увеличении поглощения выбросов парниковых газов, при этом гарантируя, что их реализация не наносит вреда окружающей среде и обществу. В частности, все поступающие заявки на регистрацию проектов и отчеты о мониторинге подлежат экспертной оценке, выполненной компетентной независимой стороной, результаты которой имеют решающее значение для выпуска одобренных углеродных единиц. В свою очередь собственная техническая команда GCC проводит тщательную проверку полноты представленных проектов, контролирует работу верификаторов и составляет предварительные рекомендации, которые выносятся на рассмотрение руководящими органами GCC.

### Результаты и обсуждение

Процедура верификации выполняется в соответствии со «стандартом верификации» и является обязательным условием на трех важнейших этапах цикла климатического проекта GCC: при регистрации и после регистрации проекта, а также при выпуске одобренных углеродных единиц. Исходя из этого можно сделать вывод, что верификация является ключевым фактором для обеспечения надежности данных по углеродным единицам, выпущенных GCC.

Верификатор GCC – это независимая организация (орган по верификации), в установленном порядке получившая одобрение программой GCC для предоставления услуг по верификации климатических проектов, представленных или зарегистрированных в GCC. В настоящее время команда верификаторов GCC насчитывает 19 организаций (табл. 3), представляющих 8 стран мира (рис. 1). При этом более 57 % от общего числа одобренных GCC верификаторов приходится на Индию. Полагаем, что такая высокая представленность в GCC обусловлена ранее отмеченным авторами высоким спросом предприятий Индии на регистрацию проектов и выпуск углеродных единиц.

Таблица 3. Перечень верификаторов, одобренных Глобальным советом по выбросам углерода с указанием их компетенций

| №  | Верификатор                                   | Компетенции по секторам   |
|----|---|---|
| 1. | Carbon Check (India) Private Limited (CC IPL) | Не работает в следующих секторальных областях: 6. Строительство; 11. Неорганизованное выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 12. Использование растворителей   |
| 2. | KBS Certification Services Private Limited    | Не работает в следующих секторальных областях: 6. Строительство; 11. Неорганизованное выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы  |
| 3. | EPIC Sustainability Services Private Limited  | Добровольно вышла из программы. Услуга верификации предоставляется в течение льготного периода до 20 августа 2025 г. Не может заключать новые контракты, но может подавать заявки на регистрацию и выпуск. После 20 августа 2025 г. не может отправлять заявки. Работает во всех секторальных областях                            |
| 4. | Earthood Services Private Limited             | Не работает в следующих секторальных областях: 2. Распределение энергии; 8. Добыча полезных ископаемых; 11. Неорганизованное выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 12. Использование растворителей; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях |

Продолжение табл. 3

| №   | Верификатор  | Компетенции по секторам  |
|-----|--|--|
| 5.  | 4K Earth Science Private Limited                           | Не работает в следующих секторальных областях: 4. Обрабатывающая промышленность; 7. Транспорт; 8. Добыча полезных ископаемых; 9. Металлургическая промышленность; 10. Неорганизованные выбросы при использовании топлива (твердого, нефти и газа); 11. Неорганизованные выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях  |
| 6.  | Verico SCE   | Не работает в следующих секторальных областях: 8. Добыча полезных ископаемых; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях  |
| 7.  | CTI Certification Co., Ltd                                 | Не работает в следующих секторальных областях: 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях   |
| 8.  | Re Carbon Gözetim Denetim Ve Belgelendirme Limited Şirketi | Не работает в следующих секторальных областях: 3. Энергопотребление; 4. Обрабатывающая промышленность; 5. Химическая промышленность; 6. Строительство; 7. Транспорт; 8. Добыча полезных ископаемых; 9. Металлургическая промышленность; 10. Неорганизованные выбросы при использовании топлива (твердого, нефти и газа); 11. Неорганизованные выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 12. Использование растворителей; 14. Обезлесение и лесовосстановление; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях                         |
| 9.  | LGAI Technological Center S.A.                             | Не работает в следующих секторальных областях: 2. Распределение электрической энергии; 4. Обрабатывающая промышленность; 5. Химическая промышленность; 6. Строительство; 7. Транспорт; 8. Добыча полезных ископаемых; 9. Metallургия; 10. Неорганизованные выбросы при использовании топлива (твердого, нефти и газа); 11. Неорганизованные выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 12. Использование растворителей; 14. Обезлесение и лесовосстановление; 15. Сельское хозяйство; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях   |
| 10. | TUV SUD South Asia Private Limited                         | Не работает в следующих секторальных областях: 1. Энергия (возобновляемая/невозобновляемая); 6. Строительство; 8. Добыча полезных ископаемых; 9. Металлургическая промышленность; 11. Неорганизованные выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 12. Использование растворителей; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях  |
| 11. | Bureau Veritas India Private Limited                       | Не работает в следующих секторальных областях: 6. Строительство; 11. Неорганизованные выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях  |
| 12. | Enviance Services Private Limited                          | Не работает в следующих секторальных областях: 2. Распределение электрической энергии; 4. Обрабатывающая промышленность; 5. Химическая промышленность; 6. Строительство; 7. Транспорт; 8. Добыча полезных ископаемых; 9. Металлургическая промышленность; 10. Неорганизованные выбросы при использовании топлива (твердого, нефти и газа); 11. Неорганизованные выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 12. Использование растворителей; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях   |
| 13. | Petroltecnica Environmental Services LLC                   | Не работает в следующих секторальных областях: 3. Энергопотребление; 4. Обрабатывающая промышленность; 5. Химическая промышленность; 6. Строительство; 7. Транспорт; 8. Добыча полезных ископаемых; 9. Металлургическая промышленность; 10. Неорганизованные выбросы при использовании топлива (твердого, нефти и газа); 11. Неорганизованные выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 12. Использование растворителей; 14. Обезлесение и лесовосстановление; 15. Сельское хозяйство; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях |

Окончание табл. 3

| №   | Верификатор  | Компетенции по секторам  |
|-----|--|--|
| 14. | DNV Business Assurance India Private Limited         | Не работает в следующих секторальных областях: 4. Обрабатывающая промышленность; 5. Химическая промышленность; 8. Добыча полезных ископаемых; 11. Неорганизованные выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 12. Использование растворителей; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях  |
| 15. | Global Sustainability Solutions and Services QFZ LLC | Не работает в следующих секторальных областях: 4. Обрабатывающая промышленность; 5. Химическая промышленность; 6. Строительство; 7. Транспорт; 8. Добыча полезных ископаемых; 9. Metallургическая промышленность; 10. Неорганизованные выбросы при использовании топлива (твердого, нефти и газа); 11. Неорганизованные выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 12. Использование растворителей; 14. Обезлесение и лесовосстановление; 15. Сельское хозяйство; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях   |
| 16. | EcoLance Private Limited                             | Не работает в следующих секторальных областях: 2. Распределение электрической энергии; 4. Обрабатывающая промышленность; 5. Химическая промышленность; 6. Строительство; 7. Транспорт; 8. Добыча полезных ископаемых; 9. Metallургическая промышленность; 10. Неорганизованные выбросы при использовании топлива (твердого, нефти и газа); 11. Неорганизованные выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 12. Использование растворителей; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях   |
| 17. | Verifit S.A.S  | Не работает в следующих секторальных областях: 2. Распределение электрической энергии; 3. Энергопотребление; 4. Обрабатывающая промышленность; 5. Химическая промышленность; 6. Строительство; 7. Транспорт; 8. Добыча полезных ископаемых; 9. Metallургическая промышленность; 10. Неорганизованные выбросы при использовании топлива (твердого, нефти и газа); 11. Неорганизованные выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 12. Использование растворителей; 15. Сельское хозяйство; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях   |
| 18. | SustainCERT SA                                       | Не работает в следующих секторальных областях: 2. Распределение электрической энергии; 4. Обрабатывающая промышленность; 5. Химическая промышленность; 6. Строительство; 7. Транспорт; 8. Добыча полезных ископаемых; 9. Metallургическая промышленность; 10. Неорганизованные выбросы при использовании топлива (твердого, нефти и газа); 11. Неорганизованные выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 12. Использование растворителей; 13. Обращение с отходами и их утилизация; 14. Обезлесение и лесовосстановление; 15. Сельское хозяйство; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях |
| 19. | BMNS Services Private Limited (BMNS)                 | Не работает в следующих секторальных областях: 7. Транспорт; 8. Добыча полезных ископаемых; 11. Неорганизованные выбросы в результате производства и потребления галогенуглеродов и гексафторида серы; 12. Использование растворителей; 16. Улавливание углерода и хранение CO <sub>2</sub> в геологических формациях  |

*Источник:* сформировано Е.В. Савенковой, К.Р. Кашаевым, Д.О. Цибаревой по результатам анализа сведений, размещенных на портале GCC Verifiers-Global Carbon Council-Stakeholders. URL: <https://www.globalcarboncouncil.com/for-stakeholders/verifiers/#application-for-approval-as-a-gcc-verifier> (accessed: 11.03.2025).

Table 3. List of verifiers approved by the Global Carbon Council, with their competencies

| №  | Verifier                                     | Sectoral Competencies   |
|----|--|---|
| 1. | Carbon Check (India) Private Limited (CCIPL) | Does not operate in the following sectoral areas: 6. Construction; 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulfur hexafluoride; 12. Solvent use |

Continuation of the Table 3

| №   | Verifier   | Sectoral Competencies  |
|-----|--|--|
| 2.  | KBS Certification Services Private Limited                 | Does not operate in the following sectoral areas: 6. Construction; 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulfur hexafluoride   |
| 3.  | EPIC Sustainability Services Private Limited               | Voluntarily withdrew from the program. Verification service is provided during the grace period until August 20, 2025. Cannot enter into new contracts, but can submit applications for registration and issuance. Cannot submit applications after August 20, 2025.<br>Operates in all sectoral areas   |
| 4.  | Earthood Services Private Limited                          | Does not operate in the following sectoral areas: 2. Energy distribution; 8. Mining and quarrying; 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride; 12. Solvent use; 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations   |
| 5.  | 4K Earth Science Private Limited                           | Does not operate in the following sectoral areas: 4. Manufacturing; 7. Transport; 8. Mining; 9. Metallurgy; 10. Fugitive emissions from fuel use (solid, oil and gas); 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride; 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations  |
| 6.  | Verico SCE   | Does not operate in the following sectoral areas: 8. Mining and quarrying; 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations  |
| 7.  | CTI Certification Co., Ltd                                 | Does not operate in the following sectoral areas: 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations   |
| 8.  | Re Carbon Gözetim Denetim Ve Belgelendirme Limited Şirketi | Does not operate in the following sectoral areas: 3. Energy consumption; 4. Manufacturing; 5. Chemical industry; 6. Construction; 7. Transport; 8. Mining; 9. Metallurgy; 10. Fugitive emissions from fuel use (solid, oil and gas); 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride; 12. Solvent use; 14. Deforestation and reforestation; 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations  |
| 9.  | LGAI Technological Center S.A.                             | Does not operate in the following sectoral areas: 2. Electricity distribution; 4. Manufacturing; 5. Chemical industry; 6. Construction; 7. Transport; 8. Mining; 9. Metallurgy; 10. Fugitive emissions from fuel use (solid, oil and gas); 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride; 12. Solvent use; 14. Deforestation and reforestation; 15. Agriculture; Carbon capture and CO <sub>2</sub> storage in geological formations; 16. Carbon capture and CO <sub>2</sub> storage in geological formations |
| 10. | TUV SUD South Asia Private Limited                         | Does not operate in the following sectoral areas: 1. Energy (renewable/non-renewable); 6. Construction; 8. Mining; 9. Metals and metallurgy; 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride; 12. Solvent use; 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations   |
| 11. | Bureau Veritas India Private Limited                       | Does not operate in the following sectoral areas: 6. Construction; 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride; 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations.   |
| 12. | Enviance Services Private Limited                          | Does not operate in the following sectoral areas: 2. Electricity distribution; 4. Manufacturing; 5. Chemical industry; 6. Construction; 7. Transport; 8. Mining; 9. Metallurgy; 10. Fugitive emissions from fuel use (solid, oil and gas); 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride; 12. Solvent use; 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations   |
| 13. | Petroltecnica Environmental Services LLC                   | Does not operate in the following sectoral areas: 3. Energy consumption; 4. Manufacturing; 5. Chemical industry; 6. Construction; 7. Transport; 8. Mining; 9. Metallurgy; 10. Fugitive emissions from fuel use (solid, oil and gas); 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride; 12. Solvent use; 14. Deforestation and reforestation; 15. Agriculture; 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations   |
| 14. | DNV Business Assurance India Private Limited               | Does not operate in the following sectoral areas: 4. Manufacturing; 5. Chemicals; 8. Mining; 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride; 12. Solvent use; 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations   |

Ending of the Table 3

| №   | Verifier   | Sectoral Competencies   |
|-----|--|---|
| 15. | Global Sustainability Solutions and Services QFZ LLC | Does not operate in the following sectoral areas: 4. Manufacturing; 5. Chemical industry; 6. Construction; 7. Transport; 8. Mining; 9. Metallurgy; 10. Fugitive emissions from fuel use (solid, oil and gas); 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride; 12. Solvent use; 14. Deforestation and reforestation; 15. Agriculture; 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations   |
| 16. | EcoLance Private Limited                             | Does not operate in the following sectoral areas: 2. Electricity distribution; 4. Manufacturing; 5. Chemical industry; 6. Construction; 7. Transport; 8. Mining; 9. Metallurgy; 10. Fugitive emissions from fuel use (solid, oil and gas); 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride; 12. Solvent use; 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations  |
| 17. | Verifit S.A.S  | Does not operate in the following sectoral areas: 2. Electricity distribution; 3. Energy consumption; 4. Manufacturing; 5. Chemical industry; 6. Construction; 7. Transport; 8. Mining; 9. Metallurgy; 10. Fugitive emissions from fuel use (solid, oil and gas); 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride; 12. Solvent use; 15. Agriculture; 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations  |
| 18. | SustainCERT SA                                       | Does not operate in the following sectoral areas: 2. Electricity distribution; 4. Manufacturing; 5. Chemical industry; 6. Construction; 7. Transport; 8. Mining; 9. Metallurgy; 10. Fugitive emissions from fuel use (solid, oil and gas); 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride; 12. Solvent use; 13. Waste management and disposal; 14. Deforestation and reforestation; 15. Agriculture; 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations |
| 19. | BMNS Services Private Limited (BMNS)                 | Does not operate in the following sectoral areas: 7. Transport; 8. Mining and quarrying; 11. Fugitive emissions from production and consumption of halocarbons and sulphur hexafluoride; 12. Solvent use; 16. Carbon capture and storage of CO <sub>2</sub> in geological formations  |

Source: formed by E.V. Savenkova, K.R. Kashaev, D.O. Tsibareva based on the results of the analysis of information posted on the GCC Verifiers-Global Carbon Council-Stakeholders portal. Available from: <https://www.globalcarboncouncil.com/for-stakeholders/verifiers/#application-for-approval-as-a-gcc-verifier> (accessed: 11.03.2025).

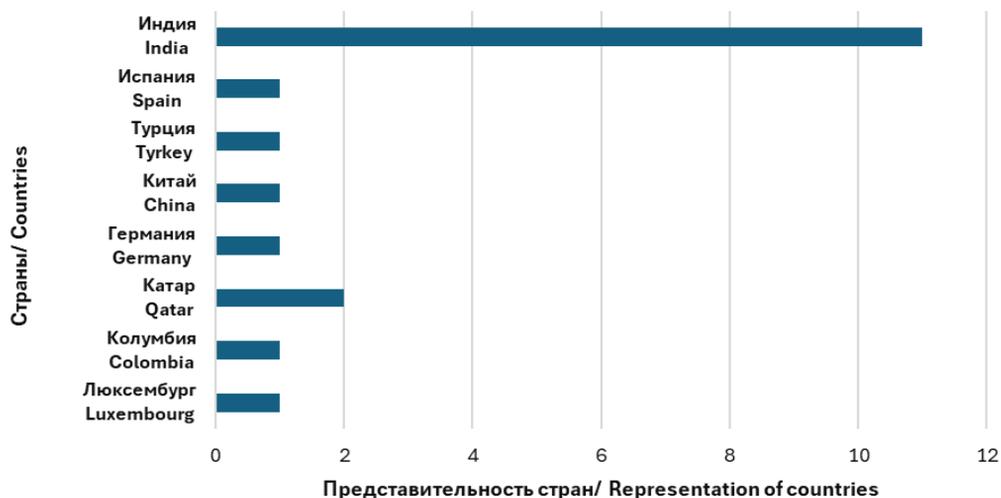


Рис. 1. Представленность стран в команде верификаторов GCC

Источник: составлено Е.В. Савенковой, К.Р. Кашаевым, Д.О. Цибаревой.

Figure 1. Representation of countries in the GCC verification team

Source: compiled by E.V. Savenkova, K.R. Kashaev, D.O. Tsibareva.

Доверие к результатам верификации обеспечивается соответствующей процедурой одобрения, предусматривающей возможность вступления верификаторов в Программу GCC тремя способами (рис. 2).



Рис. 2. Механизмы одобрения верификаторов Глобальным советом по выбросам углерода  
 Источник: составлено Е.В. Савенковой, К.Р. Кашаевым, Д.О. Цибаревой по: GCC 2.0 Program Framework V4.0-202. URL: <https://www.globalcarboncouncil.com/how-gcc-works/gcc-2-0/#gcc-program-framework> (accessed: 11.03.2025).

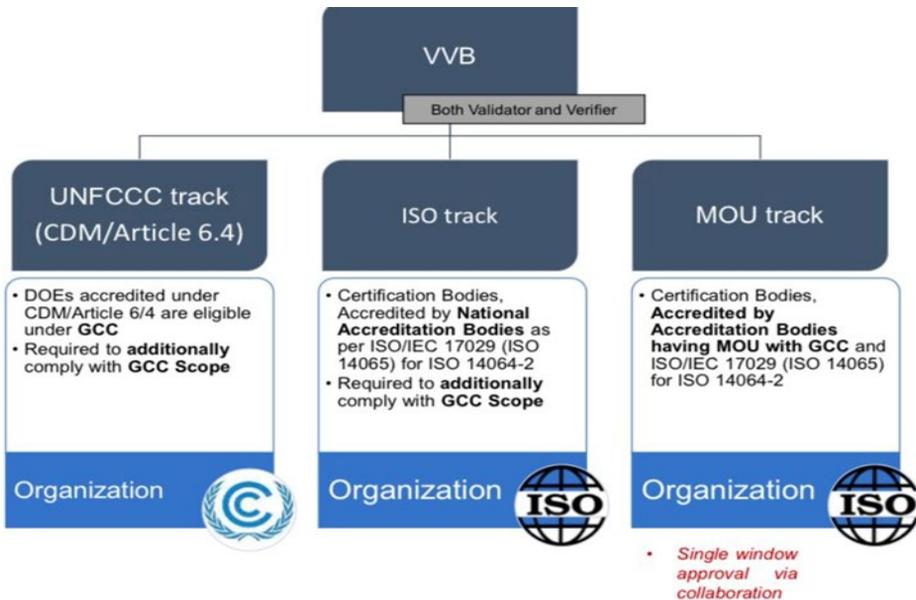


Figure 2. Mechanisms for approval of verifiers by the Global Carbon Council

Source: compiled by E.V. Savenkova, K.R. Kashaev, D.O. Tsibareva: GCC 2.0 Program Framework V4.0-202. Available from: <https://www.globalcarboncouncil.com/how-gcc-works/gcc-2-0/#gcc-program-framework> (accessed: 11.03.2025).

Первый способ получения одобрения ГСС основан на решениях Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИКООН) в части Механизма чистого развития (МЧР), являющегося самым востребованным из трех механизмов Киотского протокола по числу реализованных климатических проектов [3], и пункта 4 статьи 6 Парижского соглашения (статья 6.4). Таким путем в Программе ГСС могут получать одобрение организации-заявители, являющиеся независимыми организациями, уполномоченными на оценку соответствия проектов МЧР требованиям, установленным Исполнительным советом МЧР в рамках Киотского протокола, и статье 6.4 для валидации или верификации в рамках конкретных секторов деятельности, связанных с выбросами парниковых газов.

Следующий способ получения одобрения верификаторов ГСС базируется на международной системе взаимного признания органов по аккредитации. Стать верификатором ГСС, воспользовавшись этим треком, могут органы по оценке соответствия, аккредитованные национальными или международными органами по аккредитации, соответствующими требованиям международного стандарта ISO/IEC 17011<sup>12</sup>, на соответствие требованиям ISO/IEC 17029<sup>13</sup> и ISO 14065<sup>14</sup> для проведения валидации и верификации парниковых газов по ISO 14064-2<sup>15</sup> и ISO 14064-3<sup>16</sup>. Рекомендуются, чтобы упомянутые национальные или международные органы по аккредитации являлись членами Международного форума по аккредитации (IAF), таких региональных форумов, как Европейское объединение по аккредитации (EA), Азиатско-Тихоокеанское объединение по аккредитации (APAC) и Межамериканское объединение по аккредитации (IAAC), а также подписантами Многостороннего соглашения о признании IAF (MLA)<sup>17</sup>. При этом важность приобретает и тот факт, что в рамках IAF MLA не только органы по аккредитации – члены IAF, но и аккредитованные ими органы по валидации и верификации парниковых газов принимают на себя обязательства по соблюдению требований соответствующих международных стандартов и обязательных

<sup>12</sup> ISO/IEC 17011. Conformity assessment – Requirements for accreditation bodies accrediting conformity assessment bodies. URL: [https://www.iasonline.org/wp-content/uploads/2018/11/ISO\\_IEC\\_17011\\_2017en.pdf](https://www.iasonline.org/wp-content/uploads/2018/11/ISO_IEC_17011_2017en.pdf) (accessed: 11.03.2025).

<sup>13</sup> ISO/IEC 17029:2019. Conformity assessment – General principles and requirements for validation and verification bodies. URL: <https://www.iso.org/standard/29352.html> (accessed: 11.03.2025).

<sup>14</sup> ISO 14065:2020. General principles and requirements for bodies validating and verifying environmental information. URL: <https://www.iso.org/standard/74257.html> (accessed: 11.03.2025).

<sup>15</sup> ISO 14064-2:2019. Greenhouse gases – Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements. URL: <https://www.iso.org/standard/66454.html> (accessed: 11.03.2025).

<sup>16</sup> ISO 14064-3:2019. Greenhouse gases – Part 3: Specification with guidance for the verification and validation of greenhouse gas statements. URL: <https://www.iso.org/standard/66455.html> (accessed: 11.03.2025).

<sup>17</sup> Аккредитации, проведенные подписантами IAF MLA, являются признанными во всем мире на основе их аналогичных программ по аккредитации.

документов IAF, обеспечивающих согласованное применение таких стандартов.

Третий способ предусматривает подачу заявлений на одобрение GCC организациями-заявителями, не имеющими аккредитации ни одним из вышеперечисленных способов. Для этого необходимо обратиться за аккредитацией в национальный орган по аккредитации, подписавший с GCC Меморандум о взаимопонимании (MOU). В данном случае решающим условием является соответствие органа по аккредитации определенной совокупности требований, в частности по наличию:

- членства в IAF и соответствующих региональных форумах с областью международного признания IAF MLA, включающей соответствие требованиям международного стандарта ISO/IEC 17011 для аккредитации органов по валидации и верификации парниковых газов на международные стандарты ISO/IEC 17029, ISO 14065, ISO 14064-2 и ISO 14064-3;

- подписанного MOU, обеспечивающего проведение паритетной оценки.

В список органов по аккредитации, заключивших Меморандум о взаимопонимании (MOU) с GCC<sup>18</sup>, включен только орган по аккредитации Катара – Глобальные бюро аккредитации (GAB).

Росаккредитация, являясь национальным органом Российской Федерации по аккредитации, в 2024 г. подписала с GCC протокол о намерениях в сфере аккредитации и оценки соответствия в области валидации и верификации выбросов парниковых газов. В дальнейшем Росаккредитация планирует выполнить необходимые условия и получить международное признание APAC в области валидации и верификации парниковых газов, обеспечивающее возможность проведения паритетной оценки Росаккредитации со стороны GCC и подписания соответствующего Меморандума о взаимопонимании (MOU)<sup>19</sup>.

Участие в Программе GCC открывает для российских компаний выход на международный добровольный углеродный рынок, предусматривающий обеспечение доверия к качеству климатических проектов и, как следствие, достоверности выпускаемых углеродных единиц в формате верификации. Динамика роста числа верификаторов, пропорционального количеству представляемых на регистрацию климатических проектов на примере Индии, показывает целесообразность инициирования процесса встраивания российских органов по оценке соответствия в механизм верификации GCC в качестве полноправных его участников. Решающую роль при этом несомненно играет полное соответствие созданной Росаккредитацией отечественной

<sup>18</sup> Global Carbon Council. URL: <https://www.globalcarboncouncil.com/for-stakeholders/verifiers/#accreditation-bodies-mou-track> (accessed: 11.03.2025).

<sup>19</sup> Росаккредитация и Глобальный углеродный совет договорились о сотрудничестве. URL: <https://fsa.gov.ru/press-center/news/21443/?ysclid=m8iocvtz9y102236231> (дата обращения: 14.02.2025).

инфраструктуры органов по валидации и верификации парниковых газов требованиям международных стандартов и обязательных документов IAF. Анализ областей аккредитации российских органов по валидации и верификации парниковых газов, размещенных в Реестре аккредитованных лиц<sup>20</sup>, демонстрирует наличие в национальной системе аккредитации верификаторов, соответствующих требованиям, предъявляемым к организациям, заявляющимся на одобрение в качестве верификаторов GCC вторым из описанных выше способов. При этом важно отметить идентичность подхода Росаккредитации и GCC к описанию областей аккредитации/одобрения с указанием секторов, определенных обязательным документом IAF MD 14:2023, что позволяет единообразно трактовать направления и объем подтверждаемых компетенций. Унификация требований позволяет судить об отсутствии технических барьеров для выхода российских органов по валидации и верификации парниковых газов на добровольный углеродный рынок GCC.

Планируемая процедура подписания Росаккредитацией и GCC Меморандума о взаимопонимании (MOU), бесспорно, создаст благоприятные условия для наращивания потенциала российских верификаторов GCC путем привлечения в команду новых членов, получивших одобрение GCC непосредственно через обращение в Росаккредитацию. Такие перспективы обеспечат условия для увеличения числа российских верификаторов как в случае увеличения числа отечественных климатических проектов, направляемых на регистрацию в Программе GCC, так и в случае роста доверия к компетентности наших оценщиков за рубежом.

## Заключение

Результаты исследования демонстрируют отсутствие каких-либо технических барьеров для получения органами по валидации и верификации парниковых газов, аккредитованными в национальной системе аккредитации, соответствующего одобрения для работы в Программе GCC. Принимая во внимание заявительный характер процедуры получения статуса верификаторов GCC, отсутствие в их числе российских аккредитованных лиц может быть обусловлено незаинтересованностью и/или неинформированностью последних. При этом пул российских верификаторов не только имеет достаточный потенциал для работы на международном добровольном углеродном рынке в текущей ситуации, но и демонстрирует тенденции к устойчивому росту в ближайшем будущем. Вопросы экономической безопасности и позиции России на мировой климатической арене занимают важное место в современной низкоуглеродной повестке, поэтому особое внимание должно быть уделено обеспечению технологического суверенитета, направленного на создание условий для разработки и внедрения отечественных наукоемких технологий, обеспечивающих сокращение и/или поглощение парниковых газов.

<sup>20</sup> Реестр аккредитованных лиц. URL: <https://pub.fsa.gov.ru/ral> (accessed: 11.03.2025).

Подтвержденная эффективность применения таких высокотехнологических решений открывает компаниям возможности для монетизации достигнутых успехов не только на уровне экономики страны, но и в глобальном контексте. Следующим шагом на современном этапе может стать расширение стратегической цели от включения бизнеса в международную систему торговли квотами на выбросы парниковых газов до создания собственного российского сегмента в команде верификаторов GCC.

### Список литературы

- [1] Сафонов Г.В., Козельцев М.Л., Стеценко А.В., Дорина А.Л., Сафонова Ю.А., Семакина А.А., Сизонов А.Г., Сафонов М.Г. Перспективы декарбонизации мировой экономики в контексте реализации Парижского климатического соглашения ООН // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. 2022. Т. 17, № 4. С. 38–61. <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2022-04-02> EDN: XOJSBX
- [2] Makeev Ю.А. Торговля квотами на выбросы парниковых газов в КНР и создания глобального рынка углеродных квот // Вестник ИВ РАН. 2021. № 3. С. 67–74. <https://doi.org/10.31696/2618-7302-2021-3-67-74> EDN: YLCHSF
- [3] Гершинкова Д.А. Нерешенные вопросы статьи 6 Парижского соглашения – возможен ли компромисс в Глазго? // Вестник международных организаций. 2021. Т. 16. № 3. С. 69–84. <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2021-03-03> EDN: QRFPTT
- [4] Angelsen A., Gierløff C. W., Beltrán A.M., Den Elzen M. REDD credits in a global carbon market: options and impacts // Nordic Council of Ministers. 2014. <http://dx.doi.org/10.6027/TN2014-541>
- [5] Theeyattuparampil V.V., Zarzour O.A., Koukouzas N., Vidican G., Al-Saleh Y., Katsimparidi I. Carbon capture and storage: state of play, challenges and opportunities for the GCC countries // International Journal of Energy Sector Management. 2013. Vol. 7, no. 2. P. 223–242. <http://dx.doi.org/10.1108/IJESM-04-2013-0010>
- [6] Shapland G. Climate change and the GCC: economic and environmental impact // GCC Hydrocarbon Economies and COVID : old trends, new realities. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. P. 173–200. [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-19-5462-7\\_8](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-19-5462-7_8)
- [7] Postic S., Fetet M. Global carbon account in 2020 // IC4E Institute for Climate Economics. 2020. URL: <https://www.i4ce.org/publications-2> (accessed: 11.03.2025).

### References

- [1] Safonov G, Kozeltsev M, Stetsenko A, Dorina A, Saphonova Yu, Semakina A, Sizonov A, Safonov M. Perspectives of Decarbonization of World Economy in the Context of Implementation of the UN Paris Climate Agreement. *International Organisations Research Journal*. 2022;17(4):38–61. <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2022-04-02> EDN: XOJSBX
- [2] Makeev YuA. China’s greenhouse gas emissions trading and prospects for creating a global carbon market. *Bulletin of the Institute of Oriental Studies of the Russian Academy of Sciences*. 2021. No. 3. P. 67–74. <https://doi.org/10.31696/2618-7302-2021-3-67-74> EDN: YLCHSF
- [3] Gershinkova DA. Unresolved issues of Article 6 of the Paris Agreement – is a compromise possible in Glasgow? *International Organisations Research Journal*. 2021;16(3)69–84. <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2021-03-03> EDN: QRFPTT

- [4] Angelsen A, Gierløff CW, Beltrán AM, Den Elzen M. REDD credits in a global carbon market: options and impacts. *Nordic Council of Ministers*. 2014. <http://dx.doi.org/10.6027/TN2014-541>
- [5] Theeyattuparampil VV, Zarzour OA, Koukouzias N, Vidican G, Al-Saleh Y, Katsimpardi I. Carbon capture and storage: state of play, challenges and opportunities for the GCC countries. *International Journal of Energy Sector Management*. 2013;7(2):223–242. <http://dx.doi.org/10.1108/IJESM-04-2013-0010>
- [6] Shapland G. Climate change and the GCC: economic and environmental impact. In: *GCC Hydrocarbon Economies and COVID: old trends, new realities*. Singapore: Springer Nature Singapore; 2023. p. 173–200. [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-19-5462-7\\_8](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-19-5462-7_8)
- [7] Postic S, Fetet M. Global carbon account in 2020. *IC4E Institute for Climate Economics*. 2020. Available from: <https://www.i4ce.org/publications-2> (accessed: 11.03.2025).

### **Сведения об авторах:**

*Савенкова Елена Викторовна*, доктор экономических наук, профессор, директор института экологии, руководитель органа по валидации и верификации парниковых газов, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-3978-0871; eLIBRARY SPIN-код: 9083-6539; Scopus AuthorID: 57190004814. E-mail: [savenkova\\_ev@pfur.ru](mailto:savenkova_ev@pfur.ru)

*Кашаев Карим Робертович*, студент, специальность 05.03.06 Экология и природопользование, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: [KashaevKR@fsa.gov.ru](mailto:KashaevKR@fsa.gov.ru)

*Цибарева Дарья Олеговна*, студент, специальность 05.03.06 «Экология и природопользование», Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: [tsibareva\\_do@pfur.ru](mailto:tsibareva_do@pfur.ru)

### **Bio notes:**

*Elena V. Savenkova*, Doctor of Economic Sciences, Professor, Director of the Institute of Environmental Engineering, Head of the Body for Greenhouse Gas Validation and Verification, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-3978-0871; eLIBRARY SPIN-code: 9083-6539; Scopus AuthorID: 57190004814. E-mail: [savenkova\\_ev@pfur.ru](mailto:savenkova_ev@pfur.ru)

*Karim R. Kashaev*, student, specialty 05.03.06 Ecology and Nature Management, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: [KashaevKR@fsa.gov.ru](mailto:KashaevKR@fsa.gov.ru)

*Daria O. Tsibareva*, student, specialty 05.03.06 Ecology and Nature Management, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: [tsibareva\\_do@pfur.ru](mailto:tsibareva_do@pfur.ru)