



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

2023 Том 31 № 4

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4

<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 и Международного института стратегического развития отраслевых экономик, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

## Заместители главного редактора

*Харченко Сергей Григорьевич*, доктор физико-математических наук, действительный член Российской академии естественных наук, Академии военных наук, Российской экологической академии, Нью-Йоркской академии наук, Международного общества по анализу риска, главный научный сотрудник института экологии, профессор кафедры математических методов в экономике, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

*Редина Маргарита Михайловна*, доктор экономических наук, профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

## Ответственный секретарь редколлегии

*Ледаццева Татьяна Николаевна*, кандидат физико-математических наук, доцент департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

## Члены редакционной коллегии

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

*Валеева Наиля Гарифовна*, кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой иностранных языков, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

*Ванг Дели*, профессор, декан школы наук об окружающей среде, Северо-Восточный педагогический университет, Чанчунь, Китай

*Джан Шупинь*, доктор наук, профессор, Шаньдунский университет, Цзинань, Китай

*Калабин Геннадий Александрович*, доктор химических наук, профессор, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

*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, Россия

*Савин Игорь Юрьевич*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, заместитель директора Почвенного института имени В.В. Докучаева, Российская академия наук, профессор департамента рационального природопользования, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

*Садьков Владислав Александрович*, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией катализаторов глубокого окисления, Институт катализа имени Г.К. Борескова, Сибирское отделение Российской академии наук, отдел гетерогенного катализа, Новосибирск, Россия

*Сосунова Ирина Александровна*, доктор социологических наук, профессор, вице-президент Российского общества социологов, Москва, Россия

*Хаустов Александр Петрович*, доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

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

# 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, радиоэкология и радиационный контроль, оценка состояния окружающей среды и экологическое образование. К рассмотрению принимаются материалы по результатам оригинальных научных исследований представителей высших учебных заведений и научных центров России и зарубежных стран.

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

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

**Редактор И.Л. Панкратова**

**Редактор англоязычных текстов М.А. Руднева**

**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 19.12.2023. Выход в свет 29.12.2023. Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times New Roman».

Тираж 500 экз. Заказ № 1610. 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) 955-08-74; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

© Российский университет дружбы народов, 2023



## RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

2023 VOLUME 31 No. 4

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4

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

Founded in 1993

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

### Editor-in-Chief

*Elena V. Savenkova*, Doctor of Economic Sciences, Professor, Director of the Institute of Environmental Engineering and International Institute for Strategic Development of Sectoral Economics, RUDN University, Moscow, Russia

### Deputy Editors-in-Chief

*Sergey G. Kharchenko*, D.Sc. (Ecology, Biophysics), full member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Academy of Military Sciences, the Russian Environmental Academy, the New York Academy of Sciences, the International Society for Risk Analysis, chief scientist of the Institute of Environmental Engineering, Professor of the Department of Mathematical Methods in Economics, RUDN University, Moscow, Russia

*Margarita M. Redina*, D.Sc. (Econ.), Professor of the Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, Moscow, Russia

### Executive Secretary

*Tatyana N. Ledashcheva*, Ph.D., Associate Professor of the Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, Moscow, Russia

### Editorial Board

*Valerio Agnesi*, Ph.D., Professor, Director of the Italian-Russian Ecological University, University of Palermo, Palermo, Italy

*Gennadiy A. Kalabin*, D.Sc. (Chemistry), Professor, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, Moscow, Russia

*Aleksandr P. Khaustov*, D.Sc. (Geology), Professor, Professor of the Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, Moscow, Russia

*Gennadiy S. Rozenberg*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Chief Scientist of the Institute of Ecology of Volga River Basin, Samara Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Tolyatti, Russia

*Vladislav A. Sadykov*, Prof., D.Sc. (Chemistry), Head of the Laboratory of Deep Oxidation Catalysts, Boreskov Institute of Catalysis, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

*Igor Yu. Savin*, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of System Ecology, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, Moscow, Russia

*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, Russia

*Irina A. Sosunova*, Doctor of Social Sciences, Professor, Vice-President of the Russian Society of Sociologists, Moscow, Russia

*Nailya G. Valeeva*, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Foreign Languages, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, Moscow, Russia

*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

**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** *M.A. Rudneva*  
**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) 955-08-74; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭКОЛОГИЯ

- Березкин В.Ю., Баранчуков В.С., Колмыкова Л.И., Кулиева Г.А., Багаутдинова А.С., Топильская Ю.В. Йод в почвах, укосах трав пастбищ и местных продуктах питания некоторых областей России, пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС..... 419
- Грищенко М.Ю., Мурман А.С., Тамаровский И.Е., Терехова Д.А., Сатосина Е.М., Шелуха В.В., Авчян А.С., Ушаков Н.В. Комплексные полевые обследования на Тятинском участке заповедника «Курильский», остров Кунашир, Курильские острова..... 435
- Лежнев Д.В., Куликова Д.Д., Полякова Г.А. Восстановительная динамика сосновых фитоценозов на вырубках в надпойменных террасах реки Москвы..... 447

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

- Ратникова О.Н., Навоша Ю.Ю., Агейчик И.В. Оценка состояния торфяников Могилевской области..... 468
- Герцен М.М., Гольшева А.Н., Переломов Л.В. Стабилизация нефтяных и масляных эмульсий биоорганическими композициями на основе гуминовых кислот..... 476
- Миронова М.Н., Неведомская А.О., Сотникова В.В., Массарова А.Р. Экологическая ситуация в городах Европы в 2013–2023 гг.: переход к зеленой экономике..... 494

### ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Новикова С.А. Зонирование города Шелехова Иркутской агломерации на основе оценки акустического загрязнения..... 510
- Березкин В.Ю., Глебов В.В., Каюкова Е.П. Причины низкого содержания йода в почвенном покрове и водах питьевого назначения второй гряды Горного Крыма..... 521
- Новикова С.А. Оценка влияния выбросов автомобильного транспорта на геоэкологическое состояние почв и растительности городов Иркутской агломерации ..... 533

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

- Калинина Е.В., Рудакова Л.В. Влияние фитопланктона на качество воды поверхностных водных источников и питьевой воды ..... 544
- Тимофеева С.С., Тюкалова О.В., Тимофеев С.С. Оценка воздействия антибиотиков на ростовые реакции высших растений – потенциальных фиторемедиантов ..... 556
- Zambrano-Gary C.C., Sergeeva Yu.D., Terekhova V.A., Kirichuk A.A. Biosafety evaluation for some remediants and their effectiveness in detoxication peaty soils with heavy metals (Самбрано-Гари С.К., Сергеева Ю.Д., Терехова В.А., Киричук А.А. Оценка биобезопасности некоторых ремедиантов и их эффективности при детоксикации торфяных почв тяжелыми металлами)..... 572

### ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Катин В.Д., Журавлев А.А. Авторские инновационные технические решения в области экологии и безопасности жизнедеятельности для применения в топливосжигающих и золоулавливающих устройствах..... 583
- Волкова В.Н., Шевцов М.Н. Минимизация осадков, образующихся при эксплуатации очистных сооружений..... 593
- Зоммер Т.В., Симонян В.В., Морозов А.Г. Эколого-технологическая эффективность инновационного угольно-водоугольного кластера ЖКХ..... 607

## CONTENTS

### ECOLOGY

- Berezkin V.Yu., Baranchukov V.S., Kolmykova L.I., Kulieva G.A., Bagautdinova A.S., Topilskaya Yu.V.** Iodine in soils, pasture vegetation cuttings, and local food products of certain regions of Russia affected by the Chernobyl nuclear power plant accident ..... 419
- Grishchenko M.Yu., Murman A.S., Tamarovskiy I.E., Terekhova D.A., Satosina E.M., Shelukho V.V., Avchyan A.S., Ushakov N.V.** Complex field survey of the Tyatinskiy part of the “Kurilskiy” state nature reserve, Kunashir island, Kuril islands..... 435
- Lezhnev D.V., Kulikova D.D., Polyakova G.A.** Restorative dynamics of pine phytocenoses in clearcut areas in the floodplain terraces of the Moscow River..... 447

### ENVIRONMENTAL MONITORING

- Ratnikova O.N., Navosha Yu.Yu., Ageichik I.V.** Assessment of the disturbance of peat bogs of the Mogilev region..... 468
- Gertsen M.M., Golysheva A.N., Perelomov L.V.** Stabilization of petroleum and oil emulsions by bioorganic compositions based on humic acids..... 476
- Mironova M.N., Nevedomskaya A.O., Sotnikova V.V., Massarova A.R.** Ecological situation in European cities in 2013–2023: transition to green economy..... 494

### GEOECOLOGY

- Novikova S.A.** Zoning of the city of Shelekhov, Irkutsk agglomeration, based on the assessment of acoustic pollution..... 510
- Berezkin V.Yu., Glebov V.V., Kayukova E.P.** The factors of the low iodine concentration in soil cover and drinking waters of the second ridge of the Mountain Crimea..... 521
- Novikova S.A.** Assessment of the impact of vehicle emissions on the geoecological state of soils and vegetation in the cities of the Irkutsk agglomeration..... 533

### BIOLOGICAL RESOURCES

- Kalinina E.V., Rudakova L.V.** Influence of phytoplankton on the water quality of surface water sources and drinking water..... 544
- Timofeeva S.S., Tyukalova O.V., Timofeev S.S.** Evaluation of the effect of antibiotics on the growth reactions of higher plants – potential phytoremediants..... 556
- Zambrano-Gary C.C., Sergeeva Yu.D., Terekhova V.A., Kirichuk A.A.** Biosafety evaluation for some remediant and their effectiveness in detoxication peaty soils with heavy metals..... 572

### INDUSTRIAL ECOLOGY

- Katin V.D., Zhuravlev A.A.** Author’s innovative technical solutions in the field of ecology and life safety for use in fuel-burning and ash-collecting devices..... 583
- Volkova V.N., Shevtsov M.N.** Minimization of residues generated during the operation of treatment facilities..... 593
- Zommer T.V., Simonyan V.V., Morozov A.G.** Ecological and technological efficiency of the innovative coal-watercoal cluster of housing and communal services..... 607

## ЭКОЛОГИЯ

## ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-419-434

EDN: QOBCFE

УДК 504

Научная статья / Research article

**Йод в почвах, укосах трав пастбищ и местных продуктах питания некоторых областей России, пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС****В.Ю. Березкин<sup>1,2</sup>  , В.С. Баранчуков<sup>1</sup> , Л.И. Колмыкова<sup>1</sup> ,  
Г.А. Кулиева<sup>2</sup> , А.С. Багаутдинова<sup>2</sup> , Ю.В. Топильская<sup>2</sup> **<sup>1</sup>*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского  
Российской академии наук (ГЕОХИ РАН), Москва, Российская Федерация*<sup>2</sup>*Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация  
victor76@list.ru*

**Аннотация.** Природный дефицит йода, в некоторых регионах России, провоцирующий заболевания щитовидной железы, усугубляет последствия поступления в пищевые цепи короткоживущих радиоактивных изотопов этого элемента вследствие аварии на Чернобыльской АЭС (1986). Цель работы – оценка риска заболеваемости населения Калужской, Брянской и Орловской областей раком щитовидной железы на уровне отдельных населенных пунктов на основе экспериментальных данных. Исследовано содержание йода в почвах и укосах трав пастбищ – геохимически контрастных ландшафтов, а также в молоке коров и клубнях картофеля личных подсобных хозяйств в пострадавших при аварии на ЧАЭС 1986 г. областях: Брянской (2021 г.), Орловской (2022 г.) и Калужской (2023 г.). Совместные экспедиции лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН и департамента экологии человека и биоэлементологии института экологии РУДН им. Патриса Лумумбы, проведенные по инициативе и при участии авторов, выявили значительное варьирование концентрации йода в почвах и продуктах питания, что может иметь решающее значение при оценке риска распространения заболеваний щитовидной железы, в том числе рака среди местного сельского населения. Установлено, что содержание йода варьировало в широких пределах как в верхних слоях почв (0,31–3,04 мг/кг), так и в укосах трав (0,14–0,29 мг/кг) исследуемой территории.

© Березкин В.Ю., Баранчуков В.С., Колмыкова Л.И., Кулиева Г.А.,  
Багаутдинова А.С., Топильская Ю.В., 2023



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

Наибольший природно-техногенный риск заболеваемости сельского населения раком щитовидной железы в результате последствий аварии на ЧАЭС характерен для обследованных населенных пунктов Жиздринского района Калужской области, Болховского, Дмитровского и Свердловского района Орловской области, Рогнединского района Брянской области.

**Ключевые слова:** йод, почвы пастбищ, Брянская область, Орловская область, Калужская область, заболевание щитовидной железы, сельскохозяйственная продукция, радионуклиды

**Благодарности и финансирование.** Работа выполнена по государственному заданию лаборатории биохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН, при участии специалистов института экологии РУДН им. Патриса Лумумбы, поддержанных НИР № 202726-0-000 «Радиационная безопасность пищевых продуктов растительного и животного происхождения».

**Вклад авторов:** В.Ю. Березкин – общая организация работы, полевые экспедиционные исследования в Орловской области и Брянской области, измерение йода в почвах, укосах трав и продуктах питания; В.С. Баранчуков – полевые экспедиционные исследования в Орловской области и Брянской области, работа с данными, статистическая и картографическая обработка материалов, подготовка графиков и таблиц для статьи; Л.И. Колмыкова – полевые экспедиционные исследования Орловской области и Брянской области, измерение йода; Г.А. Кулиева – организация работ и полевые исследования в Калужской области (май 2023 г.), отбор проб и измерение радиоактивности; А.С. Багаутдинова – полевые экспедиционные исследования, отбор проб в Калужской области; Ю.В. Топильская – полевые экспедиционные исследования, отбор проб в Калужской области.

**История статьи:** поступила в редакцию 18.04.2023; доработана после рецензирования 15.09.2023; принята к публикации 10.10.2023.

**Для цитирования:** Березкин В.Ю., Баранчуков В.С., Колмыкова Л.И., Кулиева Г.А., Багаутдинова А.С., Топильская Ю.В. Йод в почвах, укосах трав пастбищ и местных продуктах питания некоторых областей России, пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 419–434. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-419-434>

## Iodine in soils, pasture vegetation cuttings, and local food products of certain regions of Russia affected by the Chernobyl nuclear power plant accident

Victor Yu. Berezkin<sup>1,2</sup>  , Vladimir S. Baranchukov<sup>1</sup> ,  
Lyudmila I. Kolmykova<sup>1</sup> , Gulnara A. Kulieva<sup>2</sup> ,  
Alexandra S. Bagautdinova<sup>2</sup> , Yulia V. Topilskaya<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry  
of Russian Academy of Sciences (GEOKHI RAS), Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>RUDN University, Moscow, Russian Federation

victor76@list.ru

**Abstract.** Natural iodine deficiency, which in some regions of Russia provokes thyroid diseases, increases the consequences of the entry of short-lived radioactive isotopes of this element into the food chain as a result of the Chernobyl accident (1986). The aim of the work

is to assess the risk of morbidity of the population of the Kaluga, Bryansk and Oryol regions with thyroid cancer at the level of individual settlements based on experimental data. The iodine content in soils and vegetation cuttings of pastures in geochemically contrasting landscapes, as well as in cows' milk and potatoes of private household farms in the regions affected by the Chernobyl accident in 1986: Bryansk (2021), Oryol (2022) and Kaluga (2023) regions was studied. Joint expeditions of the Laboratory of Environmental Biogeochemistry of GEOKHI RAS and the Department of Human Ecology and Bioelementology of the Institute of Ecology of RUDN, carried out on the initiative and with the participation of the authors, revealed a significant variation of iodine concentration in soils and food products, which may be crucial for assessing the risk of thyroid diseases, including thyroid cancer, among the local rural population. The iodine content was found to be highly variable in both topsoil (0.31–3.04 mg/kg) and grass cuttings (0.14–0.29 mg/kg) of the study area. The maximum natural and technogenic risk of thyroid cancer morbidity in the rural population as a result of the consequences of the Chernobyl accident of 1986 is specific for the studied settlements of Zhizdrinsky district of Kaluga region, Bolkhovsky, Dmitrovsky and Sverdlovsky districts of Oryol region, Rognedinsky district of Bryansk region.

**Keywords:** iodine, pasture soils, Bryansk Region, Oryol Region, Kaluga Region, thyroid diseases, agricultural products, radionuclides

**Acknowledgements and Funding.** The work was carried out under the state order of the Laboratory of Environmental Biogeochemistry of the Geochemical Institute of the Russian Academy of Sciences, with the participation of specialists from the Institute of Ecology of the Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, supported by Research No. 202726-0-000 "Radiation safety of food products of plant and chicken origin".

**Authors' contributions:** *V.Yu. Berezkin* – general organization of work, field expeditionary research in the Oryol region and Bryansk region, measurement of iodine in soils, grass cuttings and food products; *V.S. Baranchukov* – field expeditionary research in the Oryol region and Bryansk region, work with data, statistical and cartographic processing of materials, preparation of graphs and tables for the article; *L.I. Kolmykova* – field expeditionary research in the Oryol region and Bryansk region, iodine measurement; *G.A. Kulieva* – organization of work and field research in the Kaluga region (May 2023), sampling and measurement of radioactivity; *A.S. Bagautdinova* – expeditionary field research, sampling in the Kaluga region; *Yu.V. Topilskaya* – expeditionary field research, sampling in the Kaluga region.

**Article history:** received 18.04.2023; revised 15.09.2023; accepted 10.10.2023

**For citation:** Berezkin VYu, Baranchukov VS, Kolmykova LI, Kulieva GA, Bagautdinova AS, Topilskaya YuV. Iodine in soils, pasture vegetation cuttings, and local food products of certain regions of Russia affected by the Chernobyl nuclear power plant accident. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):419–434. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-419-434>

## Введение

Йододефицит, по данным ВОЗ, – одна из глобальных медико-социальных проблем современного общества, наряду с инфекционными заболеваниями, загрязнением воздуха, изменением климата и др. По разным оценкам, от 1,5 до 2 миллиардов человек живут в условиях йодного дефицита, что часто является скрытой причиной многих заболеваний. При этом содержание йода в окружающей среде зависит от географического положения (удаленности от океанов), рельефа местности (равнины или горы), горных пород

(карбонатных и бескарбонатных), почв (органическое вещество, гумусовые кислоты, засоление). Источниками йода в организме человека, безусловно, являются пищевые продукты, в том числе местного происхождения (трофическая цепь, замкнутая на почвы), а в меньшей степени – питьевые воды и атмосферный воздух.

Недостаток йода в окружающей среде и, как следствие, его недостаточное поступление в организм человека провоцируют возникновение йододефицитных заболеваний у людей и сельскохозяйственных животных (в том числе гипотиреоза, узловых новообразований щитовидной железы, необратимых нарушений мозга у плода и новорожденного), приводят к умственной и физической утомляемости, снижению иммунитета, развитию эндемичного зоба [1–3]. На развитие йододефицитных заболеваний, безусловно, влияют и другие факторы, такие как недостаток в почвах Se, Co, Cu, Mn, но роль йода все же является определяющей [4; 5].

Природный йододефицит в некоторых регионах усугубил проблемы, вызванные поступлением в пищевые цепи короткоживущих радиоактивных изотопов этого элемента вследствие аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) в 1986 г. На территории Российской Федерации радиоактивному загрязнению в результате аварии ЧАЭС подверглись 16 областей, а наибольшие уровни загрязнения зафиксированы в Брянской, Тульской, Орловской и Калужской областях. При этом почвы этих областей до настоящего времени активно используются в сельском хозяйстве [6; 7].

Медицинское обследование различных групп местного населения в пострадавших регионах России после аварии выявило выраженный рост заболеваемости раком щитовидной железы, в том числе среди детей, что могло быть связано с сочетанным воздействием выпадения радиоизотопа  $^{131}\text{I}$  и с природным дефицитом стабильного йода в этих районах [7–12].

Дефицит или избыток йода наиболее выражено проявляется в сельской местности, что связано с особенностями структуры питания сельских жителей, большая часть диеты которых состоит из продуктов питания, выращивается на приусадебных участках и личных подсобных хозяйствах (ЛПХ). При одном и том же уровне так называемого «йодного удара» (выпадения короткоживущих изотопов йода) на фоне йододефицита в некоторых районах исследуемых областей население могло пострадать сильнее, чем в районах с более высоким содержанием стабильного йода в окружающей среде вследствие более активного поступления радиоизотопов йода в испытывающую дефицит стабильного йода щитовидную железу.

Целью исследований была оценка суммарного природно-техногенного риска заболеваемости населения Калужской, Брянской и Орловской областей раком щитовидной железы на уровне отдельных населенных пунктов на основе экспериментальных данных.

## Методы и материалы

Полевые исследования проводились в летний период 2021–2023 гг. вблизи населенных пунктов (рис. 1). В каждом населенном пункте (НП) выбирались тестовые площадки на пастбищах с учетом рельефа: автономные (суходолы) и сопряженные с ними подчиненные (мезогидрофитные и гидрофитные луга).

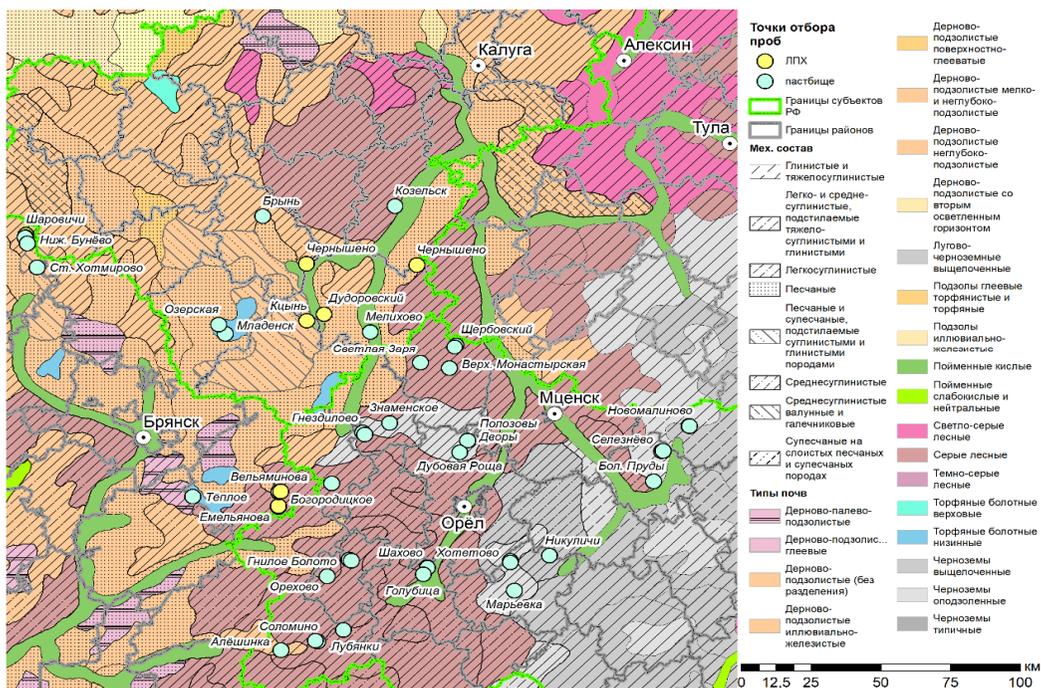
В ходе обследования тестовых площадок осуществлялись:

1) измерение плотности загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  с помощью переносной гамма-спектрометрической установки Violinist III (TSA Systems Ltd., США), оснащенной сцинтилляционным детектором типа SPA-3 с кристаллом NaI(Tl);

2) определение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения дозиметрами MIRA-661 (Genitron Instruments GmbH, Германия) и RadiaCode-101 (ООО «Скан Электроникс», Россия) со сцинтилляционным детектором с кристаллом CsI(Tl);

3) отбор секатором на высоте 2 см от поверхности почвы средней пробы луговых трав с площадки  $20 \times 20$  см либо  $40 \times 40$  см (в зависимости от однородности и плотности фитомассы);

4) отбор образцов почв ручным буром из верхнего слоя мощностью 20 см, послойно: в интервале глубин 0–5; 5–10 и 10–20 см на пастбищах и 0–10; 10–20 см на личных подсобных хозяйствах (ЛПХ).



**Рис. 1. Карта фактического материала**

Источник: собственные полевые данные, наложенные на почвенную карту Восточно-Европейской равнины (фрагмент) масштаб 1:200000 /

**Figure 1. Map of the actual material**

Source: own field data superimposed on the soil map of the East European plain (fragment) scale 1:200000.

Молоко коров отбирали в личных подсобных хозяйствах, из предоставленной хозяевами коров емкости в пластиковый флакон объемом 50 мл (под крышку). Ежедневно флаконы с молоком замораживались в морозильной камере. Транспортировка всех отобранных проб молока для последующего анализа осуществлялась в специальной сумке-«холодильнике». По прибытии пробы помещались в морозильную камеру. Клубни картофеля отбирались или непосредственно с картофельного поля, сопряженно с почвенным керном, или, при отсутствии такой возможности, – в личных подсобных хозяйствах из предоставленных хозяевами запасов.

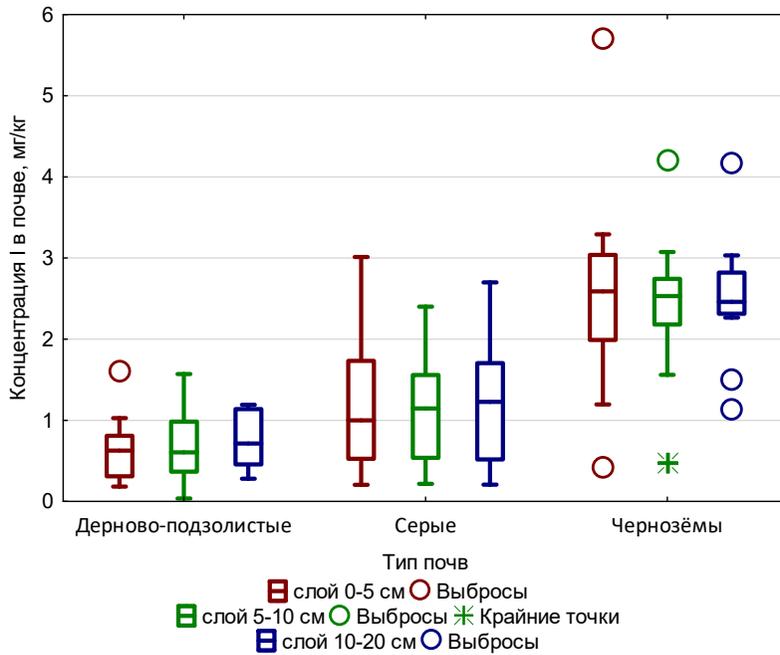
Содержание йода в почвах, растениях (измельченных укусах трав), молоке и клубнях картофеля определялось кинетическим роданидно-нитритным методом [13] в лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН (Москва). Молоко перед измерением йода подвергалось разморозке, клубни очищали от перидермы и измельчали для гомогенизации пробы. Клубни, молоко и укусы трав проходили перед измерением единую стандартную пробоподготовку для растений и пищевых продуктов [13].

Статистическую обработку результатов проводили в программных комплексах Microsoft Excel и TIBCO STATISTICA 13.3. Всего было обследовано 45 индивидуальных точек отбора почв, характеризующих различные типы пастбищных почв (дерново-подзолистые, серые, черноземы и др. (названия почв даны по классификации почв России, 2004 г. [14]) вблизи 38 населенных пунктов. Полученные результаты заносились в базу данных, интегрированную в геоинформационную среду «Брянск-Йод», созданную на базе ArcGIS 10.8.1.

## Результаты

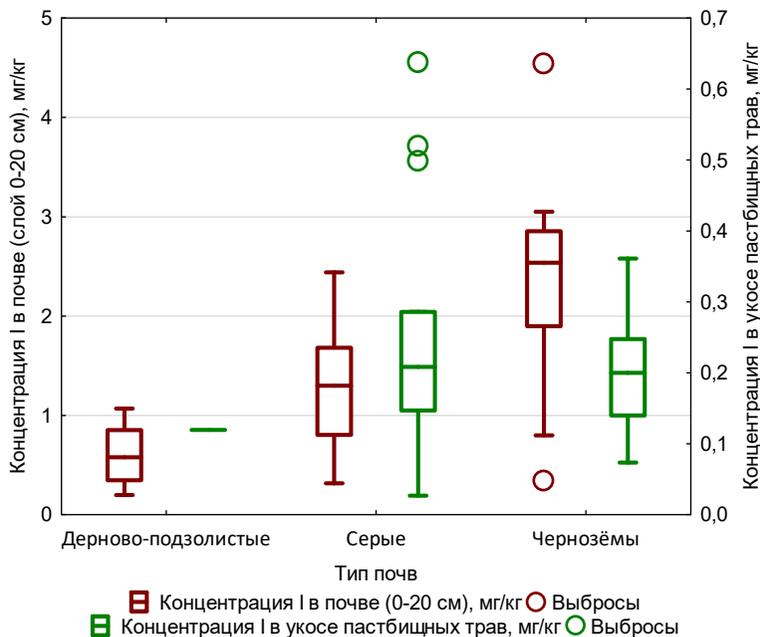
Установлено, что содержание йода в верхнем слое почвы (0–5 см) исследуемой территории варьирует в широких пределах (дерново-подзолистые 0,31–0,81 мг/кг,  $n = 10$ , серые 0,53–1,73 мг/кг,  $n = 18$ , черноземы 1,99–3,04 мг/кг,  $n = 13$ ). Для более глубоких слоев (5–10 см, 10–20 см) наблюдалась схожая картина с меньшим размахом варьирования, за исключением дерново-подзолистых почв (рис. 2). При этом выявлено убывание медианных значений концентрации йода с глубиной для черноземов, в то время как для дерново-подзолистых и серых почв его содержание максимально в нижнем отобранном слое (10–20 см).

По-видимому, выявленное распределение может быть связано с ролью органического вещества почв в фиксации йода. В более бедном органическим веществом верхнем горизонте серых и дерново-подзолистых почв происходит потеря йода из верхних слоев, в то время как в черноземах он образует прочное соединение с гумусовыми кислотами, оставаясь при этом доступным для растений.



**Рис. 2. Показатели варьирования содержания йода в верхних слоях разных типов почв пастбищ / Figure 2. Indicators of variation of iodine content in the upper layers of different types of pasture soils**

Содержание йода в пастбищной растительности также варьировало в широких пределах от 0,14 мг/кг до 0,29 мг/кг на воздушно-сухой вес (рис. 3).



**Рис. 3. Показатели варьирования содержания йода в почвах и укосах трав пастбищ / Figure 3. Indicators of variation of iodine content in soils and grass mowing pastures**

Обращает на себя внимание более высокое содержание йода в укосах трав с отдельных пастбищ на серых почвах в сравнении с укосами с более плодородных черноземов. По-видимому, для этих точек опробования большое значение имеет избирательное накопление микроэлементов, в том числе и йода, отдельными растительными ассоциациями (преобладание бобовых) (см. рис. 4).

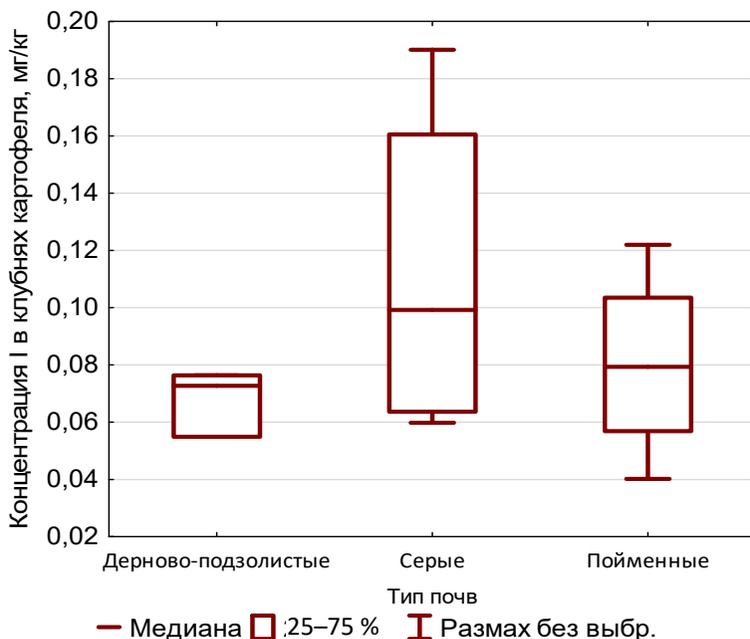


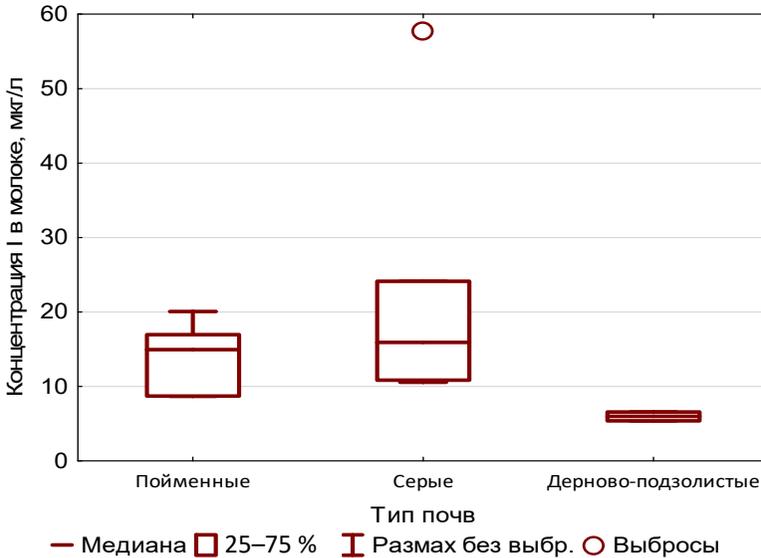
Рис. 4. Йод в клубнях картофеля ЛПХ исследованных областей /  
Figure 4. Iodine in potato tubers of private farms of the studied areas

Содержание йода в клубнях картофеля варьировало в широких пределах от 0,08 мг/кг до 0,19 мг/кг на сырой вес. Основным фактором, обуславливающим варьирование, может являться низкое содержание йода в почвах ЛПХ. Следует обратить внимание что часть ЛПХ, где был отобран картофель, располагалась в долинах рек, на пойменных почвах. Содержание йода в отобраных там клубнях картофеля уступало в пределах варьирования йода лишь образцам, выращенным на серых почвах, но превосходило дерново-подзолистые почвы размахом и медианным значением (см. рис. 3). В западных районах Орловской области картофель не отбирался, что обусловлено сменой почвенного покрова (на черноземах картофель обычно не выращивают).

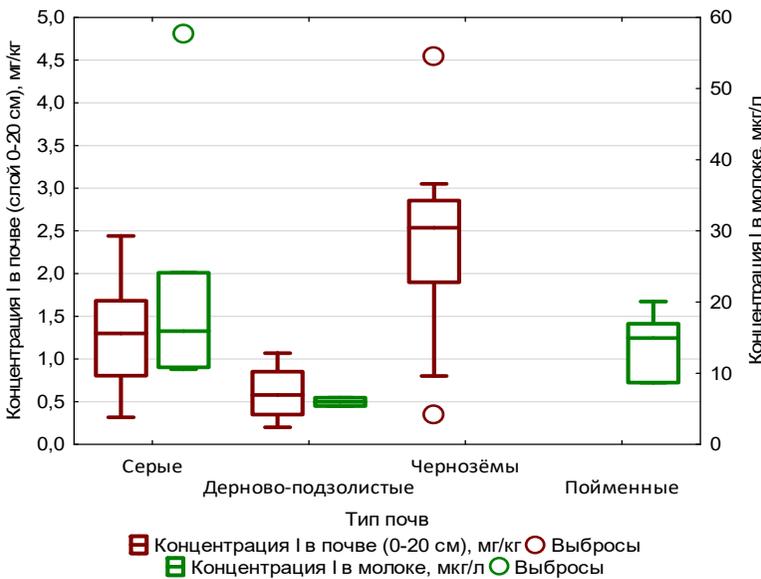
Содержание йода в молоке коров, выпасаемых на исследованных пастбищах, варьировало от 5,4 до 57,7 мг/кг ( $n = 12$ ).

Содержание йода в молоке закономерно оказалось наиболее высоким у коров, выпасавшихся на приуроченных к серым почвам пастбищах ( $Me = 15,9$  мкг/л). Меньшие концентрации йода характерны для молока скота, выпасаемого на пастбищах на пойменных почвах ( $Me = 14,9$  мкг/л). Наименьшее содержание йода отмечено для молока коров, питающихся на пастбищах,

приуроченных к дерново-подзолистым почвам (рис. 5). Выявленные ранее закономерности взаимосвязи йода в системе «почва – укусы трав – молоко коров», подтвержденные новыми данными, позволяют предложить, что максимальное значение йода в молоке коров исследуемого района следует ожидать для черноземных степей Орловской области. Однако отсутствие фактических данных по молоку за исследуемый период (2021–2023 гг.) пока оставляет данное утверждение рабочей гипотезой (рис. 6).



**Рис. 5. Содержание йода в молоке коров Калужской и Брянской области, выпасаемых на пастбищах с разным типом почв / Figure 5. Iodine content in milk of cows of Kaluga and Bryansk regions grazed on pastures with different soil types**



**Рис. 6. Зависимость содержания йода в молоке коров от его содержания в почвах пастбищ / Figure 6. Dependence of iodine content in cow's milk on its content in pasture soils**

Предполагается, что большой разброс значений содержания йода, наблюдавшийся во всех типах почв, в особенности для серых почв (крайние точки и выбросы), может быть объяснен влиянием неучтенных в данной группировке факторов, например вариабельностью гранулометрического состава, а также спецификой использования угодий, предшествующей хозяйственной деятельностью и т.д.

Обследованные пастбища характеризовались поверхностной активностью  $^{137}\text{Cs}$ , приведенной к 2021 г., от 12,5 до 114,7 кБк/м<sup>2</sup> (медиана (Ме) = 25,1 кБк/м<sup>2</sup>), эквивалентная доза гамма-излучения в приповерхностном слое варьировала в диапазоне 0,07–0,17 мкЗв/ч (Ме = 0,10 мкЗв/ч), что позволяет ретроспективно (по [15]) оценить возможное выпадение  $^{131}\text{I}$  на 10 мая 1986 г. в изучаемых НП на уровне от 448 до 1466 кБк/м<sup>2</sup> (Ме = 760 кБк/м<sup>2</sup>) Наибольшие уровни загрязнения почв в обследованных НП были зафиксированы в Жиздринском районе Калужской области. Сопоставление результатов полевых измерений активности  $^{137}\text{Cs}$  с опубликованными данными [16] показали высокую ( $r = 0,890$ ) значимую ( $p < 0,0001$ ) сходимость (рис. 7) результатов.

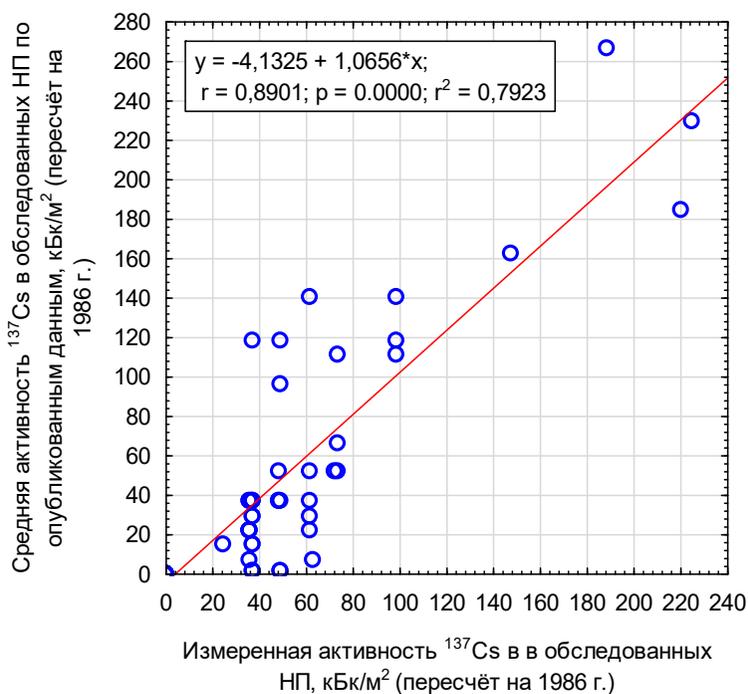


Рис. 7. Сопоставление полевых измерений активности  $^{137}\text{Cs}$  с опубликованными данными /  
Figure 7. Comparison of field measurements of  $^{137}\text{Cs}$  activity with published data

Для оценки риска заболеваемости раком щитовидной железы (код МКБ-10 С73) среди сельского населения использовалась методика [17], учитывающая два ключевых фактора возникновения заболевания: природный дефицит, который оценивался на основе концентраций стабильных изотопов I в

слое 0-20 см почвы с учетом пороговых концентраций Ковальского [3] и техногенное загрязнение почвы радиоизотопами йода, которое оценивалось ретроспективно, на основе данных полевых измерений активности  $^{137}\text{Cs}$ . По каждому из параметров каждый НП был отнесен к одной из шести групп риска (где 1 – минимальный риск, 6 – максимальный риск), после чего, в соответствии с методикой, проводилась взвешенная оценка, в которой вес фактора техногенного загрязнения составлял 72 %, природного йододефицита – 28 %. Обобщенные результаты оценки риска по районам приведены в таблице.

**Оценка риска заболеваемости раком щитовидной железы населения обследованных населенных пунктов**

Область, район (округ)	Обследовано НП	Балльная оценка риска
<b>Брянская обл., в т.ч.:</b>	<b>6</b>	<b>2,3</b>
Карачевский район	3	1,9
Рогнединский район	3	2,8
<b>Калужская обл., в т.ч.:</b>	<b>5</b>	<b>3,3</b>
Думиничский район	1	1,8
Жиздринский район	2	4,1
Козельский район	1	2,1
Ульяновский район	1	4,2
<b>Орловская обл., в т.ч.:</b>	<b>21</b>	<b>2,5</b>
Болховский район	3	3,8
Дмитровский район	3	2,8
Знаменский район	2	1,8
Корсаковский район	1	2,4
Кромской район	2	2,1
Новосильский район	2	2,4
Орловский округ	2	2,1
Свердловский район	3	2,8
Сосковский район	2	2,3
Хотынецкий район	1	1,5

**Assessment of the risk of thyroid cancer in the population of the surveyed settlements**

Region, district	Settlements surveyed	Risk score
<b>Bryansk region, including:</b>	<b>6</b>	<b>2.3</b>
Karachevsky district	3	1.9
Rognedinsky district	3	2.8
<b>Kaluga Region, including:</b>	<b>5</b>	<b>3.3</b>
Duminichi district	1	1.8
Zhizdrinsky district	2	4.1
Kozelsky district	1	2.1
Ulyanovsk district	1	4.2
<b>Oryol region, including:</b>	<b>21</b>	<b>2.5</b>
Bolkhovsky district	3	3.8
Dmitrovsky district	3	2.8
Znamensky district	2	1.8
Korsakovsky district	1	2.4
Kromsky district	2	2.1
Novosilsky district	2	2.4
Oryol district	2	2.1
Sverdlovsk district	3	2.8
Soskovsky district	2	2.3
Khotynetsky district	1	1.5

## Обсуждение

Выявленное закономерное возрастание содержания йода в почвенном покрове и укосах трав от Калужской и Брянской к Орловской области не может быть объяснено в рамках нарастания континентальности как одного из важнейших факторов йододефицита. Очевидно, что наибольшее значение в закономерностях распределения йода в почвах исследуемых областей приобретает эдафический фактор: фиксация богатыми органическим веществом почвами (черноземами) йода в сравнении с более бедными серыми и дерново-подзолистыми почвами имеет решающее значение в сравнении с удаленностью от моря (основного источника йода в биосфере [4]).

Подтверждено, что содержание йода в почвенном покрове пастбищ непосредственно отражается на его содержании в пастбищной растительности и молоке крупного рогатого скота. При этом широкое варьирование содержания йода в укосах трав пастбищ в пределах одного типа почв не может быть объяснено одним лишь эдафическим фактором. Большое значение может приобретать и избирательное накопление йода отдельными видами и, главным образом, ассоциациями растений.

Содержание йода в клубнях картофеля в значительной мере может определяться не столько типом почв (на наиболее богатых йодом почвах исследуемого района картофель не культивируют), сколько применяемыми удобрениями и особенностями сельскохозяйственных работ на данной территории. Таким образом, выявленное низкое содержание йода в клубнях картофеля Брянской и Калужской областей свидетельствует в первую очередь о дефиците йода в традиционных продуктах питания местного населения.

## Выводы

Проведенные исследования подтвердили зависимость содержания йода в верхнем горизонте пастбищных почв от содержания органического углерода, обусловленного, прежде всего, зонально-климатическими факторами (закономерной сменой зональных почв) и положением пастбищных угодий в рельефе.

Выявлено закономерное убывание медианных и средних значений содержания йода в ряду: черноземы > серые > дерново-подзолистые почвы.

Показано, что почвы обследованных пастбищ Брянской и юга Калужской областей в целом беднее йодом в сравнении с Орловской областью, что обусловлено сменой почвенного покрова с северо-запада на юго-восток.

Низкое содержание йода в традиционных продуктах питания местного населения (молоке коров и клубнях картофеля), производимых на личных подсобных хозяйствах, обусловлено, в первую очередь, слабой фиксацией йода в почвах, бедных органическим веществом.

Наибольший сочетанный природно-техногенный риск заболеваемости сельского населения раком щитовидной железы в результате последствий аварии на ЧАЭС 1986 г. характерен для обследованных населенных пунктов

Жиздринского района Калужской области, Болховского, Дмитровского и Свердловского района Орловской области, Рогнединского района Брянской области. Риск заболеваемости в Знаменском и Корсаковском районе Орловской области оценен как низкий.

Полученные данные могут быть использованы при организации мониторинга и проведении мероприятий по профилактике йододефицитных заболеваний в зонах потенциально возможного радиоактивного загрязнения.

### Список литературы

- [1] *Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С.* Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1993. 496 с.
- [2] *Дедов И.И., Свириденко Н.Ю., Герасимов Г.А.* Оценка йодной недостаточности в отдельных регионах России // *Проблемы эндокринологии*. 2000. № 6. С. 3–7.
- [3] *Ковальский В.В.* Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 303 с.
- [4] *Кашин В.К.* Биогеохимия, физиология и агрохимия йода. Ленинград: Наука, 1987. 261 с.
- [5] *Коробова Е.М., Тюрюканова Э.Б.* Йод в ландшафтах Нечерноземного центра Русской равнины // *Геохимия*. 1984. № 9. С. 1378–1388.
- [6] *Герасимов Г.А., Фигге Д.* Чернобыль 20 лет спустя // *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. 2006. № 2. С. 5–13.
- [7] *Звонова И.А., Балонов М.И., Братилова А.А., Данилова И.О., Власов О.К., Щукина Н.В.* Дозы облучения щитовидной железы у населения России вследствие выпадений радиоактивного йода после аварии на Чернобыльской АЭС // *Атомная энергия*. 2004. № 4. С. 310–316.
- [8] *Коробова Е.М., Кувылин А.И.* Природные биогеохимические провинции с низким содержанием йода как районы дополнительного экологического риска в зонах воздействия аварии на Чернобыльской АЭС // *Биогеохимическая индикация аномалий: материалы Пятых биогеохим. чтений, Москва, 8 июня 2004 г.* М.: Наука, 2004. С. 156–167.
- [9] *Berezkin V., Korobova E., Romanov S., Baranchikov V.* A study of iodine concentration in soils and grasses of pastures of Bryansk and Gomel regions affected by the Chernobyl accident as a possible factor contributing to thyroid diseases among local population // *EGU General Assembly 2021, Online, 19–30 Apr 2021. Vienna, 2021. EGU21–12293*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-12293>
- [10] *Cardis E., Kesminiene A., Ivanov V., Malakhova I., Shibata Y., Khrouch V., Drozdovitch V., Maceika E., Zvonova I., Vlassov O., Bouville A., Goulko G., Hoshi M., Abrosimov A., Anoshko J., Astakhova L., Chekin S., Demidchik E., Galanti R., Ito M., Korobova E., Lushnikov E., Maksioutov M., Masyakin V., Nerovnia A., Parshin V., Parshkov E., Piliptsevich N., Pinchera A., Polyakov S., Shabeka N., Suonio E., Tenet V., Tsyb A., Yamashita S., Williams D.* Risk of thyroid cancer after exposure to <sup>131</sup>I in childhood // *J. Natl. Cancer Inst.* 2005. Vol. 97 (10). P. 724–732. <https://doi.org/10.1093/jnci/dji129>
- [11] *Korobova E.M., Romanov S.L., Silenok A.V., Kurnosova I.V., Chesalova E.I., Beriozkin V.Yu.* Iodine deficiency in soils and evaluation of its impact on thyroid gland diseases in areas subjected to contamination after the Chernobyl accident // *J. Geochem. Explor.* 2014. Vol. 142. P. 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.02.028>
- [12] *Shakhtarin V.V., Tsyb A.F., Stepanenko V.F., Orlov M.Y., Kopecky K.J., Davis S.* Iodine deficiency, radiation dose, and the risk of thyroid cancer among children and adolescents

- in the Bryansk region of Russia following the Chernobyl power station accident // *Int. Journal Epidemiology*. 2003. Vol. 32 (4). P. 584–591. <https://doi.org/10.1093/ije/dyg205>
- [13] Проскуракова Г.Ф., Никитина О.Н. Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // *Агрохимия*. 1976. № 7. С. 140–143.
- [14] Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И., Добровольский Г.В. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- [15] Zvonova I.A., Balonov M.I., Bratilova A.A., Danilova I.O., Vlasov O.K., Shchukina N.V. Thyroid-Gland Irradiation Dose in the Russian Population Due to the Fallout of Radioactive Iodine After the Chernobyl Accident // *Atomic Energy*. 2004. № 96(4). P. 287–293. <https://doi.org/10.1023/B:ATEN.0000036000.61155.a0>
- [16] Данные по радиоактивному загрязнению территории населенных пунктов Российской Федерации цезием – 137, стронцием – 90 и плутонием – 239+240 / под ред. С.М. Вакуловского. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун»», 2016.
- [17] Korobova E.M., Baranchukov V.S., Kurnosova I.V. et al. Spatial geochemical differentiation of the iodine-induced health risk and distribution of thyroid cancer among urban and rural population of the Central Russian plain affected by the Chernobyl NPP accident // *Environ Geochem Health*. 2022. No. 44. P. 1875–1891. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01133-4>

## References

- [1] Avtsyn AP, Zhavoronkov AA, Rish MA, Strohkova LS. Human trace elements. Moscow: Medicine; 1993. 496 p.
- [2] Dedov II, Sviridenko NYu, Gerasimov GA. Assessment of iodine deficiency in certain regions of Russia. *Problems of endocrinology*. 2000;6:3–7.
- [3] Kovalsky VV. Geochemical ecology. Moscow: Nauka, 1974. 303 p.
- [4] Kashin VK. Biogeochemistry, phytophysiology and agrochemistry of iodine. Leningrad: Nauka; 1987. 261 p.
- [5] Korobova EM, Tyuryukanova EB. Iodine in the landscapes of the Non-Chernozem center of the Russian plain. *Geochemistry*. 1984;9:1378–1388.
- [6] Gerasimov GA, Figge D. Chernobyl 20 years later. *Clinical and experimental thyroidology*. 2006;2:5-13.
- [7] Zvonova IA, Balonov MI, Bratilova AA, Danilova IO, Vlasov OK, Shchukina NV. Doses of thyroid radiation in the Russian population due to radioactive iodine precipitation after the Chernobyl accident. *Atomic Energy*. 2004;4:310–316.
- [8] Korobova EM, Kuvylin AI. Natural biogeochemistry Natural biogeochemical provinces with low iodine content as areas of additional environmental risk in the impact zones of the Chernobyl accident. *Biogeochemical indication of anomalies: materials of the Fifth Biogeochemistry. Readings. Moscow, June 8, 2004*. Moscow: Nauka; 2004. p. 156–167.
- [9] Berezkin VYu. A study of iodine concentration in soils and grasses of pastures of Bryansk and Gomel regions affected by the Chernobyl accident as a possible factor contributing to thyroid diseases among local population. *EGU General Assembly 2021*, Online, 19–30 Apr 2021. Vienna, 2021. EGU21–12293. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-12293>
- [10] Cardis E. Risk of thyroid cancer after exposure to <sup>131</sup>I in childhood. *J. Natl. Cancer Inst.* 2005;97(10):724–732.
- [11] Korobova EM. Iodine deficiency in soils and evaluation of its impact on thyroid gland diseases in areas subjected to contamination after the Chernobyl accident. *J. Geochem. Explor.* 2014;142:82–93.

- [12] Shakhtarin VV. Iodine deficiency, radiation dose, and the risk of thyroid cancer among children and adolescents in the Bryansk region of Russia following the Chernobyl power station accident. *Int. Journal Epidemiology*. 2003;32(4):584–591.
- [13] Proskuryakova GF, Nikitina ON. Accelerated version of the kinetic rhodanide-nitrite method for determining trace amounts of iodine in biological objects. *Agrochemistry*. 1976;7:140–143.
- [14] Shishov LL, Tonkonogov VD, Lebedeva II, Gerasimova MI, Dobrovolsky GV. *Classification and diagnostics of soils of Russia*. Smolensk: Oikumena; 2004. 342 p.
- [15] Zvonova, IA, Balonov MI, Bratilova AA, Danilova IO, Vlasov OK, Shchukina NV. Thyroid-Gland Irradiation Dose in the Russian Population Due to the Fallout of Radioactive Iodine After the Chernobyl Accident. *Atomic Energy*. 2004;96(4):287–293.
- [16] Vakulovsky SM. *Data on radioactive contamination of the territory of settlements of the Russian Federation with cesium – 137, strontium – 90 and plutonium – 239+240*. Obninsk: FSBI NPO Typhoon; 2016.
- [17] Korobova, EM, Baranchukov VS, Kurnosova IV, Silenok AV. Spatial geochemical differentiation of the iodine-induced health risk and distribution of thyroid cancer among urban and rural population of the Central Russian plain affected by the Chernobyl NPP accident. *Environ Geochem Health*. 2022;44:1875–1891. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01133-4>

#### 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, Москва, ш. Подольское, д. 8/5; старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН, Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Косыгина, д. 19. ORCID: 0000-0002-1025-638X, SPIN-код: 7074-9478. E-mail: victor76@list.ru

*Баранчуков Владимир Сергеевич*, научный сотрудник лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН, Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Косыгина, д. 19. ORCID: 0000-0003-1519-9983, SPIN-код 2266-2251. E-mail: baranchukov@gmail.com

*Колмыкова Людмила Игоревна*, кандидат геолого-минералогических наук, ученый-секретарь, научный сотрудник лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН, Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Косыгина, д. 19. ORCID: 0000-0003-4070-9869, SPIN-код 6439-2397. E-mail: kmila9999@gmail.com

*Кулиева Гульнора Александровна*, кандидат биологических наук, доцент департамента экологии человека и биоэлементологии, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, Москва, ш. Подольское, д. 8/5. ORCID: 0000-0002-0076-5762, SPIN-код 6439-2397. E-mail: gkulieva@mail

*Багаутдинова Александра Сергеевна*, студентка департамента экологии человека и биоэлементологии, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, Москва, ш. Подольское, д. 8/5. ORCID: 0009-0006-4034-1231. E-mail: 1032201838@rudn.ru

*Топильская Юлия Всеволодовна*, студентка департамента экологии человека и биоэлементологии, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, Москва, ш. Подольское, д. 8/5. ORCID: 0009-0003-4084-9770. E-mail: 1032201815@rudn.ru

**Bio notes:**

*Victor Yu. Berezkin*, Ph.D. of Geology, Associate Professor of the Department of Human Ecology and Bioelementology, Institute of Ecology, RUDN University, 8/5 Podolskoe shosse, Moscow, 115093, Russian Federation; Senior Researcher Laboratory of Environmental Biogeochemistry GEOKHI RAS, 19 St Kosygina, Moscow, 119991, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1025-638X, eLibrary SPIN code: 7074-9478. E-mail: victor76@list.ru

*Vladimir S. Baranchukov*, Researcher at the Laboratory of Environmental Biogeochemistry of the Geochemical Institute of the Russian Academy of Sciences, 19 St Kosygina, Moscow, 119991, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-1519-9983, SPIN-код 2266-2251. E-mail: baranchukov@gmail.com

*Lyudmila I. Kolmykova*, Ph.D. of Geology, Scientist-Secretary, Researcher at the Laboratory of Environmental Biogeochemistry of the Geochemical Institute of the Russian Academy of Sciences, 19 St Kosygina, Moscow, 119991, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4070-9869, SPIN-код 6439-2397. E-mail: kmila9999@gmail.com

*Gulnara A. Kulieva*, Ph.D. of Biology, Associate Professor of the Department of Human Ecology and Bioelementology, Institute of Ecology, RUDN University, 8/5 Podolskoe shosse, Moscow, 115093, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0076-5762, SPIN-код 6439-2397. E-mail: gkulieva@mail

*Alexandra S. Bagautdinova*, Student of the Department of Human Ecology and Bioelementology, Institute of Ecology, RUDN University, 8/5 Podolskoe shosse, Moscow, 115093, Russian Federation. ORCID: 0009-0006-4034-1231. E-mail: 1032201838@rudn.ru

*Yulia V. Topilskaya*, Student of the Department of Human Ecology and Bioelementology, Institute of Ecology, RUDN University, 8/5 Podolskoe shosse, Moscow, 115093, Russian Federation. ORCID:0009-0003-4084-9770. E-mail: 1032201815@rudn.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-435-446

EDN: QQFEYB

УДК 911.52

Научная статья / Research article

## Комплексные полевые обследования на Тятинском участке заповедника «Курильский», остров Кунашир, Курильские острова

М.Ю. Грищенко<sup>1,2,3</sup>, А.С. Мурман<sup>1</sup>, И.Е. Тамаровский<sup>1</sup>,  
Д.А. Терехова<sup>1</sup>, Е.М. Сатосина<sup>1</sup>, В.В. Шелуха<sup>1</sup>,  
А.С. Авчян<sup>1</sup>, Н.В. Ушаков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>Государственный природный заповедник «Курильский», Сахалинская обл.,  
пос. Южно-Курильск, Российская Федерация

m.gri@geogr.msu.ru

**Аннотация.** Описаны результаты полевых экспедиционных исследований, проведенных авторами на территории Тятинского участка Государственного природного заповедника «Курильский» (остров Кунашир, Большая Курильская гряда). Природа острова отличается ярким своеобразием и интересна для исследования как с точки зрения повышения туристско-рекреационной и эколого-просветительской привлекательности, так и с точки зрения реализации природоохранной деятельности. В рамках исследований проведено изучение почв, растительного покрова и некоторых климатических характеристик территории. Выявлено, что почвенный покров изучаемой территории представляет собой преимущественно почвы, сочетающие в себе признаки буроземовидных и вулканических почв; местные растительные сообщества представлены преимущественно темнохвойными лесами с богатой и разнообразной примесью широколиственных пород в древостое, отсутствием выраженного подлеска, разнообразным травяно-кустарничковым ярусом и хорошо развитым мохово-лишайниковым ярусом.

© Грищенко М.Ю., Мурман А.С., Тамаровский И.Е., Терехова Д.А.,  
Сатосина Е.М., Шелуха В.В., Авчян А.С., Ушаков Н.В., 2023



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

**Ключевые слова:** Кунашир, Курильские острова, вулкан Тятя, почвы, растительный покров, альбе́до

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность коллективу Государственного природного заповедника «Курильский» за неоценимую помощь в проведении экспедиционных исследований.

**Вклад авторов:** М.Ю. Грищенко – организация и планирование полевых и камеральных работ, оформление текста статьи, разделы «Введение» и «Выводы»; А.С. Мурман – методическое руководство полевыми почвенными и геоботаническими работами, геоботанические полевые обследования, раздел «Материалы и методы»; И.Е. Тамаровский и Д.А. Терехова – полевые почвенные обследования, раздел «Результаты: почвенный покров»; Е.М. Сатосина – методическая часть альбедометрической съемки, раздел «Результаты: исследования альбе́до»; В.В. Шелухо – полевые геоботанические обследования, раздел «Результаты: растительный покров»; А.С. Авчян – техническая часть альбедометрической съемки; Н.В. Ушаков – лабораторные исследования.

**История статьи:** поступила в редакцию 18.03.2023; доработана после рецензирования 15.08.2023; принята к публикации 10.09.2023.

**Для цитирования:** Грищенко М.Ю., Мурман А.С., Тамаровский И.Е., Терехова Д.А., Сатосина Е.М., Шелухо В.В., Авчян А.С., Ушаков Н.В. Комплексные полевые обследования на Тятинском участке заповедника «Курильский», остров Кунашир, Курильские острова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 435–446. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-435-446>

## Complex field survey of the Tyatinskiy part of the “Kurilskiy” state nature reserve, Kunashir island, Kuril islands

Mikhail Yu. Grishchenko<sup>1,2,3</sup>  , Anna S. Murman<sup>1</sup>, Igor E. Tamarovskiy<sup>1</sup>, Darya A. Terekhova<sup>1</sup>, Elizaveta M. Satosina<sup>1</sup> , Veronika V. Shelukho<sup>1</sup>, Anton S. Avchyan<sup>1</sup>, Nikolay V. Ushakov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov MSU, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> HSE University, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> State nature reserve “Kurilskiy”, Sakhalin oblast, Yuzhno-Kurilsk, Russian Federation

 m.gri@geogr.msu.ru

**Abstract.** The study describes the results of field expeditionary research conducted by the authors on the territory of the Tyatinskiy cluster of the “Kurilskiy” state nature reserve (Kunashir island, the Great Kuril Ridge). The nature of the island is distinguished by its bright originality and is interesting for research both from the point of view of increasing the tourist, recreational and education attractiveness, and from the point of view of the implementation of environmental activities. During the research, a study of soils, vegetation cover and some climatic characteristics of the territory was carried out. It was revealed that the soils of the study area are mainly soils that combine the features of brown soils and volcanic soils; local plant communities are represented mainly by dark coniferous forests with a rich and varied admixture

of broad-leaved species in the forest stand, the absence of pronounced undergrowth, a diverse grass-shrub canopy and a well-developed moss-lichen layer.

**Keywords:** Kunashir, Kuril islands, Tyatya volcano, soils, vegetation cover, albedo

**Acknowledgements.** The authors express their gratitude to the staff of the Kurilsky State Nature Reserve for their invaluable assistance in conducting expedition research.

**Authors' contributions:** *M.Yu. Grishchenko* – organization and planning of field and desk work, design of the text of the article, sections “Introduction” and “Conclusions”; *A.S. Murman* – methodological guidance of field soil and geobotanical works, geobotanical field surveys, section “Materials and methods”; *I.E. Tamarovsky* and *D.A. Terekhova* – field soil surveys, section “Results: soil cover”; *E.M. Satosina* – methodical part of albedometric survey, section “Results: albedo studies”; *V.V. Shelukho* – field geobotanical surveys, section “Results: vegetation cover”; *A.S. Avchyan* – technical part of the albedometric survey; *N.V. Ushakov* – laboratory studies.

**Article history:** received 18.05.2023; revised 15.08.2023; accepted 10.09.2023

**For citation:** Grishchenko MYu, Murman AS, Tamarovskiy IE, Terekhova DA, Satosina EM, Shelukho VV, Avchyan AS, Ushakov NV. Complex field survey of the Tyatinskiy part of the “Kurilskiy” state nature reserve, Kunashir island, Kuril islands. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):435–446. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-435-446>

## Введение

Остров Кунашир – самый южный из островов Большой Курильской гряды, он отличается весьма своеобразными природой и климатом. Для охраны уникальных ландшафтов этого острова в 1984 г. здесь создан Государственный природный заповедник «Курильский». Несмотря на то, что заповедник существует уже не один десяток лет, общая труднодоступность района определила крайне низкую степень его изученности, особенно в крупном масштабе. Следует иметь в виду, что детальное изучение заповедных угодий необходимо для реализации заповедником основных функций: природоохранной, научно-исследовательской, эколого-просветительской. Территория заповедника разделена на два участка: Тятинский участок занимает северную часть острова Кунашир и включает массив вулкана Тятя, крупнейшего на Кунашире и второго по высоте в Сахалинской области, а также наиболее гористую часть вулканического хребта Докучаева; Алёхинский участок занимает южную часть острова, на его территории расположен кальдерный вулкан Головнина и Алёхинские термальные источники. Наши исследования были сосредоточены на Тятинском участке, а точнее, в междуречье крупных рек Саратовская и Тятина, а также на южном склоне вулкана Тятя.

Река Тятина протекает восточнее Саратовской и представляет собой крупнейший водоток Кунашира, она берет начало на северном склоне вулкана Тятя и хребте Докучаева близ г. Вильямса и впадает в Тихий океан в районе Тятинского рейда, вблизи существовавшей ранее деревни Тятино. Река Саратовская несколько меньше, она стекает с хребта Докучаева (исток – близ г. Глинки) и впадает в Тихий океан между мысами Плоскогорный

и Геммерлинга, прорезая обширную равнину, сложенную отложениями вулкана Тятя. Между реками Тятин и Саратовская есть еще два небольших ключа – Банный и Кол. Абсолютные высоты территории не превышают 50 м. Берег Тихого океана осложнен только одним слабо вдающимся в водную гладь мысом Плоскогорный; широкий песчаный или каменистый пляж переходит в покрытую густыми зарослями курильского бамбука первую морскую террасу, осложненную совокупностью древних береговых валов и межваловых понижений, затем следует постепенный переход ко второй морской террасе, частично залесенной и плавно переходящей в заболоченную, поросшую темнохвойными лесами пологохолмистую равнину. Хозяйственные объекты представлены только кордоном заповедника Саратовский, расположенным в 1 км выше по течению от устья р. Саратовская, и вездеходной дорогой к нему.

Вулкан Тятя – типичный вулкан типа Сомма-Везувий, его конус характеризуется удивительно правильной формой. Высота вулкана, как абсолютная, так и относительная, составляет 1819 м. Подножье вулкана резко переходит в морские террасы (от 1 до 3 шт. на разных участках), а вверх, до высоты 1400 м, поднимается основной конус вулкана, осложненный боковым кратером Отважный и маарами Радкевич и Влодавца, из которых происходило последнее на данный момент извержение вулкана (1973 г.), а также многочисленными бороздами-барранкос. На высоте 1400 м расположена неглубокая сильно разрушенная кальдера диаметром 2,4 км, в центре которой поднимается второй экструзивный купол высотой 400 м. По его западному склону стекает массивный застывший лавовый поток. На вершине находится кратер, представляющий собой две вложенные одна в другую чаши, одна чуть крупнее, другая чуть меньше, общим диаметром 200 м. В нижней части склона вулкана распространены темнохвойные леса из пихты сахалинской *Abies sachalinensis*, ели аянской *Picea jezoensis* с примесью березы Эрмана *Betula ermanii*, которые постепенно переходят в леса и редколесья из дюшекии Максимовича *Duschekia maximowiczii* с высокотравьем. К кратеру Отважный приурочено обширное шлаковое поле. Выше расположены заросли кедрового стланика *Pinus pumila*, распространенные до кальдеры, постепенно разрежающиеся и уступающие место каменистым поверхностям, покрытым редкими травами и лишайниками. Никаких антропогенных объектов здесь нет, если не считать эколого-туристического маршрута от мыса Мысовой до вершины вулкана по его южному склону. До урочища Рубежное идет вездеходная дорога, далее – тропа.

### Материалы и методы

Поскольку конечной целью работы является построение серии тематических карт на исследуемый участок, основной задачей подготовительного этапа стало выделение предполагаемых почвенных и растительных контуров контуров. Их выделение в основном базируется на дешифрировании растительных ассоциаций, с которыми связаны почвенные разности. Произведено

дешифрирование космического снимка сверхвысокого пространственного разрешения со спутника Pleiades 1В за 27 сентября 2019 г. В ходе подготовительного этапа также проведено изучение литературы о данной территории, характеризующей растительный покров и его развитие, а также флору данного региона [1–3; 5; 6]. Исследуемый участок отличается низинным положением в рельефе, значительными по площади ареалами болот, а также морскими террасами разного уровня. Среди растительных ассоциаций выделены различного типа леса, заболоченные территории, луговые разнотравья и территории, занятые зарослями бамбука. Для каждого выделенного контура определены точки комплексного (почвенного и геоботанического) описания.

Полевой этап состоял из маршрутов в пределах исследуемого участка, в ходе которых проводились заложение и описание почвенных разрезов с указанием географической привязки, а также описание ландшафта в месте заложения разреза. Кроме этого, каждой точке описания почв соответствовала точка геоботанического описания. Составление геоботанических описаний проведено по стандартной методике полевых геоботанических обследований (Нешатаев, 1987); проведена детальная наземная фотосъемка растительных сообществ. Почвенные разрезы закладывались в пределах выделенных контуров на наиболее типичных для них участках. Всего заложено 22 разреза, которые были описаны по стандартной методике [8]. Диагностирование почв осуществлено по классификации почв России 2004 г. [10]. Общее количество геоботанических описаний – 54.

В ходе полевых обследований выполнена альбедометрическая съемка в различных ландшафтах с помощью альбедометра N 800, предназначенного для измерения в полевых условиях суммарной и рассеянной радиации, проходящей на деятельную поверхность, и радиации, отраженной от деятельной поверхности. Альбедометр поверен в июне 2021 г. в метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова. С 16 по 29 августа выполнено 44 альбедометрических измерения разной деятельной поверхности, из них 25 точек сделаны по профилю вдоль южного склона вулкана Тятя.

## **Результаты**

### ***Почвенный покров***

Выявленные в ходе работ почвы можно разделить на четыре группы: типичные автоморфные почвы междуречных поверхностей, гидроморфные торфянистые органогенные почвы, почвы долин ручьев и малых рек, а также псаммоземы – почвы низких морских террас.

#### *I. Типичные автоморфные почвы междуречных поверхностей*

Для группы почв междуречных поверхностей характерно схожее по системе горизонтов строение профиля, выражающееся в наличии погребенного гумусового горизонта, а также его перекрытие материалом, иногда также гумусированным. На плоских поверхностях глубина, на которой находится второй гумусовый горизонт, располагается в пределах 40–54 см на обоих

участках; иногда – ниже, например, на склонах или в местах с наличием мощного подстилочно-торфянистого горизонта или горизонта дернины. Таким почвам также свойственно наличие под погребенным гумусовым срединного метаморфического горизонта, который постепенно переходит к почвообразующей породе. Степень этого перехода, а так же глубина появления включений дресвы и валунов различают эти почвы между собой, так же как и степень гумусированности современных гумусовых горизонтов и их переход к погребенному.

Такие почвы сочетают признаки буроземов и вулканических почв. Так, с буроземами эти почвы схожи наличием метаморфического горизонта, имеющего более тяжелый гранулометрический состав, чем почвообразующие породы. С вулканическими, например охристыми, почвами описываемые почвы схожи системой погребенных горизонтов. Такие почвы образуются не только на вулканических породах, пеплах и других, но и на отложениях древних морских террас. Такие почвы описаны еще в самых ранних работах по изучению почв острова Кунашир [9].

### *II. Гидроморфные торфянистые органогенные почвы*

По сравнению с автоморфными с разной степенью буроземовидности почвами торфянистые почвы острова Кунашир изучены слабо – в основном в силу того, что они занимают специфические позиции на острове: они приурочены к долинам ламинарных малых водотоков или к обширным субгоризонтальным позициям с близким залеганием грунтовых вод. На исследуемом участке они распространены действительно широко, однако в целом по острову они встречаются нечасто. Между собой эти почвы различаются степенью разложения органического материала, ботаническим составом растительного покрова, уровнем грунтовых вод и наличием или отсутствием прослоек пеплового минерального материала. Для всех таких почв, рассматриваемых нами, характерно вскрытие грунтовых вод раньше подстилающих минеральных пород.

### *III. Почвы долин ручьев и малых рек*

Данные почвы с некоторой степенью достоверности можно отнести к аллювиальным, однако, в силу того что даже самые крупные реки острова Кунашир представляют собой достаточно турбулентные потоки, сформировавшие своим руслом мощную толщу преимущественно пролювиальных отложений, ярко выраженных именно аллювиальных почв на острове мало. Они чаще встречаются в верховьях «больших» кунаширских рек или характерны для долин малых водотоков. В обоих случаях такие почвы приурочены именно к равнинному течению потоков и зачастую находятся в смежных позициях с торфянистыми почвами. Вероятно, в силу хороших инфильтрационных свойств грунтов, на участках распространения аллювиальных почв не происходит заболачивания.

#### IV. Псаммоземы и песчаные почвы

Данные почвы приурочены в первую очередь к низким морским террасам. Морфологические особенности их профиля выражаются в песчаном и супесчаном гранулометрическом составе, малой мощности гумусового горизонта, отсутствии срединных горизонтов, а также смене почвообразующей породы с темного песка на более светлый с глубиной. Иногда встречается погребение гумусовых горизонтов, связанное с древними эоловыми процессами.

#### **Растительный покров**

На примере рассмотренного участка можно заметить, что северная часть Кунашира занята в основном темнохвойными лесами. Это заметно по преобладанию растительных сообществ с доминантными хвойными видами в древесном ярусе на междуречьях и надпойменных террасах. Изучаемая нами территория относится к Курило-Сахалинскому округу Японо-Корейской океанической провинции Дальневосточной хвойно-широколиственной лесной подзоны смешанных хвойно-широколиственных лесов по классификации Д.И. Воробьева [4]. Д.И. Воробьев выделяет два подрайона в зависимости от распределения растительности: южный – Немуро-Кунаширский и центральный – Кунаширо-Итурупский, в пределах которого расположен рассматриваемый участок. В растительном покрове исследуемого участка преобладает охотоморская флора, а также присутствуют элементы маньчжурского и особенно северо-японского флористического комплекса. Смешение флор произошло из-за оживленных тектонических процессов и трансгрессий моря, которые осушали шельф, и в результате создавались «мосты» – так на исследуемую территорию проникли виды с Камчатки и с Хоккайдо.

На исследуемом участке нами встречены несколько видов верховых болот под разными растительными сообществами, а также осоково-ситниковые низинные болота (реже). Благодаря общему выровненному характеру рельефа здесь выражены морские террасы. Первая морская терраса и, в меньшей степени, вторая морская терраса ранее были вовлечены в хозяйственную деятельность. Сейчас это заброшенные земли в охранной зоне заповедника, занятые преимущественно растительными сообществами с доминантом бамбуком курильским *Sasa kurilensis* (Rupr.), вытесняющим здесь коренную растительность.

#### **Исследования альбедо**

В ходе альбедометрической съемки выделены четыре основных типа земной поверхности по различным значениям альбедо. Первый тип – это подстилающая поверхность различных лесов (смешанных: широколиственно-пихтовых, дубово-пихтовых и широколиственных). Альбедо, измеренное в различных лесных сообществах, ниже, чем на открытых участках с разнотравьем и бамбуком, значения колебались в пределах 20–31 %. Кроны деревьев мешают

проникновению прямой солнечной радиации. Альbedo травяно-кустарничкового яруса в широколиственном лесу выше, чем в хвойном.

Ко второму типу исследуемой подстилающей поверхности можно отнести болотные сообщества. На верховых болотах поверхность занята зарослями багульника, осоки, бамбука и небольшим подростом ели. Так как болото является влажной геосистемой, то значения альbedo на нем ниже, чем в обычном лесу, и варьировались от 19 до 24 %, в зависимости от затененности измеряемого участка.

К третьему типу поверхности можно отнести луга: разнотравные, злаковые, колосняково-полынные, хвощево-злаковые, полынно-осоковые, осоковые луга и заросли: бамбуковые, тростниковые, вейниково-бамбуковые. Вследствие достаточно теплых и солнечных первых двух летних месяцев 2021 г. (июнь-июль) некоторая часть растительности на открытой местности из-за недостаточного количества влаги начала высыхать и, как следствие, имела большее значение альbedo, чем в предыдущие более влажные годы.

В сравнении с лесными и болотными сообществами открытые участки получают больше солнечной энергии. Самые низкие и стабильные значения альbedo имеют злаковые луга (20–22 %), а самые высокие и изменчивые значения имели заросли с преобладанием курильского бамбука (25–35 %).

К четвертому исследуемому типу подстилающей поверхности можно отнести участки на побережье Тихого океана с черным вулканическим песком и валунами. Песок и валуны имеют темный цвет (оттенки темно-серого, близкого к черному), вследствие чего эти площадки характеризуются самой низкой отражательной способностью поверхности среди всех исследуемых. Значения варьируются от 7 до 13 % и являются самыми низкими на участках с преобладанием вулканического песка.

В ходе маршрута на вулкан Тятя по его южному склону проведена альбедометрическая съемка различных подстилающих поверхностей, которые менялись по мере набора высоты. Наивысшая точка, которой удалось достигнуть в ходе маршрута, – 1750 м (70 м до вершины помешали пройти погодные условия). В общей сложности сделано 25 точек с измерениями. До высоты 650 м измерения осуществлялись каждые 50 м набора высоты, от 650 м до 1750 м – каждые 100 м.

Измерения альbedo проводились в маршруте в течение всего дня, т.е. имели место различные условия освещенности и положение Солнца. Первая точка сделана на морской террасе с разнотравьем, здесь альbedo соответствовало альbedo разнотравного луга и составило 24–25 %. Далее уже на 75 м начался темнохвойный лес. В нем, несмотря на затененность из-за крон деревьев, альbedo имело самые высокие значения за все время маршрута – 28 %. Это связано с особенностями увлажнения и поглощательной способности растительного покрова.

За участком темнохвойного леса следуют бамбуковые заросли (125–175 м). Здесь альbedo изменялось от 23 до 27 %. Далее – заросли

дюшекии Максимовича и высокотравье с преобладанием гречихи сахалинской *Polygonum sachalinense* (225–275 м). Для них отражательная способность поверхности составила 26–27 %. Высота высокотравья и варьировала от 40 см до 2 м. Далее произошло резкое падение значений альбеда до 7 %, что связано с появлением на поверхности вулканического шлака. Шлаковое поле расположено на высотах от 325 до 650 м, его альбеда варьировалось от 7 до 18 %. Такая вариативность в значениях связана прежде всего с тем, что измерения проводились в течение дня при разных положениях Солнца.

После бокового кратера Отважный с высоты 750 м снова распространен густой растительный покров. С высоты 750 до 850 м – это кустарниковый подрост ив (альбеда 23 %), далее – кедровый стланик, который иногда сменяется шлаковыми участками (850–1150 м). Отражательная способность поверхности на данном участке варьирует от 9 до 19 %. Наибольшие значения характерны для участков с кедровым стлаником, наименьшие – для участков открытого грунта (вулканического шлака).

После 1250 м заканчивается кустарниковая и кустарничковая растительность, остаются редкие вкрапления разнотравья (высотой не более 10 см) и небольшие группы кустов кедрового стланика. Преобладающим типом подстилающей поверхности вплоть до основного кратера становятся шлаковые россыпи и гольцы. Их отражательная способность варьирует от 8 до 19 %, в зависимости от преобладающей породы.

После 1450 и до 1550 м расположено плато (днище кальдеры), сформированное гольцами, покрытыми лишайником и редкой травянистой растительностью. Здесь значения альбеда достигли 18–20 %. Далее вплоть до кромки кратера подстилающей поверхностью являлись термально преобразованные выветрелые аргиллиты и вулканические туфы красноватых оттенков. Для них характерны значения альбеда 18–22 %.

## Выводы

Почвенный покров изучаемой территории представляет собой преимущественно почвы, сочетающие в себе признаки буроземовидных и вулканических почв. Диагностика этих почв осложнена в связи с тем, что в современной классификации для таких почв место не предусмотрено и мы можем относить их к тому или иному типу с некоторой долей условности. Большие площади на изучаемой территории занимают гидроморфные торфянистые органогенные почвы, что обусловлено рельефом и характером подстилающих пород. Местные растительные сообщества представлены преимущественно темнохвойными лесами с богатой и разнообразной примесью широколиственных пород в древостое, отсутствием выраженного подлеска, разнообразным травяно-кустарничковым ярусом и хорошо развитым мохово-лишайниковым ярусом. Широкое распространение имеют сообщества болот, в первую очередь, верховых, с различной плотностью древостоя.

По результатам альбедометрической съемки сделаны следующие выводы. Альbedo, измеренные в лесных сообществах, выше, чем в нелесных (от 20 до 60 %), так как кроны деревьев мешают проникновению прямой солнечной радиации. На тех участках, где на поверхность выступают вулканические породы, альbedo принимает наименьшие значения (6–7 %), так как практически вся приходящая солнечная радиация поглощается подстилающей поверхностью. В результате альбедометрической съемки на вулкане Тятя подтверждено, что отражательная способность поверхности напрямую не зависит от абсолютной высоты поверхности. Альbedo зависит от свойств отдельных растительных сообществ, ландшафта, подстилающих пород и количества приходящей солнечной радиации.

### Список литературы

- [1] Алексеева Л.М. Флора острова Кунашир (сосудистые растения). Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. 132 с.
- [2] Баркалов В.Ю., Ерёменко Н.А. Флора природного заповедника «Курильский» и заказника «Малые Курилы» (Сахалинская область). Владивосток: Дальнаука, 2003. 283 с.
- [3] Баркалов В.Ю. Флора Курильских островов. Владивосток: Дальнаука, 2009. 468 с.
- [4] Воробьёв Д.И. Растительность Курильских островов. М.-Л.: Издательство АН СССР, 1963. 93 с.
- [5] Ганзей К.С., Иванов А.Н. Ландшафтное разнообразие Курильских островов // География и природные ресурсы, 2012. № 2. С. 87–94.
- [6] Журавлёв Ю.Н., Воронкова Н.М., Баркалов В.Ю., Воронков А.А. Лекарственные растения Курильских островов. Владивосток: Дальнаука, 2004. 306 с.
- [7] Нешатаев Ю.Н. Методы анализа геоботанических материалов. Л.: Изд-во ЛГУ им. А.А. Жданова, 1987. 188 с.
- [8] Евдокимова Т.И. Почвенная съёмка. М.: Изд-во МГУ, 1987. 272 с.
- [9] Лашков А.Н. К морфологии почв южных Курильских островов // Известия ВГО. 1948. № 80. С. 61–68.
- [10] Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева, И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

### References

- [1] Alekseeva LM. *Flora of Kunashir Island (vascular plants)*. Vladivostok: DVNTs of the USSR Academy of Sciences; 1983. 132 p. (In Russ.)
- [2] Barkalov VYu., Eremenko N.A. *Flora of the Kurilsky Nature Reserve and the Small Kuriles Nature Reserve (Sakhalin region)*. Vladivostok: Dalnauka; 2003. 283 p. (In Russ.)
- [3] Barkalov VYu. *Flora of the Kuril Islands*. Vladivostok: Dalnauka; 2009. 468 p. (In Russ.)
- [4] Vorobyov DI. *Vegetation of the Kuril Islands*. Moscow – Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences USSR; 1963. 93 p. (In Russ.)
- [5] Hansei KS, Ivanov AN. Landscape diversity of the Kuril Islands. *Geography and Natural Resources*, 2012;(2):87–94. (In Russ.)
- [6] Zhuravlev YuN., Voronkova NM, Barkalov VYu, Voronkov AA. *Medicinal plants of the Kuril Islands*. Vladivostok: Dalnauka; 2004. 306 p. (In Russ.)
- [7] Neshataev YuN. *Methods of analysis of geobotanical materials*. Leningrad: Publishing House of the Leningrad State University named after Zhdanov AA; 1987. 188 p. (In Russ.)

- [8] Evdokimova TI. *Soil survey*. Moscow: Publishing House of Moscow State University; 1987. 272 p. (In Russ.)
- [9] Lashkov AN. On the morphology of soils of the southern Kuril islands. *News of the VGO*. 1948;(80):61–68. (In Russ.)
- [10] Shishov LL, Tonkonogov VD, Lebedeva II, Gerasimova MI. *Classification and diagnostics of soils of Russia*. Smolensk: Oikumens; 2004. 342 p. (In Russ.)

### **Сведения об авторах:**

*Грищенко Михаил Юрьевич*, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, географический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, 1; доцент, ФГиГТ, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Российская Федерация, 109028, Москва, Покровский бульвар, 11; ведущий научный сотрудник, Государственный природный заповедник «Курильский», Российская Федерация, 694500, Сахалинская обл., пос. Южно-Курильск, Заречная ул., 5. ORCID: 0000-0003-3223-7697, eLIBRARY SPIN-код: 9806-7458. E-mail: m.gri@geogr.msu.ru

*Мурман Анна Сергеевна*, студент, географический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, 1. E-mail: annamurman.geo@mail.ru

*Тамаровский Игорь Евгеньевич*, студент, географический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, 1. E-mail: tamarov-ig@yandex.ru

*Терехова Дарья Алексеевна*, студент, географический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, 1. eLIBRARY SPIN-код: 8856-6313. E-mail: terexova.da@gmail.com

*Сатосина Елизавета Михайловна*, студент, географический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, 1. ORCID: 0009-0009-7086-2814, eLIBRARY SPIN-код: 8388-7680. E-mail: lisan.sat@gmail.com

*Шелухо Вероника Валерьевна*, студент, географический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, 1. E-mail: Shelukho.vera@mail.ru

*Авчян Антон Суменович*, студент, МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, 1. E-mail: anton.avchyan@mail.ru

*Ушаков Николай Владимирович*, студент, МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, 1. E-mail: Ushakov.nikolay2000@gmail.com

### **Bio notes:**

*Mikhail Yu. Grishchenko*, D. in Geography, Senior Research Associate, Lomonosov MSU, Faculty of Geography, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation; Senior Lecturer, Faculty of Geography and Geoinformatics, Russian Federation, HSE University, 11 Pokrovsky boulevard, Moscow, 109028, Russian Federation; Leading Research Associate, State nature reserve «Kurilsky», 5 Zarechnaya St, Yuzhno-Kurilsk, Sakhalinskaya oblast, 694500, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-3223-7697, eLIBRARY SPIN-code: 9806-7458. E-mail: m.gri@geogr.msu.ru

*Anna S. Murman*, Student, Lomonosov MSU, Faculty of Geography, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation. E-mail: annamurman.geo@mail.ru

*Igor E. Tamarovskiy*, Student, Lomonosov MSU, Faculty of Geography, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation. E-mail: tamarow-ig@yandex.ru

*Darya A. Terekhova*, Student, Lomonosov MSU, Faculty of Geography, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 8856-6313. E-mail: terexova.da@gmail.com

*Elizaveta M. Satosina*, Student, Lomonosov MSU, Faculty of Geography, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation. ORCID: 0009-0009-7086-2814, eLIBRARY SPIN-code: 8388-7680. E-mail: lisan.sat@gmail.com

*Veronika V. Shelukho*, Student, Lomonosov MSU, Faculty of Geography, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation. E-mail: Shelukho.vera@mail.ru

*Anton S. Avchyan*, Student, Lomonosov MSU, Faculty of Geography, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation. E-mail: anton.avchyan@mail.ru

*Nikolay V. Ushakov*, Student, Lomonosov MSU, Faculty of Geography, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation. E-mail: Ushakov.nikolay2000@gmail.com

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-447-467

EDN: QUBOUY

УДК 574.42

Научная статья / Research article

## Восстановительная динамика сосновых фитоценозов на вырубках в надпойменных террасах реки Москвы

Д.В. Лежнев<sup>1</sup>, Д.Д. Куликова<sup>2</sup>, Г.А. Полякова<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт лесоведения РАН, с. Успенское, Московская обл., Российская Федерация<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,

г. Мытищи, Российская Федерация

 lezhnev.daniil@yandex.ru

**Аннотация.** Особый интерес представляет восстановительная динамика фитоценозов на начальных стадиях их формирования. После проведения сплошных рубок значительно изменяются экологические условия. Обследование двух вырубок на месте ветровала 2017 г. в течение трех лет (2020–2022 гг.) позволило определить направление развития фитоценоза. *Pinus sylvestris* L. уступает в конкуренции лиственным породам на обеих вырубках, её долевое участие составляет менее 50 %. Наибольшее количество особей *Pinus sylvestris* L. на объектах исследования имеют трехлетний возраст: рубка № 1 – 55 % и рубка № 2 – 47 %. Отмечен активный рост в высоту сосны и мелколиственных пород. На рубке №1 отмечается ежегодное увеличение приростов *Pinus sylvestris* L., что свидетельствует о благоприятных условиях, однако на рубке № 2 прирост за 2022 год уступает предыдущему на 4 см. Напочвенный покров является одним из главных экологических факторов, обуславливающих восстановительную динамику фитоценозов на сплошных вырубках. Восстановительная динамика живого покрова оценивалась по 45 геоботаническим описаниям. На вырубках обнаружено 102 вида сосудистых растений, относящихся к 72 родам, наиболее представлены семейства: *Asteraceae* – 12,7 %, *Apiaceae* – 10,8 %, *Poaceae* – 8,8 %. Заметное присутствие в растительном покрове представителей семейства *Poaceae* препятствует успешному возобновлению *Pinus sylvestris* L. Доля наиболее представленных травянистых растений от общего количества видов на вырубках по эколого-ценотическим группам: луговые – 45 %, высокотравные – 16 %, неморальные – 11 % и мелкотравные – 9 %. Общее проективное покрытие живого напочвенного покрова в среднем составляет 65–75 %. В условиях вейниково-разнотравных вырубок *Pinus sylvestris* L. испытывает сильную конкуренцию со стороны

© Лежнев Д.В., Куликова Д.Д., Полякова Г.А., 2023

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

мелколиственных пород и живого напочвенного покрова, что ставит под сомнение перспективы формирования насаждения с ее преобладанием.

**Ключевые слова:** сосна, береза, осина, вырубка, живой напочвенный покров, естественное возобновление, динамика фитоценозов, эколого-ценотические группы, Москва

**Вклад авторов:** Д.В. Лежнев – сбор полевых материалов, концептуализация исследований, статистическая обработка и визуализация данных, критический анализ текста, формулирование выводов; Д.Д. Куликова – обработка полученных данных и редактирование текста статьи; Г.А. Полякова – сбор полевых материалов, аналитическая обработка данных и научное редактирование.

**История статьи:** поступила в редакцию 15.06.2023; доработана после рецензирования 20.07.2023; принята к публикации 12.08.2023.

**Для цитирования:** 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. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-447-467>

## Restorative dynamics of pine phytocenoses in clearcut areas in the floodplain terraces of the Moscow River

Daniil V. Lezhnev<sup>1</sup>, Daria D. Kulikova<sup>2</sup>, Galina A. Polyakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Forest Science, RAS, Uspenskoe, Moscow region, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation*

lezhnev.daniil@yandex.ru

**Abstract.** Initial stages of restoration dynamics of phytocenoses are of a special interest. Ecological conditions change crucially after timber harvesting. The exploration of two clearcut areas in the Moscow River valley in 3–5 years after felling allowed us to detect the direction of phytocenosis dynamics. Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) losses the competition with deciduous species in both sites constituting less than 50 % of regeneration. The largest number of individuals of *Pinus sylvestris* L. at the research sites, they have a three-year age: clear cut area No. 1 – 55 % and clear cut area No. 2 – 47 %. An intensive height increment of prevailing tree species was registered. In the site No. 1, an annual increase in height increment was registered indicating favourable growth conditions, while in the site No. 2, the 4-centimeter reduction of height increment was observed in the last year. The soil vegetation cover is an important ecological factor regulating the restoration dynamics of phytocenoses on clearcut areas. To estimate the restoration dynamics of soil cover vegetation, 45 geobotanical descriptions were made. Totally 102 species of vascular plants referred to 72 genera were found on clearcut areas. The families with the highest frequency were *Asteraceae* – 12,7 %, *Apiaceae* – 10,8 %, and *Poaceae* – 8,8 %. A noticeable presence of *Poaceae* in the vegetation cover limits successful reforestation. The percentage of the most widespread ecologo-coenotic groups is 45% of the total number of registered species for meadow herbs, 16 % for tall herbs, 11 % for nemoral species, and 9% for forbs. Summary average projective coverage of herbage is 65–75 %. Under the conditions of reed-grass – herbal type of clearcut areas, Scotch pine is

suppressed by both deciduous species and herbal vegetation, which makes the perspectives of its predomination in the future stand doubtful.

**Keywords:** Scotch pine, Silver birch, Aspen, clear cut area, soil vegetation cover, natural reforestation, phytocenoses dynamics, ecologo-coenotic groups, Moscow.

**Authors' contributions:** *D.V. Lezhnev* – research concept, field works, data statistical processing and visualisation, text preparation, formulation of conclusions; *D.D. Kulikova* – data processing and text editing; *G.A. Polyakova* – field works, data processing, and scientific editing.

**Article history:** received 15.06.2023; revised 20.07.2023; accepted 12.08.2023.

**For citation:** 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.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-447-467>

## Введение

Лесные фитоценозы формируются в том числе после катастрофических нарушений; их облик определяется характером протекающих сукцессионных процессов. Изучение данных процессов позволяет оценить перспективы возобновления леса [1–6].

После проведения сплошных рубок значительно изменяются экологические условия. Увеличение светового потока приводит к быстрой смене живого напочвенного покрова (ЖНП). Как правило, происходит разрастание злаков, препятствующее появлению всходов основных лесобразующих пород [3; 7–9].

Динамика фитоценозов обусловлена особенностями развития различных видов, а также изменениями экологических условий среды обитания, их изучение позволяет прогнозировать рост и развитие растительности в различных условиях и может быть использовано для решения практических задач [10–12]. Напочвенный покров является одним из главных экологических факторов, обуславливающих восстановительную динамику фитоценозов на сплошных вырубках. При этом растительность вырубок как лесовозобновительная среда и ее сложные динамические взаимоотношения с древесными породами изучены недостаточно [13–17].

Изменения среды и напочвенного покрова вырубок оказывают большое влияние на характер и направление лесовосстановительного процесса. В большей степени это выражено на сплошных вырубках, где часто наблюдается смена хвойных пород на мелколиственные [18–20]. Изменение травяного покрова на вырубках объясняется быстрой сменой условий произрастания (изменение температуры приземного воздуха и верхнего почвенного горизонта). Трансформация и снижение устойчивости травяных ценозов на вырубках вызываются, вероятно, также активной конкуренцией в новых условиях [21]. Стоит отметить, что в условиях улучшенного почвенного питания наиболее активно проявляется влияние ЖНП на возобновление древесно-

кустарниковой растительности [14, 22]. Все эти обстоятельства необходимо принимать во внимание при оценке влияния травяного покрова на процесс возобновления леса. Изучение восстановительной динамики живого напочвенного покрова сплошных вырубок позволяет прогнозировать ход лесовозобновительного процесса.

В связи с вышеуказанными факторами целью данного исследования стало изучение восстановительной динамики сосновых фитоценозов на вырубках в долине реки Москвы с учетом влияния на этот процесс живого напочвенного покрова. Для этого решались следующие задачи:

- проведение учета и оценки количественных характеристик древесных пород на вырубках;
- сравнение успешности развития основных лесообразующих пород;
- оценка видового состава, проективного покрытия и обилия живого напочвенного покрова;
- анализ распределения живого напочвенного покрова по эколого-ценотическим группам;
- изучение взаимодействия между растениями фитоценоза на вырубках;
- разработка рекомендации для формирования устойчивого соснового сообщества.

В Московском регионе, как правило, после проведения сплошных рубок осуществляют искусственное лесовосстановление, однако в данном случае исследуемые объекты оставлены под естественное зарастивание, что для Московской области скорее исключение, нежели правило. Особый интерес представляет восстановительная динамика фитоценозов на начальных стадиях их формирования, так как именно на данном этапе закладывается направление развития фитоценоза после проведения сплошной рубки.

### Методика исследования

Объекты исследования – две вырубки на месте ветровала 2017 г. на надпойменной террасе р. Москвы. Вырубки обследовались в течение трех лет (2020–2022 гг.). Обе вырубки располагаются примерно в 4 км к западу от Московской кольцевой автодороги и относятся к Одинцовскому городскому округу Московской области. Долина реки Москвы имеет особый характер растительности. На надпойменных террасах сохраняются вековые сосняки, часто сложные – с широколиственными породами [23]. Первая вырубка ( $55^{\circ}44'30''$  с.ш.,  $37^{\circ}18'46''$  в.д.) имеет вытянутую форму, площадь составляет 7,76 га (рис. 1), до ветровала на данном участке в насаждениях доминировала *Pinus sylvestris* L. с участием *Betula pendula* Roth. и *Populus tremula* L., а также примесью *Tilia cordata* Mill. и *Quercus robur* L. Вторая вырубка ( $55^{\circ}44'15''$  с.ш.,  $37^{\circ}19'09''$  в.д.): длина составляет примерно 300 м, ширина – 250 м, а площадь – 7,79 га, на значительной части произрастали насаждения с преобладанием *Betula pendula* Roth. и *Pinus sylvestris* L., а также в примеси *Populus tremula* L., *Quercus robur* L. и *Alnus incana* (L.) Moench. Тип условий

местопроизрастания на вырубках – свежие субори (В<sub>2</sub>). Почвы – дерново-подзолистые супесчаные или легкосуглинистые.



**Рис. 1. Контуры обследованных вырубок**  
 Источник: составлено авторами /  
**Figure 1. Contours of examined clearcut areas**  
 Source: compiled by the authors.

Для учета численности подроста на вырубках были заложены круговые учетные площадки площадью 10 м<sup>2</sup>. На вырубке № 1 учетные площадки располагались по всей длине на расстоянии 30 м друг от друга и на расстоянии 10 м от стены леса, всего заложено 21 площадка. На вырубке № 2 заложены две параллельные линии длиной 270 м, на каждой из которой расположили учетные площадки через 30 м, а граничные площадки находились на расстоянии от 10 до 20 м от стены леса, всего – 24 площадки (рис. 1).

Учитывали жизнеспособный подрост, подразделяя его на категории крупности. Для определения численности подроста в переводе на крупный применяли коэффициенты пересчета мелкого, среднего и крупного подроста (0,5; 0,8; 1,0) соответственно [24–26]. Дополнительно у каждого экземпляра сосны измерялись годовичные приросты осевого побега в высоту по мутовкам.

На каждой учетной площадке учитывали количество и высоту всех древесных и кустарниковых растений, а также определяли видовой состав живого напочвенного покрова и обилие видов, общее проективное покрытие травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов и проективное покрытие каждого вида. При характеристике количественного участия видов в фитоценозе использовалась балльная шкала обилия видов Браун-Бланке [5; 27].

Для распределения травянистой растительности по эколого-ценотическим группам (ЭЦГ) в данной работе использовали классификации А.А. Ниценко [28], Г.М. Зозулина [29] и О.В. Смирновой и др. [30],

Для изучения высотной структуры основных лесообразующих пород на сплошных вырубках производили расчет редуционных чисел ( $R_h$ ) по следующей методике:

- построение ранжированного ряда по высотам от минимальной до максимальной;
- разделение полученного ряда на 10 классов с одинаковым числом экземпляров в классе;
- определение средней высоты каждого класса:  $h_{cp}(n)$ ;
- определение относительной высоты каждого класса:

$$R_h(n) = \frac{h_{cp}(n)}{h_{cp}}, \quad (1)$$

где  $h_{cp}(n)$  – средняя высота каждого класса;  $h_{cp}$  – средняя высота всех классов;

- расчет показателя  $\Delta R_h$  как разницы относительной высоты 1 и 10 классов:

$$\Delta R_h = R_h(10) - R_h(1), \quad (2)$$

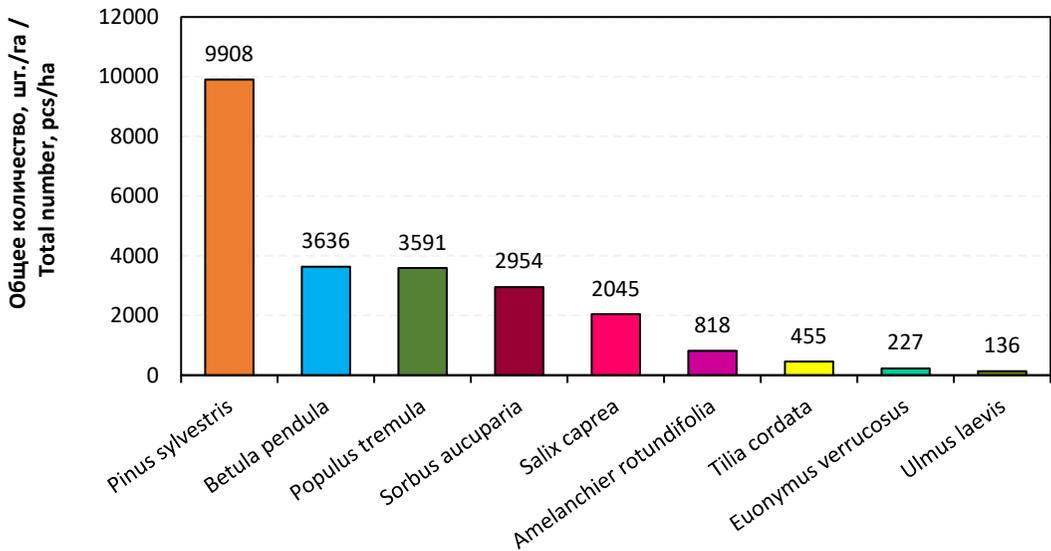
где  $R_h(10)$  – редуционное число десятого класса;  $R_h(1)$  – редуционное число первого класса.

### Результаты и их обсуждение

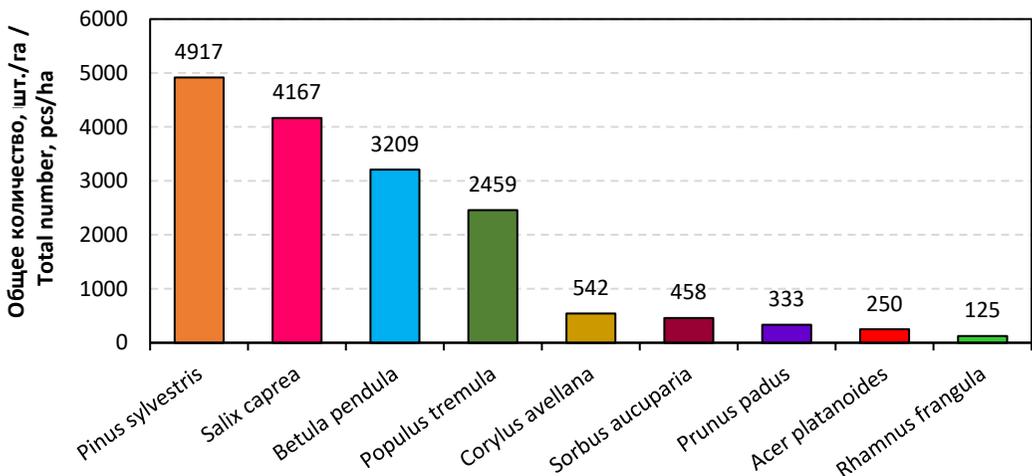
По результатам проведенного исследования определено общее количество древесно-кустарниковой растительности на пятый год после проведения сплошной санитарной рубки на двух вырубках (рис. 2–3).

Общее количество древесно-кустарниковой растительности на вырубке № 1 составляет 24 407 шт./га, из них *Pinus sylvestris* L. – 9908 шт./га (40,6 %). Данные показатели свидетельствуют о том, что количество экземпляров *Pinus sylvestris* L. меньше, чем лиственных пород в совокупности. Также на вырубке обнаружены *Acer platanoides* L., *Quercus robur* L., *Pyrus communis* L., *Padus racemosa* L. и *Corylus avellana* L., количество каждой породы не превышает 100 шт./га.

Общее количество древесно-кустарниковой растительности на вырубке № 2 составляет 17 835 шт./га, из них *Pinus sylvestris* L. – 4917 шт./га (27,6 %). *Pinus sylvestris* L. значительно уступает в конкуренции лиственным породам. Также на данной вырубке обнаружены *Sambucus racemosa* L. и *Alnus incana* (L.) Moench в количестве менее 100 шт./га.



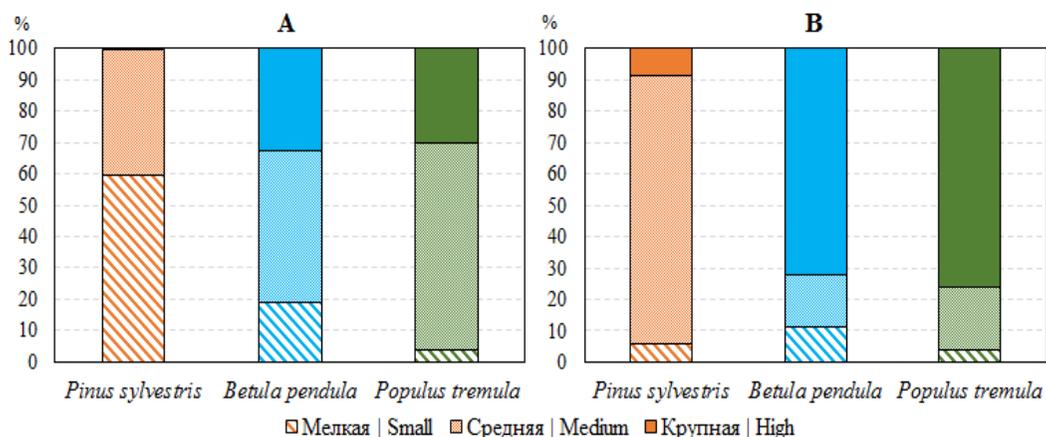
**Рис. 2.** Общая численность древесных и кустарниковых пород на вырубке № 1 / **Figure 2.** Total number of tree and shrub species on the clearcut area No. 1



**Рис. 3.** Общая численность древесных и кустарниковых пород на вырубке № 2 / **Figure 3.** Total number of tree and shrub species at the clearcut area No. 2

Важными показателями адаптации растений являются биометрические параметры: высота и прирост. Эти данные характеризуют состояние растений на момент исследования, а в динамике по ним можно выявить закономерности развития сосны во времени [24]. Способность расти с различной скоростью является адаптивным механизмом, позволяющим древесным породам формировать в различных условиях роста устойчивые долговечные насаждения [31].

Проанализированы данные распределения по категориям крупности основных лесообразующих пород на вырубках № 1 и 2 (рис. 4).



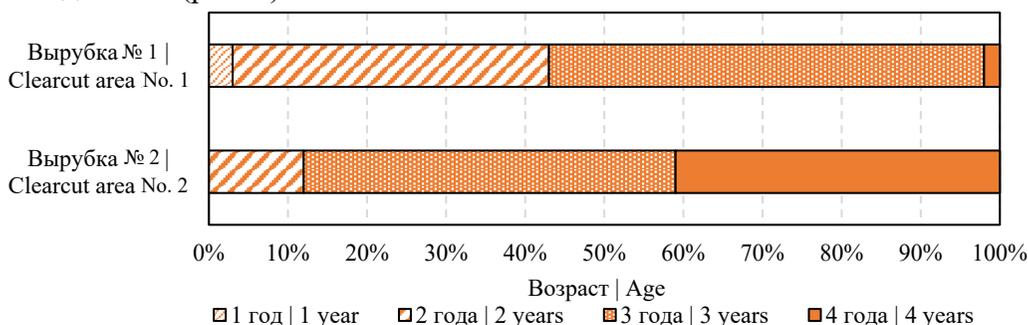
**Рис. 4. Высотная структура лесообразующих пород на вырубках № 1 (А) и № 2 (В) / Figure 4. Altitude structure of forest-forming species at the clearcut areas No. 1 (A), No. 2 (B)**

*Pinus sylvestris* L. преобладают в мелкой категории (59 %), а мелколиственные породы (*Betula pendula* Roth. и *Populus tremula* L.) в средней – 49 и 68 % соответственно. Преобладание мелкого подроста сосны свидетельствует о продолжении естественного возобновления на пятый год после начала восстановительного процесса. Наличие крупного подроста *Betula pendula* Roth. (33 %) и *Populus tremula* L. (29 %) увеличивает вероятность формирования сомкнутого полога из мелколиственных пород в ближайшей перспективе.

На вырубке № 2 в составе молодого поколения *Pinus sylvestris* L. преобладают экземпляры средней категории (86 %). У лиственных пород значительная часть экземпляров представлена крупным подростом: *Betula pendula* Roth. – 77 % и *Populus tremula* L. – 76 %, что подтверждает их доминирование.

Анализируя высотную структуру, следует отметить большой разброс высот молодых деревьев. Категория крупных и средних экземпляров лиственных пород по высоте на обеих вырубках преобладает, что свидетельствует об их успешном возобновлении к пятому году после вырубki. Сосна существенно отстает в росте по высоте.

Проанализирована возрастная структура *Pinus sylvestris* L. на объектах исследования (рис. 5).



**Рис. 5. Возрастная структура *Pinus sylvestris* L. на вырубках № 1 и № 2 / Figure 5. Ages structure of Scotch pine at the clearcut areas No. 1 and No. 2**

Возраст популяции *Pinus sylvestris* L. на вырубке № 1 варьирует от 1 до 4 лет, что свидетельствует о длительном периоде появления новых особей (всходы и самосев), после проведения сплошной санитарной рубки, в настоящий момент естественное возобновление еще продолжается. На вырубке № 2 отсутствуют однолетние особи *Pinus sylvestris* L., что говорит о прекращении естественного возобновления главной породы на пятый год вырубки. Наибольшее количество особей *Pinus sylvestris* L. на объектах исследования имеют трехлетний возраст: вырубка № 1 – 55 % и вырубка № 2 – 47 %. Также определен средний возраст *Pinus sylvestris* L. на объектах исследования: вырубка № 1 –  $2,5 \pm 0,3$  года; вырубка № 2 –  $3,2 \pm 0,4$  года. Возраст на вырубке № 1 ниже, так как там продолжается процесс лесовозобновления и снижается за счет появления новых всходов и самосева.

Показателем жизнеспособности древесных растений является прирост по высоте. На начальных стадиях онтогенеза при благоприятных условиях среды они со временем увеличиваются, а при неблагоприятных – снижаются. Нами на обеих вырубках проанализированы средние приросты по высоте *Pinus sylvestris* L. за период 2019–2022 гг. (рис. 6).

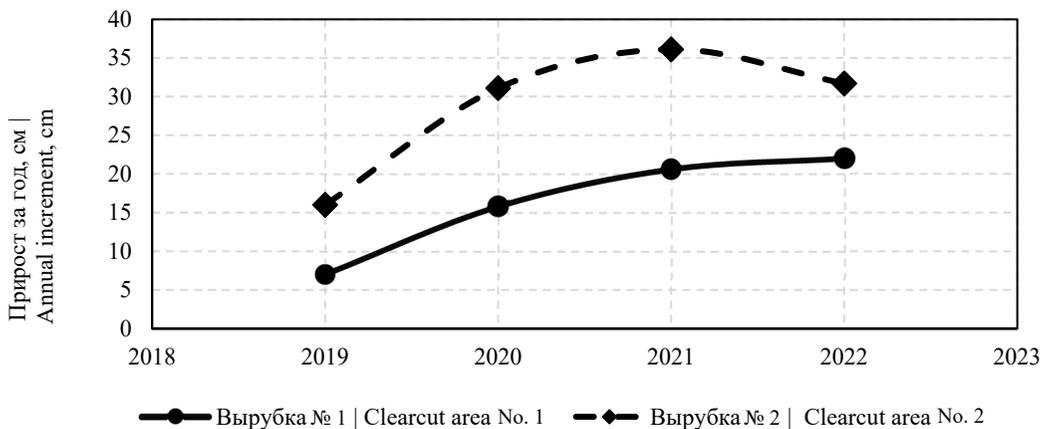
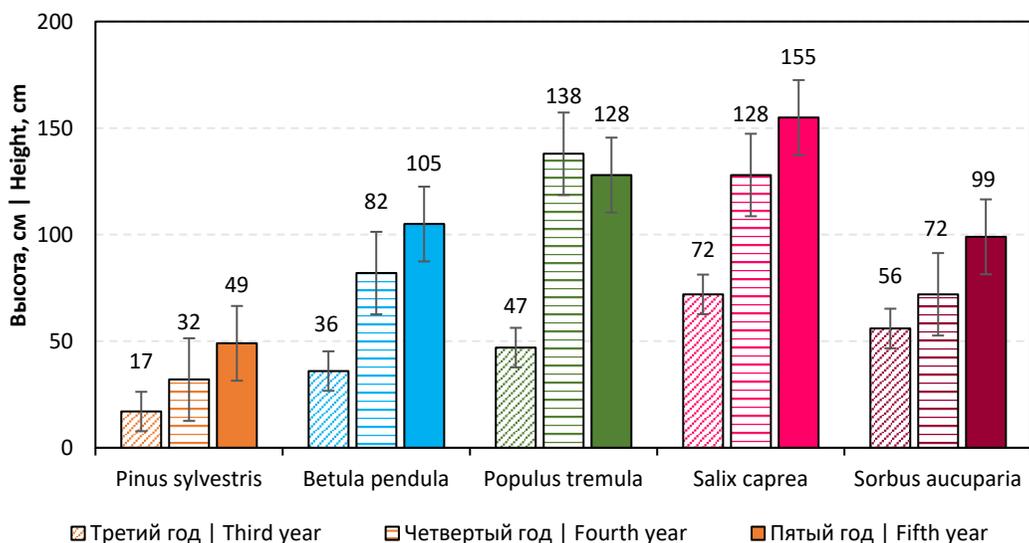


Рис. 6. Приросты *Pinus sylvestris* L. на объектах исследования, в 2019–2022 гг. /  
Figure 6. Growth in height of Scots Pine on the objects of research, 2019–2022

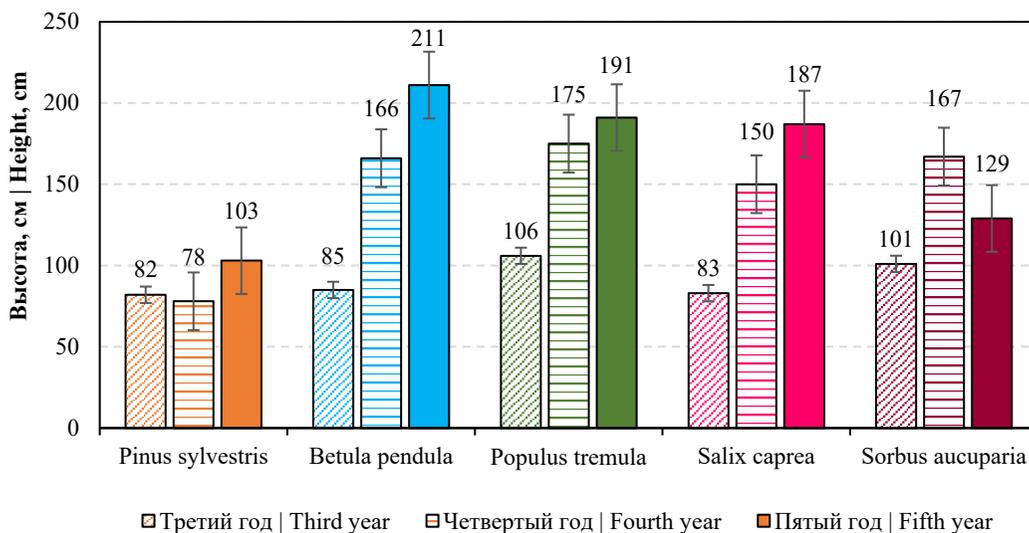
На вырубке № 1 отмечается ежегодное увеличение приростов, что свидетельствует о благоприятных условиях для главной породы. На вырубке № 2 прирост за 2022 год уступает предыдущему на 4 см (32 см), что обусловлено, по мнению авторов, межвидовой конкуренцией.

За исследуемый период наблюдается интенсивный рост *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth., *Salix caprea* L. и *Sorbus aucuparia* L. Вместе с тем на пятый год отмечается уменьшение средней высоты у *Populus tremula* L. на 10 см (128 см). Это может объясняться появлением новых экземпляров данного вида (рис. 7).



**Рис. 7. Средняя высота древесных пород на вырубке № 1 / Figure 7. Average height of tree species in clearcut area No. 1**

Прслеживается постепенный рост всех древесных пород. Однако *Sorbus aucuparia* L. имеет несущественное снижение количественного показателя на пятый год. Высота на пятый год *Pinus sylvestris* L. на вырубке № 2 составляет – 103 см, что существенно ниже лиственных пород (рис. 8).



**Рис. 8. Средняя высота древесных пород на вырубке № 2 / Figure 8. Average height of tree species in clearcut area No. 2**

Результаты, полученные в ходе исследования различных таксационных показателей, подвергались математико-статистической обработке и анализу (табл. 1).

Таблица 1. Статистические показатели учета естественного возобновления основных лесообразующих пород на пятый год после рубки  
 Table 1. Statistical processing for the natural renewal of the main forest-forming species for the fifth year

Статистический показатель / Statistic	Порода / Species					
	<i>Pinus sylvestris</i>		<i>Betula pendula</i>		<i>Populus tremula</i>	
	Вырубка / Clearcut area		Вырубка / Clearcut area		Вырубка / Clearcut area	
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
Численность в переводе на крупный, шт./га / Number, converted to high, pcs / ha	6154	3938	2941	2554	3077	2317
Коэффициент встречаемости, % / Occurrence, %	95,5	54,0	81,0	79,0	72,7	70,8
Средняя численность на учетной площадке, шт. / Average number per accounting plot, pcs.	9,46	4,92	3,64	2,71	3,64	2,46
Ошибка среднего / Error of average	±1,93	±1,44	±1,60	±0,58	±0,42	±0,33
Среднеквадратическое отклонение / Standard deviation	9,03	7,04	3,73	2,86	1,98	1,60
Коэффициент вариации, % / Coefficient of variation, %	91,99	143,2 5	102,54	105,5 6	54,34	65,15
Точность исследования, % / Research accuracy, %	19,61	29,24	21,86	21,55	11,59	13,30
Коэффициент гомогенности / Coefficient of homogeneity	8,31	10,26	3,82	3,02	1,07	1,04

Молодое поколение основных лесообразующих пород имеет среднюю густоту, так как находится в диапазоне 2000–8000 шт./га. Коэффициент встречаемости свидетельствует о равномерном размещении пород по всей площади выбранных объектов, однако на вырубке № 2 *Pinus sylvestris* L. распространена случайно (встречаемость 54,0 %). На вырубке № 1 средняя численность подроста *Pinus sylvestris* L. на учетной площадке – 9,45 шт., на вырубке № 2 – 4,92 шт. соответственно. Рассеивание на обеих вырубках по всем породам высокое, так как коэффициент вариации превышает 31 % [32]. Величина коэффициента гомогенности говорит о групповом размещении особей на всех вырубках ( $K_G > 1$ ), эти обстоятельства обусловлены биолого-экологическими свойствами исследуемых пород.

Также дополнительно проанализировали вертикальную структуру на обеих вырубках, для более детального изучения распределения *Pinus sylvestris* L. по высоте с шагом 20 см (рис. 9).

На вырубке № 1 наибольшая часть *Pinus sylvestris* L. сконцентрирована в диапазоне 21–60 см (60 %), максимальная высота – 135 см. Вместе с тем отмечено наличие экземпляров высотой до 20 см, что может указывать на разновозрастность возобновления сосны.

На вырубке № 2 преобладают деревья *Pinus sylvestris* L. высотой от 61 до 120 см (62 % от общего количества). Растений ниже 20 см не обнаружено, вероятно, всходы последних лет на этой вырубке отсутствуют. Соотношение высот сосны и лиственных пород на вырубке № 2 позволяет *Pinus sylvestris* L. доминировать в конкурентной борьбе с другими породами.

Высотную структуру ценопопуляции можно характеризовать через редукционные числа по высоте ( $R_h$ ) [25; 33]. Ранговая структура основных лесообразующих пород на вырубках отражена в табл. 2.

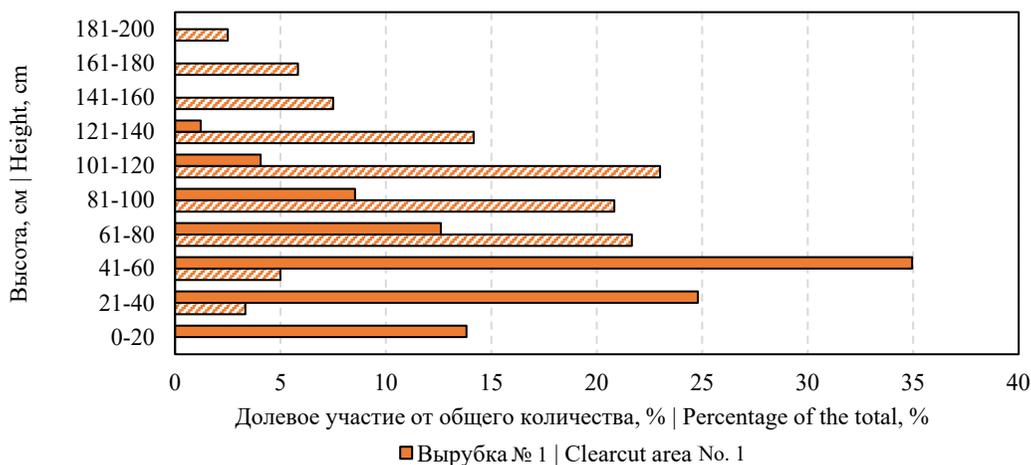


Рис. 9. Распределение *Pinus sylvestris* L. по высоте на вырубках / Figure 9. Distribution of Scotch Pine by height in clear cut areas

Таблица 2. Ранговая структура лесообразующих пород на исследованных вырубках / Table 2. Rank structure of forest-forming species on studied clearcut areas

Порода / Species	Вырубка № 1 / Clearcut area No. 1			Вырубка № 2 / Clearcut area No. 2		
	$R_h(1)$	$R_h(10)$	$\Delta R_h$	$R_h(1)$	$R_h(10)$	$\Delta R_h$
<i>Pinus sylvestris</i>	0,21	2,25	2,04	0,44	1,67	1,23
<i>Betula pendula</i>	0,30	2,13	1,83	0,37	1,64	1,27
<i>Populus tremula</i>	0,39	1,89	1,50	0,16	1,91	1,75

Полученный показатель указывает на сильное варьирование высот *Pinus sylvestris* L. на вырубке № 1, что объясняется продолжающимся появлением всходов и самосева, а также благоприятными условиями для роста.

Восстановительная динамика живого покрова и его роль в последующем возобновлении *Pinus sylvestris* L. изучалась по 45 геоботаническим описаниям, полученным в ходе полевых работ.

На вырубках в живом напочвенном покрове обнаружено 102 вида сосудистых растений, относящихся к 72 родам и 32 семействам. Наиболее представленными семействами являются *Asteraceae* – 12,7 %, *Apiaceae* – 10,8 %, *Roaceae* – 8,8 % (табл. 3).

Анализ флористического состава показал, что на вырубке № 1 обнаружено 11 видов деревьев (73 % от общего количества видов деревьев и кустарников) и 5 – кустарников (27 %). Среди доминирующих видов травянистой растительности отмечались (проективное покрытие): *Fragaria vesca* L. – 9 %; *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth. – 7%; *Luzula pilosa* (L.) Willd – 7 %; *Carex digitata* L. – 6 %; *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. – 6 %; *Deschampsia*

*cespitosa* (L.) P. Beauv. – 6 %; *Hypericum perforatum* L. – 5 %; *Solidago canadensis* L. – 5 %; *Convallaria majalis* L. – 4 %.

На вырубке № 2 среди древесно-кустарниковой растительности обнаружено 8 видов деревьев (66 % от общего числа видов) и 4 вида кустарников (34 %). Среди доминирующих видов травянистой растительности отмечались *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth. – проективное покрытие 14 %; *Fragaria vesca* L. – 8 %; *Chamaenerium angustifolium* (L.) Scop. – 8 %; *Carex pilosa* Scop. – 8 %; *Solidago canadensis* L. – 6 %; *Dryopteris carthusiana* (Vill.) Н.Р. Fuchs – 4 %; *Bidens frondosa* L. – 3 % (табл. 3).

Таблица 3. Разнообразие флоры на исследуемых участках  
Table 3. Flora diversity on studied areas

№	Семейство / Familia	Число родов / Number of genera	Число видов / Number of species	% от общего числа видов / % of total number of species
1	<i>Asteraceae</i>	8	13	12,7
2	<i>Apiaceae</i>	8	11	10,8
3	<i>Poaceae</i>	8	9	8,8
4	<i>Lamiaceae</i>	7	7	6,9
5	<i>Rosaceae</i>	4	6	5,9
6	<i>Onagraceae</i>	3	5	4,9
7	<i>Scrophulariaceae</i>	3	5	4,9
8	<i>Fabaceae</i>	2	5	4,9
9	<i>Cyperales</i>	1	5	4,9
10	<i>Caryophyllaceae</i>	3	3	2,9
11	<i>Polygonaceae</i>	2	3	2,9
12	<i>Campanulales</i>	1	3	2,9
13	<i>Dryopteridaceae</i>	1	3	2,9
14	<i>Ericaceae</i>	2	2	2,0
15	<i>Dipsacaceae</i>	2	2	2,0
16	<i>Hypericaceae</i>	1	2	2,0
17	<i>Convallariaceae</i>	1	2	2,0
18	<i>Juncales</i>	1	2	2,0
19	<i>Balsaminaceae</i>	1	1	1,0
20	<i>Woodsiaceae</i>	1	1	1,0
21	<i>Convolvulaceae</i>	1	1	1,0
22	<i>Dennstaedtiaceae</i>	1	1	1,0
23	<i>Aristolochiales</i>	1	1	1,0
24	<i>Oxalidaceae</i>	1	1	1,0
25	<i>Urticaceae</i>	1	1	1,0
26	<i>Papaveraceae</i>	1	1	1,0
27	<i>Rubiaceae</i>	1	1	1,0
28	<i>Euphorbiaceae</i>	1	1	1,0
29	<i>Plantaginaceae</i>	1	1	1,0
30	<i>Typhaceae</i>	1	1	1,0
31	<i>Crassulaceae</i>	1	1	1,0
32	<i>Violales</i>	1	1	1,0
	<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>102</b>	<b>100</b>

Эколого-ценотические группы (ЭЦГ) видов сосудистых растений широко используются в современных экологических исследованиях для решения задач оценки структурного разнообразия растительного покрова по геоботаническим описаниям [34; 35]. Всего на вырубках было выделено 9 эколого-ценотических групп, доля видов, отнесенных к определенным ЭЦГ, показана на рис. 10.

На начальной стадии восстановительной динамики фитоценоза имеется значительное флористическое разнообразие за счет обогащения живого напочвенного покрова светолюбивыми растениями. Однако набор видов, свойственных исходному типу леса, сохранился. Долевое участие преобладающих групп сосудистых растений на вырубках по ЭЦГ: луговые – 45 %, высокотравные – 16 %, неморальные – 11 % и мелкотравные – 9 %.

Высота травянистых растений на вырубке № 1 сопоставима с высотой *Pinus sylvestris* L. или незначительно превосходит ее, однако на вырубке № 2 высота ЖНП варьировала в диапазоне 0,4–1,5 м и в среднем составляет 1,2 м, что значительно превышает высоту главной породы (49 см) на пятый год после рубки.

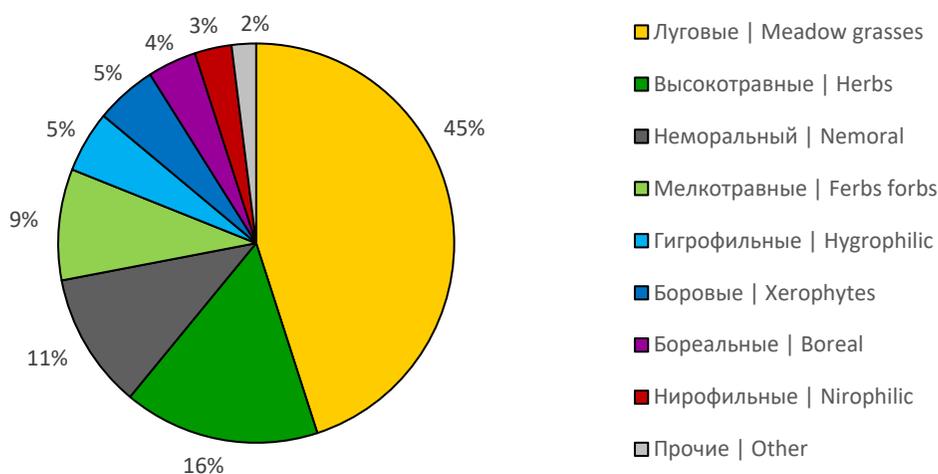


Рис. 10. Процент видов, отнесенных к эколого-ценотическим группам на объектах исследования / Figure 10. Percent of species referred to ecologo-cenotic groups on studied areas

Такая высотная структура говорит о неоптимальных условиях для развития хвойной породы. *Pinus sylvestris* L. не способна выдерживать влияния неблагоприятных факторов в виде конкуренции с другими породами и заглушением со стороны травянистой растительности, что не позволяет ей получать в необходимом количестве минеральные элементы, свет и воду.

Общее проективное покрытие живого напочвенного покрова на вырубке № 1 изменяется от 30 до 80 % на отдельных площадках и в среднем равняется 60–65 %, на вырубке № 2 – от 30 до 90 % на отдельных площадках и в среднем составляет 70–75 %.

Сходство видового состава сообществ на вырубках определялось по коэффициенту флористической общности Жаккара ( $K_J$ ), который вычисляется по формуле [36; 37]

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

где  $N_{A+B}$  – число общих видов в сравниваемых описаниях А и В;  $N_A$  и  $N_B$  – число видов в каждом из описаний.

$$K_J = 37,3 \text{ \%}.$$

Невысокое сходство видового состава сообществ на вырубках свидетельствует о различных условиях произрастания, что обусловлено несколькими факторами: формой вырубок и породным составом стены леса.

И.С. Мелеховым [38] рекомендуется выделять тип вырубки, после того как на ней «устоятся» условия среды, а развитие ЖНП достигнет своего максимального предела. Название типов вырубок целесообразно давать по общему строению живого покрова в возрасте 4–5 лет. В этот период в составе травяного покрова преобладают наиболее характерные комплексы индикаторных растений. Индикатором типа вырубки может служить не только темп изменения видового состава и степени разрастания ЖНП, а также динамика численности, смена состава и скорость последующего возобновления древесных пород. По результатам обследования флористического состава исследуемых вырубок их можно отнести к вейниково-разнотравному типу вырубки.

### Заключение

1. Общее количество древесно-кустарниковой растительности на вырубке № 1 составляет 24 407 шт./га, из них *Pinus sylvestris* L. – 9908 шт./га (40,6 %). На вырубке № 2 – 17 835 шт./га, из них *Pinus sylvestris* L. – 4917 шт./га (27,6 %). Главная порода уступает в конкуренции лиственным породам на обеих вырубках, ее доленое участие составляет менее 50 %.

2. На вырубке № 1 *Pinus sylvestris* L. преобладает в мелкой категории – 59 %, а *Betula pendula* Roth. и *Populus tremula* L. в средней – 49 и 68 % соответственно. Преобладание мелкого подроста сосны свидетельствует о продолжении естественного возобновления на пятый год после начала восстановительного процесса. На вырубке № 2 молодое поколение *Pinus sylvestris* преобладает в средней категории и составляет 86 %, а *Betula pendula* Roth. и *Populus tremula* L. в крупной – 77 и 76 %, что подтверждает доминирование мелколиственных пород.

3. На вырубках в живом напочвенном покрове обнаружено 102 вида сосудистых растений, относящихся к 32 семействам. Наиболее представленными семействами являются *Asteraceae* – 12,7 %, *Apiaceae* – 10,8 %, *Poaceae* – 8,8 %. Общее проективное покрытие на обеих вырубках практически одинаковое, варьируется в среднем в диапазоне 65–75 %.

4. На начальной стадии восстановительной динамики фитоценоза имеется значительное флористическое разнообразие. Доля травянистых растений, наиболее представленных на вырубках по ЭЦГ: луговые – 45 %, высокотравные – 16 %, неморальные – 11 % и мелкотравные – 9 %.

5. Живой напочвенный покров неблагоприятно влияет на появление и развитие подроста *Pinus sylvestris* L. Наличие в растительном покрове представителей семейства *Poaceae* препятствует успешному возобновлению главной породы за счет задернения почвы.

6. Для формирования устойчивых сосновых фитоценозов на вырубках необходимо проведение агротехнических и лесоводственных уходов, а в дальнейшем – рубок ухода.

### Список литературы

- [1] Абатуров А.В., Кочевая О.В., Янгутов А.И. 150 лет Лосиноостровской лесной даче. Из истории национального парка «Лосиный остров». М.: Аслан, 1997. С. 228.
- [2] Коротков С.А., Глазунов Ю.Б., Полякова Г.А., Куликова Д.Д. Возобновление сосны на вырубках в Серебряноборском опытном лесничестве Института лесоведения РАН // Пространственно-временные аспекты функционирования биосистем: сборник материалов XVI Международной научной экологической конференции, посвященной памяти Александра Владимировича Присного / отв. ред. Ю.А. Присный. Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2020. С. 200–204.
- [3] Šipek M., Ravnjak T., Šajna N. Understorey species distinguish late successional and ancient forests after decades of minimum human intervention: A case study from Slovenia // Forest Ecosystems. 2023. P. 100096. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2023.100096>
- [4] Gasanov G. et al. Data on the productivity of plant cover of the main types of soils of the North-Western precaspian in connection with the dynamics of ecological factors // Data in brief. 2019. Vol. 24. P. 103713.
- [5] Nakhoul J. et al. Vegetation dynamics and regeneration of *Pinus pinea* forests in Mount Lebanon: Towards the progressive disappearance of pine // Ecological Engineering. 2020. Vol. 152. P. 105866.
- [6] Niu H., Rehling F., Chen Z., Yue X., Zhao H., Wang X., Zhang H., Schabo D.G., Farwig N. Regeneration of urban forests as influenced by fragmentation, seed dispersal mode and the legacy effect of reforestation interventions. Landscape and Urban Planning. 2023. Vol. 233. P. 104712. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104712>
- [7] Лежнев Д.В. Возобновление под пологом сосняков и на вырубках в ближайшем Подмоскowie // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Восьмой всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2022. С. 95–97.
- [8] Ammer C. et al. Key ecological research questions for Central European forests // Basic and Applied Ecology. 2018. Vol. 32. P. 3–25.
- [9] Varaksin G.S. et al. Availability of forest plots for reforestation activities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2021. Vol. 839, no. 5. P. 052018.
- [10] Лежнев Д.В., Меняева В.А. Живой напочвенный покров сосновых фитоценозов Яузского лесопарка «Лосино острова» / XXII научно-практический форум «Проблемы озеленения крупных городов»: сборник статей. М., 2023. С. 113–118.
- [11] Bilek L., Vacek Z., Vacek S., Bulušek D., Linda R., Král J. Are clearcut borders an effective tool for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration? // Forest systems. 2018;27(2):e010-e010. <https://doi.org/10.5424/fs/2018272-12408>

- [12] *Власенко М.В., Трубакова К.Ю.* Особенности сезонной динамики структуры фитоценозов на песчаных землях юга Европейской территории России // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28, № 1 (90). С. 115–124. <https://doi.org/10.24412/1993-3916-2022-1-115-124>
- [13] *Санников С.Н.* Типы вырубок, динамика живого напочвенного покрова и его роль в последующем возобновлении сосны в Припышминских борах-зеленомошниках // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 1. Свердловск, 1968. С. 280–301.
- [14] *Беляева Н.В., Нойкина А.М.* Успешность естественного возобновления сосны на вырубках в зависимости от типа леса // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2008. С. 6–21.
- [15] *Уланова Н.Г.* Основные тренды динамика биоразнообразия после природных и антропогенных «катастроф» в ельниках европейской части России // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27, № 4–1. С. 84–92.
- [16] *Стороженко В.Г.* Естественное возобновление в коренных разновозрастных ельниках европейской тайги России // Сибирский лесной журнал. 2017. № 3. С. 87–92.
- [17] *Тырченкова И.В.* Оценка естественного возобновления леса в искусственных сосновых насаждениях Воронежской области // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8, № 2 (30). С. 104–114.
- [18] *Побединский А.В.* Рубки и возобновление в таежных лесах СССР // Лесная промышленность. 1973. С. 199.
- [19] *Przybylski P., Konatowska M., Jastrzębowski S., Tereba A., Mohytych V., Tyburski Ł. et al.* The possibility of regenerating a pine stand through natural regeneration. *Forests*. 2021. 12 (8). P. 1055. <https://doi.org/10.3390/f12081055>
- [20] *Ara M., Barbeito I., Kalén C., Nilsson U.* Regeneration failure of Scots pine changes the species composition of young forests // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2022. 37 (1). P. 14–22. <https://doi.org/10.1080/02827581.2021.2005133>
- [21] *Маслаков Е.Л., Колесников Б.П.* Классификация вырубок и естественное возобновление сосновых лесов среднетаежной подзоны равнинного Зауралья // Леса Урала, и хозяйство в них. 1968. № 1. С. 246–279.
- [22] *Абатуров А.В., Меланхолин П.Н.* Естественная динамика леса на постоянных пробных площадях в Подмосковье: моногр. Тула: Гриф и К, 2004. 336 с.
- [23] *Рысин Л.П.* Леса Подмосковья. Российская акад. наук, Отд-ние биологических наук РАН, Ин-т лесоведения. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2012. 255 с.
- [24] *Зарипов Ю.В., Залесов С.В., Залесова Е.С., Попов А.С., Платонов Е.П., Стародубцева Н.И.* Подрост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на отвалах месторождения хризотил-асбеста // Известия вузов. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 5 (383). С. 22–33. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-5-22-33>
- [25] *Стоноженко Л.В., Коротков С.А., Гришенков В.А.* Возобновление под пологом леса в национальном парке «Угра» // Лесохоз. информ: электрон. сетевой журн. 2018. № 2. С. 35–45. URL: <http://hi.vniilm.ru/> (дата обращения: 14.05.2023).
- [26] *Лежнев Д.В.* Методики исследований естественного возобновления лесных экосистем // Цифровые технологии в лесной отрасли: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2022. С. 130–138.
- [27] *Braun-Blanquet J.* Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde. 3rd Edition, Springer-Verlag, Berlin, 1964. 631 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8110-2>
- [28] *Ниценко А.А.* Об изучении экологической структуры растительного покрова // Бот. журн. 1969. Т. 54, № 7. С. 1002–1014.

- [29] Зозулин Г.М. Исторические свиты растительности Европейской части СССР // Ботанический журнал. 1973. Т. 58, № 8. С. 1081–1092.
- [30] 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. М., 2004. С. 165–175.
- [31] Бабич Н.А., Евдокимов И.В., Неволин Н.Н. Культуры сосны Вологодской области. Вологда, 2008. С. 136.
- [32] Данилов Д.А., Мандрыкин С.С., Шестаков В.И., Шестакова Т.А. Возобновление ели и сосны на постагrogenных землях в Ленинградской области // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2018. № 8. С. 28–31.
- [33] Грибачева О.В., Чернодубов А.И., Сотников Д.В. Динамика рангового распределения деревьев по высоте в полегающей полосе с участием дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) // Лесотехнический журнал, 2020. Т. 10, № 1 (37). С. 15–25.
- [34] Смирнов В.Э., Ханина Л.Г., Бобровский М.В. Обоснование системы эколого-ценотических групп видов растений лесной зоны Европейской России на основе экологических шкал, геоботанических описаний и статистического анализа // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический, 2006. Т. 111, № 2. С. 36–47.
- [35] Наливайченко А.А., Сергей Н., Матецкая А.Ю. Исследование биоразнообразия некоторых лесопарковых фитоценозов Ростовской агломерации // Лесотехнический журнал. 2022. Т. 12, № 4 (48). С. 169–184. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/12>.
- [36] Титлянова А.А., Самбуу А.Д. Сукцессии в травяных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. С. 191.
- [37] Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Фитоценология. Принципы и методы. М.: Наука, 1978. С. 212.
- [38] Мелехов И.С. Лесоведение: учеб. М.: Лесная промышленность, 1980. С. 406.

## References

- [1] Abaturov AV, Kochevaya OV, Yangutov AI. 150 let Losinoostrovskoy lesnoy dache. Iz istorii natsional'nogo parka «Losinyy ostrov». *Aslan*. 1997:228. (In Russ.)
- [2] Korotkov SA, Glazunov YuB, Polyakova GA, Kulikova DD. Renewal of pine trees in cuttings in the Serebryanoborsky experimental forestry of the Institute of Forestry of the Russian Academy of Sciences. *Spatial and temporal aspects of the functioning of biosystems: a collection of materials of the XVI International Scientific Ecological Conference dedicated to the memory of Alexander Vladimirovich Prisny*. Ed. YuA. Prisny. Belgorod: Belgorod State National Research University; 2020. p. 200–204.
- [3] Šipek M, Ravnjak T, Šajna N. Understorey species distinguish late successional and ancient forests after decades of minimum human intervention: A case study from Slovenia *Forest Ecosystems*. 2023:100096.
- [4] Gasanov G. et al. Data on the productivity of plant cover of the main types of soils of the North-Western precaspian in connection with the dynamics of ecological factors. 2019;24:103713.
- [5] Nakhoul J. et al. Vegetation dynamics and regeneration of *Pinus pinea* forests in Mount Lebanon: Towards the progressive disappearance of pine. *Ecological Engineering*. 2020;152:105866.

- [6] Niu H, Rehling F, Chen Z, Yue X, Zhao H, Wang X, Zhang H, Schabo DG, Farwig N. Regeneration of urban forests as influenced by fragmentation, seed dispersal mode and the legacy effect of reforestation interventions *Landscape and Urban Planning*. 2023; 233:104712. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104712>
- [7] Lezhnev DV. Renewal under the canopy of pine forests and clearings in the Moscow suburbs. Increasing the efficiency of the forest complex. *Materials of the eighth All-Russian national scientific-practical conference with international participation*. Petrozavodsk. 2022:95–97. (In Russ.)
- [8] Ammer C. et al. Key ecological research questions for Central European forests. *Basic and Applied Ecology*. 2018;32:3–25.
- [9] Varaksin GS. et al. Availability of forest plots for reforestation activities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;839(5):052018.
- [10] Lezhnev DV, Menyayeva VA. Soil vegetation cover of pine phytocenoses of the Yauzsky forest park “Losiny Ostrov”. *XXII Scientific and Practical Forum “Problems of Greening Large Cities”*: collection of articles. 2023:113–118. (In Russ.)
- [11] Bílek L, Vacek Z, Vacek S, Bulušek D, Linda R, Král J. (2018). Are clearcut borders an effective tool for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration? *Forest Systems*. Vol. 27. Issue 2. e010. <https://doi.org/10.5424/fs/2018272-12408R>
- [12] Vlasenko MV, Trubakova KY. Characteristics of the Seasonal Dynamic Structure of Phytocenoses on Sandy Grounds in the South of European Russia. *Arid Ecosystems*. 2022;28(1):115–124. (In Russ.)
- [13] Sannikov SN. Types of cuttings, dynamics of the living ground cover and its role in the subsequent renewal of pine in the Pripyshminsky green moss forests. In: *Forests of the Urals and the economy in them. Issue. 1*. Svedlovsk; 1968. p. 280–301. (In Russ.)
- [14] Belyaeva NV, Noikina AM. The success of the natural regeneration of pine in clearings, depending on the type of forest. *Actual problems of the forest complex*. 2008:6–21. (In Russ.)
- [15] Ulanova NG. Main trends in biodiversity dynamics after natural and anthropogenic “disasters” in the spruce forests of the European part of Russia. *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology*. 2018;27(4–1):84–92. (In Russ.)
- [16] Storozhenko VG. Natural renewal in indigenous spruce forests of different ages in the European taiga of Russia. *Siberian Forest Journal*. 2017;3:87–92. (In Russ.)
- [17] Tyrchenkova IV. Estimation of natural reforestation in artificial pine plantations of the Voronezh region. *Forest engineering journal*. 2018;8(2):104–114. (In Russ.)
- [18] Pobedinsky AV. Felling and regeneration in the taiga forests of the USSR. *Forest industry*. 1973;200. (In Russ.)
- [19] Przybylski P, Konatowska M, Jastrzębowski S, Tereba A, Mohytych V, Tyburski Ł, et al. The possibility of regenerating a pine stand through natural regeneration forests. 2021;12(8):1055. <https://doi.org/10.3390/f12081055>
- [20] Ara M, Barbeito I, Kalén C, Nilsson U. Regeneration failure of Scots pine changes the species composition of young forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2022;37(1):14–22. <https://doi.org/10.1080/02827581.2021.2005133>
- [21] Maslakov EL, Kolesnikov BP. Classification of clearings and natural renewal of pine forests in the middle taiga subzone of the plain Trans-Urals. *Forests of the Urals, and the economy in them*. 1968;(1):246–279. (In Russ.)
- [22] Abaturon AV, Melancholin PN. Natural dynamics of the forest on permanent trial plots in the Moscow region: monograph. Tula: Grif and K; 2004. 336 p. (In Russ.)
- [23] Rysin LP. Forests near Moscow. *Russian acad. Sciences, Department of Biological Sciences, Russian Academy of Sciences, Institute of Forest Science*. Moscow: Association of Scientific. ed. KMK; 2012. 255 p. (In Russ.)

- [24] Zaripov YV, Zalesov SV, Zalesova ES, Popov AS, Platonov EP, Starodubtseva NI. News of higher educational institutions. *Forest magazine*. 2021;(5):22–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-5-22-33>
- [25] Stonozhenko LV, Korotkov SA, Grishenkov VA. Renewal under the forest canopy in the national park “Ugra” [Electronic resource]. *Forestry. inform.: electron. network magazine*. 2018;(2):35–45. (In Russ.) URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (accessed: 14.05.2023).
- [26] Lezhnev DV. Research methods of natural renewal of forest ecosystems. *Digital technologies in the forest industry. materials of the All-Russian scientific-practical conference*. Voronezh. 2022:130–138. (In Russ.)
- [27] Braun-Blanquet J. *Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde*. 3rd Edition, Springer-Verlag, Berlin; 1964. 631 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8110-2>
- [28] Nitsenko AA. On the study of the ecological structure of vegetation *Bot. magazine*. 1969;54(7):1002–1014. (In Russ.)
- [29] Zozulin GM. Historical suites of vegetation of the European part of the USSR. *Botanical Journal – Botanical Journal*. 1973;58(8):1081–1092. (In Russ.)
- [30] Smirnova OV, Khanina LG, Smirnov VE. Ecological and coenotic groups in the vegetation cover of the forest belt of Eastern Europe. In: *Eastern European forests: history in the Holocene and modernity*. O.V. Smirnova (ed.) *Book. 1*. Moscow; 2004. p. 165–175. (In Russ.)
- [31] Babich NA, Evdokimov IV, Nevolin NN. Pine cultures of the Vologda region. Vologda; 2008. 136 p. (In Russ.)
- [32] Danilov DA, Mandrykin SS, Shestakov VI, Shestakova TA. Renewal of spruce and pine on post-agrogenic lands in the Leningrad region. *Actual problems of the forest complex*. 2018;(51):28–31. (In Russ.)
- [33] Gribacheva OV, Chernodubov AI, Sotnikov DV. Dynamics of the rank distribution of trees by height in the shelterbelt with the participation of English oak (*Quercus robur* L.) and Norway maple (*Acer platanoides* L.). *Forest technical journal*. 2020;10(1):15–25. (In Russ.)
- [34] Smirnov VE, Khanina LG, Bobrovsky MV. Substantiation of the system of ecological-coenotic groups of plant species in the forest zone of European Russia based on ecological scales, geobotanical descriptions and statistical analysis. *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Department of biology*. 2006;111(2):36–47. (In Russ.)
- [35] Nalivaichenko AA, Skripnikov PN, Gorbov SN, Matetskaya AY. The study of biodiversity of some forest-park phytocenoses of the Rostov agglomeration. *Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Engineering journal]*. 2022;12;4(48):169–184. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.4/12> (In Russ.)
- [36] Titlyanova AA, Sambuu AD. Successions in grass ecosystems. *Novosibirsk: Publishing House of the Russian Academy of Sciences*. 2016:191 (In Russ.)
- [37] Mirkin BM, Rozenberg GS. *Phytocenology. Principles and methods*. Moscow: Nauka; 1978. 212 p. (In Russ.)
- [38] Melekhov IS. *Lesovedenie: ucheb*. Moscow: Forest industry; 1980. 406 p. (In Russ.)

### Сведения об авторах:

Лежнев Даниил Викторович, 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](mailto:lezhnev.daniil@yandex.ru)

*Куликова Дарья Дмитриевна*, магистр 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: 0009-0005-2014-2801. E-mail: kulikovadd@yandex.ru

*Полякова Галина Андреевна*, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лесной геоботаники и лесного почвоведения, Институт лесоведения РАН, Российская Федерация, 143030, Московская область, Одинцовский г.о., с. Успенское, ул. Советская, д. 21. ORCID: 0000-0002-5807-2408. eLIBRARY SPIN: 2283-8574. E-mail: park-galina@mail.ru

### **Bio notes:**

*Daniil V. Lezhnev*, Junior Senior Researcher, Laboratory of Forestry and Biological Productivity, Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, 21 Sovetskaya, Uspenskoe, Moscow region, 143030, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-2706-7320. eLIBRARY SPIN: 5133-7760. E-mail: lezhnev.daniil@yandex.ru

*Daria D. Kulikova*, MSC student of the Department of Forestry, Ecology, Forest Protection, Bauman Moscow State Technical University, 1 1st Institutskaya St, Mytischki, 141005, Russian Federation. ORCID: 0009-0005-2014-2801. E-mail: kulikovadd@yandex.ru

*Galina A. Polyakova*, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Forest Geobotany and Forest Soil Science, Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, 21 Sovetskaya, Uspenskoe, Moscow region, 143030, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-5807-2408. eLIBRARY SPIN: 2283-8574. E-mail: park-galina@mail.ru



## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-468-475  
EDN: RDXAOF  
УДК 504.05

Научная статья / Research article

### Оценка состояния торфяников Могилевской области

О.Н. Ратникова✉, Ю.Ю. Навоша, И.В. Агейчик

*Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь*  
✉306peatlands@mail.ru

**Аннотация.** Анализ спутниковых снимков высокого и сверхвысокого разрешения 1385 торфяников (площадью более 10 га), расположенных на территории Могилевской области Республики Беларусь, показал, что из общей площади 221 тыс. га торфяников в естественном состоянии сохранилось около 37 %, остальная часть подверглась гидротехнической мелиорации. Доля осушенных земель с торфяными почвами сельскохозяйственного использования составила около 30 %, покрытых лесной растительностью – около 7 %, нарушенных болот – 26 %.

**Ключевые слова:** спутниковые снимки, естественное болото, нарушенное болото, осушенные земли с торфяными почвами, покрытые лесной растительностью

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**История статьи:** поступила в редакцию 01.04.2023; доработана после рецензирования 01.07.2023; принята к публикации 10.09.2023.

**Для цитирования:** Ратникова О.Н., Навоша Ю.Ю., Агейчик И.В. Оценка состояния торфяников Могилевской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 468–475. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-468-475>

© Ратникова О.Н., Навоша Ю.Ю., Агейчик И.В., 2023



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

## Assessment of the disturbance of peat bogs of the Mogilev region

Olga N. Ratnikova✉, Yulian Yu. Navosha, Inna V. Ageichik

*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Belarus*

✉306peatlands@mail.ru

**Abstract.** The analysis of high- and ultra-high-resolution satellite images of 1,385 peat bogs (with an area of more than 10 hectares) located on the territory of the Mogilev region of the Republic of Belarus showed that about 37 % of the total area of 221 thousand hectares of peat bogs were preserved in their natural state, the rest was subjected to hydraulic reclamation. The share of drained lands with peat soils of agricultural use was about 30 %, covered with forest vegetation – about 7 %, disturbed swamps – 26 %.

**Keywords:** satellite images, natural swamp, disturbed swamp, drained lands with peat soils, covered with forest vegetation

**Authors' contribution:** All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

**Article history:** received 01.04.2023; revised 01.07.2023; accepted 10.09.2023.

**For citation:** Ratnikova ON, Navosha YuYu, Ageichik IV. Assessment of the disturbance of peat bogs of the Mogilev region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):468–475. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-468-475>

Естественные торфяные болота выполняют разнообразные биосферные функции, оказывают большое влияние на природные процессы, обеспечивают условия сбалансированного и устойчивого состояния этой среды. Они представляют собой весьма специфические и уникальные природные местообитания для биоразнообразия. Почти все виды растений и животных, обитающих на болотах, являются редкими или уязвимыми, так как могут обитать только на болотах, и сокращение площади болот неизбежно ведет к сокращению численности, а иногда и к полному исчезновению многих уникальных видов и популяций. Важнейшими свойствами болот в естественном состоянии являются сохранение ландшафтного разнообразия среди освоенных территорий, смягчение последствий изменения климата, поддержание устойчивого водного режима на окружающих их территориях. На осушенных, разрабатываемых и выработанных торфяных месторождениях интенсивно протекают процессы минерализации органического вещества торфа, возникает пожароопасная ситуация.

Обязательным условием продуктивного и рационального использования сырьевых ресурсов торфяного фонда являются всесторонний учет и инвентаризация всех месторождений торфа. При этом важна актуальная информация, учитывающая происходившие за прошлые годы изменения по каждому объекту – изменение площадей, запасов, состояний.

С целью получения актуальной информации о торфяниках области была выполнена оценка их состояния с использованием спутниковых снимков [1]. Для дешифрирования использовались изображения, подготовленные на основе снимков высокого и сверхвысокого разрешения, доступных на геосервисах Google, Yandex Satellite, Bing, данные дистанционного зондирования Земли на территории Республики Беларусь, включающие материалы аэрофотосъемки ([www.dzz.by](http://www.dzz.by)).

Оценка состояния территорий торфяных месторождений выполнялась по наличию участков (и их площадей) определенных направлений использования.

В зависимости от степени и вида использования в хозяйственной и иной деятельности выделили категории участков торфяников: естественное болото; нарушенное болото; территории, покрытые лесной растительностью; осушенные земли с торфяными почвами сельскохозяйственного использования.

*Естественные болота* сохраняются в естественном ненарушенном состоянии. Допускается ограниченное использование естественных болот для осуществления отдельных видов хозяйственной и иной деятельности, не оказывающих отрицательного воздействия на болотные экологические системы (ведение лесного хозяйства, экологический туризм, сбор дикорастущих растений, сенокошение, ведение охотничьего и рыболовного хозяйства и др.), при условии соблюдения режима охраны и использования естественных болот.

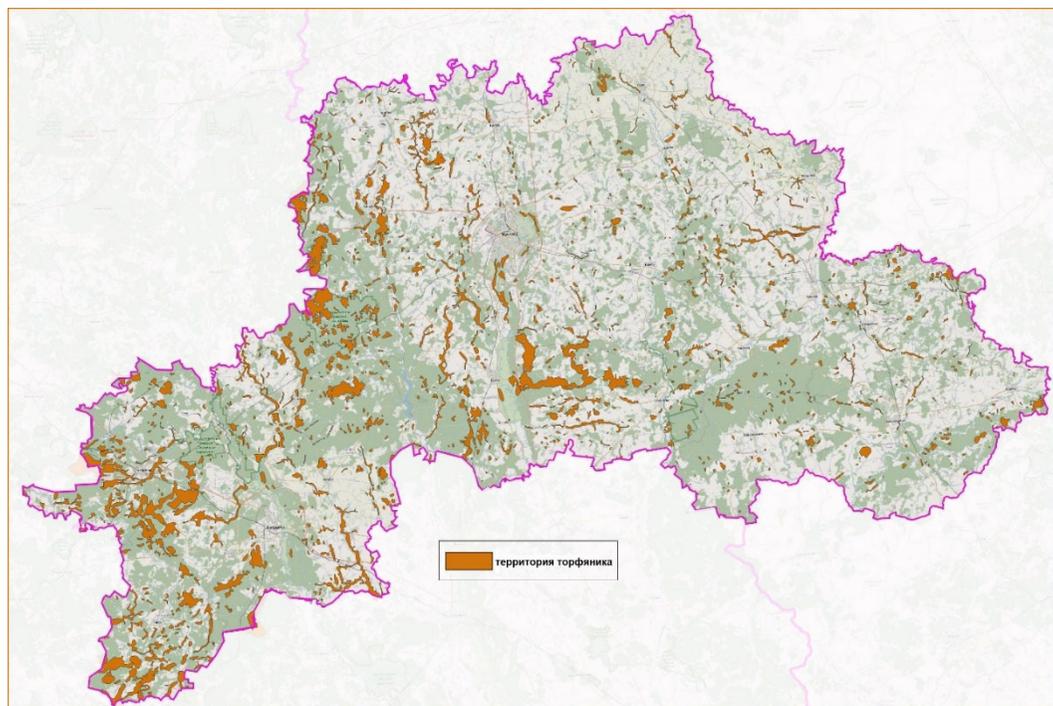
*Нарушенные болота*, покрытые древесно-кустарниковой растительностью, используются для ведения лесного хозяйства, сбора, заготовки дикорастущих растений, сенокошения, ведения охотничьего хозяйства и охоты, ведения рыболовного хозяйства и рыболовства, осуществления других видов хозяйственной и иной деятельности.

*Покрытые лесной растительностью* территории характеризуются наличием древесного яруса и лесомелиоративных каналов.

*Осушенные земли с торфяными почвами* используются для ведения сельского хозяйства.

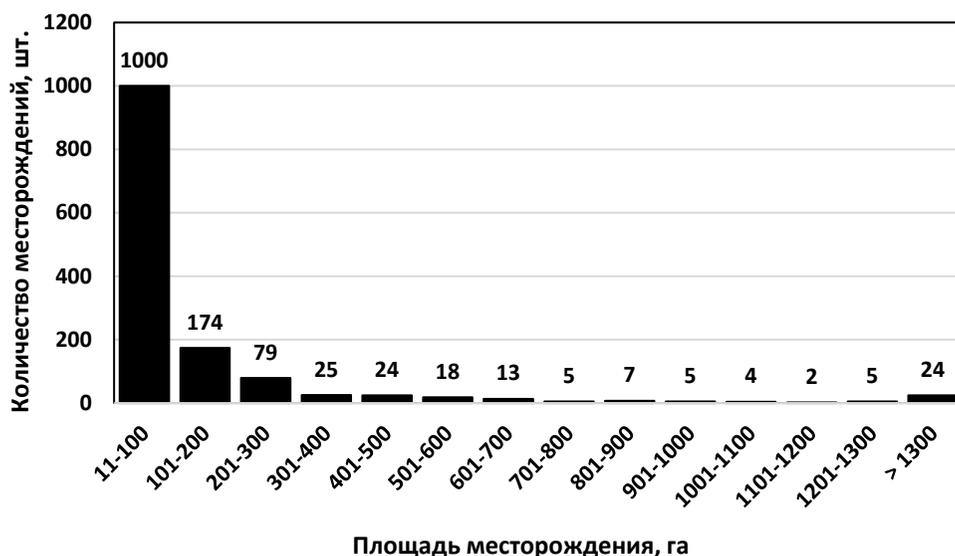
Работа выполнялась с использованием свободной геоинформационной системы с открытым кодом QGIS. Предварительно была создана база данных контуров торфяных месторождений с топографической привязкой, а также их нормирование по площадям (по данным наземных изысканий). Атрибутивная информация базы данных контуров содержала количественную и качественную информацию о каждом торфяном месторождении. На рис. 1 приведена карта торфяных месторождений Могилевской области.

Всего на территории Могилевской области Республики Беларусь находится 1385 разведанных торфяных месторождений площадью более 10 га, общая площадь которых составляет ~221,0 тыс. га, или 7,6 % территории области [1].



**Рис. 1. Карта торфяных месторождений Могилевской области**

На рис. 2 представлена статистическая диаграмма распределения торфяных месторождений Могилевской области по площадям в нулевых границах залежи. Как следует из приведенных данных, торфяной фонд Могилевской области представлен в основном небольшими по площади торфяными месторождениями: ~ 72,2 % месторождений площадью меньше 100 га.



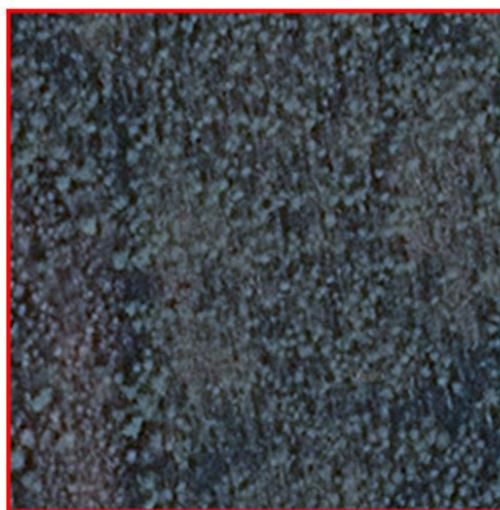
**Рис. 2. Статистическая диаграмма распределения торфяных месторождений Могилевской области по площадям в нулевых границах залежи**

Анализ состояния торфяников проводился методом экспертных оценок территорий с использованием разработанных дешифровочных признаков [2; 3].

Дешифровочными признаками участков разных категорий в пределах нулевой границы торфяного месторождения являлись структура рисунка; тональность рисунка в зависимости от степени обводненности различных элементов микроландшафта; наличие и параметры осушительной сети; наличие древесного яруса и его расположение. На рис. 3 представлены примеры фрагментов спутниковых снимков типичных участков различных категорий.



Естественное болото



Месторождение, покрытое лесной растительностью



Нарушенное месторождение, покрытое кустарниковой растительностью



Осушенные земли с торфяными почвами

**Рис. 3. Типичные участки торфяников разных направлений использования (спутниковые снимки Yandex Satellite)**

Источник: обработанные авторами снимки.

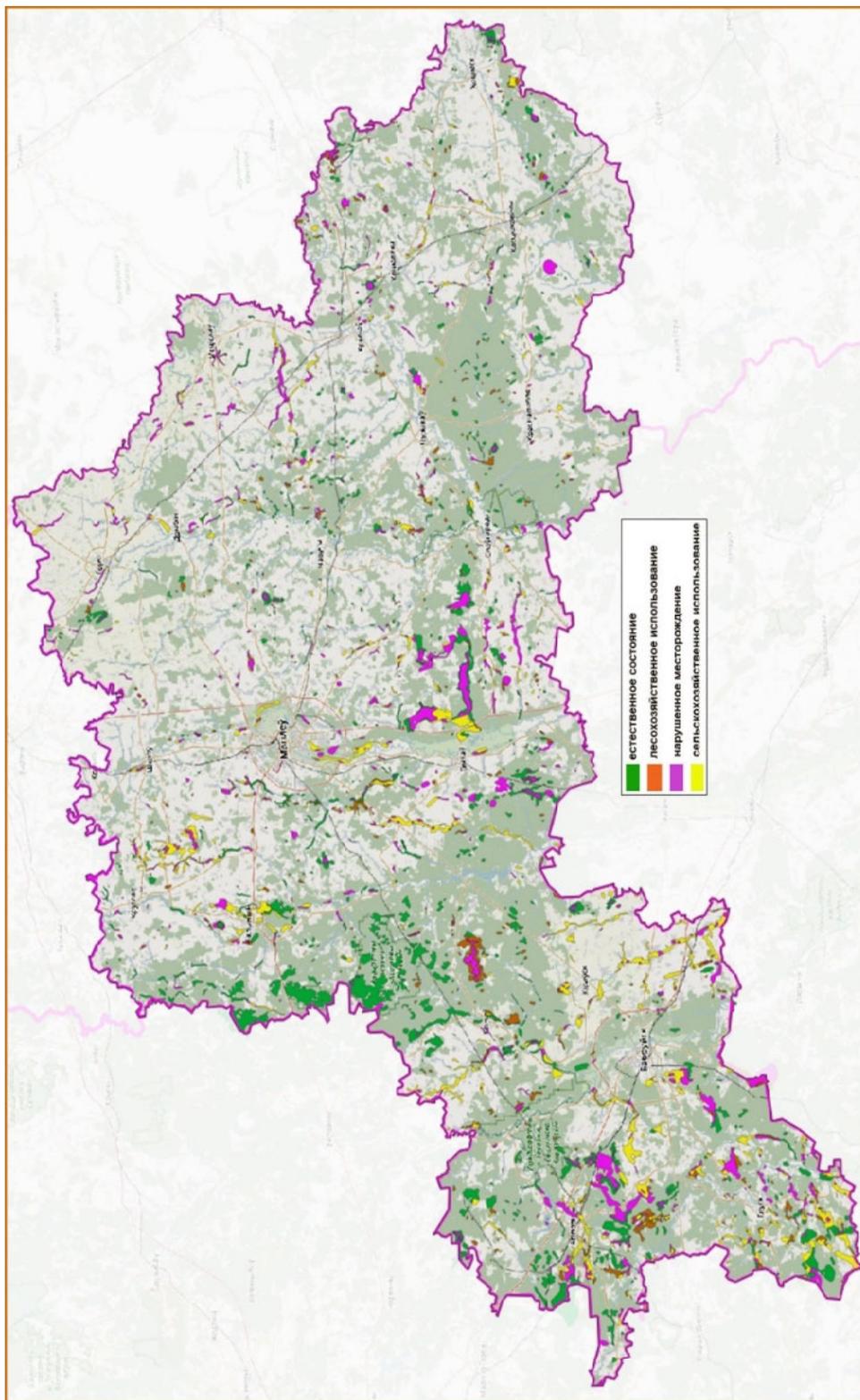


Рис. 4. Карта современного состояния торфяников Могилевской области

На рис. 4 приведена карта современного состояния торфяных месторождений Могилевской области, созданная на основе выполненной оценки территорий.

Как видно из карты на рис. 4, территории большинства торфяников характеризуются наличием участков разных направлений использования в пределах нулевой границы торфяного месторождения.

Количественная оценка общей площади участков разных категорий показала, что естественные торфяные болота занимают площадь 82,0 тыс. га, или 37,1 % общей площади торфяных месторождений области. Осушенные земли с торфяными почвами сельскохозяйственного использования занимают площадь в 64,9 тыс. га (29,4 %). Площадь нарушенных болот составляет 57,6 тыс. га (26,1 %). Торфяные месторождения, покрытые лесной растительностью, занимают площадь 16,4 тыс. га (7,4 %). При этом площадь торфяников, территории которых полностью относятся к одной категории (естественные болота) составляет 39,0 тыс. га (~17,6 % от общей площади торфяных месторождений области). Таким образом, нарушенными в той или иной степени являются ~ 82,4 % торфяников.

Анализ состояния нарушенных территорий торфяников области показал наличие 37,0 тыс. га выбывших из эксплуатации площадей торфяных месторождений, из которых 78,2 % относится к категории нарушенных болот, покрытых древесно-кустарниковой растительностью. Эффективно используемые в сельском хозяйстве территории относятся к категории осушенных земель с торфяными почвами – 7,4 тыс. га (20,16 %). Выбывшие из эксплуатации торфяные месторождения, покрытые лесной растительностью, занимают 0,6 тыс. га (1,63 %).

На основе данных, полученных при анализе территорий торфяников, создана база данных в ГИС-формате торфяников области. Созданная база позволила выполнить оценку оставшихся запасов торфа по каждому из месторождений путем учета выработанных участков месторождений и потерь при сельскохозяйственном использовании торфяных земель.

Таким образом, анализ спутниковых снимков торфяников Могилевской области позволил оценить степень их нарушенности, получить статистические данные о состоянии и направлениях (степени) их использования.

### Список литературы

- [1] *Тановицкая Н.И., Бамбалов Н.Н., Навоша Ю.Ю., Ратникова О.Н., Леонович Е.П., Лис Л.С.* Распределение торфяников Республики Беларусь по направлениям использования // *Земля Беларуси*. Минск, 2016. Вып. 1. С. 28–32.
- [2] *Лиштван И.И., Навоша Ю.Ю., Тановицкая Н.И., Ратникова О.Н.* Оценка современного состояния торфяных месторождений Брестской, Гомельской и Могилевской областей Беларуси на основе анализа спутниковых снимков // *Природопользование: сб. науч. тр. / Ин-т природопользования НАН Беларуси*. Минск, 2022. № 1. С. 91–102.

- [3] *Тановицкая Н.И., Ратникова О.Н.* Методика оценки нарушенности торфяных месторождений // *Природопользование: сб. науч. тр. / Ин-т природопользования НАН Беларуси.* Минск, 2017. Вып. 31. С. 94–104.

**Сведения об авторах:**

*Ратникова Ольга Николаевна*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, Беларусь, 220076, г. Минск, ул. Ф. Скорины, 10. E-mail: 306peatlands@mail.ru

*Навоша Юльян Юльянович*, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, Беларусь, 220076, г. Минск, ул. Ф. Скорины, 10. E-mail: navosha@tut.by

*Агейчик Инна Валерьевна*, научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, Беларусь, 220076, г. Минск, ул. Ф. Скорины, 10. E-mail: Ageichik.iv@mail.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-476-493

EDN: RGDLTG

УДК 504.062.2

Научная статья / Research article

## Стабилизация нефтяных и масляных эмульсий биоорганическими композициями на основе гуминовых кислот

М.М. Герцен<sup>1</sup>, А.Н. Гольшева<sup>2</sup>, Л.В. Переломов<sup>1</sup><sup>1</sup>Тульский государственный педагогический университет, Тула, Российская Федерация<sup>2</sup>Тульский государственный университет, Тула, Российская Федерацияmani.gertsen@gmail.com

**Аннотация.** Изучена стабилизирующая способность гуминовых кислот, выделенных из тростникового торфа Рязанской области, по отношению к нефти и нефтепродуктам при различных абиотических условиях водной среды. Обусловлена применимость используемых биоорганических композиций в условиях пониженной температуры и повышенной солености среды. Стабилизирующую способность разработанных биоорганических композиций определяли по коэффициенту пропускания водно-нефтяных эмульсий. Установлено, что в условии повышенной солености коэффициент пропускания снижается на 5–24 % относительно контрольного эксперимента для сырой нефти, дизельного топлива и отработанного масла при использовании монокультурных биоорганических композиций. Установлено, что использование поликультур в составе биоорганических композиций сильнее снижает коэффициент пропускания на 24–43 % для композиции «гуминовые кислоты + *Rhodococcus erythropolis* S67 + *Rhodococcus erythropolis* X5» и 10–29 % для композиции «гуминовые кислоты + *Rhodococcus erythropolis* S67 + *Rhodococcus erythropolis* X5 + *Pseudomonas fluorescens* 142NF». Применимость исследуемых биоорганических композиций в условиях пониженных температур подтверждается снижением коэффициента пропускания до 68–73 % для дизельного топлива, до 60–64 % – для отработанного синтетического моторного масла и до 64–69 % – для сырой нефти. Установлено, что коэффициент пропускания уменьшается в ряду: «гуминовые кислоты + *Rhodococcus erythropolis* X5» → «гуминовые кислоты + *Pseudomonas fluorescens* 142NF» → «гуминовые кислоты + *Rhodococcus erythropolis* S67». Выявлено, что снижение коэффициента пропускания нефтяных эмульсии происходит за счет совместного применения гуминовых кислот и ассоциации бактерий-нефтедеструкторов (как при использовании двух, так и при использовании

© Герцен М.М., Гольшева А.Н., Переломов Л.В., 2023

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

трех штаммов). Стабилизирующая способность гуминовых кислот в условиях повышенной солености была сравнима с показателями в условиях пониженной температуры. Установлено, что торфяные гуминовые кислоты могут быть использованы в качестве основы для биоорганических композиций, стабилизирующих нефтяные и масляные эмульсии.

**Ключевые слова:** гуминовые кислоты, нефть и нефтепродукты, отработанное синтетическое моторное масло, стабилизирующая способность, коэффициент пропускания, микроорганизмы-нефтедеструкторы, стабилизация эмульсий

**Благодарности и финансирование.** Статья подготовлена в рамках государственного задания по теме «Иммобилизация тяжелых металлов продуктами взаимодействий слоистых силикатов с почвенным органическим веществом и микроорганизмами» (Средства дополнительного соглашения № 073-03-2023-030/2 от 14.02.2023 к Соглашению о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) 073-00030-23-02 от 13.02.23).

**Вклад авторов:** *М.М. Герцен* – постановка и выполнение экспериментов, методология, исследование, обсуждение, подготовка текста публикации; *А.Н. Гольшева* – выполнение экспериментов, обсуждение, оформление текста публикации в печать; *Л.В. Переломов* – концепция работы, подготовка текста публикации (рецензирование и редактирование).

**История статьи:** поступила в редакцию 12.08.2023; доработана после рецензирования 15.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

**Для цитирования:** *Герцен М.М., Гольшева А.Н., Переломов Л.В.* Стабилизация нефтяных и масляных эмульсий биоорганическими композициями на основе гуминовых кислот // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 476–493. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-476-493>

## Stabilization of petroleum and oil emulsions by bioorganic compositions based on humic acids

Maria M. Gertsen<sup>1</sup>, Anastasia N. Golysheva<sup>2</sup>, Leonid V. Perelomov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University, Tula, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Tula State University, Tula, Russian Federation*

 [mani.gertsen@gmail.com](mailto:mani.gertsen@gmail.com)

**Abstract.** The stabilizing ability of humic acids isolated from reed fen peat of the Ryazan region in the relation to oil and petroleum products under various abiotic conditions of the aquatic environment has been studied. The applicability of the used biological products in conditions of low temperature and increased salinity of the medium is determined. The stabilizing ability of the developed biological products was determined by the transmittance of emulsions. It was found that in the condition of increased salinity, the transmission coefficient decreases by 5–24% relative to the control experiment for crude oil, diesel fuel and waste oil when using monocultural biological products. It was found that the use of polycultures in the composition of biological products significantly reduces the transmittance by 24–43% for “HAs

from reed peat of the Ryazan region + *Rhodococcus erythropolis* S67 + *Rhodococcus erythropolis* X5” and 10-29% for “Humic acids of reed peat of the Ryazan region + *Rhodococcus erythropolis* S67 + *Rhodococcus erythropolis* X5 + *Pseudomonas fluorescens* 142NF”. The applicability of the studied biological products in conditions of low temperatures is confirmed by a decrease in the transmission coefficient to 68-73% for diesel fuel, to 60–64% for used synthetic engine oil and to 64–69% for crude oil. It was found that the transmission coefficient decreases in the series: “Humic acids of reed fen peat of the Ryazan region + *Rhodococcus erythropolis* X5” → “Humic acids of reed peat of the Ryazan region + *Pseudomonas fluorescens* 142NF” → “Humic acids from reed fen peat of the Ryazan region + *Rhodococcus erythropolis* S67”. It was revealed that the reduction of the transmission coefficient of oil emulsions occurs due to the combined use of humic acids isolated from reed peat of the Ryazan region and the association of bacteria (both when using 2 and 3 strains). The stabilizing ability of humic acids in conditions of increased salinity was comparable to it in conditions of reduced temperature. It has been established that cane humic acids of the Ryazan region can be used as a basis for biological products that stabilize oil and oil emulsions.

**Keywords:** humic acids, oil and oil products, used synthetic motor oil, stabilizing ability, transmittance, oil degrading microorganisms, emulsion stabilization

**Acknowledgements and Funding.** The research was carried out within the framework of the State task on the topic: “Immobilization of trace elements by the products of interactions of layered silicates with soil organic matter and microorganisms” (Additional Agreement No. № 073-03-2023-030/2 from 14.02.2023 to Agreement No. 073-00030-23-02 from 13.02.23).

**Authors’ contributions:** *M.M. Gertsen* – setting up and performing experiments, methodology, investigation and writing – original draft preparation; *A.N. Golysheva* – performing experiments writing, review and editing; *L.V. Perelomov* – concept of work, critical review.

**Article history:** received 12.08.2023; revised 15.09.2023; accepted 20.09.2023

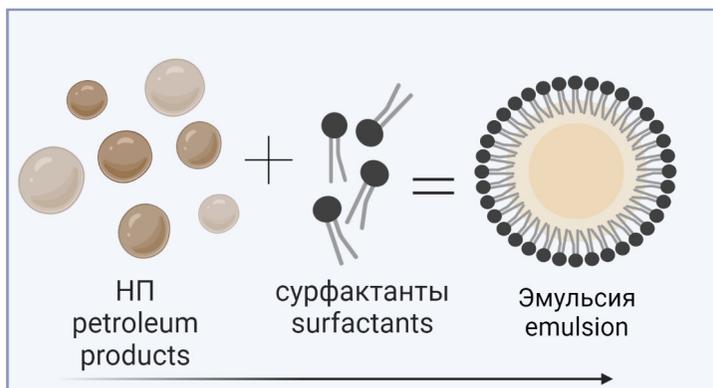
**For citation:** Gertsen MM, Golysheva AN, Perelomov LV. Stabilization of petroleum and oil emulsions by bioorganic compositions based on humic acids. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):476–493. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-476-493>

## Введение

Возрастающие объемы антропогенного вмешательства в биосистему создают актуальную проблему современности: поиск новых и усовершенствование существующих способов очистки экосистем от токсикантов различного класса. Одними из самых опасных загрязнителей являются нефть и нефтепродукты. Распространенные способы устранения последствий нефтяного загрязнения несут в себе много недостатков. Перспективным является поиск способов ремедиации нефтезагрязненных экосистем, отвечающих требованиям «зеленой химии» и в то же время остающихся экономически выгодным. Кроме того, такой метод должен работать в экстремальных климатических условиях [1; 2].

Стабилизация водонефтяных систем (рис. 1) – это процесс, обладающий динамикой, определяющийся законами соперничающей адсорбции на эмульсионных каплях многообразных вещественных соединений такого типа. Изначально протекание этого процесса имеет довольно высокую скорость, а затем замедляется в соответствии с наполняемостью свободной капельной поверхностью, на которой способна происходить реакция адсорбции веществ с последующим ее замедлением. Существенная доля стабилизаторов нефти натурального происхождения причисляется к поверхностным активным веществам. Структурная особенность эмульгаторов заключается в их дифильности. Другими словами, данные вещества включают в себя группы ионогенов (полярной) и радикала углеводорода. Первая группа определяет родственную связь эмульгатора с водой. Углеводороды схожи с углеводородными веществами в жидком состоянии. Соотносимость величины обеих групп определяет устойчивость эмульсий [3].

Упрощенно данный механизм (рис. 1) можно описать следующим образом: способность ГК к адсорбции на различных поверхностях приводит к разрушению структурного каркаса в объеме нефти, препятствуя его восстановлению. Деактивированные частицы парафинов с адсорбированными асфальтосмолистыми веществами теряют способность к осаждению и удерживаются в нефти в виде суспензии. Исходя из механизма структурообразования в нефтяных системах, можно предположить, что перевод частиц дисперсной фазы из связнодисперсного в свободнодисперсное состояние будет способствовать уменьшению вязкости системы [4].



**Рис. 1. Механизм образования эмульсии нефти и нефтепродуктов с ПАВ.**

*Источник: авторский рисунок /*

**Figure 1. Mechanism of oil and petroleum products emulsion formation with surfactants**

*Source: author's drawing*

Переход от модельных объектов выделения биодиспергентов нефти и нефтепродуктов – торфов, углей, сапропелей к коммерческим готовым гумусовым препаратам и оценка критериев их применимости как ПАВ обеспечит универсальность разработанных биоорганических композиций в промышленных масштабах.

Целью работы является изучение стабилизирующей способности гуминовых кислот, выделенных из тростникового торфа Рязанской области, по отношению к сырой нефти, углеводородам нефти при различных абиотических условиях водной среды.

### Экспериментальная часть

Для изучения физико-химических характеристик гуминовых кислот (ГК) и их связывающих по отношению к нефти и нефтепродуктам были выбраны гуминовые кислоты тростникового торфа Рязанской области, выделенные проводили по наиболее распространенной методике, основанной на растворении торфа в растворе NaOH с образованием растворимых гуматов и подкислении раствора для осаждения свободных гуминовых кислот [4–6]. Примерная схема реакции выделения гуминовых кислот под действием NaOH представлена на рис. 2.

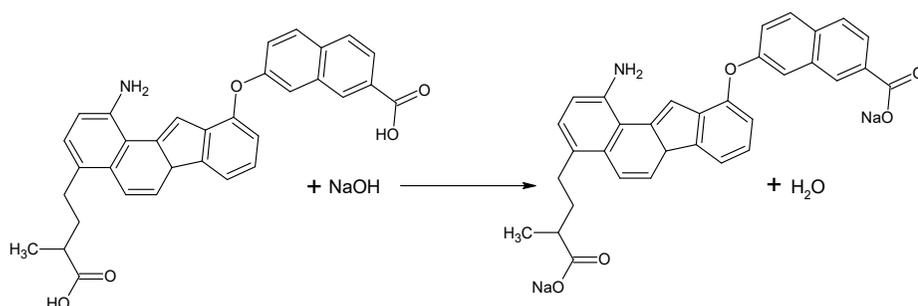


Рис. 2. Схема выделения гуминовых кислот под действием NaOH /  
Figure 2. Scheme of humic acid release under the action of NaOH

Определяли критическую концентрацию мицеллообразования ГК методом сталагмометрии и методом дю Нуи [7–9]. Для проведения экспериментов готовили серии растворов, которые должны были соответствовать критерию критической концентрации в этом растворе. Проводили по 5 параллельных замеров с интервалом 15 мин в зависимости от концентрации. Для определения поверхностного натяжения методом дю Нуи использовали танзиометр, ККМ определяли из графика с зависимостью  $\gamma = f(\lg C)$ . Для проведения экспериментов готовили серии растворов, которые должны были соответствовать критерию критической концентрации в этом растворе. Проводили по 5 параллельных замеров с интервалом 15 мин в зависимости от концентрации. При определении сталагмометрическим методом. Суть заключалась в измерении веса капли раствора гуминовых кислот, отрывающейся от конца капилляра в нижней части сталагмометрической трубки. Стабильность нефтяных и масляных эмульсий определяли методом турбидиметрии [8–10]. Метод основан на измерении ослабления интенсивности основного светового потока после его прохождения через дисперсную

среду. Использование в работе длины волны 525 нм обусловлено литературными данными [11], согласно которым коллоидные частицы хорошо рассеивают коротковолновый (синий) свет, при этом они не оказывают воздействие на красный – длинноволновый. Оптимальная длинная волны была определена экспериментально.

Методика эксперимента: в колбы вносили раствор гуминовых кислот концентрацией 50 мг/л и 2 % токсиканта по объему. Для изучения влияния гуминовых кислот на агрегатное состояние загрязнителей растворы помещали в ультразвуковую баню на 2 мин. После этого отбирали пробы через 2, 4, 6, 8, 10, 12, 20, 24, 26 часов на глубине 4 см для измерения оптической плотности при 525 нм на спектрофотометре СФ-104 [12–14], коэффициент пропускания служил критерием стабильности эмульсии в воде ( $T$ , %) [3; 4; 15; 16]

$$T = 10^{-D} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где  $D$  – оптическая плотность.

В качестве модельных загрязнителей выбраны следующие объекты: дизельное топливо с заправки Роснефть, отработанное синтетическое моторное масло total quartz 9000 5w40 и сырая нефть с нефтеперерабатывающего завода АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-МНПЗ». Физико-химические характеристики модельных токсикантов определяли по методикам ГОСТ<sup>1</sup> [17; 18].

Эксперименты проводили в водных средах при различных абиотических условиях (комнатная температура (22 °С), пониженная температура (0 °С), повышенная соленость (10 % NaCl)).

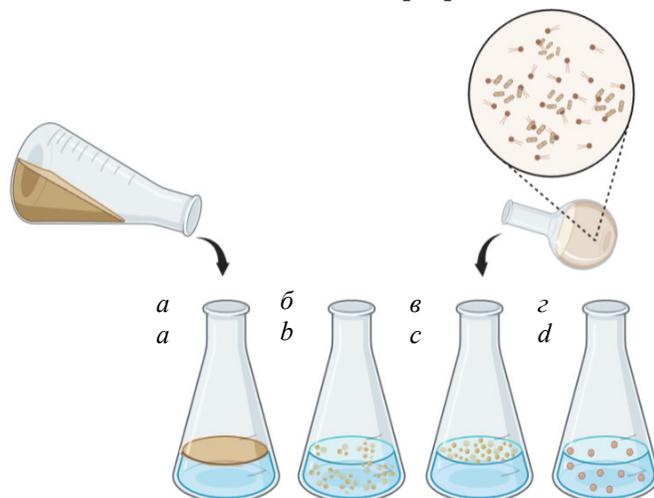
Стадии экспериментального процесса стабилизации нефтяных / масляных эмульсий представлены на рис. 3.

## Результаты и обсуждение

Установили критическую концентрацию мицеллообразования  $ГК_{\text{рыз}}$  методом Дю Нуи и методом сталогмометрии: результаты 0,6 г/л при использовании обоих методов. Полученные данные по значению ККМ  $ГК_{\text{рыз}}$  согласуются с данными других работ: 0,6–0,8 г/л [19], 0,8 г/л [18], низкое значение ККМ обуславливает высокую способность ПАВ гуминовых кислот снижать поверхностное натяжение. Этот фактор приводит к увеличению стабильности образовавшейся эмульсии. Кроме того, при дальнейшем увеличении концентрации нефтепродуктов способность к адсорбции гуминовых кислот достигает насыщения, и поверхностное натяжение не может уменьшаться дальше. Однако при слишком большой концентрации нефтепродуктов, по сравнению с гуминовыми кислотами, увеличение стабильности эмульсии не достигается,

<sup>1</sup> ГОСТ 20287-91 «Нефтепродукты. Методы определения температур текучести и застывания» (утв. постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 13 мая 1991 г. № 671); ГОСТ 33-2016 «Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости» (дата регистрации: 27.09.2016).

а, наоборот, эмульсия становится более «хрупкой», что связано с ослаблением эффекта Марангони. Высокая амфифильность ГК<sub>ряз</sub>, обусловленная их строением, способствует формированию супрамолекулярных структур – мицелл за счет Ван-дер-Ваальсового взаимодействия [19].

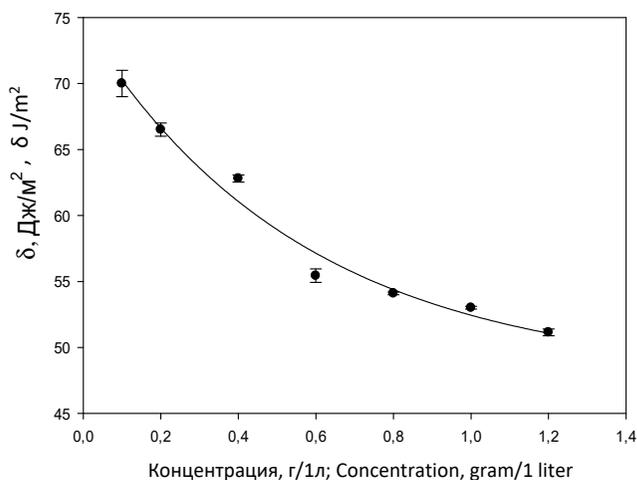


**Рис. 3. Стадии образования стабильных нефтяных эмульсий:**

*а* – две несмешивающиеся жидкости; *б* – диспергирование, образование нестабильной эмульсии;  
*в* – добавление поверхностно-активных веществ, коагуляция нефтяных частиц;  
*г* – стабилизация нефтяных эмульсий /

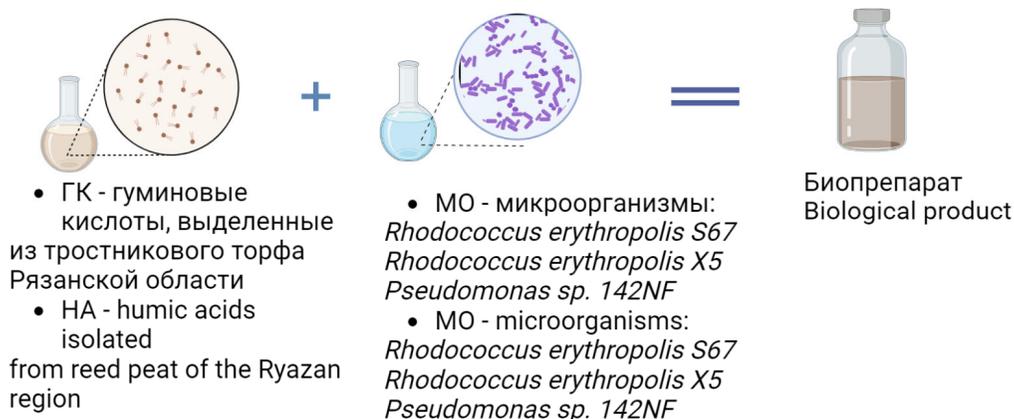
**Figure 3. Stages of formation of stable oil emulsions:** *a* – two immiscible liquids;

*b* – dispersion, formation of unstable emulsion; *c* – addition of surfactants, coagulation of oil particles;  
*d* – stabilization of oil emulsions



**Рис. 4. Зависимость поверхностного натяжения водных растворов гуминовых кислот /  
 Figure 4. Dependence of the surface tension of aqueous solutions of humic acids**

В работе использовали биоорганические композиции (рис. 5) следующего состава: монобактериальные композиции: ГК (50 мг/л) : суспензия бактерий ( $10^5$ – $10^6$  КОЕ) = 3:1; полибактериальные композиции: ГК (50 мг/л) : суспензия бактерий ( $10^5$ – $10^6$  КОЕ) = 5:3.

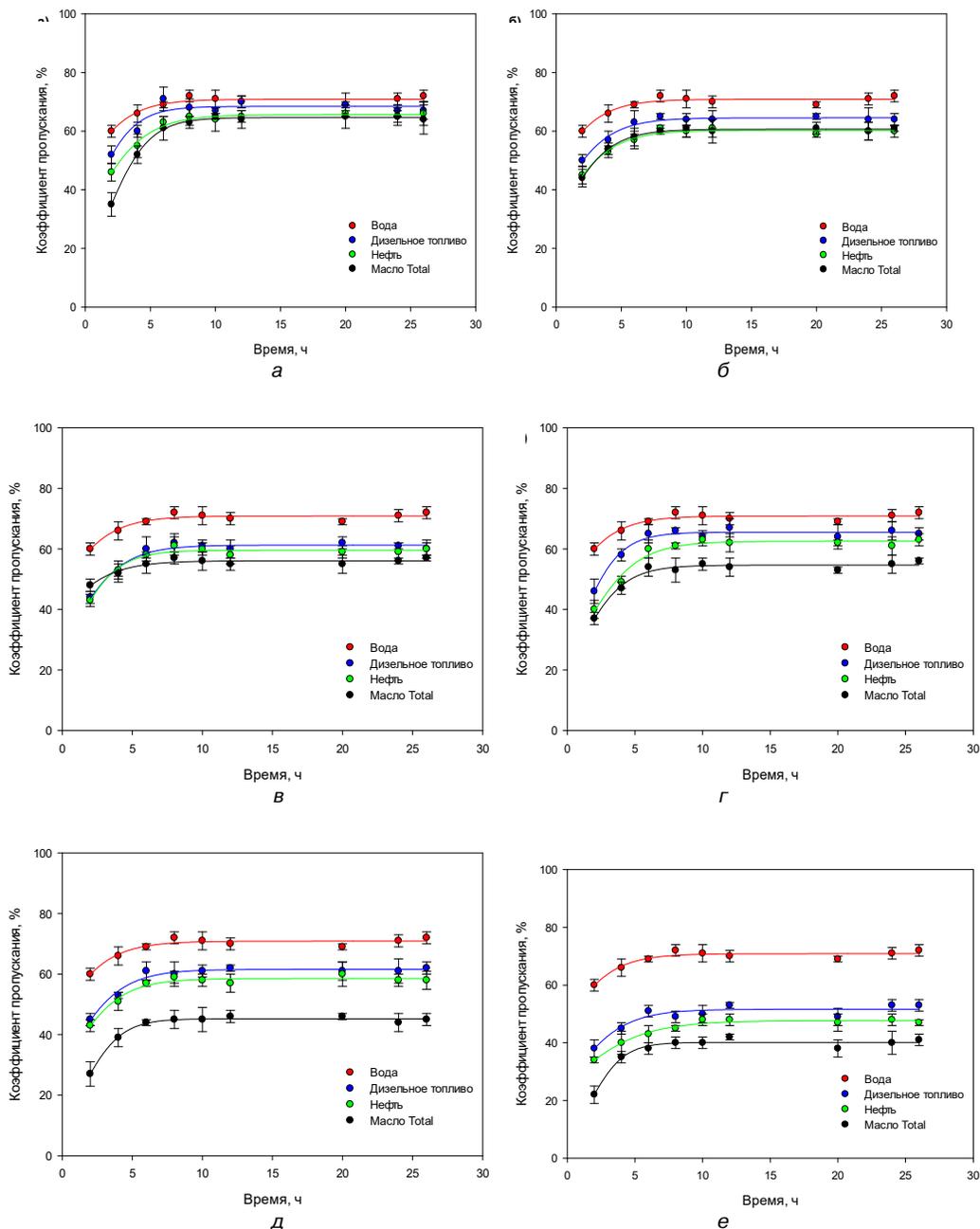


**Рис. 5. Состав биоорганической композиции / Figure 5. Composition of bioorganic composition**

Устанавливали стабилизирующую способность тростниковых гуминовых кислот Рязанской области и биоорганических композиций на их основе. Данные по стабилизации нефтяных и масляных эмульсий при комнатной температуре для анализируемых образцов представлены на рис. 6.

Установлено, что гуминовые кислоты, выделенные из тростникового торфа Рязанской области, стабилизируют эмульсии модельных токсикантов в воде (рис. 6). Значения коэффициента пропускания водной эмульсии сырой нефти в присутствии ГК<sub>Ряз</sub> на 8 % меньше, чем в контрольном образце (рис. 6 а), для дизельного топлива – на 4 % меньше, а для отработанного синтетического моторного масла – на 8 %. Стойкость систем эмульсий в первую очередь связана с образованием на поверхности раздела фаз «нефть–вода» адсорбционного слоя. Вследствие этого образуется прочный механический барьер на мелких каплях воды, распределенных в нефтяно-масляной фазе, что препятствует отделению воды. Для модельных токсикантов было определено содержание примесей серы по методике<sup>2</sup>: 6,8 % наблюдается для дизельного топлива; для сырой нефти – 1,3 %, для отработанного моторного масла – 1,3 %. Известно, что чем ниже содержание серы в нефтепродуктах, тем более устойчивой является система [20]. Добавление ПАВ, в виде гуминовых кислот, оказывает существенное влияние на образование и стабилизацию масляных и нефтяных эмульсий. Характерной особенностью ГК является амфифильность, которую обеспечивают гидрофильные и гидрофобные группы, входящие в состав молекулы ГК. На стабилизирующую способность гидрофильность влияет следующим образом: чем она выше, тем сильнее способность ГК к стабилизации эмульсий нефти в воде.

<sup>2</sup> ГОСТ 32139-2019. Нефть и нефтепродукты. Определение содержания серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии.



Conventional color designations: green – petroleum; red – water; blue – diesel fuel; black – oil

**Рис. 6. Стабилизация эмульсии нефтепродуктов при комнатной температуре (22°С)**

а – ГК<sub>ряз.</sub>; б – «ГК<sub>ряз.</sub> + *R. erythropolis* S67»; в – «ГК<sub>ряз.</sub> + *R. erythropolis* X5»;  
 г – «ГК<sub>ряз.</sub> + *Pseudomonas fluorescens* 142NF»; д – «ГК<sub>ряз.</sub> + *R. erythropolis* S67 + *R. erythropolis* X5»;  
 е – «ГК<sub>ряз.</sub> + *R. erythropolis* S67 + *R. erythropolis* X5 + *Pseudomonas fluorescens* 142NF».

Источник: составлено авторами /

**Figure 6. Stabilization of the emulsion of petroleum products at room temperature (22°С)**

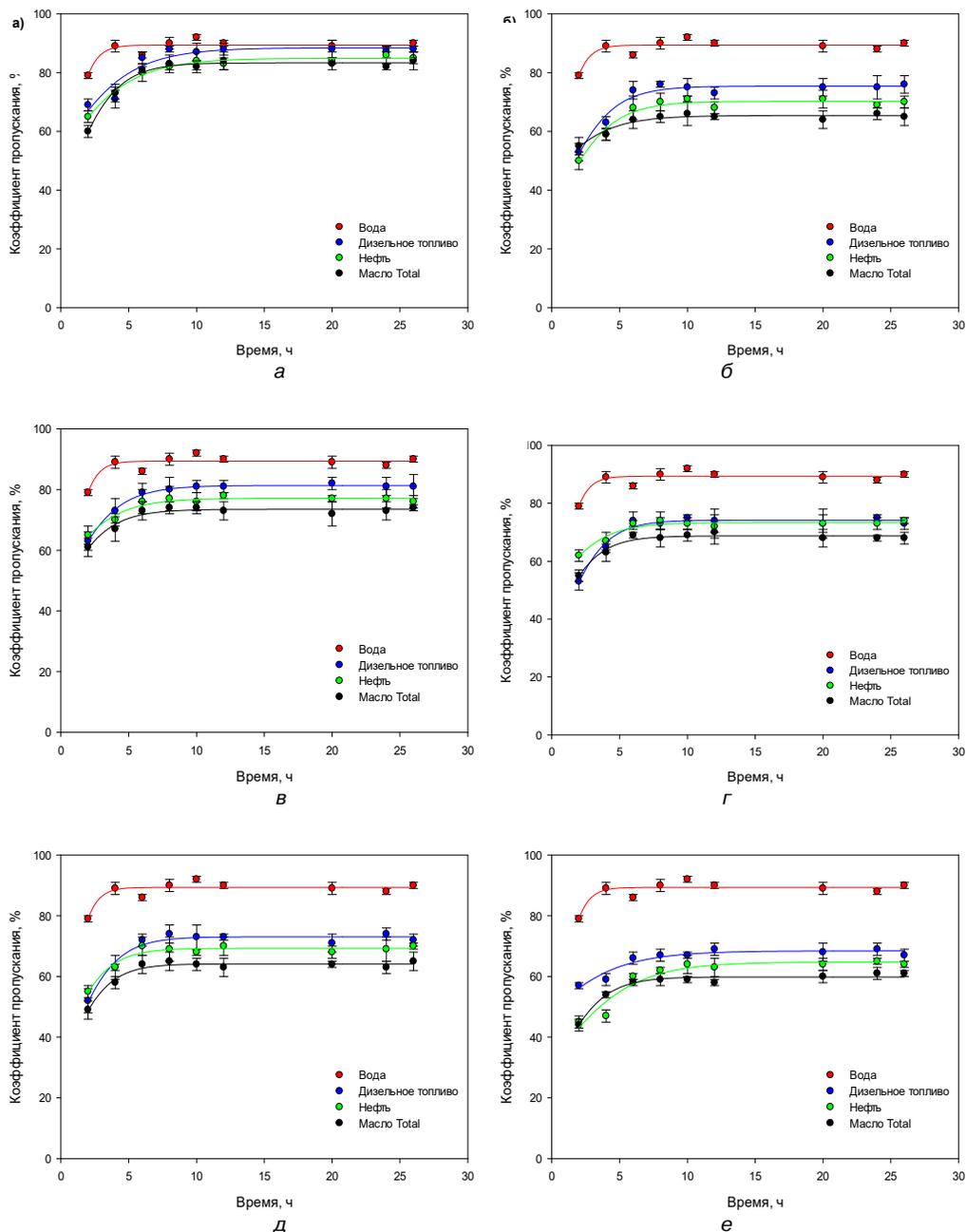
а – HAs.; б – "HAs + *R. erythropolis* S67"; в – "HAs + *R. erythropolis* X5"; г – "HAs + *Pseudomonas* 142NF";  
 д – "HAs + *R. erythropolis* S67 + *R. erythropolis* X5";  
 е – "HAs + *R. erythropolis* S67 + *R. erythropolis* X5 + *Pseudomonas fluorescens* 142NF"

Source: compiled by the authors.

В работе были использованы микроорганизмы-нефтедеструкторы рода *Rhodococcus* и *Pseudomonas*. Значения величины пропускания (Т) при использовании биоорганической композиции были существенно ниже, чем в системах, состоящих только из гуминовых кислот (рис. 6 б, в, г). Величина коэффициента пропускания эмульсии для дизельного топлива изменяется в диапазоне от 44 до 50 % через 2 часа после начала эксперимента в зависимости от выбранного микроорганизма и от 60 до 65 % к моменту завершения эксперимента (рис. 6 б, в, г). Сравнивая с контрольным экспериментом, видно, что коэффициент пропускания уменьшается на 10 % (рис. 6 а). Для отработанного моторного масла и нефти коэффициент пропускания снижается на 20 % относительно контроля. Значения коэффициентов пропускания через 24 часа в водных эмульсиях нефтепродуктов выравниваются. Такой эффект происходит из-за того, что ГК выступают в качестве адаптогенов бактерий к их росту на гидрофобных субстратах путем перераспределения между средой и клеточной поверхностью биосурфактантов, продуцируемых *Pseudomonas* и *Rhodococcus*. Этот процесс способствует более быстрому поглощению углеводородов нефти и стабилизации масляных/нефтяных эмульсий в воде, приводящему к осаждению мелкодисперсных частиц. Кроме того, при совместном использовании *Pseudomonas* и ГК<sub>ряз</sub> стабилизирующее действие выше для отработанного моторного масла. При сравнении ГК и *Rhodococcus* отмечено, что коэффициент пропускания меньше на 5–10 %, что, может быть, связано с составом используемого отработанного моторного масла. В его состав входят тяжелые нефтяные фракции, которые способны деградироваться штаммом *Pseudomonas* благодаря выделенным им плазмидам [21].

Максимальный стабилизирующий эффект достигается при использовании биоорганических композиций на основе ГК<sub>ряз</sub> и ассоциации бактерий: для композиции «ГК<sub>ряз</sub>+R.X5+R.S67» коэффициенты пропускания эмульсий на 15–56 % ниже относительно контроля и на 5–35 % ниже относительно ГК<sub>ряз</sub> и для каждого штаммов бактерий, используемого не в ассоциации. Для следующей композиции: «ГК<sub>ряз</sub>+R.X5+R.S67+Ps.142NF» коэффициенты пропускания эмульсий на 37–75 % ниже относительно контроля и на 24–50 % ниже относительно ГК<sub>ряз</sub> и для каждого штаммов бактерий, используемого не в ассоциации.

Максимального стабилизирующего эффекта можно достигнуть при применении биоорганических композиций на основе ГК<sub>ряз</sub> и ассоциации бактерий: для «ГК<sub>ряз</sub>+R.X5+R.S67» коэффициенты пропускания эмульсий уменьшились на 15–56 % относительно контрольного эксперимента и на 5–35 % – относительно ГК<sub>ряз</sub> и одного штаммов бактерий из каждого вида. При использовании биокомпозиции «ГК<sub>ряз</sub>+R.X5+R.S67+Ps.142NF» коэффициенты пропускания эмульсий ниже на 37–75 % относительно контрольного эксперимента и на 24–50 % для композиции ГК<sub>ряз</sub> и одного штамма бактерий каждого вида.



Conventional color designations: green – petroleum; red – water; blue – diesel fuel; black – oil

**Рис. 7. Стабилизация эмульсии нефтепродуктов при пониженной температуре (0°C)**  
 а – ГК<sub>ряз.</sub>; б – «ГК<sub>ряз.</sub> + *R. erythropolis* S67»; в – «ГК<sub>ряз.</sub> + *R. erythropolis* X5»;  
 г – «ГК<sub>ряз.</sub> + *Pseudomonas fluorescens* 142NF»; д – «ГК<sub>ряз.</sub> + *R. erythropolis* S67 + *R. erythropolis* X5»;  
 е – «ГК<sub>ряз.</sub> + *R. erythropolis* S67 + *R. erythropolis* X5 + *Pseudomonas fluorescens* 142NF».

Источник: составлено авторами /

**Figure 7. Stabilization of the emulsion of petroleum products at a reduced temperature (0°C)**  
 а – HAs.; б – "HAs + *R. erythropolis* S67"; в – "HAs + *R. erythropolis* X5";  
 г – "HAs + *Pseudomonas* 142NF"; д – "HAs + *R. erythropolis* S67 + *R. erythropolis* X5";  
 е – "HAs + *R. erythropolis* S67 + *R. erythropolis* X5 + *Pseudomonas fluorescens* 142NF"  
 Source: compiled by the authors.

Изучали стабилизирующую способность  $GK_{\text{ряз}}$  совместно с микроорганизмами-нефтедеструкторами в условиях пониженной температуры ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (рис. 7).

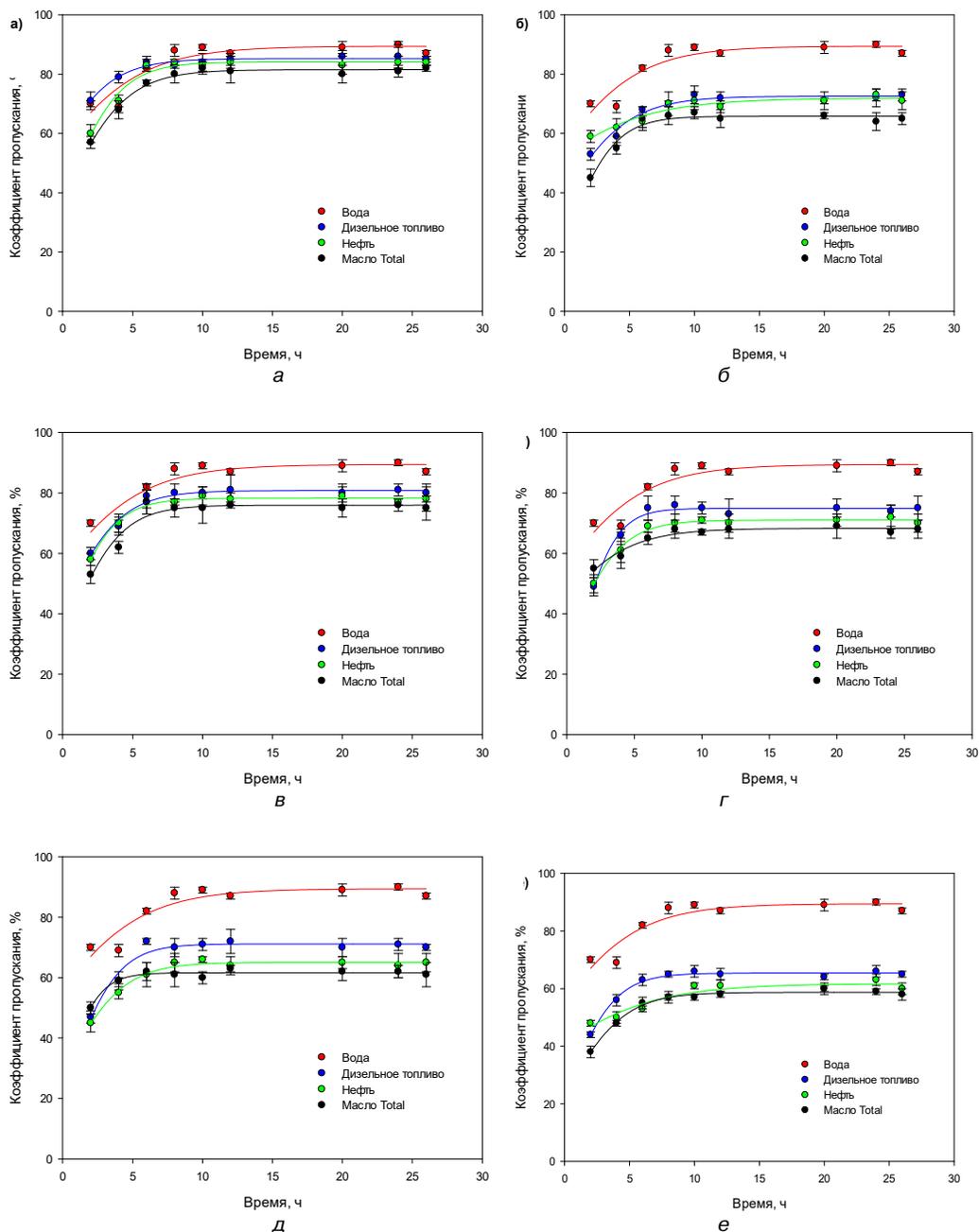
Низкие температуры снижают скорость распространения и перемещения разлитой нефти вследствие увеличения ее вязкости. Изменения, происходящие в нефти из-за снижения температуры, влияют на биодоступность и степень деградации микроорганизмов, а также на солюбилизацию экотоксикантов.

Из представленных данных видно, что ГК при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  стабилизируют эмульсию модельных экотоксикантов в воде (рис. 7 а). Результаты определения коэффициента пропускания водной эмульсии дизельного топлива в присутствии ГК при пониженной температуре стали меньше на 3 %, чем в контроле, в сырой нефти – на 6 % и в отработанном моторном масле – на 8 %. Важно отметить, что стабилизация эмульсий аналогична данным эксперимента при комнатной температуре при использовании биоорганической композиции на основе ГК и ассоциации бактерий-нефтедеструкторов. Установлено, что коэффициент пропускания уменьшается в ряду: « $GK_{\text{ряз}} + Rhodococcus X5$ » → «ГК + *Pseudomonas fluorescens* 142NF» → « $GK_{\text{ряз}} + Rhodococcus S67$ ». Минимальный коэффициент пропускания масляных эмульсий был достигнут при использовании биоорганической композиции «ГК + *Rhodococcus S67*» 65 % (рис. 7 б, в, г).

Снижение коэффициента пропускания эмульсии происходит за счет применения биоорганической композиции на основе  $GK_{\text{ряз}}$  и ассоциации бактерий (как при использовании двух, так и при использовании трех штаммов). В условиях пониженной температуры их применение приводит к снижению коэффициента пропускания эмульсий до 68–73 % для дизельного топлива, 60–64 % – для отработанного моторного масла и 64–69 % – для сырой нефти (рис. 7). Применимость использования *Rhodococcus* в экстремальных условиях также показана в работе [22].

Далее было проведено исследование стабилизирующей способности гуминовых кислот в условиях повышенной солености среды (10 % NaCl). Вместе с микроорганизмами в качестве токсикантов использовали сырую нефть, отработанное моторное масло и дизельное топливо. Данные по стабилизации эмульсий токсикантов представлены на рис. 8.

Стабилизирующая способность гуминовых кислот в условиях повышенной солености была сравнима с ней же в условиях пониженной температуры (рис. 8), коэффициент пропускания нефтяных эмульсий варьировался от 82 до 85 % (в зависимости от типа используемого токсиканта). В зависимости от типа используемых бактерий относительно раствора  $GK_{\text{ряз}}$  совместно с микроорганизмами-нефтедеструкторами значения коэффициента  $T$  водной эмульсии сырой нефти, дизельного топлива и отработанного моторного масла снижается на 5–24 %.



Conventional color designations: green – petroleum; red – water; blue – diesel fuel; black – oil

**Рис. 8. Стабилизация эмульсии нефтепродуктов в условиях повышенной солёности среды (10% NaCl):** а – ГК<sub>ряз.</sub>; б – «ГК<sub>ряз.</sub> + *R. erythropolis* S67»; в – «ГК<sub>ряз.</sub> + *R. erythropolis* X5»; г – «ГК<sub>ряз.</sub> + *Pseudomonas fluorescens* 142NF»; д – «ГК<sub>ряз.</sub> + *R. erythropolis* S67 + *R. erythropolis* X5»; е – «ГК<sub>ряз.</sub> + *R. erythropolis* S67 + *R. erythropolis* X5 + *Pseudomonas fluorescens* 142NF».

Источник: составлено авторами /

**Figure 8. Stabilization of molybdenum of non-products in the composition of food salt (10% NaCl)**

а – HAs.; б – "HAs + *R. erythropolis* S67"; в – "HAs + *R. erythropolis* X5";

г – "HAs + *Pseudomonas* 142NF"; д – "HAs + *R. erythropolis* S67 + *R. erythropolis* X5";

е – "HAs + *R. erythropolis* S67 + *R. erythropolis* X5 + *Pseudomonas fluorescens* 142NF"

Source: compiled by the authors.

При сравнении монокультурной биоорганической композиции с поликультурным отмечено снижение коэффициента пропускания на 24–43 % для «ГК<sub>ряз</sub> + *R.S67* + *R.X5*» и 10–29 % для «ГК<sub>ряз</sub> + *R.S67* + *R.X5* + *Ps.142NF*» в сравнении с контролем и на 2–22 % для «ГК<sub>ряз</sub> + *R.S67* + *R.X5*» и 10–29 % для «ГК<sub>ряз</sub> + *R.S67* + *R.X5* + *Ps.142NF*. Среди всех используемых микроорганизмов лучше влияли на стабилизацию эмульсий *Rhodococcus X5*, что согласуется с их более высоким индексом эмульгирования  $E_{24}$  (при температуре культивирования 26 °C  $E_{24}$  *R.X5* к гексадекану составил 55 %, что на 20 % выше, чем у *R. S67*) [26].

### Заключение

Установлено, что биоорганические композиции на основе ГК<sub>ряз</sub> и ассоциаций микроорганизмов можно использовать в качестве стабилизаторов нефтяных эмульсий в воде при различных абиотических условиях. Применение монокультурных биоорганических композиций снижает коэффициент пропускания в условиях повышенной солености на 5–24 % в зависимости от выбранного токсиканта (дизельное топливо, сырая нефть или отработанное моторное масло) по сравнению с контрольными экспериментами. Кроме того, выявлено, что коэффициент пропускания сильнее снижается при использовании биоорганических композиций с поликультурами (24–43 % для «ГК<sub>ряз</sub> + *R.S67* + *R.X5*» и 10–29 % для «ГК<sub>ряз</sub> + *R.S67* + *R.X5* + *Ps.142NF*»). При применении композиций в условиях пониженных температур коэффициент  $T$  опустился до 68–73 % для дизельного топлива, 60–64 % – для отработанного моторного масла и 64–69 % – для сырой нефти. Кроме того, в работе было установлено, что коэффициент пропускания уменьшается в ряду: «ГК<sub>ряз</sub>+*Rhodococcus X5*» → «ГК<sub>ряз</sub> + *Pseudomonas fluorescens 142NF*» → «ГК<sub>ряз</sub>+*Rhodococcus S67*». Эффективность биоорганических композиций обусловлена образованием ГК структурно-механического барьера вокруг нефтяных капель. Другой фактор, обуславливающий возможность их использования, – это то, что ГК – питательный субстрат для микроорганизмов-нефтедеструкторов. В свою очередь, после нанесения микроорганизмов на очищаемую поверхность, они включаются в процесс биodeградации углеводородов нефти благодаря прикреплению к ее пленке на разделе фаз «нефть – природная среда». В результате жизнедеятельности микроорганизмов и деструкции нефти возникают биосурфактанты, способствующие сольubilизации нефтяных углеводородов. В результате образования миксов эмульсий нефти и последующей седиментации происходит дальнейшее разложение до нетоксичных продуктов.

### Список литературы

- [1] *Иваненко Н.В.* Экологическая токсикология: учебное пособие. Владивосток: Изд-во ВГУЭС. 2006. 108 с.
- [2] *Неустроев М.М.* Экологическая оценка нефтезагрязненных мерзлотных почв и разработка способов их биоремедиации: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 /

- Неустроев Михаил Михайлович; Сев.-Вост. федер. ун-т им. М.К. Аммосова. Якутск, 2016. 16 с.
- [3] *Гречищева Н.Ю.* Разработка научных основ применения гуминовых веществ для ликвидации последствий нефтезагрязнений почвенных и водных сред: дис. ... канд. хим. наук. М., МГУ. 2016. 326 с.
- [4] *Герцен М.М., Дмитриева Е.Д.* Способность гуминовых кислот стабилизировать эмульсии нефти и нефтепродуктов // Вестник ТвГУ. Серия «Химия». 2020. № 3 (41). С. 103–111. <http://doi.org/10.26456/vtchem2020.3.11>
- [5] *Дмитриева Е.Д., Сюндюкова К.В., Леонтьева М.М., Глебов Н.Н.* Влияние pH среды на связывание ионов тяжелых металлов гуминовыми веществами и гиматомелановыми кислотами торфов // Ученые записки Казанского университета. Естественные науки. 2017. Т. 159, кн. 4. С. 575–588.
- [6] *Гостищева М.В., Федько И.В., Писниченко Е.О.* Сравнительная характеристика методов выделения гуминовых кислот из торфов с целью получения гуминовых препаратов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2004. № 1 (9). С. 66–68.
- [7] *Изосимов А.А.* Физико-химические свойства, биологическая активность и детоксицирующая способность гуминовых препаратов, отличающихся генезисом органического сырья. М., 2016.
- [8] *Мальцева Е.В., Юдина Н.В.* Сорбция гуминовых кислот кварцевыми песками // Химия твердого топлива. 2014. №. 4. С. 27–27. <http://doi.org/10.7868/S0023117714040082>
- [9] *Бакеева Р.Ф., Каримуллин Р.А., Курабашева Р.Ф., Горбунова Т.С., Вахитова О.Е., Сопин В.Ф.* Мицеллообразование в бинарном растворителе диметилсульфоксид-вода в присутствии NaCl. Планирование и оптимизация эксперимента // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2017. Т. 17, №. 2. С. 51–61. <http://doi.org/10.18083/LCAppl.2017.2.51>
- [10] *Гречищева Н.Ю., Хань П., Будылин С.В., Пермнинова И.В., Мещеряков С.В.* Исследование связывающей способности модифицированных гуминовых препаратов по отношению к пирену в гомогенной и гетерогенной фазах // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. № 6. С. 24–29
- [11] *Фармаковская Т.А., Новожилова Т.И., Макарец В.В., Карасев А.В., Константинова О.В.* Разработка методов определения стабильности фторуглеродных эмульсий и прогнозирования сроков их хранения // Химия и технология органических веществ. 2017. №. 1. С. 90–99. [http://doi.org/10.54468/25876724\\_2017\\_1\\_90](http://doi.org/10.54468/25876724_2017_1_90)
- [12] *Бойкова О.И., Волкова Е.М.* Химические и биологические свойства торфов Тульской области // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2013. № 3. С. 253–264.
- [13] *Герцен М.М., Дмитриева Е.Д.* Способность гуминовых кислот торфов стабилизировать эмульсии нефти и нефтепродуктов // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. 2020. № 3. С. 103–111. <http://doi.org/10.26456/vtchem2020.3.11>
- [14] *Герцен М.М., Дмитриева Е.Д.* Стабилизирующая способность гуминовых веществ и микроорганизмов рода *Rhodococcus* по отношению к нефтепродуктам // Вестник ТвГУ. Серия «Химия». 2020. № 3 (41). С. 112–123. <http://doi.org/10.26456/vtchem2020.3.12>
- [15] *Гречищева Н.Ю., Щукина В.Д., Холодов В.А., Лазарева Е.В., Парфенова А.М., Мещеряков С.В., Пермнинова И.В.* Оценка способности гуминово-глинистых комплексов стабилизировать эмульсии нефти в воде // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. № 9. С. 51–55.

- [16] Нечаева И.А., Льюнг Т.М., Сатина В.Э., Филонов А.Е., Понаморёва О.Н. Влияние температуры на способность родококков – эффективных нефтедеструкторов поглощать гексадекан // *Актуальная биотехнология*. 2016. № 3 (18). С. 103–106.
- [17] Юдина Н.В., Савельева А.В., Ломовский О.И. Поверхностно-активные свойства и биологическая активность механоактивированных гуминовых кислот, выделенных из торфа // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2019. Т. 27, № 4. С. 437–442. <http://doi.org/10.15372/KhUR2019156>
- [18] Мозговая Н.Д. Исследование процессов ассоциатообразования и поверхностно-активных свойств гуминовых кислот в зависимости от концентрации и pH среды: дипломная работа (проект) специалиста по направлению подготовки: 04.05.01 – Фундаментальная и прикладная химия. 2018.
- [19] Джи С., Джикунанг Д., Пейю Д., Йе Л., Ксиашуанг Ч., Хайли Х. Приготовление и оценка свойств стабильных пен, полученных на основе тяжелой нефти // *Нефтехимия*. 2017. Т. 57, № 2. С. 226–234. <http://doi.org/10.7868/S0028242117020071>
- [20] Rahman K.S.M., Banat I.M., Thahira J., Thayumanavan T., Lakshmanaperumalsamy P. Bioremediation of gasoline contaminated soil by a bacterial consortium amended with poultry litter, coir pith and rhamnolipid biosurfactant 300 // *Bioresource Technology*. 2002. Vol. 81. P. 25–32. [http://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00105-5](http://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00105-5)
- [21] Панов А.В. Панов А.В. Изменение состава сообществ бактерий-деструкторов в условиях загрязнения устойчивыми органическими соединениями: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.03 / Панов Андрей Владимирович; Ин-т биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН. Пущино, 2013. 24 с.
- [22] Нечаева И.А., Льюнг Т.М., Сатина В.Э., Филонов А.Е., Понаморёва О.Н. Влияние температуры на способность родококков – эффективных нефтедеструкторов поглощать гексадекан // *Актуальная биотехнология*. 2016. № 3 (18). С. 103–106.
- [23] Чайка Н.Я., Режепова А.А., Ахметов Л.И., Пунтус И.Ф., Петриков К.В., Филонов А.Е. Особенности роста и продукции био-ПАВ психротрофного штамма-нефтедеструктора *Rhodococcus erythropolis* F2-2 при культивировании на разных субстратах в условиях низкой температуры // *Механизмы адаптации микроорганизмов к различным условиям среды обитания*. 2022. С. 284–286.

## References

- [1] Ivanenko NV. *Ecological toxicology*. Study guide. Vladivostok: Publishing house of VSUES\$ 2006. 108 p. (In Russ.)
- [2] Neustroev MM. *Ecological assessment of oil-contaminated permafrost soils and the development of methods for their bioremediation* (abstract of the dissertation). Yakutsk; 2016. 16 p. (In Russ.)
- [3] Grechishcheva NYu. *Development of scientific bases of application of humic substances for elimination of consequences of oil pollution of soil and water environments* (diss. of candidate of chemical sciences). Moscow: MSU; 2016. 326 p. (In Russ.)
- [4] Herzen MM, Dmitrieva ED. The ability of humic acids to stabilize emulsions of oil and petroleum products; *Vestnik TvGU. Chemistry series*. 2020;3(41):103–111. <http://doi.org/10.26456/vtchem2020.3.11> (In Russ.)
- [5] Dmitrieva ED., Syundyukova KV., Leontieva MM., Glebov NN. Influence of the pH of the medium on the binding of heavy metal ions by humic substances and himatomelanic acids of peat. *Scientific notes of Kazan University. Natural sciences*. 2017;159(4):575–588. (In Russ.)
- [6] Gostischeva MV, Fedko IV, Pishnichenko EO. Comparative characteristics of methods for extracting humic acids from peat in order to obtain humic preparations. *Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*. 2004;1(9):66–68. (In Russ.)

- [7] Izosimov AA. *Physico-chemical properties, biological activity and detoxifying ability of humic preparations differing in the genesis of organic raw materials*. Moscow; 2016. (In Russ.)
- [8] Maltseva EV, Yudina NV. Sorption of humic acids by quartz sands. *Solid fuel chemistry*. 2014;4:27–27. <http://doi.org/10.7868/S0023117714040082> (In Russ.)
- [9] Bakeeva RF, Karimullin RA, Kurabasheva RF, Gorbunova TS, Vakhitova OE, Sopin, VF. Micelle formation in a binary dimethyl sulfoxide-water solvent in the presence of NaCl. Planning and optimization of the experiment. *Liquid crystals and their practical use*. – 2017;17(2):51–61. <http://doi.org/10.18083/LCAppl.2017.2.51> (In Russ.)
- [10] Grechishcheva NYu, Han P, Budylin SV, Permnova IV, Meshcheryakov SV. Investigation of the binding ability of modified humic preparations with respect to pyrene in homogeneous and heterogeneous phases. *Environmental protection in the oil and gas complex*. 2011;6:24–29 (In Russ.)
- [11] Farmakovskaya TA, Novozhilova TI, Makartsev VV, Karasev AV, Konstantinova OV. Development of methods for determining the stability of fluorocarbon emulsions and forecasting their shelf life. *Chemistry and technology of organic substances*. 2017;1:90–99. [http://doi.org/10.54468/25876724\\_2017\\_1\\_90](http://doi.org/10.54468/25876724_2017_1_90)
- [12] Boikova OI, Volkova EM. Chemical and biological properties of peat of the Tula region. *News of TulaSU. Natural sciences*. 2013;3:253–264. (In Russ.)
- [13] Herzen MM, Dmitrieva ED. The ability of humic acids of peat to stabilize emulsions of oil and petroleum products. *Bulletin of Tver State University. Series: Chemistry*. 2020;3:103–111. <http://doi.org/10.26456/vtchem2020.3.11> (In Russ.)
- [14] Herzen MM, Dmitrieva ED. Stabilizing ability of humic substances and microorganisms of the genus *Rhodococcus* in relation to petroleum products. *TvSU Bulletin. Chemistry series*. 2020;3(41):112–123. <http://doi.org/10.26456/vtchem2020.3.12> (In Russ.)
- [15] Grechishcheva NYu, Shchukina VD, Kholodov VA, Lazareva EV, Parfenova AM, Meshcheryakov SV, Perminova IV. Assessment of the ability of humic-clay complexes to stabilize oil emulsions in water. *Environmental protection in the oil and gas complex*. 2014;9:51–55. (In Russ.)
- [16] Nechaeva IA, Lyong TM, Satina VE, FilonovAE, Ponamoreva ON. The effect of temperature on the ability of rhodococci – effective petrodestructors to absorb hexadecane. *Actual biotechnology*. 2016;3(18):103–106. (In Russ.)
- [17] Yudina NV, Savelyeva AV, Lomovsky OI. Surface-active properties and biological activity of mechanoactivated humic acids isolated from peat. *Chemistry in the interests of sustainable development*. 2019;27(4):437–442. <http://doi.org/10.15372/KhUR2019156> (In Russ.)
- [18] Mozgovaya ND. *Investigation of the processes of association formation and surfaceactive properties of humic acids depending on the concentration and pH of the medium: thesis (project) of a specialist in the field of training*. 04.05. 01 – Fundamental and applied chemistry. 2018. (In Russ.)
- [19] Ji S, Jikuiang D, Pyu D, Ye L, Xiashuang C, Haili H. Preparation and evaluation of properties of stable foams obtained on the basis of heavy oil. *Petrochemistry*. 2017;57(2):226–234. <http://doi.org/10.7868/S0028242117020071> (In Russ.)
- [20] Rahman KSM, Banat IM, Thahira J, Thayumanavan T, Lakshmanaperumalsamy P. Bioremediation of gasoline contaminated soil by a bacterial consortium amended with poultry litter, coir pith and rhamnolipidbiosurfactant 300. K.S. Rahman, I.M. Banat, J. Tharira, T. Thauyumanavan, P. Lakshmanaperumalsamy. *Bioresource Technology*. 2002;81:25–32. [http://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00105-5](http://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00105-5)
- [21] Panov AV. Changing the composition of communities of destructive bacteria in conditions of contamination with stable organic compounds (abstract of the dissertation). Pushchino; 2013. 24 p. (In Russ.)

- [22] Nechaeva IA, Luong TM., Satina VE, Filonov AE, Ponamoreva ON. Influence temperatures on the ability of rhodococci – effective petrodestructors to absorb hexadecane. *Actual biotechnology*. 2016;3(18):103–106. (In Russ.)
- [23] Chaika NYa, Rejepova AA, Akhmetov LI, Puntus IF, Petrikov KV, Filonov AE. Features of growth and production of bio-surfactants of the psychrotrophic strain-oil destructor *Rhodococcus erythropolis* F2-2 when cultivated on different substrates at low temperature. *Mechanisms of adaptation of microorganisms to various environmental conditions*. 2022. p. 284–286. (In Russ.)

### Сведения об авторах:

*Герцен Мария Михайловна*, младший научный сотрудник лаборатории химии и экологии почв, ассистент кафедры медико-биологических дисциплин и фармакогнозии, Тульский государственный педагогический университет, Российская Федерация, 300026, Москва, проспект Ленина, д. 125. ORCID: 0000-0002-0026-4933, eLIBRARY SPIN-код 3989-8560. E-mail: mani.gertsen@gmail.com,

*Гольшиева Анастасия Николаевна*, младший научный сотрудник лаборатории химической конверсии возобновляемой биомассы и органического синтеза, Тульский государственный университет, Российская Федерация, 300012, Москва, проспект Ленина, д. 92. ORCID: 0009-0004-5135-4455, eLIBRARY SPIN-код 1852-6831. E-mail: nastyagolysheva2000@yandex.ru

*Переломов Леонид Викторович*, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии и экологии почв, доцент кафедры химии, Тульский государственный педагогический университет, Российская Федерация, 300026, Москва, проспект Ленина, д. 125. ORCID: 0000-0003-0507-4968, eLIBRARY SPIN-код 2695-0200. E-mail: perelomov@rambler.ru

### Bio notes:

*Maria M. Gertsen*, Junior Researcher at the Laboratory of Chemistry and Soil Ecology, Assistant at the Department of Biomedical Disciplines and Pharmacognosy, Tula State Pedagogical University, 125 Lenin Avenue, Tula, 300026, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0026-4933, eLIBRARY SPIN-code 3989-8560. E-mail: mani.gertsen@gmail.com

*Anastasia N. Golysheva*, Junior Researcher at the Laboratory of Chemical Conversion of Renewable Biomass and Organic Synthesis, Tula State University, 92 Lenin Avenue, Tula, 300012, Russian Federation. ORCID: 0009-0004-5135-4455, eLIBRARY SPIN-code 1852-6831. E-mail: nastyagolysheva2000@yandex.ru

*Leonid V. Perelomov*, PhD in Biology, Senior Researcher at the Laboratory of Chemistry and Ecology of Soils, Associate Professor, Department of Chemistry, Tula State Pedagogical University, 125 Lenin Avenue, Tula, 300026, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0507-4968, eLIBRARY SPIN-code 2695-0200. E-mail: perelomov@rambler.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-494-509

EDN: RLZTPY

УДК 504.03

Научная статья / Research article

## Экологическая ситуация в городах Европы в 2013–2023 гг.: переход к зеленой экономике

М.Н. Миронова  , А.О. Неведомская,  
В.В. Сотникова, А.Р. Массарова 

*Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация*

 [mironova-mn@rudn.ru](mailto:mironova-mn@rudn.ru)

**Аннотация.** Исследованы взаимосвязи структуры экономики и уровня загрязнения европейских городов в контексте экологического императива. На базе сравнительно-статистического анализа рассмотрен уровень загрязнения в городах Европы в 2013 и 2023 гг. и выявлены города с наиболее и наименее благоприятной экологической ситуацией. Изучаемые города разделены на 7 групп по индексу загрязнения; при проведении картографического анализа определена закономерность их размещения: группы наиболее загрязненных городов расположены в основном на юго-востоке Европы, а наименее – на северо-западе. Выявлены 5 типов городов с различными трендами динамики индекса загрязнения. На основе комплексного синтетического анализа городов с максимальным улучшением и ухудшением экологической ситуации описаны основные факторы разнонаправленной динамики – активность проведения экологической политики, трансформация отраслевой структуры экономики городов. Определены основные пространственные тенденции изменения экологической ситуации в городах региона: города с позитивной динамикой индекса загрязнения преимущественно сконцентрированы на юго-востоке, с отрицательной – на востоке. Выявлено, что за указанный период 2/3 городов Европы улучшили экологическое состояние, главным образом за счет эффективности экологических мер, зеленого политического движения, развития третичного и четвертичного секторов в их экономике.

**Ключевые слова:** города, Европа, индекс загрязнения, экологическая ситуация, зеленая экономика, экологическая политика

**Благодарности и финансирование.** Публикация выполнена в рамках проекта № 060508-0-000 системы грантовой поддержки научных проектов РУДН.

© Миронова М.Н., Неведомская А.О., Сотникова В.В., Массарова А.Р., 2023



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

**Вклад авторов:** *М.Н. Миронова* – концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных, написание и редактирование текста публикации; *А.О. Неведомская* – сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста раздела; *В.В. Сотникова* – сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста раздела; *А.Р. Массарова* – написание и редактирование текста публикации, оформление публикации в печать.

**История статьи:** поступила в редакцию 06.04.2023; доработана после рецензирования 12.07.2023; принята к публикации 15.08.2023.

**Для цитирования:** *Миронова М.Н., Неведомская А.О., Сотникова В.В., Массарова А.Р.* Экологическая ситуация в городах Европы в 2013–2023 гг.: переход к зеленой экономике // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 494–509. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-494-509>

## Ecological situation in European cities in 2013–2023: transition to green economy

Marina N. Mironova  , Alexandra O. Nevedomskaya,  
Victoria V. Sotnikova, Alena R. Massarova 

*RUDN University, Moscow, Russian Federation*  
 [mironova-mn@rudn.ru](mailto:mironova-mn@rudn.ru)

**Abstract.** The study is devoted to the study of the relationship between the structure of the economy and the level of pollution of European cities in the context of the environmental imperative. Based on comparative statistical analysis, the level of pollution in European cities in 2013 and 2023 was considered and cities with the most and least favorable environmental situation were defined. Studied cities were divided into 7 groups by pollution index; stable trend of their location was determined through carrying out a cartographic analysis: groups of the most polluted cities are located mainly in the southeast of Europe and the least – in the northwest. Five types of cities with different trends in pollution index dynamics were identified. Based on a comprehensive synthetic analysis of cities with maximum improvement and deterioration of the environmental situation, the main factors of multidirectional dynamics are described – activity of environmental policy, sectoral structure transformation of urban economy. Main spatial trends in the environmental situation of European cities were identified: cities with positive dynamics of pollution index predominantly concentrated in the southeast, with a negative – in the east. The analysis showed that 2/3 of the largest cities in Europe improved their ecological condition mainly due to the effectiveness of environmental measures, the green political movement, the development of the tertiary and quaternary sectors in their economy.

**Keywords:** cities, Europe, pollution index, environmental situation, green economy, environmental policy

**Acknowledgements and Funding.** This publication has been supported by project No. 060508-0-000 (RUDN University Scientific Projects Grant System).

**Authors' contributions:** *M.N. Mironova* – concept and design of the study, analysis of obtained data, writing and editing the text of the publication; *A.O. Nevedomskaya* – collection

and processing of materials, analysis of obtained data, writing the text of the section; *V.V. Sotnikova* – collection and processing of materials, analysis of obtained data, writing the text of the section; *A.R. Massarova* – writing and editing the text of the publication, designing the publication for printing.

**Article history:** received 06.04.2023; revised 12.07.2023; accepted 15.08.2023.

**For citation:** Mironova MN, Nevedomskaya AO, Sotnikova VV, Massarova AR. Ecological situation in European cities in 2013–2023: transition to green economy. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):494–509. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-494-509>

## Введение

Интерес в изучении Европы с точки зрения воздействия процессов урбанизации на экологическую обстановку обусловлен имеющимся парадоксом. Уровень урбанизации в Европе довольно высокий (в 2022 г. достиг 75 %), но с этим показателем регион занимает лишь третье место в мире после Северной (83 %) и Латинской Америки (82 %). При этом совокупные объемы выбросов стран Европы парниковых газов в атмосферу – таких как углекислый газ (5,6 млн кт CO<sub>2</sub>) и метан (1,4 млн кт CO<sub>2</sub>-эквивалента) – превышают показатели указанных регионов, в которых они составляют 4,8 млн кт CO<sub>2</sub>, 1,1 млн кт CO<sub>2</sub>-эквивалента и 1,4 млн кт CO<sub>2</sub>, 0,8 млн кт CO<sub>2</sub>-эквивалента соответственно. На Европу приходится 7,2 % площади территорий мира, официально считающихся городскими, – это 328 тыс. км<sup>2</sup>, что больше показателя Латинской и Северной Америки в 2,5 и 1,6 раза. Ситуацию осложняет высокая плотность населения (более 73 чел. на км<sup>2</sup> в 2022 г.) и городов в регионе<sup>1</sup>.

Вопросы загрязнения окружающей среды тесно связаны с экономической деятельностью городов и ее трансформацией в связи с утратой ими старых базовых функций и приобретением новых. Часто это определено переходом к зеленой экономике и модернизацией экономики при внедрении ресурсосберегающих и малоотходных технологий, применением техники. Зеленая экономика – модель организации экономики, направленная на достижение целей социально-экономического развития при сокращении экологических рисков, темпов деградации окружающей среды и вместе с тем повышении благосостояния населения. Она рассматривается в русле концепции устойчивого развития и призвана смягчить негативные для природы и населения последствия традиционного экономического роста – экспортно-ориентированной модели [1].

Вопросы влияния урбанизации на экологическую ситуацию получили широкую популярность среди ученых после включения цели «Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов» в концепцию целей устойчивого развития ООН в 2015 г. Огромный вклад в исследовании этой темы сделан экспертами

<sup>1</sup> World Development Indicators // World Bank. 2023. URL: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (accessed: 14.07.2023).

Программы ООН по населенным пунктам (ООН-Хабитат) и Программой ООН по окружающей среде<sup>2</sup>. Общие экологические последствия урбанизации стали фокусом внимания множества зарубежных ученых [3–6].

Многие научные труды касаются вопросов трансформации экономики при эколого-ориентированном развитии. Сырьевой кризис 1970-х гг. в Западной Европе способствовал радикальной перестройке экономики и внедрению новых технологий еще в XX в. Рост цен на природные ресурсы в странах с рыночной экономикой потребовал сокращения затрат на ресурсо-, водо- и электропотребление, что привело к интенсификации процессов экологизации экономики [6; 7]. Работы российских ученых часто касаются взаимосвязи между изменениями в отраслевой структуре экономики России и ее регионов и внедрением элементов зеленой экономики [8; 9].

Меньшее их количество фокусируется на экологической ситуации непосредственно в городах: к примеру, это – китайские исследования [10; 11]. В РФ воздействие градообразующих функций городов на загрязнения атмосферного воздуха рассматривается в работе И.С. Давыдовой и А.В. Гапоненко [12]. В.Р. Битюкова – автор ряда методик по оценке антропогенного воздействия на окружающую среду, а также уникального экологического рейтинга всех 1117 городов России – разработала комплексную оценку состояния окружающей среды, опирающуюся в том числе на трансформацию приоритетных видов экономической деятельности в городах РФ [13].

Активно проводятся также исследования по регулированию состояния окружающей среды в мире [5; 14], Европейском Союзе и отдельных странах Европы [7; 15; 16]. Российские ученые обращаются к изучению вопросов формирования институциональной среды и норм национального законодательства для обеспечения устойчивого развития, в том числе по организации мониторинга состояния окружающей среды и применения экологичных технологий [17–19].

Цель данного исследования – определение основных тенденций динамики экологической ситуации в городах Европы в рамках модели зеленой экономики. Новизна данного исследования заключается и в том, что был проанализирован индекс загрязнения, рассчитанный и публикуемый *краудсорсинговой* базой данных Numbeo. Индекс предоставляет оценку общего уровня загрязнения в городах и учитывает такие факторы, как загрязнение воздуха и воды, частота вывоза мусора, чистота, шумовое и световое загрязнение, наличие зеленых насаждений и комфорт горожан по отношению к загрязнению [20].

---

<sup>2</sup> Rescuing SDG 11 for a resilient urban planet // United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). 2023. URL: <https://unhabitat.org/rescuing-sdg-11-for-a-resilient-urban-planet> (accessed: 14.07.2023); State of Finance for Nature in Cities: Summary for Local Policymakers // United Nations Environment Programme. 2023. URL: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/41935> (accessed: 15.07.2023).

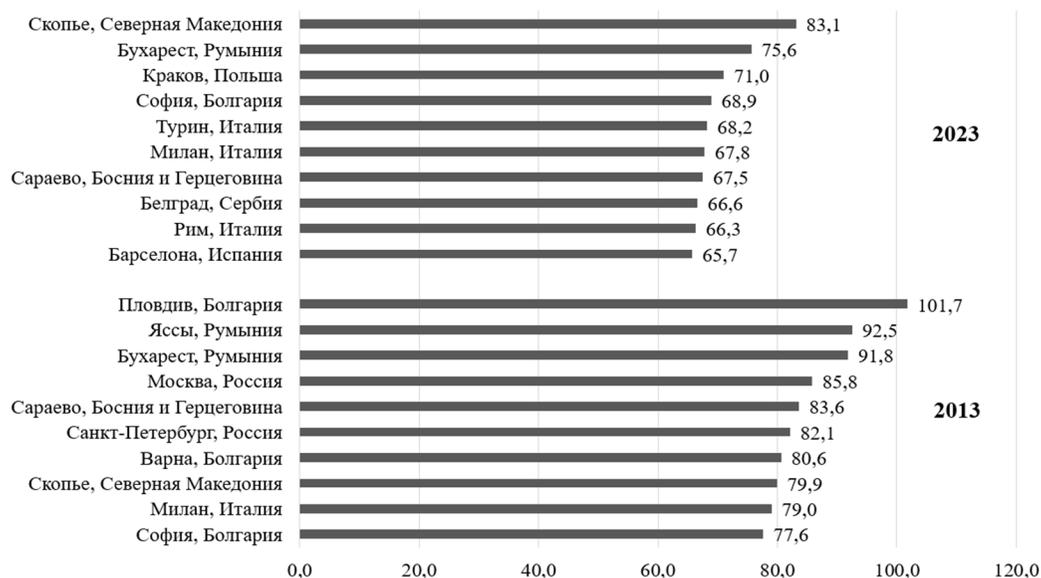
## Города Европы с разным уровнем загрязнения в 2013 и 2023 гг.

При сравнении *наиболее загрязненных городов Европы* определено, что в 2013 г. индекс загрязнения в этих городах в целом выше, чем в 2023 г. В 2023 г. городами с наиболее сложной экологической ситуацией в Европе по-прежнему остались Скопье, Бухарест, София, Сараево, Милан. Новыми городами в данной десятке стали Краков, Турин, Белград, Рим и Барселона. Если максимальное значение индекса в 2013 г. превышало 100 (Пловдив, Болгария), то к 2023 г. он составил 83,1 (Скопье, Северная Македония) (рис. 1).

Наиболее загрязненные города расположены в Болгарии (София, Варна, и Пловдив), Румынии (Бухарест и Яссы) и других странах Восточной Европы, исключения – Милан, Рим и Барселона. Уровень социально-экономического развития восточноевропейских стран, очевидно, ниже западноевропейских, и экологическое движение среди населения распространено в гораздо меньшей степени. К тому же страны этого субрегиона характеризуются индустриальной и индустриально-аграрной экономикой, а в их столицах сосредоточен экономический потенциал. Специализация многих городов на промышленной переработке является одной из причин повышенного загрязнения. При неудовлетворительном состоянии окружающей среды отмечается недостаточность выделяемых средств на реализацию мер экологической политики [16].

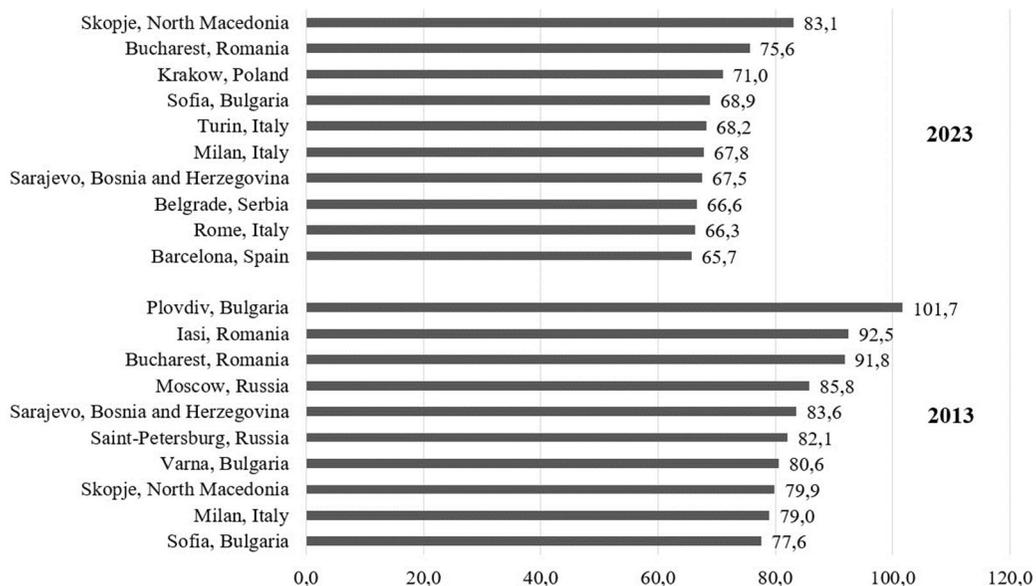
Рассмотрим примеры стабильно «грязных» европейских городов. Город Скопье – столица и базовый промышленный центр Северной Македонии – концентрирует значительную часть населения и индустрии страны. В нем расположены металлургические (Liberty Skorje), химические (комбинат ОНИС), фармацевтические (Alkaloid) и другие предприятия, которые являются главными источниками загрязнения. Милан является одним из главных финансовых и деловых центров Европы, столицей моды, торговли и туризма, а также мощным промышленным центром Италии (развиты автомобилестроение, химическая промышленность и др.). Его экономика в целом носит постиндустриальный характер, однако сохраняется основная экологическая проблема города – загрязнение воздуха из-за частых автомобильных пробок. Кроме того, он располагается на пересечении активно используемых транспортных магистралей, связан с морским портом в Генуе, откуда выполняется множество перевозок на автомобилях и фурах, также загрязняющих окружающую среду.

В десятке *городов с наиболее благоприятной экологической ситуацией* оказались города и Западной, и Восточной Европы. Почти во всех городах индекс загрязнения оставался на низком уровне (Франкфурт, Порту, Минск, Дублин, Братислава, Рига, Лиссабон, Прага и Гаага) в 2013–2023 гг. За 10 лет минимальное значение индекса загрязнения сократилось в 1,5 раза: с 32,9 % (Дублин) в 2013 г. до 19,2 % (Гаага) в 2023 г. (рис. 2).



**Рис. 1. Города Европы с максимальным индексом загрязнения в 2013 и 2023 гг.**

*Источник:* составлено авторами по [23].

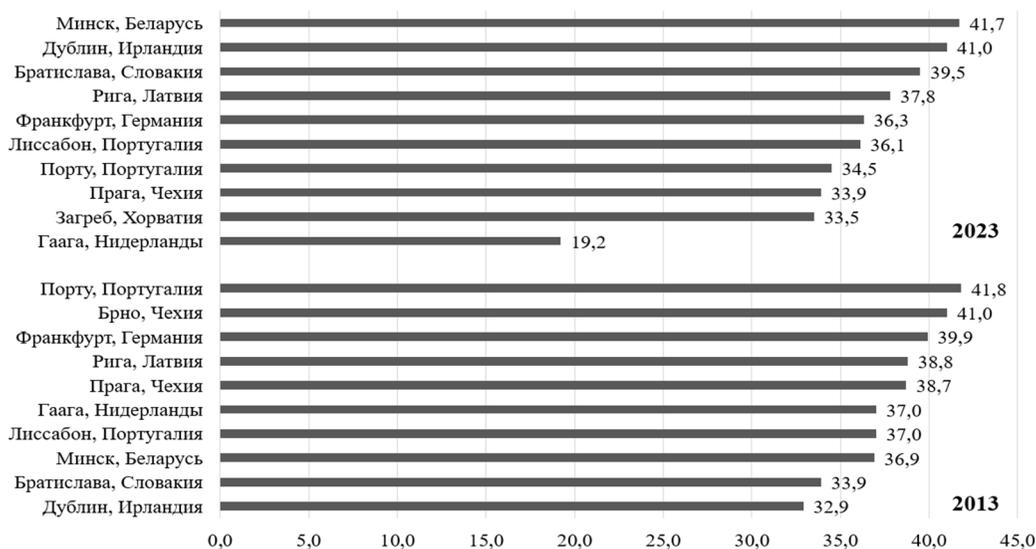


**Figure 1. European cities with the highest pollution index in 2013 and 2023**

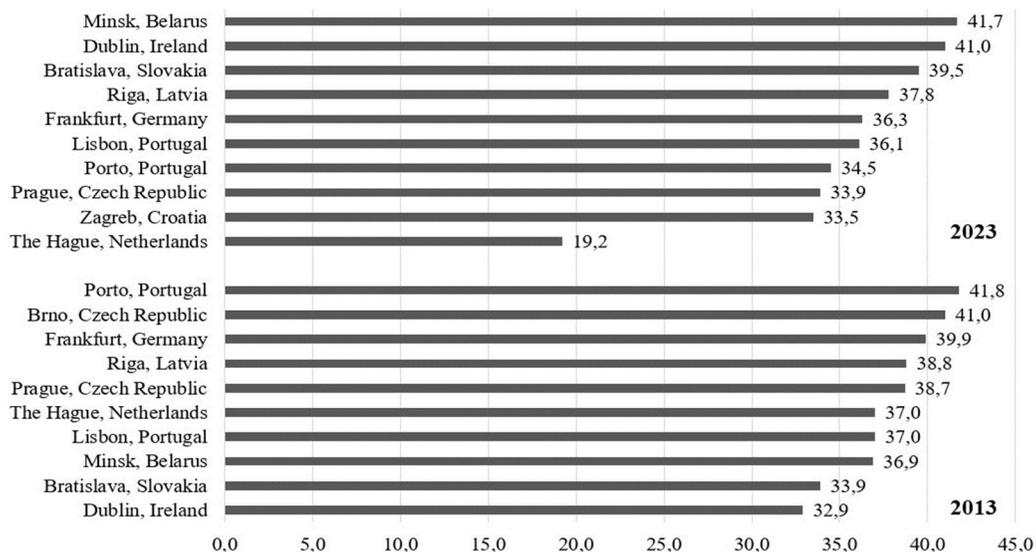
*Source:* compiled by the authors according to [23].

Наиболее «чистые» европейские города имеют общие черты: преимущественно развиты третичный и четвертичный секторы экономики, специализация в основном на предоставлении услуг (в финансово-банковской, юридической сферах, науке, образовании, здравоохранении, туризме и пр.). Горожане вовлечены в становление зеленой экономики, а проводимая властями городская экологическая политика имеет продолжительную историю и высокую эффективность.

Например, Прага, присутствующая в топ-10 городов Европы с минимальным индексом загрязнения в 2013 и 2023 гг., к началу XXI в. находилась в тяжелом экологическом положении из-за промышленного роста и отсутствия мер по охране окружающей среды. Но после вступления в ЕС в 2004 г. были введены экологические нормы для стабилизации ситуации (использование экотоплива, запрет на бурый уголь как источник энергии, внедрение общих европейских стандартов в сортировку и переработку мусора). Так, сегодня Прага – один из самых «зеленых» городов Европы [15].



**Рис. 2. Города Европы с минимальным индексом загрязнения в 2013 и 2023 гг.**  
 Источник: составлено авторами по [23].



**Figure 2. European cities with the lowest pollution index in 2013 and 2023**  
 Source: compiled by the authors according to [23].

Города Европы были разбиты на 7 групп с разным уровнем загрязнения для проведения картографического анализа их размещения. В результате анализа их пространственного расположения было выявлено, что города с худшей экологической ситуацией (1-й и 2-й групп) находятся преимущественно на юго-востоке Европы – в странах, которые использовали советскую модель индустриализации с преимущественным развитием тяжелых отраслей промышленности, а именно: добычи сырья, энергетики, металлургии, химии и машиностроения (рис. 3).

Например, София – столица Болгарии – остается важнейшим индустриальным центром и находится на 83-м месте в топ-100 городов мира, которые «славятся» наибольшими пробками на городских дорогах: жители Софии стоят в пробках в среднем 38 мин ежедневно или неделю в год. Загрязнения воздуха усугубляются физико-географическими особенностями – расположение города в Софийской котловине у подножия горы Витоша, что снижает уровень самоочищения воздуха.

Города с лучшей экологической ситуацией (6-й и 7-й групп) расположены в основном в северной части и на крайнем западе Европы (см. рис. 3). Положительная экологическая обстановка в Лиссабоне и Порту, вошедших в топ-10 городов региона с минимальным индексом загрязнения в 2013 и 2023 гг., объясняется расположением вблизи побережья Атлантики, где господствуют западные ветры, а также специализацией на отраслях третичного сектора (транспортные услуги, туризм, креативная экономика и т.д.).

### **Типы городов Европы по динамике индекса загрязнения в 2013–2023 гг.**

*Изменение индекса загрязнения* в 2013–2023 гг. в городах Европы происходило неравномерно: в 24 из 36 городов, располагающих статистикой на обе даты, экологическая ситуация улучшилась и только в 1/3 исследуемых она ухудшилась (рис. 4).

*Наибольшие положительные сдвиги* наблюдаются в Гааге, Пловдиве, Яссах, Москве и Варне. Для улучшения экологической ситуации в рассматриваемых городах осуществлялись различные меры. Например, в Гааге, городе-лидере по сокращению индекса загрязнения, используют способ очищения речных вод, который позволяет не только очищать водоемы, но и насыщает его кислородом [19]. В Москве осуществлялись программы озеленения и экологический мониторинг: активно строятся дороги-дублеры, развивается метро, все больше общественный транспорт работает на электричестве, а за последние 10 лет создано 30 новых особо охраняемых природных территорий. Улучшение экологической ситуации обусловлено и заметными изменениями в отраслевой структуре экономики столицы РФ: за последние десятилетия постепенно наблюдалось ослабление роли промышленной специализации, особенно сокращение наиболее «грязных» производств – металлургии, нефтехимии [13].

2023



2013



№	Группы городов	Интервал индекса загрязнения	Условные обозначения
1	С максимальным уровнем загрязнения	> 90	
2	С высоким уровнем загрязнения	80–89,9	
3	С загрязнением выше среднего	70–79,9	
4	Со средним уровнем загрязнения	50–69,9	
5	С загрязнением ниже среднего	40–49,9	
6	С низким уровнем загрязнения	30–39,9	
7	С минимальным уровнем загрязнения	< 30	

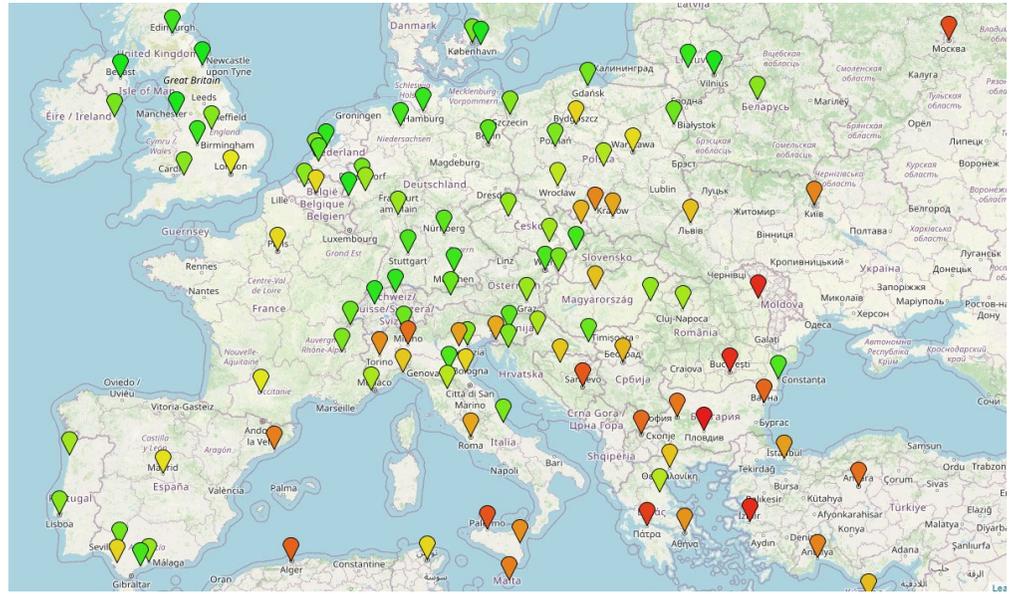
Рис. 3. Типология городов Европы по индексу загрязнения в 2013 и 2023 гг.

Источник: составлено авторами на основе [23].

2023



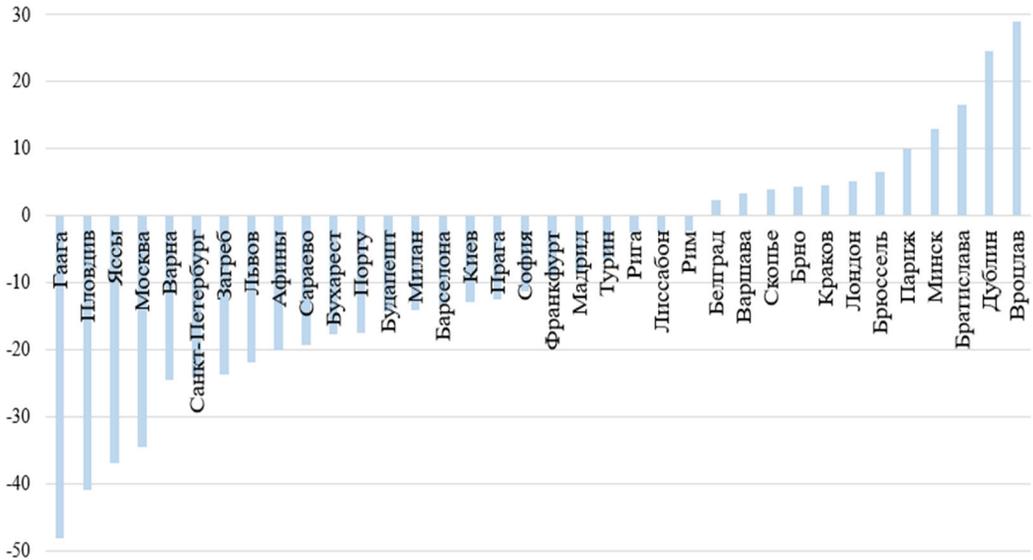
2013



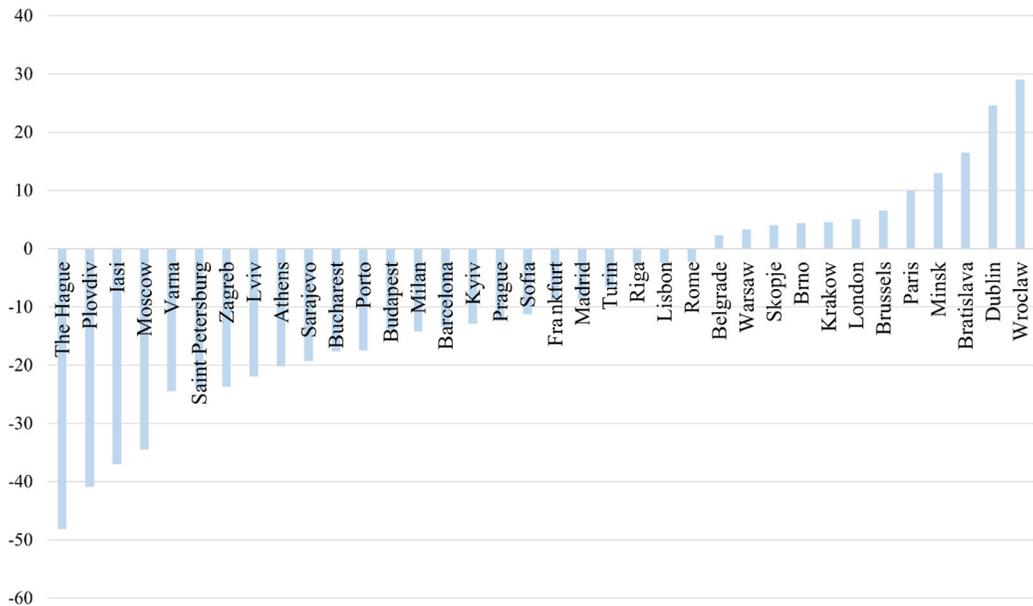
№	City groups	Pollution index interval	Map marks
1	Maximum pollution	>90	
2	High pollution	80–89.9	
3	Upper-middle-level pollution	70–79.9	
4	Middle-level pollution	50–69.9	
5	Lower-middle-level pollution	40–49.9	
6	Low pollution	30–39.9	
7	Minimal pollution	<30	

**Figure 3. Typology of European cities by pollution index in 2013 and 2023**

Source: compiled by the authors based on [23].



**Рис. 4. Динамика индекса загрязнения в городах Европы в 2013–2023 гг., % к 2013 г.**  
 Источник: составлено авторами на основе [23].



**Figure 4. Dynamics of the pollution index in European cities in 2013–2023, % to 2013**  
 Source: compiled by the authors based on [23].

Основная причина улучшения ситуации в Европе – экологическая политика. В 2013–2023 гг. выросло количество зеленых политических движений и повысился уровень ответственности и разумного потребления граждан. Крупнейшей партией такой направленности является Европейская партия зеленых, выступающая за повышение экологической осведомленности и обеспечивающая реагирование на изменение состояния окружающей среды на всех

уровнях государственного управления. В 2020-х гг. Европа стала крупнейшим рынком электромобилей в мире благодаря субсидированию правительствами стран данной отрасли. В промышленное производство внедряются энергосберегающие технологии, устанавливаются фильтровальные системы, осуществляется переработка отходов, внедряется экологическая техника, совершенствуется законодательство [15].

Для выявления *пространственных тенденций* были выделены 5 типов городов с разным изменением индекса загрязнения в 2013–2023 гг.: 1-й тип – максимальное ухудшение экологической ситуации: изменение индекса от 10 до 30 %; 2-й тип – ухудшение ситуации: изменение – от 0 до 9 %; 3-й тип – минимальное улучшение экологической ситуации: изменение от –9 до 0 %; 4-й тип – улучшение: изменение от –29 до –10 %; 5-й тип – максимальное улучшение: изменение – от –30 до –50 %. Города с улучшением экологической ситуации находятся повсеместно в Европе, города с максимальным улучшением (18 городов 4-го и 5-го типов) – в основном на юго-востоке и востоке: в РФ, Болгарии и Румынии. Города, в которых фиксируется ухудшение экологической ситуации (12 городов 1-го и 2-го типа), расположены главным образом в восточной части региона, в странах которой проводимые экологические меры не дали ощутимых результатов (в Польше, Белоруссии, Словакии, Сербии и других странах Восточной Европы).

По количеству городов в странах с положительной тенденцией динамики индекса выделяются Румыния и Болгария, а с отрицательной – Польша. В Польше доля электроэнергии, вырабатываемой на угольных электростанциях, достигает 75 %, а значительная часть используемого угля – наиболее грязный бурый уголь [6]. Несмотря на требования соблюдать условия «Зеленого пакта», Польша, в частности Варшава, продолжает вести бескомпромиссную политику.

### Заключение

Проведенное исследование позволило выявить основные тенденции динамики экологической ситуации, характеризующей переход городов Европы к зеленой экономике на современном этапе.

1. Классификация городов по уровню загрязнения, определение наиболее «грязных» и «чистых» городов региона показали тенденцию наличия индустриального характера базовых градообразующих функций у первых и постиндустриального – у вторых.

2. Анализ расположения их в Европе в 2013 и 2023 гг. показал сохраняющуюся тенденцию сосредоточения городов с наиболее неблагоприятной экологической ситуацией на юго-востоке, а благоприятной – на северо-западе.

3. Авторская типология европейских городов по динамике изменения индекса загрязнения за 10 лет дала возможность определить следующие тенденции:

– общая ситуация свидетельствует об уменьшении уровня загрязнения;

– характерна тенденция концентрации городов с наиболее заметным позитивным трендом в экологической обстановке в странах юго-востока Европы благодаря предпринимаемым зеленым мерам на уровне ЕС и экологически ориентированной трансформации отраслевой структуры их экономики;

– однако зафиксированы и города с серьезным отрицательным трендом, которые размещены преимущественно на востоке региона. Яркий пример – города Польши с ухудшением уровня загрязнения, а также Белоруссия и Словакия, в которых экологическая политика пока недостаточна эффективна.

4. Указанные выше тенденции связаны с различиями в исторических и современных особенностях социально-экономического развития восточноевропейских и западноевропейских стран, длительности и активности проведения экологической политики, экологическом самосознании граждан и специфике их географического положения.

#### Список литературы

- [1] Бобылева С.Н., Кирюшина П.А., Кудрявцевой О.В. Зеленая экономика и цели устойчивого развития для России: коллективная монография. М.: Экономический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2019. 284 с.
- [2] Xuemei Bai, Timon McPhearson, Helen Cleugh, Harini Nagendra, Xin Tong. Linking Urbanization and the Environment: Conceptual and Empirical Advances // Annual Review of Environment and Resources. 2017. Vol. 2. P. 215–240. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-061128>
- [3] Ernstson H. Ecosystems and urbanization: A colossal meeting of giant complexities // Ambio. 2021. Vol. 50. P. 1639–1643. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01516-y>
- [4] Chen X., Liu C., Yu X. Urbanization, Economic Development, and Ecological Environment: Evidence from Provincial Panel Data in China // Sustainability. 2022. Vol. 14(3). P. 1124. <https://doi.org/10.3390/su14031124>
- [5] Yongchi M., Yong J. Ecosystem-based adaptation to address urbanization and climate change challenges: the case of China’s sponge city initiative // Climate Policy. 2023. Vol. 23(2). P. 268–284. <https://doi.org/10.1080/14693062.2022.2131503>
- [6] Józwiak B., Gavryshkiv A.-V., Galewska K. Do Urbanization and Energy Consumption Change the Role in Environmental Degradation in the European Union Countries? // Energies. 2022. Vol. 15(17). P. 6412. <https://doi.org/10.3390/en15176412>
- [7] Romano B., Sette C., Zullo F., Montaldi C. Landscape Profiles, Urbanization and Environmental Protection in Europe: Is Western the Future Scenario for Eastern? // Current Urban Studies. 2023. Vol. 11. P. 301–318. <https://doi.org/10.4236/cus.2023.112016>
- [8] Макаров С.В. Акценты развития экологической ситуации в России в период модернизации экономики // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2014. Т. 10. № 21 (258). С. 11–21.
- [9] Bobylev S.N., Kudryavtseva O.V., Yakovleva Ye.Yu. Regional priorities of green economy // R-Economy. 2015. Vol. 2 (1). P. 148–160. <https://doi.org/10.17059/2015-2-12>
- [10] Xiong X., Zhou T., Cai T. Land Use Transition and Effects on Ecosystem Services in Water-Rich Cities under Rapid Urbanization: A Case Study of Wuhan City, China // Land. 2022. Vol. 11(8): 1153. <https://doi.org/10.3390/land11081153>

- [11] Jin P., Wang S., Yin D., Zhang H. Environmental institutional supply that shapes a green economy: Evidence from Chinese cities // *Technological Forecasting and Social Change*. 2023. Vol. 187(C). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122214>
- [12] Давыдова И.С. Гапоненко А.В. Проблема загрязнения атмосферного воздуха в городах // *Sciences of Europe*. 2017. Vol. 2 (14). С. 3. URL: <https://issuu.com/sciencesofeurope/docs/vol-2-no-14-14-2017/3> (дата обращения: 21.07.2023).
- [13] Битюкова В.Р. Экономико-географическая оценка экологических последствий трансформации отраслевой структуры хозяйства регионов и городов России в 2000–2020 гг. // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2022. № 3. С. 416–434.
- [14] Granjou C., Salomon Cavin J., Boisvert V. Researching Cities, Transforming Ecology: An Investigation into Urban Ecology Agendas // *Nature and Culture*. 2023. Vol. 18(2). P. 148–174. <https://doi.org/10.3167/nc.2023.180202>
- [15] Соколов Р.Н., Рогожина Е.М., Тихомирова А.Д. Современная экологическая политика Евросоюза: борьба за ресурсы и конфликт интересов в различных сегментах рынка // *Конфликтология*. 2022. С. 75–86. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=necufb> (дата обращения: 24.07.2023).
- [16] Chobotova V. The role of market-based instruments for biodiversity conservation in Central and Eastern Europe // *Ecological economics*. 2013. Vol. 95. P. 41–50. URL: <https://www.peeref.com/works/9060286> (accessed: 28.07.2023).
- [17] Реброва В. В. Институциональные условия и факторы перехода к «зеленой экономике» // *Финансовые рынки и банки*. 2021. № 2. С. 35–37.
- [18] Жалбинова С. К. Экологический мониторинг как эколого-экономический механизм природопользования // *Евразийское научное объединение*. 2019. № 10–4(56). С. 301–305. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41385664> (дата обращения: 01.08.2023).
- [19] Илякова И. Е. Внедрение наилучших доступных технологий как фактор становления зеленой экономики: институциональный аспект // *Национальная безопасность / nota bene*. 2021. №. 5. С. 30–40.
- [20] Pollution Index by City // *Numbeo*. 2023. URL: <https://www.numbeo.com/pollution/rankings.jsp> (accessed: 25.06.2023).

## References

- [1] Bobyleva S.N., Kiryushina P.A., Kudryavtseva O.V. *Green economy and sustainable development goals for Russia: collective monograph*. М.: Faculty of Economics of Moscow State University named after M.V. Lomonosov, 2019. 284 p. (In Russ.)
- [2] Xuemei Bai, Timon McPhearson, Helen Cleugh, Harini Nagendra, Xin Tong. Linking Urbanization and the Environment: Conceptual and Empirical Advances. *Annual Review of Environment and Resources*. 2017;2:215–240. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-061128>
- [3] Ernstson H. Ecosystems and urbanization: A colossal meeting of giant complexities. *Ambio*. 2021;50:1639–1643. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01516-y>
- [4] Chen X, Liu C, Yu X. Urbanization, Economic Development, and Ecological Environment: Evidence from Provincial Panel Data in China. *Sustainability*. 2022;14(3):1124. <https://doi.org/10.3390/su14031124>
- [5] Yongchi M, Yong J. Ecosystem-based adaptation to address urbanization and climate change challenges: the case of China’s sponge city initiative. *Climate Policy*. 2023;23(2):268–284. <https://doi.org/10.1080/14693062.2022.2131503>

- [6] Józwik B, Gavryshkiv A-V, Galewska K. Do Urbanization and Energy Consumption Change the Role in Environmental Degradation in the European Union Countries? *Energies*. 2022;15(17):6412. <https://doi.org/10.3390/en15176412>
- [7] Romano B, Sette C, Zullo F, Montaldi C. Landscape Profiles, Urbanization and Environmental Protection in Europe: Is Western the Future Scenario for Eastern? *Current Urban Studies*. 2023;11:301–318. <https://doi.org/10.4236/cus.2023.112016>
- [8] Makar SV. Accents in the development of the ecological situation in Russia during the period of economic modernization. *National interests: priorities and safety*. 2014;10(21(258)):11–21. (In Russ.)
- [9] Bobylev SN, Kudryavtseva OV, Yakovleva YeYu. Regional priorities of green economy. *R-Economy*. 2015;2(1):148–160. <https://doi.org/10.17059/2015-2-12>
- [10] Xiong X, Zhou T, Cai T. Land Use Transition and Effects on Ecosystem Services in Water-Rich Cities under Rapid Urbanization: A Case Study of Wuhan City, China. *Land*. 2022;11(8):1153. <https://doi.org/10.3390/land11081153>
- [11] Jin P, Wang S, Yin D, Zhang H. Environmental institutional supply that shapes a green economy: Evidence from Chinese cities. *Technological Forecasting and Social Change*. 2023. Vol. 187(C). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122214>
- [12] Davydova IS, Gaponenko AV. The problem of air pollution in cities. *Sciences of Europe*. 2017;2(14):3. Available from: <https://issuu.com/sciencesofeurope/docs/vol-2-no-14-14-2017/3> (accessed: 21.07.2023)
- [13] Bityukova VR. Economic and geographical assessment of the environmental consequences of the transformation of the sectoral structure of the economy of regions and cities of Russia in 2000–2020. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographic series*. 2022;(3):416–434. (In Russ.)
- [14] Granjou C, Salomon Cavin J, Boisvert V. Researching Cities, Transforming Ecology: An Investigation into Urban Ecology Agendas. *Nature and Culture*. 2023;18(2):148–174. <https://doi.org/10.3167/nc.2023.180202>
- [15] Sokolov RN, Rogozhina EM, Tikhomirova AD. Modern environmental policy of the European Union: the struggle for resources and the conflict of interests in various market segments. *Conflictology*. 2022:75–86. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=necufb> (accessed: 24.07.2023) (In Russ.)
- [16] Chobotova V. The role of market-based instruments for biodiversity conservation in Central and Eastern Europe. *Ecological economics*. 2013;95:41–50. Available from: <https://www.peeref.com/works/9060286> (accessed: 28.07.2023).
- [17] Rebrova VV. Institutional conditions and factors of transition to green economy. *Financial markets and banks*. 2021;(2):33–37 (In Russ.)
- [18] Zhalbinova SK. Ecological monitoring as an ecological and economic mechanism for nature management. *Eurasian scientific association*. 2019;10–4(56):301–305. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41385664> (accessed: 01.08.2023) (In Russ.)
- [19] Ilyakova IE. Implementation of the best available technologies as a factor in the formation of a green economy: an institutional aspect. *National Security/ nota bene*. 2021. no. 5. P. 30–40 (In Russ.)
- [20] Pollution Index by City. *Numbeo*. 2023. Available from: <https://www.numbeo.com/pollution/rankings.jsp> (accessed: 25.06.2023).

#### Сведения об авторах:

Миронова Марина Николаевна, кандидат географических наук, доцент кафедры региональной экономики и географии экономического факультета, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, ORCID: 0000-0003-3799-6705, eLibrary SPIN-код: 7306-3940. E-mail: mironova-mn@rudn.ru

*Неведомская Александра Олеговна*, студент 2-го курса, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: 1132226666@pfur.ru

*Сотникова Виктория Вячеславовна*, студент 2-го курса, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: 1132222997@pfur.ru

*Массарова Алена Рамильевна*, ассистент кафедры региональной экономики географии экономического факультета, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, ORCID: 0000-0002-9470-0037, eLibrary SPIN-код: 1724-6141. E-mail: massarova-ar@rudn.ru

### **Bio notes:**

*Marina N. Mironova*, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Regional Economics and Geography, Faculty of Economics, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3799-6705, eLibrary SPIN code: 7306-3940. E-mail: mironova-mn@rudn.ru

*Alexandra O. Nevedomskaya*, 2nd year student, Faculty of Economics, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: 1132226666@pfur.ru

*Victoria V. Sotnikova*, 2nd year student, Faculty of Economics, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: 1132222997@pfur.ru

*Alena R. Massarova*, Assistant of the Department of Regional Economics and Geography, Faculty of Economics, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-9470-0037, eLibrary SPIN code: 1724-6141. E-mail: massarova-ar@rudn.ru



## ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-510-520  
EDN: RNKMGK  
УДК 502:628.517.2

Научная статья / Research article

### Зонирование города Шелехова Иркутской агломерации на основе оценки акустического загрязнения

С.А. Новикова  

*Иркутский государственный университет путей сообщения,  
Иркутск, Российская Федерация  
eco-science@mail.ru*

**Аннотация.** Проведено зонирование города Шелехова, основанное на оценке акустического загрязнения территории. Осуществлены натурные наблюдения и выполнен подсчет количества автотранспортных средств, передвигающихся по внутригородским автомобильным дорогам и федеральной трассе Р-258 «Байкал». С помощью шумомеров произведены инструментальные измерения в дневное и ночное время и построены карты уровня звукового давления улично-дорожной сети. Осуществлен расчет статистических характеристик и построен суточный ход распределения уровня шума на главных и второстепенных автодорогах. Проведен анализ полученных результатов и их сравнение с установленными санитарными нормативами на предмет их превышения. Определены фактические данные в поддержку реализации стратегий, направленных на снижение акустического загрязнения и, как следствие, создания благоприятных условий для проживания населения.

**Ключевые слова:** акустическая нагрузка, нормирование уровня шума, звуковое давление, улично-дорожная сеть

**История статьи:** поступила в редакцию 15.01.2023; доработана после рецензирования 30.04.2023; принята к публикации 15.09.2023.

---

© Новикова С.А., 2023



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

Для цитирования: Новикова С.А. Зонирование города Шелехова Иркутской агломерации на основе оценки акустического загрязнения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 510–520. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-510-520>

## Zoning of the city of Shelekhov, Irkutsk agglomeration, based on the assessment of acoustic pollution

Svetlana A. Novikova  

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation*

 [eco-science@mail.ru](mailto:eco-science@mail.ru)

**Abstract.** The study carried out the zoning of the city of Shelekhov, based on the assessment of acoustic pollution of the territory. Field observations were made and the number of vehicles moving along intracity roads and the federal highway R-258 “Baikal” was calculated. With the help of sound level meters, instrumental measurements were made in the daytime and at night, and maps of the sound pressure level of the road network were built. The calculation of statistical characteristics was carried out and the daily course of the distribution of the noise level on the main and secondary roads was constructed. The analysis of the obtained results and their comparison with the established sanitary standards for their excess was carried out. Evidence has been identified to support the implementation of strategies aimed at reducing acoustic pollution and, as a result, creating favorable conditions for the population to live.

**Keywords:** acoustic load, noise level regulation, sound pressure, road network

**Article history:** received 15.01.2023; revised 30.04.2023; accepted 15.09.2023.

**For citation:** Novikova SA. Zoning of the city of Shelekhov, Irkutsk agglomeration, based on the assessment of acoustic pollution. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):510–520. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-510-520>

### Введение

Шелехов – промышленно-транспортный город Иркутской агломерации, через который проходит федеральная трасса Р-258 «Байкал» (Иркутск – Улан-Удэ – Чита) в связи, с чем автотранспорт здесь является круглосуточным источником шума. В транспортном потоке Шелехова отмечается большое количество транзитных грузовых автомобилей и автобусов. В городе достаточно развитая система городского транспорта, в которой, в основном, работают маршрутные такси. Через г. Шелехов проходит Транссибирская магистраль, расположено две железнодорожные станции. В рамках развития Иркутской агломерации и программы «Большой Иркутск» планируется соединить Шелехов, Иркутск и Ангарск линиями скоростного трамвая<sup>1</sup> [1].

Авторами [2] проанализированы статистические данные о реакции арендаторов жилья на шум от автотранспорта в Сингапуре после пандемии COVID-19, показывающие увеличение предпочтения людьми тишины примерно на 10 % с 2019 по 2020 г. Новая бизнес-модель работы на дому

<sup>1</sup> Концепция развития Иркутской агломерации. ФРИО, 2007. 163 с.

и растущий трафик от служб доставки объясняют эту тенденцию. Так, из-за транспортного шума арендная плата за жилье, расположенное вблизи автомобильных дорог, сразу после вспышки пандемии снизилась на 3,8 %, а через год – на 12,7 %.

Многие ученые пытаются разработать математические модели шума для изучения взаимосвязи между уровнем звукового давления и пространственно-временными параметрами. Авторами [3] создана модель с использованием метода множественной линейной регрессии для прогнозирования акустического загрязнения на магистральных дорогах Мешхеда – крупнейшего центра религиозного туризма в Иране, который ежегодно посещают порядка двадцати девяти миллионов человек. В [4] предпринята попытка спрогнозировать будущий уровень шума в зависимости от роста транспортных средств в Мумбаи с применением математической модели.

Кроме того, проведенные исследования [5–8] позволили установить, что шум является фактором экологического риска, оказывающим комплексное негативное воздействие на здоровье населения в условиях городской среды. Так, возникает проблема обеспечения акустической безопасности урбанизированных территорий.

Одной из главных причин акустического загрязнения в г. Шелехове служит рост числа источников шума. Кроме того, проведенные исследования [2] позволили установить, что шум является фактором экологического риска, оказывающим комплексное негативное воздействие на здоровье населения в условиях городской среды. Возникает проблема обеспечения акустической безопасности урбанизированных территорий, в том числе и в городе Шелехове.

### Методы исследования

С целью выявления шумовой нагрузки в г. Шелехове в период 2016–2020 гг. проводились натурные наблюдения за составом и интенсивностью движения автотранспортных средств в дневное и ночное время, а также осуществлены инструментальные замеры уровня звукового давления с помощью шумомеров Testo 816. Измерения уровня шума проводились по методике<sup>2</sup>. По результатам проведенных исследований была сформирована и зарегистрирована база данных шумовых характеристик улично-дорожной сети [9]. Данные об уровнях шума были обработаны с помощью методов математической статистики. Результатом проведенных расчетов явилось зонирование территории г. Шелехова по уровню акустического загрязнения. Для выполнения работы по созданию карт шумового загрязнения применялась программа QGIS. Слои картографического проекта OpenStreetMap выступали в качестве исходных пространственных данных в программу. При

---

<sup>2</sup> Методы контроля. Физические факторы. Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях: методические указания (МУК 4.3.2194–07). М., 2007. 10 с.

создании карт в слоях исходных подложек были использованы данные натуральных обследований уровней шума, зафиксированных в точках, координаты которых были отсняты с помощью GPS навигатора «Garmin Dakota 20».

### Результаты и их обсуждение

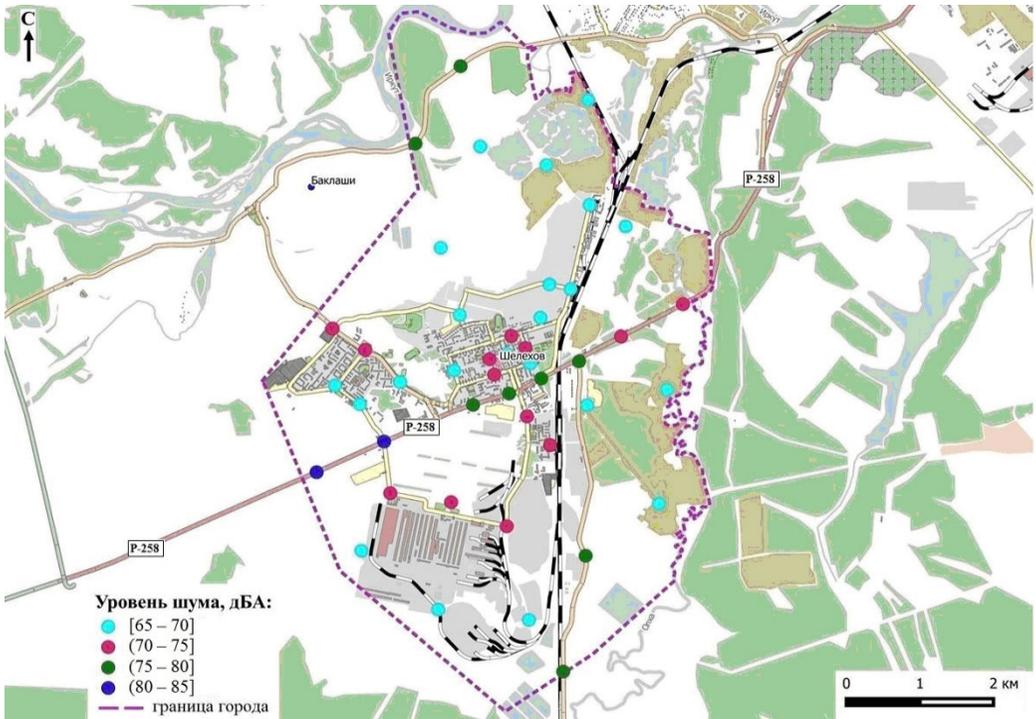
В результате проведенных натуральных обследований установлено, что автотранспортные средства всех категорий фиксируются практически в одинаковом количестве как в утренние и вечерние часы «пик», так и дневное время. По интенсивности движения наиболее загружены центральная часть города и трасса Р-258 «Байкал», наименее загруженными оказались окраины города. В дневное время в Шелехове создается максимальный уровень шума, изменяющийся в интервале (80–85] дБА, минимальный – в интервале (65–70] дБА (табл. 1). Наибольший уровень шума, зафиксированный в городе в ночное время, изменяется в интервале (75–80] дБА, наименьший – в интервале [60–65] дБА (табл. 1). Такие уровни шума фиксируются на тех же участках дорог, которым соответствуют уровни шума, изменяющиеся в интервалах (80–85] и [65–70] дБА, согласно измерениям, проведенным в дневное время. На рис. 1–2 представлены результаты зонирования территории г. Шелехова по уровню акустического загрязнения в дневное и ночное время, соответственно.

Таким образом, в дневное время на территории г. Шелехова создается максимальный уровень шума, равный 80-85 дБА, в ночное время – 70-75 дБА, что значительно превышает установленные санитарные нормы<sup>3</sup>. Средний уровень шума, которому подвержены жители Шелехова, составляет 65 дБА. Территория города находится в зоне повышенного шумового дискомфорта как в дневное, так и ночное время. Норматив, установленный для дневного времени, превышен в 1,5 раза, для ночного времени – 1,7 раза<sup>4</sup>.

В табл. 2 представлены характеристики уровней звукового давления на главных (наиболее загруженных – где регистрируется порядка 5000–6000 авт./ч) и второстепенных (наименее загруженных – 100–500 авт./ч) автомобильных дорогах г. Шелехова, полученные на основе статистической обработки данных инструментальных замеров шума. Анализ средних квадратических отклонений и коэффициентов вариации (< 17 %) показал удовлетворяющую статистическую однородность как на главных, так и на второстепенных дорогах города. Что касается коэффициентов асимметрии: на главных автодорогах отмечается левая асимметрия, обусловленная большими значениями уровня звукового давления. На второстепенных же автодорогах прослеживается правая асимметрия, определяемая наименьшим разбросом значений уровня звукового давления.

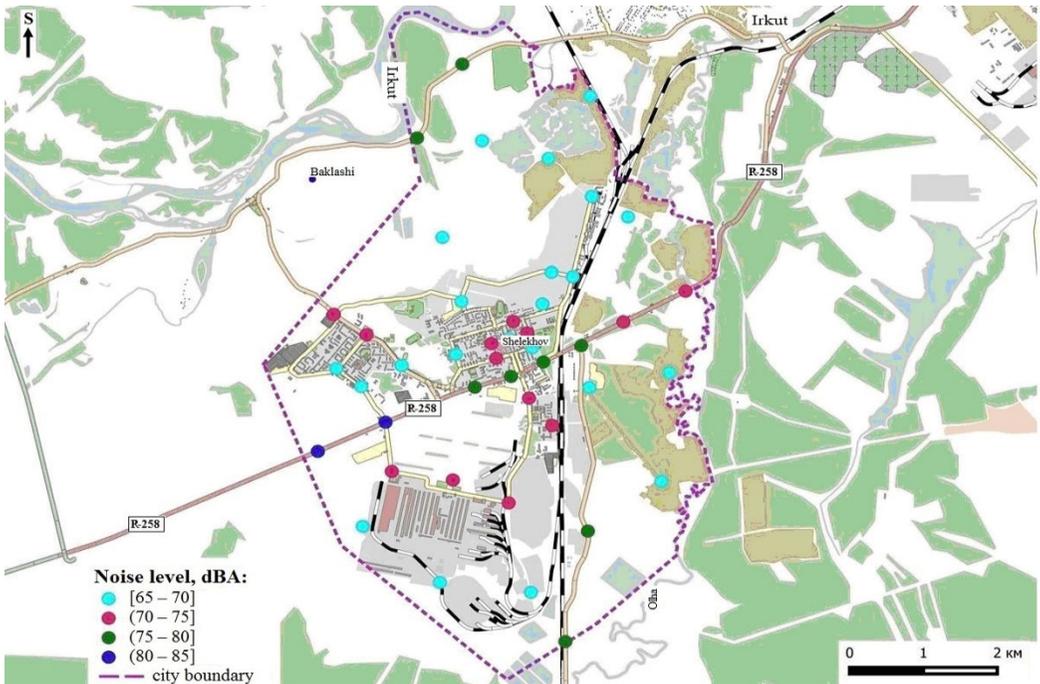
<sup>3</sup> Постановление главного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 „Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания“».

<sup>4</sup> Там же.



**Рис. 1. Карта уровня шума улично-дорожной сети г. Шелехова (дневное время).**

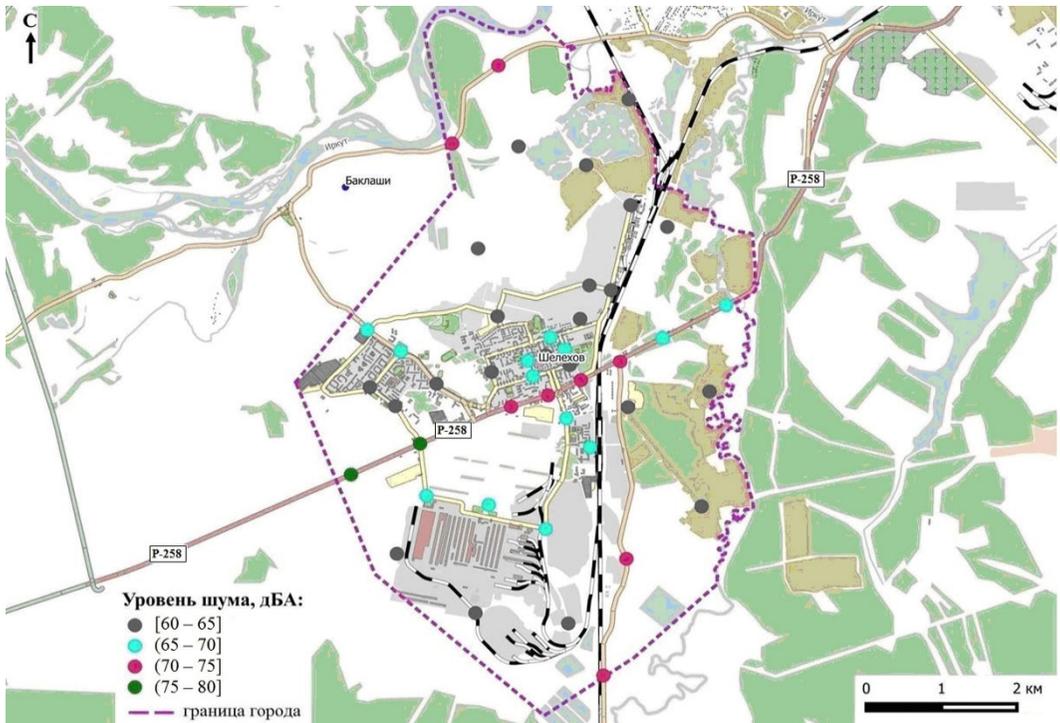
*Источник:* построена автором в программе QGIS по результатам проведенных инструментальных измерений.



**Figure 1. The noise level map of the road network of the city of Shelekhov (daytime)**

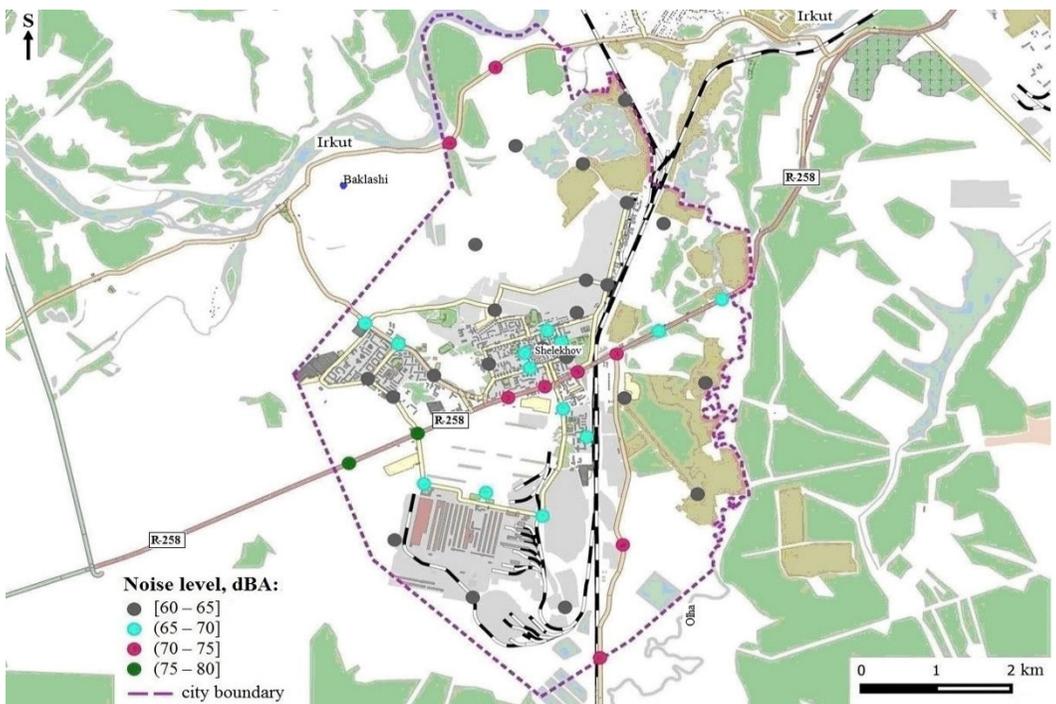
**Рис. 1. Карта уровня шума улично-дорожной сети г. Шелехова (дневное время).**

*Source:* built by the author in the QGIS program based on the results of instrumental measurements.



**Рис. 2. Карта уровня шума улично-дорожной сети г. Шелехова (ночное время)**

*Источник: построена автором в программе QGIS по результатам проведенных инструментальных измерений*



**Figure 2. The noise level map of the road network of the city of Shelekhov (nighttime)**

*Source: built by the author in the QGIS program based on the results of instrumental measurements.*

Таблица 1. Результаты замеров уровня шума на участках улично-дорожной сети в Шелехове

Уровень шума, дБА	Участок автодороги с зафиксированным уровнем шума
(80–85) – дневное время (75–80) – ночное время	Въезд в город (Трасса Р-258 «Байкал»), ул. Кабельщиков – Трасса Р-258 «Байкал»
(75–80) – дневное время (70–75) – ночное время	Центральный проспект – Трасса Р-258 «Байкал», проспект Metallургов – проспект Строителей и Монтажников – Трасса Р-258 «Байкал», ул. Мира – ул. Вокзальная – Трасса Р-258 «Байкал», ул. Известковая – Трасса Р-258 «Байкал»
(70–75) – дневное время (65–70) – ночное время	Ул. Кольцевая – Центральный проспект, ул. Белобородова – Центральный проспект – бульвар Созидателей, ул. Индустриальная – ул. Кабельщиков, проспект Metallургов – ул. Индустриальная, проспект Строителей и Монтажников – ул. Индустриальная, проспект Строителей и Монтажников – Восточный проезд, ул. Вокзальная – Привокзальный мкр-н (Гончарово), ул. Александра Невского – ул. Мира, 6-й квартал, ул. Александра Невского – ул. Ленина, ул. Орловских Комсомольцев – ул. Сибирякова, ул. Ленина – ул. Леонида Кулика, ул. Островского – Трасса Р-258 «Байкал», выезд из города в направлении г. Иркутска (Култукский тракт)
[65–70] – дневное время [60–65] – ночное время	Ул. Кольцевая – бульвар Созидателей, ул. Кабельщиков – ул. Энергетиков, ул. Энергетиков – Центральный проспект, ул. Южная – ж/д, ул. Трудовая – ул. Известковая, ул. И. Кочубея – ул. О. Кошевого, ул. О. Кошевого – ул. Котовского, ул. Ленина – ул. Паныжина, ул. Ленина – ул. Л. Кулика, ул. Л. Кулика – ул. Мира, ул. Иркутская – ул. Олхинская – ул. Котовского

Table 1. Results of noise level measurements on sections of the road network in Shelekhov

Noise level, dBA	Road section with fixed noise level
(80–85) – daytime (75–80) – night time	Entrance to the city (Route R-258 «Baikal»), st. Cablemen – Highway R-258 «Baikal»
(75–80) – daytime (70–75) – night time	Central Avenue – Route R-258 «Baikal», Metallurgists Avenue – Avenue of Builders and Installers – Route R-258 «Baikal», st. Mira – st. Vokzalnaya – Highway R-258 «Baikal», st. Izvestkovaya – Highway R-258 «Baikal»
(70–75) – daytime (65–70) – night time	St. Ring – Central Avenue, st. Beloborodova – Central Avenue – Creators Boulevard, st. Industrial – st. Kabelshchikov, Metallurgov Avenue – st. Industrialnaya, Prospekt Builders and Installers – st. Industrialnaya, Prospekt Builders and Installers – Vostochny passage, st. Vokzalnaya – Station microdistrict (Goncharovo), st. Alexander Nevsky – st. Mira, 6 <sup>th</sup> quarter, st. Alexander Nevsky – st. Lenina, st. Orlovsky Komsomol – st. Sibiryakova, st. Lenin – st. Leonid Kulik, st. Ostrovsky – Highway R-258 «Baikal», exit from the city in the direction of Irkutsk (Kultuisky tract)
[65–70] – daytime [60–65] – night time	St. Ring – Boulevard of the Creators, st. Kabelshchikov – st. Energetikov, st. Energetikov – Central Avenue, st. South – railway, st. Labor – st. Lime, st. I. Kochubey – st. O. Koshevoy, st. O. Koshevoy – st. Kotovsky, st. Lenin – st. Panzhina, st. Lenin – st. L. Kulik, st. L. Kulik – st. Mira, st. Irkutnaya – st. Olkhinskaya – st. Kotovsky

Таблица 2. Характеристики звукового давления в городе Шелехове /  
Table 2. Sound pressure characteristics in Shelekhov

Тип автодорог / Road type	$\bar{Y}$ , дБА dBA	Me, дБА dBA	Mo, дБА dBA	A	$\sigma$ , дБА dBA	Max, дБА dBA	Min, дБА dBA	U, %
Главные / Main	76,33	80,00	82,00	-0,86 (л.а.) (l.a.)	7,87	85,00	60,00	10,31
Второстепенные / Secondary	67,71	67,00	65,00	0,04 (п.а.) (r.a.)	4,33	75,00	60,00	6,40

Примечание:  $\bar{Y}$  – среднее значение; Me – медиана; Mo – мода; Max – максимальное значение; Min – минимальное значение; A – коэффициент асимметрии; л.а. – распределение звукового давления асимметрично (левая асимметрия); п.а. – распределение звукового давления асимметрично (правая асимметрия);  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение; U – коэффициент вариации.

Note:  $\bar{Y}$  – mean value; Me – median; Mo – mode; Max – maximum value; Min – minimum value; A – coefficient of asymmetry; l.a. – sound pressure distribution is asymmetrical (left asymmetry); r.a. – distribution of sound pressure is asymmetrical (right asymmetry);  $\sigma$  – standard deviation; U – coefficient of variation.

На рис. 3–4 представлены графики суточного распределения уровня шума на главных и второстепенных автомобильных дорогах г. Шелехова.

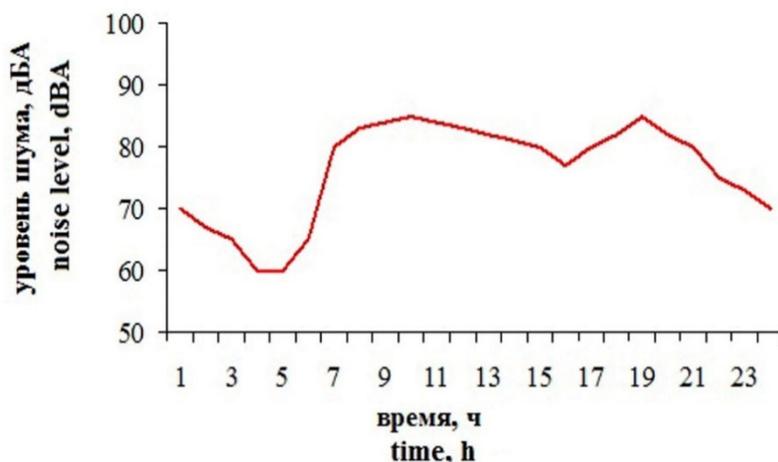


Рис. 3. Суточное распределение уровня шума на главных автомобильных дорогах г. Шелехова  
Figure 3. Daily distribution of noise level on the main highways of Shelekhov

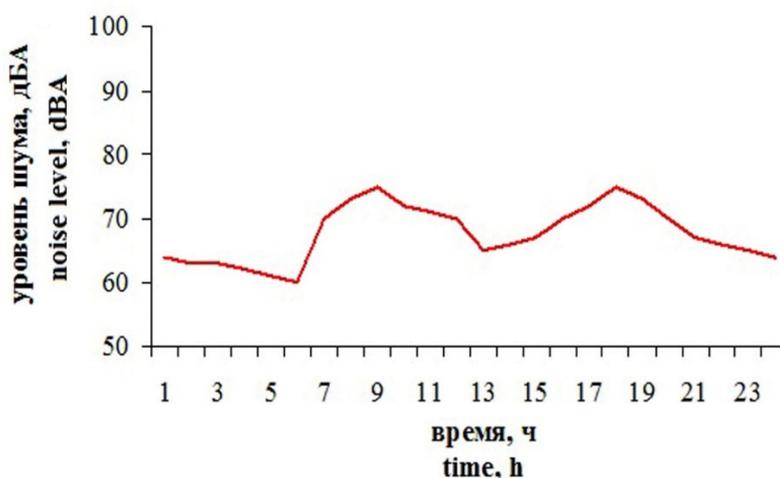


Рис. 4. Суточное распределение уровня шума на второстепенных автомобильных дорогах г. Шелехова  
Figure 4. Daily distribution of noise level on secondary roads of Shelekhov

В суточном распределении уровня шума на главных дорогах города выделяются два максимума: утренний и вечерний, соответствующие наибольшему количеству автотранспортных средств, зафиксированному на автодорогах во время проведения натурных видеонаблюдений. На второстепенных дорогах максимумы выражены неярко. Так, в Шелехове на главных автодорогах максимумы звукового давления, равные 85 дБА, были отмечены в 10.00 и 19.00 ч, на второстепенных – в 9.00 и 18.00 ч (75 дБА).

## Заключение

Для снижения сверхнормативного шума, сохранения акустически благополучных территорий города Шелехова необходимо разработать стратегический план мероприятий, который предполагает принятие комплекса архитектурно-планировочных и логистических решений.

*Архитектурно-планировочные решения:*

– размещение жилых строений не вдоль автомобильных дорог, а под углом (с учетом требований освещенности и ветрового режима на территории города);

– планирование «глухих» фасадов у домов, выходящих на автодорогу с интенсивным движением или размещение на этих сторонах нежилых помещений с временным пребыванием в них людей;

– кольцевое размещение зданий при строительстве с ограничением въезда во внутривдворное пространство;

– учет геоморфологических особенностей территории и использование положительных форм рельефа в качестве естественного природного экрана или, напротив, прокладка новых трасс в пониженных участках рельефа (корректировка продольного и поперечного профилей улиц: нивелировка продольного профиля улицы позволяет не менять скорость автомобиля на всей ее протяженности за счет трассирования с использованием существующих форм рельефа);

– перепланировка образовательных учреждений, в том числе дошкольных, находящихся в зонах акустического загрязнения, особенно в тех случаях, когда прогулочные зоны в детских садах расположены практически на обочинах улиц с интенсивным движением автомобильного транспорта (например, ул. Энергетиков, ул. Кабельщиков, ул. Тимофея Панжина);

– озеленение территорий, прилегающих к проезжей части и между встречными полосами транспортной магистрали, следует проводить с учетом оптимальной средозащитной функции, климатических особенностей территорий, расстояния от автомобильных дорог, видового состава и типа древесно-кустарниковой растительности [10].

*Логистические решения:*

– модернизация и расширение магистральной инфраструктуры – перенаправление транзитных потоков за пределы населенного пункта, так, в Шелехове необходимо осуществить строительство объездной дороги, которая позволит транзитному транспорту двигаться в обход города, а следовательно, снизить нагрузку на внутригородские дороги, результаты проведенных натурных обследований позволяют прийти к выводу, что перенос автомобильных дорог от жилых домов и офисов позволит сократить уровень шума в среднем на 8 дБА;

– перераспределение внутригородских потоков с учетом видового состава (запрет на движение по отдельным улицам грузового транспорта), на некоторых дорогах уже введен запрет на въезд большегрузных автомобилей в определенные часы, однако этого недостаточно.

Таким образом, строительство объездных автомобильных дорог для пропуска части транспортного потока, включая транзитный, а также приведение параметров улично-дорожной сети в соответствие с интенсивностью движения является одним из важных направлений развития транспортного узла г. Шелехова и Иркутской агломерации в целом.

### Список литературы

- [1] *Morillas J.M.B., Gozalo G.R., Escobar V.G.* Variability of traffic noise pollution levels as a function of city size variables. *Environmental Research*. August 2021. Vol. 199. 111303. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111303> (accessed: 10.10.2023).
- [2] *Yao-pei W., WangYong T., Fan T.Y.* The price of quietness: How a pandemic affects city dwellers' response to road traffic noise. *Sustainable Cities and Society*. December 2023. Vol. 99. 104882. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104882> (accessed: 10.10.2023).
- [3] *Arani N., Karrabi M., Abolfazl Mohammadzadeh Moghaddam.* Observational and statistical evaluation of factors affecting traffic noise: A case of tourist, pilgrimage and business area. *Applied Acoustics*. May 2022. Vol. 193. 108750. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108750> (accessed: 10.10.2023).
- [4] *Soni A.T., Amrit K.K., Vijay R., Makde K.M., Kumar R.* Noise prediction and environmental noise capacity for urban traffic of Mumbai. *Applied Acoustics*. January 2022. Vol. 188. 108516. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108516> (accessed: 10.10.2023).
- [5] *Welch D.J., Shepherd D., Dirks K.D., Reddy R.R.* Health effects of transport noise. *Transport Reviews*. June 2023. Vol. 43. P. 1190–1210. Available from: <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2206168> (accessed: 10.10.2023).
- [6] *Kminson K.K., Cai Y.S., Chen Y., Blackmore C.C., Rodgers G., Jones N., Gulliver J., Fenech B., Hansell A.L.* Does air pollution confound associations between environmental noise and cardiovascular outcomes? – A systematic review. *Environmental Research*. 1 September 2023. Vol. 232. 116075. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116075> (accessed: 10.10.2023).
- [7] *Poulsen A.H., Sorensen M.M., Hvidtfeldt U.A., Christensen J.H., Brandt J., Frohn L.M., Ketzel M.M., Andersen C., Jensen S.S., Münzel T., Raaschou-Nielsen O.* Concomitant exposure to air pollution, green space, and noise and risk of stroke: a cohort study from Denmark. *The Lancet Regional Health – Europe*. August 2023. Vol. 31. 100655. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.lanep.2023.100655> (accessed: 10.10.2023).
- [8] *Васильев А.В.* Подходы к оценке экологического риска при воздействии акустических загрязнений // *Экология и промышленность России*. 2018. Т. 22. № 2. С. 25–27. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-2-25-27>
- [9] *Новикова С.А.* Шумовые характеристики транспортных потоков на участках улично-дорожной сети городов Иркутской области. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2017620455, 19.04.2017. Заявка № 2017620151 от 27.02.2017.
- [10] *Новикова С.А., Мартынов Д.Н.* Влияние зеленых насаждений на снижение уровня шума от автотранспортных потоков в Иркутске // *Вестник Московского университета*. Серия 5: География. 2022. № 4. С.16–25.

## References

- [1] Morillas JMB, Gozalo GR, Escobar VG. Variability of traffic noise pollution levels as a function of city size variables. *Environmental Research*. August 2021;199.111303. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111303>
- [2] Yao-pei W, Wang Yong T, Fan TY. The price of quietness: How a pandemic affects city dwellers' response to road traffic noise. *Sustainable Cities and Society*. December 2023;99.104882. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104882>
- [3] Arani N, Karrabi M, Abolfazl Mohammadzadeh Moghaddam. Observational and statistical evaluation of factors affecting traffic noise: A case of tourist, pilgrimage and business area. *Applied Acoustics*. May 2022;193.108750. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108750>
- [4] Soni AT, Amrit KK, Vijay R, Makde KM, Kumar R. Noise prediction and environmental noise capacity for urban traffic of Mumbai. *Applied Acoustics*. January 2022;188.108516. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108516>
- [5] Welch DJ, Shepherd D, Dirks KD, Reddy RR. Health effects of transport noise. *Transport Reviews*. June 2023;43:1190–1210. <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2206168>
- [6] Kminson KK, Cai YS, Chen Y, Blackmore CC, Rodgers G, Jones N, Gulliver J, Fenech B, Hansell AL. Does air pollution confound associations between environmental noise and cardiovascular outcomes? – A systematic review. *Environmental Research*. 1 September 2023;232.116075. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116075>
- [7] Poulsen AH, Sorensen MM, Hvidtfeldt UA, Christensen JH, Brandt J, Frohn LM, Ketzel MM, Andersen C, Jensen SS, Münzel T, Raaschou-Nielsen O. Concomitant exposure to air pollution, green space, and noise and risk of stroke: a cohort study from Denmark. *The Lancet Regional Health – Europe*. August 2023;31.100655. <https://doi.org/10.1016/j.lanep.2023.100655>
- [8] Vasiliev AV. Approaches to the assessment of environmental risk under the influence of acoustic pollution. *Ecology and Industry of Russia*. 2018;22(2):25–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-2-25-27>
- [9] Novikova SA. *Noise characteristics of traffic flows on sections of the street-road network of cities in the Irkutsk region. Certificate of registration of the database RU 2017620455, 04/19/2017. Application No. 2017620151 dated February 27, 2017.* (In Russ.).
- [10] Novikova SA, Martynov DN. The influence of green spaces on the reduction of noise from traffic flows in Irkutsk. *Bulletin of the Moscow University. Series 5: Geography*. 2022;(4):16–25. (In Russ.)

### Сведения об авторе:

Новикова Светлана Александровна, старший преподаватель кафедры техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15. ORCID: 0000-0003-2534-3379. eLIBRARY SPIN-код: 8593-1545. E-mail: eco-science@mail.ru

### Bio note:

Svetlana A. Novikova, Senior Lecturer, Department of Technosphere Safety, Irkutsk State Transport University, 15 Chernyshevsky St, Irkutsk, 664074, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-2534-3379. eLIBRARY SPIN-code: 8593-1545. E-mail: eco-science@mail.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-521-532

EDN: RRUUQN

УДК 550.4:631.4

Научная статья / Research article

## Причины низкого содержания йода в почвенном покрове и водах питьевого назначения второй гряды Горного Крыма

В.Ю. Березкин<sup>1,2</sup>, В.В. Глебов<sup>3</sup>, Е.П. Каюкова<sup>4</sup><sup>1</sup>*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского  
Российской академии наук (ГЕОХИ РАН), Москва, Российская Федерация*<sup>2</sup>*Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация*<sup>3</sup>*Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова,  
Москва, Российская Федерация*<sup>4</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, Москва, Российская Федерация*  
victor76@list.ru

**Аннотация.** Низкое содержание йода в окружающей среде может выступать одним из главных факторов йододефицитных заболеваний у людей и сельскохозяйственных животных, в том числе гипотиреоза, узловых новообразований щитовидной железы, необратимых нарушений мозга у плода и новорожденного. Эндемический зоб, обусловленный, в первую очередь, дефицитом йода, – актуальная проблема для большинства регионов современной России, в том числе Республики Крым. Республика Крым в ряду с другими регионами Крымско-Кавказской горной зоны характеризуется дефицитом йода в нижних звеньях трофической цепи, провоцирующим йододефицитные заболевания. Цель работы – выявить контрастность распределения йода в нижних звеньях трофической цепи: разных типов почв сельскохозяйственного использования и природных вод питьевого назначения из различных источников в Горном Крыму. Приведены данные содержания йода в почвенном покрове и водах питьевого назначения второй гряды Крымских гор на примере Бахчисарайского района (долина реки Бодрак). Установлена зависимость содержания йода в верхних горизонтах разных типов почв от содержания гумуса, рН-водного почв и емкости катионного обмена. Подтверждено, что содержание йода в природных водах (источники, реки, озера) определяется в первую очередь составом водовмещающих пород.

**Ключевые слова:** йод, факторы йододефицита, природные воды, почвы, эндемический зоб, Горный Крым

© Березкин В.Ю., Глебов В.В., Каюкова Е.П., 2023

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

**Благодарности и финансирование.** Работа выполнена как инициативное исследование, при финансовой поддержке ГЕОХИ РАН (Россия) в рамках государственного задания. Авторы выражают благодарность заведующей лаборатории биогеохимии ГЕОХИ РАН д.г.-м.н. Е.М. Коробовой за возможность выполнить измерения йода, студентам РУДН А.А. Бобину, В.С. Трушину и студентке СПбГУ Л.В. Ушаковой – принимавшим участие в отборе проб.

**Вклад авторов:** В.Ю. Березкин, отбор почвенных и водных проб в 2019 г., определение йода в почвах и водах, определение рН и удельной электропроводности в водах, подготовка текста статьи. В.В. Глебов, отбор почвенных и водных проб в 2019 г., корректировка текста статьи. Е.П. Каюкова, отбор водных проб в 2017 и 2019 гг., определение рН и удельной электропроводности в водах, корректировка текста статьи.

**Конфликт интересов отсутствует:** услуги ООО «Лаб24» проводились согласно регламенту проведения работ в области аккредитации лаборатории и с сохранением конфиденциальности (обезличивания проб).

**История статьи:** поступила в редакцию 15.07.2023; доработана после рецензирования 24.08.2023; принята к публикации 12.09.2023.

**Для цитирования:** Березкин В.Ю., Глебов В.В., Каюкова Е.П. Причины низкого содержания йода в почвенном покрове и водах питьевого назначения второй гряды Горного Крыма // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 521–532. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-521-532>

## The factors of the low iodine concentration in soil cover and drinking waters of the second ridge of the Mountain Crimea

Victor Yu. Berezkin<sup>1,2</sup>  , Victor V. Glebov<sup>3</sup> , Elena P. Kayukova<sup>4</sup> 

<sup>1</sup>Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry  
of Russian Academy of Sciences (GEOKHI RAS), Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>RUDN University, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>Institute of Management Problems named after V.A. Trapeznikova,  
Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup>Sankt Petersburg University, Moscow, Russian Federation

victor76@list.ru

**Abstract.** Low iodine content in the environment can be one of the main factors of iodine deficiency diseases in humans and farm animals, including hypothyroidism, nodular thyroid tumors, irreversible brain damage in the fetus and newborn. Endemic goiter, caused primarily by iodine deficiency, is an urgent problem for most regions of modern Russia, including the Republic of Crimea. For the Republic of Crimea, along with other regions of the Crimean-Caucasian mountain zone, there is a deficiency of iodine in the lower links of the trophic chain, which provokes iodine deficiency diseases. The aim of the work was to reveal the contrast of iodine distribution in the lower links of the trophic chain: different types of soils for agricultural use and natural waters for drinking purposes from various sources in the Crimean Mountains. The article presents data of the iodine content in the soil cover and drinking water in the

Crimean Mountains, on the example of the Bakhchisarai area (in Bodrak river valley). The dependence of the iodine content in the upper horizons of different types of soils, on the content of humus, pH-water soils and cation exchange has been established. It has been confirmed that the content of iodine in natural waters (springs, rivers, lakes) is determined primarily by the composition of water-bearing rocks.

**Keywords:** iodine, iodine deficiency factors, natural waters, soils, endemic goiter, Mountainous Crimea

**Acknowledgements and Funding.** The work was carried out as an initiative research, with financial support from the Geochemical Institute of the Russian Academy of Sciences (Russia) within the framework of a state assignment. The authors express their gratitude to the head of the laboratory of biogeochemistry of the Geochemical Institute of the Russian Academy of Sciences Korobova E.M. for the opportunity to perform iodine measurements, students of Peoples' Friendship University of Russia (Moscow) – A.A. Bobin and V.S. Trushin; and student of St. Petersburg State University Ushakova L.V. – those who took part in sampling.

**Authors' contributions:** *V.Yu. Berezkin*, collection of soil and water samples in 2019, determination of iodine in soils and waters, determination of pH and specific electrical conductivity in waters, preparation of the text of the article. *V.V. Glebov*, collection of soil and water samples in 2019, correction of the text of the article. *E.P. Kayukova*, water sampling in 2017 and 2019, determination of pH and specific electrical conductivity in waters, correction of the article text.

**There is no conflict of interest:** the services of Lab24 LLC were carried out in accordance with the rules of work in the field of laboratory accreditation and with confidentiality (depersonalization of samples).

**Article history:** received 15.07.2023; revised 24.08.2023; accepted 12.09.2023.

**For citation:** Berezkin V.Yu., Glebov V.V., Kayukova E.P. The factors of the low iodine concentration in soil cover and drinking waters of the second ridge of the Mountain Crimea. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):521–532. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-521-532>

## Введение

Одной из актуальных медико-социальных проблем современного общества является йододефицит, которым, исходя из различных источников, в мире страдают около 1,5–2 млрд человек [1; 2]. Наличие хронического дефицита йода в организме человека часто становится скрытой причиной многих заболеваний. Содержание йода в окружающей среде колеблется в зависимости от разных факторов: географического положения, в частности удаленности от морей и океанов, рельефа местности – равнинная или горная, наличия горных пород – карбонатных и бескарбонатных, состава почв – органика, гумус, засоление. Природным источником йода служит океан, происходит круговорот в следующей системе: океан – атмосфера – почва – воды – растения [2]. Йод в организм человека в большей степени поступает через трофические цепи (с продуктами питания), замкнутые на почве. И в меньшей степени – с питьевой водой и из атмосферы. Развитие йододефицитных заболеваний зависит и от других факторов, в частности недостатка в почвах Se, Co, Cu, Mn.

Общеизвестно, что наиболее масштабным микроэлементозом на территории современной России является зобная эндемия, обусловленная, в первую очередь, дефицитом йода [1; 5; 6]. В Республике Крым, несмотря на то что она является приморским регионом, имеет место и дефицит йода в окружающей среде, и йододефицитные заболевания [3; 5; 7].

В связи с вышесказанным весьма актуальны поиск и сравнение значимости факторов низкого содержания йода в нижних звеньях трофической цепи Крымского полуострова – почвах и природных водах.

Разнообразный почвенный покров Республики Крым, в особенности его горной части (черноземные, лугово-степные, дерново-карбонатные, буроземные, коричневые, серые лесные, дерновые) [8], позволяет предполагать наличие контрастных районов по содержанию йода в почвах и в соответствующих им сельскохозяйственных продуктах.

Целью настоящей работы было выявить контрастность по содержанию йода почвенного покрова и природных вод питьевого назначения в Горном Крыму на примере бассейна р. Бодрак (Бахчисарайский район) и по возможности установить его причину.

В основу работы положены материалы полевых исследований, выполненных по инициативе и при участии авторов, на территории учебно-научного полигона им. А.А. Богданова (на базе «Крымская» СПбГУ) в 2019 г.

Полигон расположен в пределах Второй Крымской горной гряды, в долине реки Бодрак, и представляет собой весьма контрастный с геологической точки зрения район, что позволяет экстраполировать полученные данные на территорию всей Второй гряды Горного Крыма [9; 10].

## Методы и материалы

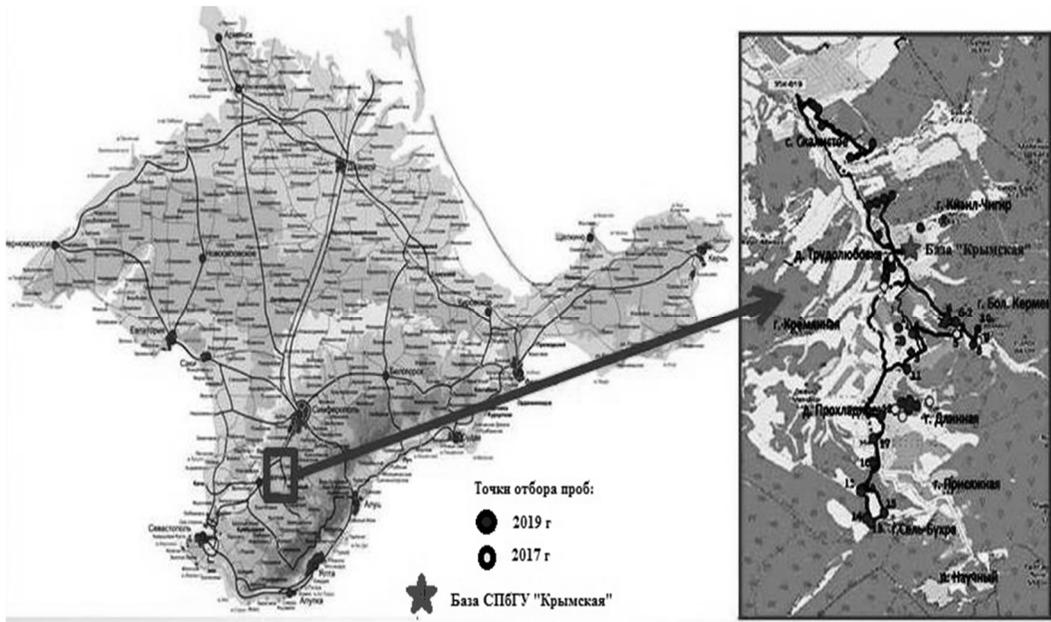
**Полевые методы.** В полевой период проводился отбор проб почв и природных вод в Бахчисарайском районе, в пределах бассейна р. Бодрак (Горного Крыма). Отбор почвенных проб проводился лопатой с глубины 10–15 см (в зависимости от мощности гумусового горизонта), в пределах выбранной площадки с однородным ненарушенным фитоценозом, в пределах единого элементарного ландшафта.

Почвенные пробы отбирались в меридиональном направлении с учетом смены карбонатных пород палеогена и мела, терригенными и морскими бескарбонатными породами триаса и юры. В пределах каждой смены литологического типа пород отбор почв проводился в сопряженных по рельефу элементарных ландшафтах (вершина, склон, замыкающее понижение). Всего было отобрано 40 почвенных проб (рис.).

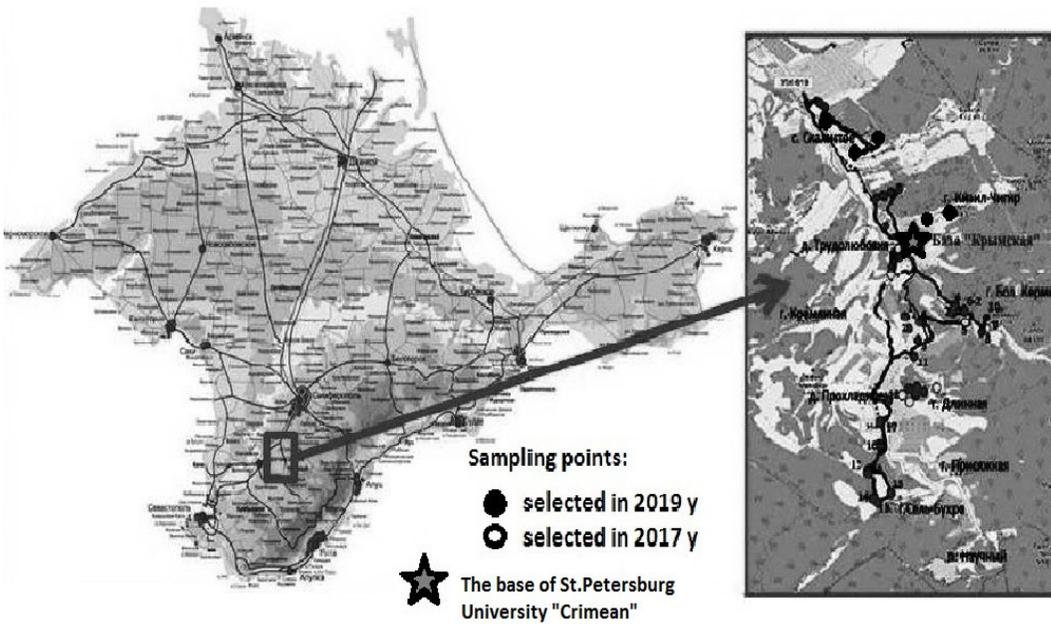
Отбор водных проб осуществлялся в пластиковую емкость, предварительно промытую дистиллятом<sup>1</sup>, из открытых источников (родники, реки,

<sup>1</sup> ГОСТ 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб.

озера). Всего в 2019 г. было отобрано шесть водных проб в пределах полигона им. А.А. Богданова (рис.), а также шесть проб за его пределами (Симферопольская область).



**Карта фактического материала: долина р. Бодрак в окрестностях базы «Крымская».**  
**Наложения данных сделаны автором на основу физико-географической карты Крыма [8]**



**Sampling map: the valley of the river. Bodrak, in the vicinity of the Krymskaya base.**  
**The overlays of the data were made by the author on the basis of a physical and geographical map of the Crimea [8]**

Во всех водных пробах в полевых условиях измеряли электропроводимость и рН (с помощью портативных приборов фирмы *HANNA*). Помимо 12 проб вод питьевого назначения, отобранных из различных источников в 2019 г. (см. рис.), использованы данные по 20 пробам, отобранным в пределах полигона в 2017 г.

**Лабораторные методы.** Для определения содержания йодид-ионов в отобранных пробах использовали ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения макроколичеств йода в водах и других объектах (в том числе в почвах) [11].

Измерения йода проводили в Москве, в лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН, на фотометре КФК 3-01. Чувствительность метода – 1–4 нг/мл, воспроизводимость – 7–15 %. Содержание йода измерили в 23 почвенных пробах (и пересчитали на сухой вес пробы) и 12 водных пробах. Содержание йода в двадцати водных пробах, отобранных в долине реки Бодрак в 2017 г., было измерено в лаборатории тем же методом.

Для проверки гипотезы о задержке йода в карбонатных почвах в сравнении с бескарбонатными, ввиду образования устойчивого соединения  $CaI^+$ , в тех же 23 пробах почв был измерен рН-водный, с помощью рНметра *Hanna Instruments*.

Для учета роли поглощения йода органикой и насыщенности почвенного поглощающего комплекса карбонатами в испытательной лаборатории ООО «Лаб24» города Москвы, в 23 пробах почв было измерено содержание гумуса<sup>2</sup> и емкости катионного обмена<sup>3</sup>.

## Результаты исследований

Ранее проводившиеся исследования в пяти районах Горного Крыма (2017–2019 гг.) показали, что самые высокие средние значения йода в водах, характерны для рек (от 4,5 до 8,8 мкг/л). Максимальные значения отмечены для ювенильных вод грязевых вулканов Керченского полуострова, а минимальные – для ставков (запруд) в долинах временных водотоков и большинства водопродонных вод.

Настоящее исследование (2020 г.) подтвердило, что из источников питьевого назначения максимальное содержание йода можно отметить для рек – 8,87 мкг/л (табл. 1). Изменение содержания йода в водах реки Бодрак и ряда других рек Бахчисарайского района может быть связано со сменой пород в районе границы Эпикиммерийского субплатформенного и Киммерийского геосинклинальных поясов, что не противоречит данным по смене химического состава вод реки, полученным ранее [12].

В реках отмечаются и наиболее высокие средние (10,75 мкг/л) и медианные (8,87 мкг/л) значения. Было отмечено, что содержание йода в речных

<sup>2</sup> ГОСТ 26213-91, п.1 изд. 1991 г. «Методы определения органического вещества».

<sup>3</sup> ГОСТ 17.4.4.01 п.4.1. изд. 2008 г. «Методы определения емкости катионного обмена».

водах Горного Крыма варьирует весьма в широких пределах (3,48–24,38 мкг/л), и местами выходит за пределы нормы (от 2 до 10 мкг/л).

Содержание йода в родниках варьирует в пределах от 1,18 до 11,21 мкг/л, при этом как средние 4,0 мкг/л, так и медианные значения 3,7 мкг/л находятся в пределах нормы (от 2 до 10 мкг/л).

Таблица 1. Варьирование содержания йода, pH, удельная электропроводность (УЭП) в водах питьевого назначения второй гряды Горного Крыма, 2017–2019 гг.

Тип источника	n	Йод, мкг/л			pH	УЭП, мС/см
		Минимум	Медиана	Максимум		
Водопровод	6	0,99	2,54	12,45	7,92	0,89
Родник	14	1,18	3,70	11,21	7,69	0,63
Колодец	5	0,89	2,33	4,57	7,47	1,49
Река	7	3,48	8,87	24,38	7,94	0,93

Table 1. Variation of iodine content, pH and specific electrical conductivity in drinking waters of the second ridge of the Crimean Mountains, 2017–2019

Source type	N	Iodine, mkg/l			pH	Conductivity, mS/sm
		Minimum	Median	Maximum		
Aqueduct	6	0.99	2.54	12.45	7.92	0.89
Springs	14	1.18	3.70	11.21	7.69	0.63
Wells	5	0.89	2.33	4.57	7.47	1.49
Rivers	7	3.48	8.87	24.38	7.94	0.93

Высокие значения содержания йода отмечаются в водопроводных водах поселка Скалистое (12,45 мкг/л). Однако для большинства водопроводных вод характерно содержание йода от 1 до 3 мкг/л, что и подтверждается весьма низким значением медианы (2,54 мкг/л) и, по-видимому, можно объяснить особенностью водовмещающих пород.

На миграцию йода влияют такие характеристики вод, как pH и минерализация. Обращает на себя внимание, что наиболее щелочными из исследованных проб являются воды рек (среднее pH = 7,94; n = 7), а наименее – колодезные воды (среднее pH = 7,47; n = 5). Значимая отрицательная связь между величиной pH и содержанием йода выявлена для водопроводных вод ( $R = -0,43$ ; n = 6), колодцев ( $R = -0,52$ ; n = 5) и рек ( $R = -0,67$ ; n = 7) и практически отсутствует у родников ( $R = 0,05$ ; n = 14). По-видимому, в более щелочной среде, характерной в Горном Крыму для карбонатных водовмещающих пород, йод образует соединения  $CaI^+$  и менее переходит в водную среду в виде йонов или водорастворимых соединений.

Наибольшая удельная электропроводность, а как следствие, и связанная с ней минерализация, отмечалась в наших исследованиях для колодезных вод, наименьшая – для родников. По-видимому, это связано с загрязнением колодцев органикой вследствие хозяйственной деятельности. Однако этот факт требует дополнительной проверки.

Значимая положительная связь между величиной УЭП и содержанием йода выявлена для водопроводных вод ( $R = 0,48$ ; n = 6), колодцев ( $R = 0,52$ ;

$n = 5$ ) и рек ( $R = 0,54$ ;  $n = 7$ ) и практически отсутствует у родников ( $R = -0,05$ ;  $n = 14$ ).

**Содержание йода в почвенном покрове.** Наиболее высокое содержание йода наблюдается в дерново-карбонатных почвах (16,52 мг/кг), а минимальное в буроземах (0,35 мг/кг) и аллювиально-дерновых (0,4 мг/кг). Для большей части исследованных почв выявлен низкий уровень содержания йода (медиана – менее 6 мг/кг). Особенно низкие медианные значения отмечены для буроземов и аллювиально-дерновых почв (табл. 2).

Учитывая, что поступление йода с атмосферными осадками для исследуемой нами ограниченной территории не может сильно варьировать (что было подтверждено измерением йода в атмосферных осадках ранее), предполагалось, что основное влияние на содержание йода в почвах будут оказывать параметры почвенного покрова, способствующие аккумуляции йода, такие, как органическое вещество почв и карбонаты.

Содержание гумуса в почвах Горного Крыма меняется в весьма широких пределах, особенно между дерново-карбонатными и буроземными почвами, как правило, приуроченными к противоположным склонам квестовой гряды [13].

Новые исследования 2019 г. подтвердили эту закономерность: наиболее высокие значения гумуса характерны для дерново-карбонатных почв (от 4,1 до 8,8 %). Хотя максимальные значения гумуса в некоторых буроземах не уступают его содержанию в дерново-карбонатных почвах, однако в целом его значение варьирует в них в более широких пределах (1,7–8,6 %), а средние и медианные значения существенно ниже, чем в дерново-карбонатных (табл. 2).

Наименьшее значение гумуса (табл. 2) отмечалось в аллювиально-дерновых почвах, что может быть объяснено прерывистым процессом почвообразования в долинах этих горных речек. Очевидна слабая тенденция к росту содержания йода при росте рН среды и содержания органики (гумуса).

**Таблица 2. Варьирование содержания йода, гумуса, ЕКО и рН в некоторых типах почв Горного Крыма (долина р. Бодрак)**

Типы почв	Параметр	Н	Минимум	Медиана	Максимум
Аллювиально-дерновые	Йод, мг/кг	4	0,4	1,2	1,6
	Гумус, %	4	2,6	3,1	3,9
	ЕКО, мг экв/100	4	20	22	47
	рН (водный)	4	7,2	7,7	7,8
Буроземы	Йод, мг/кг	6	0,35	1,6	3,5
	Гумус, %	6	1,7	5,1	8,6
	ЕКО, мг экв/100	6	14	46	64
	рН (водный)	6	6,6	6,8	7,9
Дерново-карбонатные	Йод, мг/кг	13	1,3	5,1	16,5
	Гумус, %	13	4,1	5,9	8,8
	ЕКО, мг экв/100	13	27	109,5	172
	рН (водный)	13	7,5	7,9	8,5

Table 2. **Variation in the content of iodine, humus, CEC and pH in some types of soils of the Crimean Mountains (Bodrak river valley)**

Type of soils	Measured parameter	N	Minimum	Median	Maximum
Fluvisols	Iodine, mg/kg	4	0.4	1.2	1.6
	Humus, %	4	2.6	3.1	3.9
	Cation exchange capacity, mg-equiv/100)	4	20	22	47
	pH	4	7.2	7.7	7.8
Cambisols	Iodine mg/kg	6	0.35	1.6	3.5
	Humus, %	6	1.7	5.1	8.6
	Cation exchange capacity, mg-equiv/100	6	14	46	64
	pH	6	6.6	6.8	7.9
Regosols	Iodine, mg/kg	13	1.3	5.1	16.5
	Humus, %	13	4.1	5.9	8.8
	Cation exchange capacity, mg-equiv/100	13	27	109.5	172
	pH	13	7.5	7.9	8.5

Наименьшая емкость катионного обмена (ЕКО) отмечена у аллювиальных почв, а наибольшая у дерново-карбонатных почв, что также может объясняться неразвитостью сильнокаменистых почв горных речек Второй Гряды Горного Крыма. Это может свидетельствовать о низком содержании карбоната кальция в ППК аллювиальных почв долины реки Бодрак, что не противоречит общеизвестным данным о составе их почвообразующих пород.

Для буроземов отмечались как невысокие значения ЕКО ( $Me = 46$  мкг-экв/100), так и значения pH ( $Me = 6,8$  мкг-экв/100), наименьшие среди обследованных почв.

Значение pH верхних горизонтов исследованных почв варьировало от 6,5 (буроземы) до 8,5 (дерново-карбонатные). При этом коэффициент корреляции содержания йода к pH оказался малозначимым ( $r = 0,39$ ), что свидетельствует, возможно, о меньшей фиксации йода на карбонатном барьере, в сравнении с захватом его органикой (биогеохимический барьер). При этом данный вопрос требует дополнительных исследований ввиду небольшой выборки, полученной авторами в 2019 г.:  $n = 23$ ).

Независимо от наличия или отсутствия в почвах естественных природных сорбентов, рассмотренных в статье (карбонатные породы и почвенная органика), содержание йода в почвах бассейна реки Бодрак оказалось очень низкое (аллювиально-дерновые –  $Me = 3,1$  мг/кг; дерново-карбонатные –  $Me = 5,9$  мг/кг).

### Заключение

В результате проделанной работы были получены первые экспериментальные данные, характеризующие содержание йода в природных водах и почвенном покрове геохимически контрастных ландшафтов второй гряды Горного Крыма (Бахчисарайский район Республики Крым).

Выявлено, что в целом содержание йода в обследованных источниках питьевых вод (колодцах, скважинах, родниках...) соответствует существующим

нормам (2–10 мкг/л), однако для отдельных источников наблюдаются крайне низкие значения содержания йода (причем как для колодцев 0,89 мкг/л, так и для скважин – 1,75 мкг/л), что, по-видимому, объясняется влиянием водовмещающих пород.

Установлена высокая вариабельность йода в почвах автоморфных ландшафтов Горного Крыма от 0,43 мг/кг (горные буроземы) до 15,4 мг/кг (дерново-карбонатные почвы). Максимальное содержание йода выявлено в дерново-карбонатных почвах Горного Крыма, а минимальное в буроземах (0,43 мг/кг) и аллювиально-дерновых (0,41 мг/кг).

Для природных почв (не затронутых сельскохозяйственной деятельностью) наиболее высокие значения йода соответствуют почвам с наибольшим содержанием гумуса, наибольшему значению рН в верхнем горизонте и наиболее высокой ЕКО.

Подтверждено, что на ограниченной площади (3×5 км) с примерно одинаковым поступлением йода с осадками содержание йода в верхних горизонтах разных типов почв может отличаться в несколько раз, причем в прямой зависимости от содержания гумуса и присутствия карбонатов в их почвенном поглощающем комплексе.

### Список литературы

- [1] Дедов И.И. Йододефицитные состояния в Российской Федерации // Вестник РАМН, 2001. № 4. С. 3–12.
- [2] Кашин В. К. Биогеохимия, физиология и агрохимия йода. Л.: Наука, 1987. 261 с.
- [3] Герасимов Г.Г. Эпидемиология, профилактика и лечение йод-дефицитных заболеваний в Российской Федерации // Тиронд Россия. М.: Изд-во фирмы «Merck КУаА», 1997. С. 31–32.
- [4] Ермаков В.В. Геохимическая экология как следствие системного изучения биосферы // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. М.: Наука, 1999. С. 152–182.
- [5] Безруков О.Ф., Ильиченко Ф.Н., Аблаев Э.Э., Зима Д.В. Геохимические факторы зобообразования // Таврический медико-биологический вестник. 2017. Т. 20. № 3–2. С. 23–27.
- [6] Ковальский В.В., Андрианова Г. А. Микроэлементы (Cu, Co, Zn, Mo, Mn, B, I, Sr) в почвах СССР. Улан-Удэ: Бурятское книжн. изд-во, 1968. 66 с.
- [7] Иванов С.В., Славников А.А., Энзель Д.А. Распространенность заболеваний щитовидной железы в Судакском районе Республики Крым за период 2016–2018 гг. // Восточно-Европейский научный журнал. Медицинские науки. 2020. 53(2). С. 27–29.
- [8] Драган Н.А. Почвенные ресурсы Крыма. Симферополь: Доля, 2004. 95 с.
- [9] Каюкова Е.П. Гидрохимические особенности атмосферных осадков полигона Крымской геологической практики СПбГУ // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Серия 7: Геология, география. 2011. Вып. 2. С. 26–43.
- [10] Каюкова Е.П. Мезоклимат полигона Крымской геологической практики и современные тенденции его изменения // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Серия 7: Геология, география. 2010. Вып. 4. С. 32–46.

- [11] *Проскурякова Г.Ф., Никитина О.Н.* Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // *Агрохимия*. 1976. № 7. С. 140–143.
- [12] *Каюкова Е.П., Барабощкина Т.А., Филимонова Е.А.* Гидрогеохимические особенности подземных вод бассейна р. Бодрак (Качинское поднятие Горного Крыма) // *Вестник МГУ. Серия «Геология»*. 2020. № 4. С. 55–63.
- [13] *Барабощкина Т.А., Бerezкин В.Ю.* Эколого-геологическое картографирование бассейна р. Бодрак (Крымско-Кавказская горная зона): монография Saarbrücken, Deutschland, LAP, 2011. 152 с.

### References

- [1] Dedov II. Iodine deficiency conditions in the Russian Federation. *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*, 2001;4:3–12. (In Russ.)
- [2] Kashin VK. Biogeochemistry, phytophysiology and agrochemistry of iodine. Leningrad: Nauka; 1987. 261 p.
- [3] Gerasimov GG. Epidemiology, prevention and treatment of iodine-deficient diseases in the Russian Federation. *Thyroid Russia*. Moscow: Publishing house of Merck KUaA; 1997. p. 31–32. (In Russ.)
- [4] Ermakov VV. Geochemical ecology as a consequence of the systematic study of the biosphere. *Problems of biogeochemistry and geochemical ecology*. Moscow: Nauka; 1999. p. 152–182. (In Russ.)
- [5] Bezrukov OF, Ilyichenko FN, Ablav EE, Zima DV. Geochemical factors of goiter formation. *Tauride Medical and Biological Bulletin*. 2017;20(3–2):23–27. (In Russ.)
- [6] Kovalsky VV, Andrianova GA. *Trace elements (Cu, Co, Zn, Mo, Mn, B, I, Sr) in soils of the USSR*. Ulan-Ude: Buryat Publishing House. publishing house, 1968. 66 p. (In Russ.)
- [7] Ivanov SV, Slavnikov AA, Enzel DA. The prevalence of thyroid diseases in the Sudak district of the Republic of Crimea for the period 2016–2018. *East European Scientific Journal. Medical sciences*. 2020; 53(2):27–29. (In Russ.)
- [8] Dragan NA. *Soil resources of Crimea*. Simferopol: Dolya; 2004. 95 p.
- [9] Kayukova EP. Hydrochemical features of atmospheric precipitation of the landfill of the Crimean geological practice of St. Petersburg State University. *Vestn. S.-Peterburg University. Series 7: Geology, Geography*. 2011;2:26–43. (In Russ.)
- [10] Kayukova EP. Mesoclimate of the Crimean geological practice polygon and current trends in its changes. *Vestn. S.-Peterburg University. Series 7: Geology, Geography*. 2010;4:32–46. (In Russ.)
- [11] Proskuryakova GF, Nikitina ON. Accelerated version of the kinetic rhodanide-nitrite method for determining trace amounts of iodine in biological objects. *Agrochemistry*. 1976;7:140–143. (In Russ.)
- [12] Kayukova EP, Baraboshkina TA, Filimonova EA. Hydrogeochemical features of groundwater in the Bodrak river basin (Kachinsky uplift of the Mountainous Crimea). *Bulletin of the Moscow State University. The series “Geology”*. 2020;4: 55–63. (In Russ.)
- [13] Baraboshkina TA, Berezkin VYu. *Ecological and geological mapping of the Bodrak river basin (Crimean-Caucasian mountain zone)*: monograph Saarbrücken, Deutschland, LAP; 2011. 152 p. (In Russ.)

### Сведения об авторах:

*Березкин Виктор Юрьевич*, кандидат геолого-минералогических наук, с.н.с., ГЕОХИ РАН, Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Косыгина, д. 19; доцент, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, Москва, Подольское шоссе, д. 8/5. ORCID: 0000-0002-1025-638X, eLIBRARY SPIN-код: 7074-9488. E-mail: victor76@list.ru

*Глебов Виктор Васильевич*, кандидат психологических наук, доцент, с.н.с. ИПУ РАН, Российская Федерация, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65 ORCID: 0000-0002-3390-161X, eLIBRARY SPIN-код: 2685-5454. E-mail: vg44@mail.ru

*Каюкова Елена Павловна*, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии и инженерной геологии, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7-9. ORCID: 0000-0001-5231-9273, eLIBRARY SPIN-код: 8175-2360. E-mail: e.kayukova@spbu.ru

### Bio notes:

*Victor Yu. Berezkin*, D. in Geology, Senior Researcher, GEOKHI RAS, 19 Kosygina St, Moscow, 119991, Russian Federation; Associate Professor, RUDN University, 8/5 Podolskoye Shosse, Moscow, 115093, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1025-638X, eLIBRARY SPIN-code: 7074-9488. E-mail: victor76@list.ru

*Victor V. Glebov*, D. in Psychological, Associate Professor, Senior Researcher, IPU RAS, 65 Profsoyuznaya St, Moscow, 117997, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-3390-161X, eLIBRARY SPIN-code: 2685-5454. E-mail: vg44@mail.ru

*Elena P. Kayukova*, D. in Geology, Associate Professor of the Department of Hydrogeology and Engineering Geology, 7–9 Universitetskaya embankment, St. Petersburg, 199034, Russian Federation ORCID: 0000-0001-5231-9273, eLIBRARY SPIN-code: 8175-2360. E-mail: e.kayukova@spbu.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-533-543

EDN: RVPBYU

УДК 504.05

Научная статья / Research article

## Оценка влияния выбросов автомобильного транспорта на геоэкологическое состояние почв и растительности городов Иркутской агломерации

С.А. Новикова  *Иркутский государственный университет путей сообщения,**Иркутск, Российская Федерация* [eco-science@mail.ru](mailto:eco-science@mail.ru)

**Аннотация.** Рассмотрена проблема влияния выбросов автотранспортных средств на состояние почв и растительности придорожных полос городов Иркутской агломерации. Осуществлен отбор проб вблизи перекрестков, характеризующихся интенсивным движением автотранспортных потоков. В результате массового (полуколичественного) полного спектрального анализа отобранных проб выявлено содержание в них тяжелых металлов, превышающее значения предельно допустимой и фоновой концентраций. Проведены расчеты суммарного показателя загрязнения, позволившие установить, что почвы придорожных зон урбанизированных территорий агломерации относятся к категориям «опасная» и «чрезвычайно опасная». Даны рекомендации по улучшению геоэкологического состояния почв и растительности урбанизированных территорий.

**Ключевые слова:** урбанизированные территории, автотранспорт, тяжелые металлы, придорожные зоны, почва и растительность

**История статьи:** поступила в редакцию 25.06.2023; доработана после рецензирования 30.07.2023; принята к публикации 25.09.2023.

**Для цитирования:** Новикова С.А. Оценка влияния выбросов автомобильного транспорта на геоэкологическое состояние почв и растительности городов Иркутской агломерации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 533–543. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-533-543>

© Новикова С.А., 2023

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

## Assessment of the impact of vehicle emissions on the geoecological state of soils and vegetation in the cities of the Irkutsk agglomeration

Svetlana A. Novikova  

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation*  
eco-science@mail.ru

**Abstract.** The study examines the problem of the influence of vehicle emissions on the condition of soils and vegetation of roadside strips in the cities of the Irkutsk agglomeration. Sampling was carried out near intersections characterized by intense traffic flows. As a result of a mass (semi-quantitative) full spectral analysis of selected samples, the content of heavy metals in them was revealed to be higher than the maximum permissible and background concentrations. Calculations of the total pollution indicator were carried out, which made it possible to establish that the soils of roadside zones in urbanized areas of the agglomeration belong to the categories “dangerous” and “extremely dangerous”. Recommendations for improving the geoecological condition of soils and vegetation in urban areas are given.

**Keywords:** urbanized areas, vehicles, heavy metals, roadside areas, soil and vegetation

**Article history:** received 25.06.2023; revised 30.07.2023; accepted 25.09.2023

**For citation:** Novikova SA. Assessment of the impact of vehicle emissions on the geoecological state of soils and vegetation in the cities of the Irkutsk agglomeration. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):533–543. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-533-543>

### Введение

Почва и растительность являются аккумуляторами вредных веществ и, как следствие, биоиндикаторами качества компонентов окружающей природной среды, в частности атмосферного воздуха. Наибольшую опасность представляют тяжелые металлы, поскольку они являются весьма токсичными и плохо выводятся из среды. Как известно, тяжелые металлы входят и в состав выхлопных газов автомобилей. Кроме того, они выделяются во время различных операций, связанных с эксплуатацией автотранспортных средств, таких как износ шин и тормозных колодок, утечка масла, коррозия аккумуляторов и других металлических деталей [1–2].

Увеличение количества автомобилей влечет за собой ухудшение состояния городской среды. Влияние автомагистралей особенно интенсивно в районах пониженного обмена воздуха. Примерно 20 % частиц оседает в придорожном пространстве, порядка 60 % частиц осаждаются в зоне от 10 до 100 м, остальные частицы, как правило, переносятся ветром на большие расстояния. Наибольшему накоплению частиц тяжелых металлов подвержены территории, расположенные с подветренных сторон [3].

Состояние зеленых насаждений городов напрямую влияет на выполняемые ими экологические функции. Растительность урбанизированных территорий испытывают на себе воздействие ряда негативных факторов, напрямую

связанных с антропогенной деятельностью [4]. Растения поглощают тяжелые металлы не только корнями из почвы, но и листьями из атмосферы, иногда до половины содержащихся в этих средах элементов. Согласно литературным данным, в хвое и листьях древесной растительности тяжелых металлов накапливается в несколько раз больше, чем в их ствольной части [5].

Так, в Иркутской агломерации была проведена оценка воздействия выбросов автотранспорта на геоэкологическое состояние почв и растительности придорожных территорий [6; 7]. В городах Иркутск, Ангарск и Усолье-Сибирское были отобраны пробы почвы, листвы, хвои и травы на ключевых участках – перекрестках, характеризующихся повышенной интенсивностью движения автотранспортных потоков. На рис. 1 представлена диаграмма количества автомобилей, зафиксированных во время обследования на перекрестках в часы пик. В результате проведенных исследований была сформирована и зарегистрирована база данных показателей содержания тяжелых металлов в почвах и растительности придорожных полос агломерации [8].

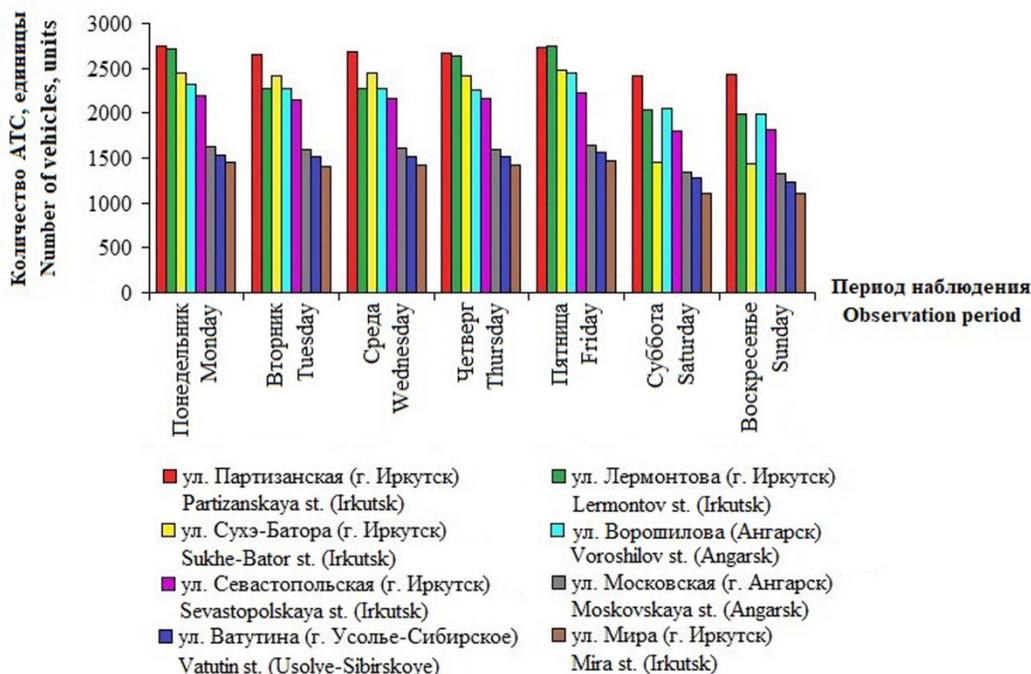


Рис. 1. Динамика количества автотранспортных средств (АТС), зафиксированных на перекрестках в часы пик

## Методы исследования

В результате санитарно-гигиенических исследований на ключевых участках было отобрано 160 проб почвы, травы, листвы и хвои – по 40 проб на каждую среду. Отбор проб почвы и растительности производился методом «конверта». Суть данного метода заключается в отборе пяти проб, расположенных в виде запечатанного конверта на выбранной площадке (четыре

точки располагаются по краям и одна – в центре). Почва отбиралась послойно с глубины 0–5 и 5–20 см. После отбора точечных проб путем соединения и перемешивания из них были сформированы объединенные пробы [9; 10].

Согласно СанПиН 2.1.3684-21, перечень химических показателей должен включать определение содержания тяжелых металлов: свинец, кадмий, цинк, медь, никель, мышьяк, ртуть как потенциально опасных для человека химических веществ и суммарного показателя загрязнения почвы<sup>1</sup>.

В лаборатории Байкальского филиала «Сосновгеология» Федерального государственного унитарного геологического предприятия (ФГУГП) «Урангео» (г. Иркутск) был проведен массовый (полуколичественный) полный спектральный анализ. Отобранные пробы высушивались при комнатной температуре, взвешивались, затем измельчались в порошок до размеров частиц 75 мкм и прокаливались в специальных установках при температуре 400 °С с целью избежать потерь летучих элементов.

Применяемая «Методика массового (полуколичественного) полного спектрального анализа»<sup>2</sup> позволяет определить в отобранных пробах 50 химических элементов: Si, Al, Mg, Ca, Fe, Na, K, Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, W, Mo, Zr, Hf, Nb, Ta, Cu, Pb, Zn, Sn, Sb, Tl, As, Ge, Bi, Cd, Ag, Be, Sc, Ga, Ce, La, Y, Yb, P, U, Th, Ba, Sr, Li, Rb, Cs, B, Te, In, Gd, Au. Каждый химический элемент обладает характерным, присущим только ему спектром испускания. Интенсивность испускаемого линейчатого спектра является функцией содержания определяемого элемента в исследуемом образце. В качестве источника возбуждения характеристического спектра используется вертикальная электрическая дуга между угольными электродами, в один из которых помещается порошок исследуемого геологического образца. Для разделения в спектре линий элементов, отличающихся летучестью и другими физико-химическими константами, используется явление фракционного испарения элементов анализируемого материала – способ токовременной развертки. Для разложения излучения в спектр и его фотографической регистрации применялся дифракционный спектрограф ДФС-8-1.

Фотографическая регистрация спектров осуществлялась на спектральные фотопластинки размером 13×18 см. Каждая анализируемая проба испаряется в дуговом разряде один раз. После окончания съемки фотопластинку проявляли, фиксировали и сушили. Визуальная интерпретация спектров анализируемых проб проводилась по способу «появления–усиления линий» в сочетании со способом «сравнения интенсивности линий».

<sup>1</sup> СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий.

<sup>2</sup> Методика массового (полуколичественного) полного спектрального анализа. Стандарт предприятия Сосновского производственно-геологического объединения (ПГО) (СТП-ПГО-009-84). Приказ от 14.11.1984 № 251, Иркутск, 1984. 35 с.

Спектры стандартных геологических материалов с известными содержаниями определяемых химических элементов сравнивались со спектрами анализируемых проб, полученными в идентичных условиях. Пределы обнаружения элементов оценивались по искусственным смесям и пробам с известными содержаниями химических элементов.

## Результаты и их обсуждение

На рис. 2–5 представлены диаграммы некоторых результатов спектрального анализа содержания в почвах и придорожной растительности тяжелых металлов в сравнении с нормативом – предельно допустимой концентрацией (ПДК) и фоном. В качестве фоновых концентраций содержания тяжелых металлов в почве использовались рекомендуемые значения условно незагрязненной почвы, характерные для территории рассматриваемого региона, позволяющие наиболее объективно оценить степень геохимических изменений, происходящих под влиянием антропогенного фактора<sup>3</sup>. Ввиду того, что ПДК тяжелых металлов для растительности не разработаны, в данном эксперименте сравнение фактических концентраций тяжелых металлов в листе, хвое и траве придорожной растительности проводилось в отношении ПДК, установленных для почвы.

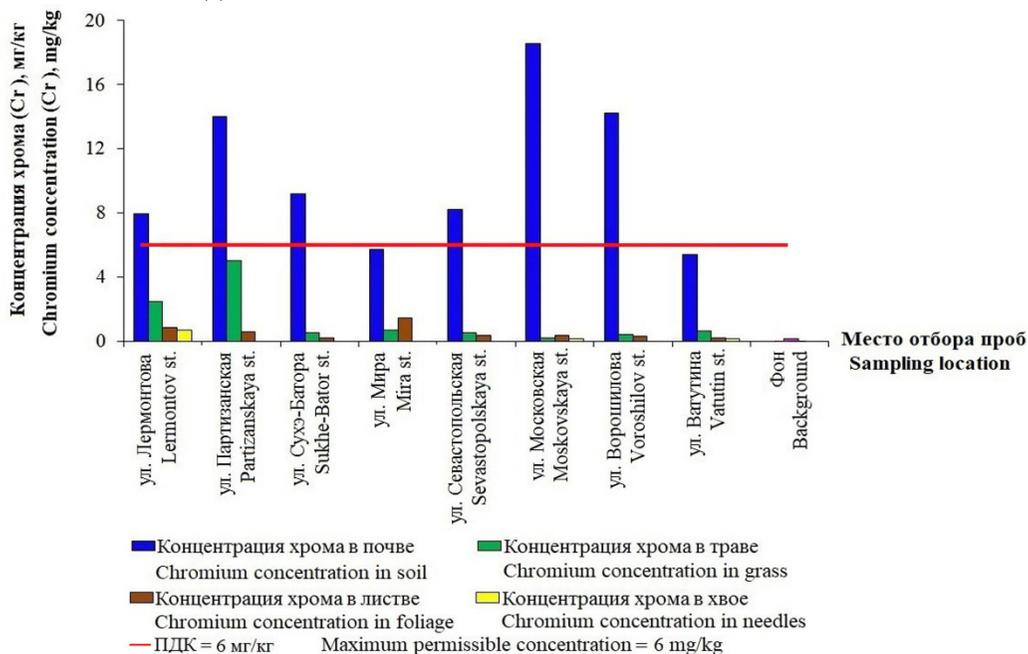
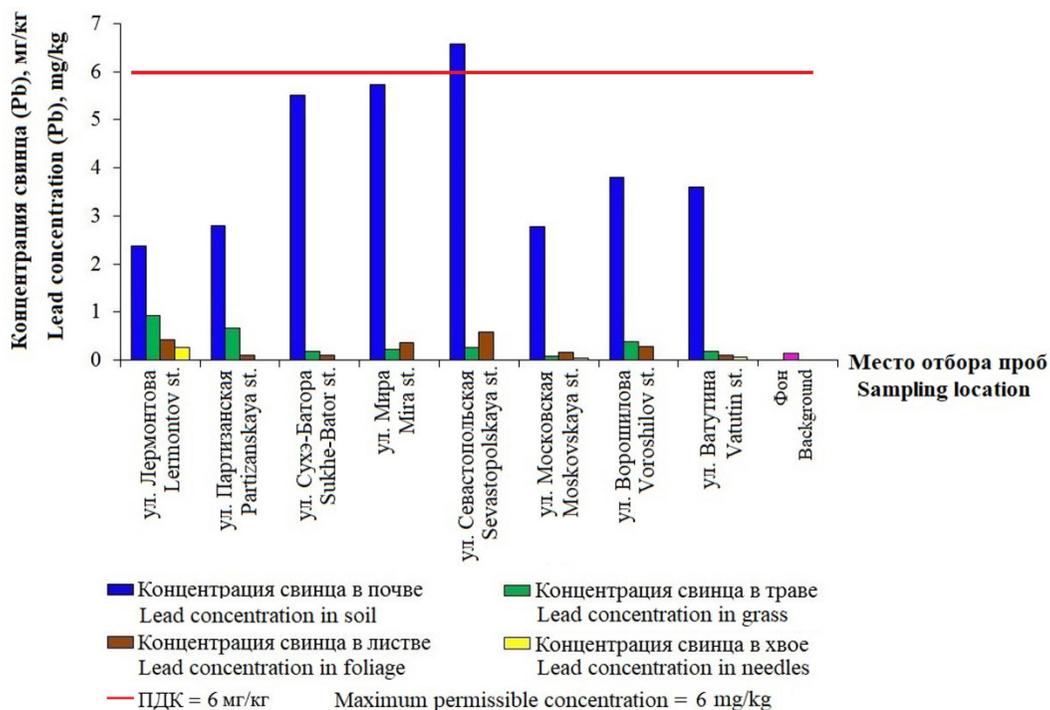
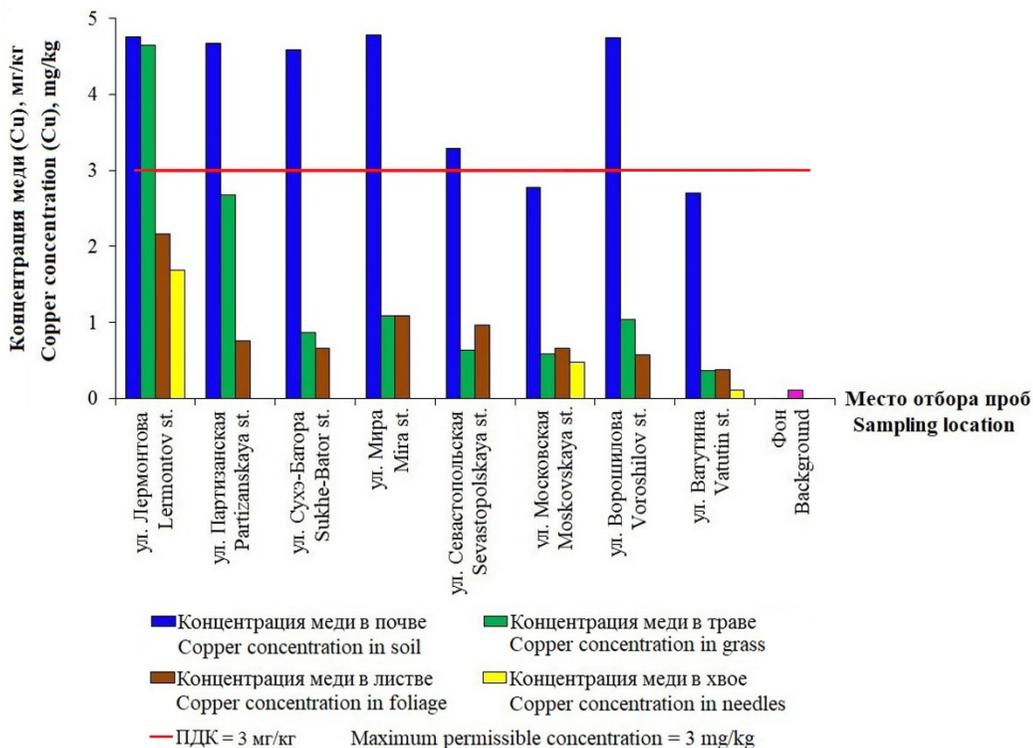


Рис. 2. Концентрация хрома в отобранных образцах /

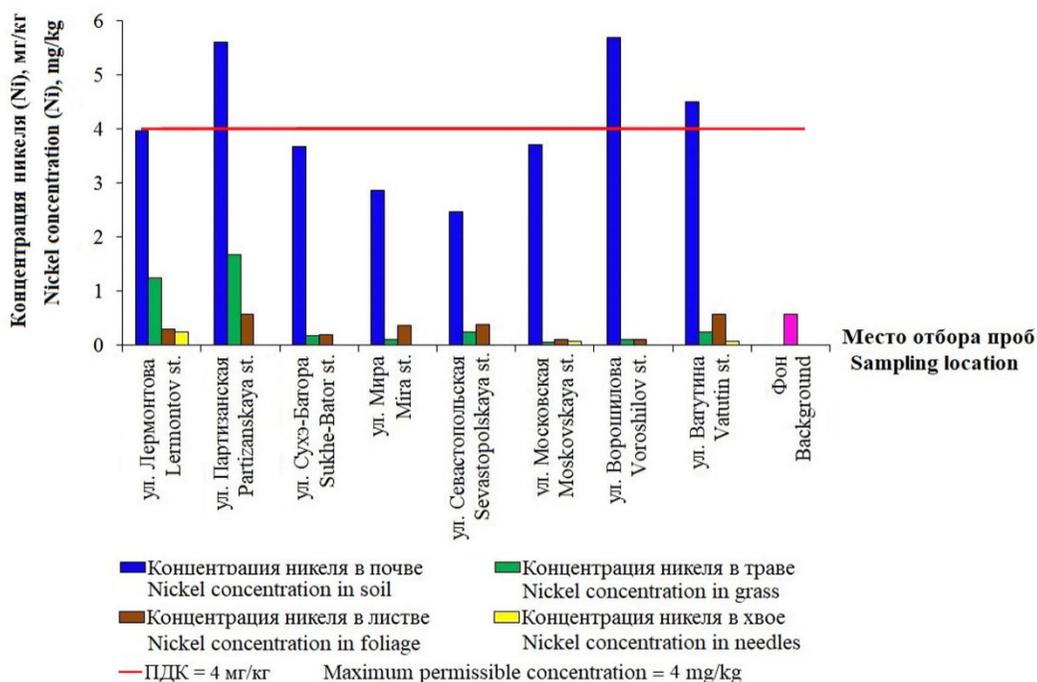
<sup>3</sup> ГОСТ 17.4.3.01–2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб (введен в действие Приказом Росстандарта от 01.06.2018 № 302-ст.); ГОСТ Р 58588–2019. Отбор и подготовка растительных проб для изотопного анализа (введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 09.10.2019 № 928-ст.).



**Рис. 3. Концентрация свинца в отобранных образцах**



**Рис. 4. Концентрация меди в отобранных образцах**



**Рис. 5. Концентрация никеля в отобранных образцах**

Так, концентрации хрома в придорожных почвах превышают значение ПДК в отобранных образцах: на ул. Московской (Ангарск) – в 3 раза, ул. Ворошилова (Ангарск) – в 2,4 раза, ул. Партизанской (Иркутск) – в 2,3 раза, ул. Сухэ-Батора (Иркутск) – в 1,5 раза, ул. Севастопольской (Иркутск) – в 1,4 раза, ул. Лермонтова (Иркутск) – в 1,3 раза. Концентрации хрома в образцах почв, отобранных на улицах Мира (Иркутск) и Ватутина (Усолье-Сибирское), находятся на границе ПДК. Концентрации хрома во всех образцах почв превышают фоновые значения в 41–143 раза. Во всех образцах травы концентрации хрома превышают фоновые в 1,5–38,7 раза. Содержание хрома во всех образцах листвы превышает фоновое в 1,5–11,2 раза. Содержание хрома в хвое, отобранной на ул. Лермонтова, превышает значения фона в 5,2 раза, на ул. Московской и Ватутина – в 1,1 раза (см. рис. 2).

Концентрация свинца в придорожной почве, отобранной на ул. Севастопольской, превышает ПДК в 1,1 раза. Содержание свинца в образцах почв, отобранных на улицах Сухэ-Батора и Мира, находятся на границе ПДК. Концентрации свинца во всех образцах почв превышают фоновую в 15–44 раза. Концентрации свинца практически во всех образцах травы (кроме образцов с ул. Московской) превышают фоновую в 1,2–6,2 раза. Значения концентраций свинца в отобранных образцах листвы на следующих улицах: Севастопольской, Лермонтова, Мира, Ворошилова, Московской – превышают фоновую концентрацию в 3,8; 2,9; 2,4; 1,9; 1,1 раза соответственно. Содержание свинца в хвое, отобранной на ул. Лермонтова, превышает значение фона в 1,7 раза, в остальных образцах – значения ниже фоновой (см. рис. 3).

Содержание меди в придорожных почвах, отобранных на улицах: Лермонтова, Мира, Партизанская, превышает ПДК в 1,6 раза, на ул. Сухэ-Батора – в 1,5 раза, ул. Ворошилова – в 1,6 раза, ул. Севастопольской – в 1,1 раза. Концентрации меди в образцах почвы на улицах Московской и Ватутина находятся на границе ПДК. Концентрации меди во всех образцах почв превышают фоновую в 25–44 раза. Концентрации меди в траве, отобранной на ул. Лермонтова, превышают значение ПДК в 1,6 раза; в траве, отобранной на ул. Партизанской, – концентрации близки к значению ПДК. Во всех образцах травы концентрации меди превышают фоновую концентрацию в 5,3–42,2 раза. Содержание меди во всех образцах листвы превышает фоновое значение в 3,5–19,6 раза. Содержание свинца в хвое, отобранной на ул. Лермонтова, превышает значение фона в 15,3 раза, на ул. Московской – в 4,4 раза, на ул. Ватутина – значения концентраций находятся на уровне фона (см. рис. 4).

Содержание никеля в придорожных почвах, отобранных на улицах Партизанской и Ворошилова, превышает установленный санитарно-гигиенический норматив в 1,4 раза; на ул. Ватутина – в 1,1 раза. Концентрации никеля в образцах почв, отобранных на улицах Лермонтова, Сухэ-Батора, Московской, находятся на границе ПДК. Концентрации никеля во всех образцах почв превышают фоновые значения в 4–10 раз. Содержание никеля во всех образцах придорожной травы, листвы и хвои не превышает ПДК, однако концентрации никеля в траве, отобранной на ул. Партизанской и ул. Лермонтова, превышают фоновую в 3 и 2,2 раза соответственно. В образцах травы, отобранной на ул. Ватутина, концентрация никеля находится на уровне фоновой, в остальных экземплярах – ниже фонового значения (см. рис. 5).

Таким образом, значения концентраций тяжелых металлов коррелируют с плотностью движения автотранспорта (см. рис. 1), что объясняет их происхождение выхлопными газами автомобилей.

Оценка уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводится в том числе по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и гигиенических исследованиях окружающей среды урбанизированных территорий с действующими источниками загрязнения. Такими показателями являются:

– коэффициент концентрации химического вещества, который определяется отношением фактического содержания загрязняющего вещества в почве ( $C_i$ ) в мг/кг почвы к региональному фоновому ( $C_{\text{фони}}$ );

– суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ).

Для оценки совокупного действия 6 основных загрязняющих веществ (Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Zn) использовался суммарный показатель загрязнения почвы исследуемой территории, рассчитываемый по формуле<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Постановление главного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 „Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания“».

$$Z_c = \sum_{i=1}^N \left( \frac{C_i}{C_{\text{фон}i}} \right) - (n - 1),$$

где  $Z_c$  – суммарный показатель загрязнения почвы;  $C_i$  – фактическая концентрация  $i$ -го элемента в почве;  $C_{\text{фон}i}$  – фоновая концентрация  $i$ -го элемента в почве;  $N$  – количество загрязнителей;  $n$  – число определяемых суммируемых веществ.

В зависимости от величины  $Z_c$  выделяют несколько категорий загрязнения почв:

- 0 – чистая;
- меньше 16 – допустимая;
- 16–32 – умеренно опасная;
- 32–128 – опасная;
- больше 128 – чрезвычайно опасная.

Результаты проведенных расчетов представлены в таблице.

**Категория загрязнения почв**

Место отбора проб	Значение $Z_c$	Категория загрязнения почв
Ул. Лермонтова	107,6	Опасная
Ул. Партизанская	161,0	Чрезвычайно опасная
Ул. Сухэ-Батора	133,8	Чрезвычайно опасная
Ул. Мира	114,8	Опасная
Ул. Севастопольская	118,7	Опасная
Ул. Московская	170,7	Чрезвычайно опасная
Ул. Ворошилова	166,6	Чрезвычайно опасная
Ул. Ватутина	77,2	Опасная

## Заключение

Результаты проведенных анализов свидетельствуют о загрязнении придорожных полос рассматриваемых ключевых участков Иркутской агломерации тяжелыми металлами, входящими в том числе в состав выхлопных газов автотранспорта. Так, в результате массового (полуколичественного) спектрального анализа выявлены превышения концентраций следующих элементов: Cr, Cu, Ni, Pb, Co, Zn, Mo:

– в образцах почв выявлены превышения значений *ПДК*: хрома (в 1,3–3,1 раза), меди (в 1,1–1,6 раза), никеля (в 1,1–1,4 раза);

– в образцах почв превышены значения *фоновых концентраций*: хрома (в 41,5–142,8 раза), меди (в 24,6–43,5 раза), свинца (в 15,8–43,8 раза), никеля (в 4,3–10,0 раза), кобальта в (3,9–8,2), цинка (в 3,2–8,3 раза), молибдена (в 1,9–3,3 раза);

– в образцах травы превышены значения *ПДК* меди (в 1,6 раза);

– превышены значения *фоновых концентраций*: меди (в образцах травы – в 3,4–42,2 раза, листвы – в 3,5–19,6 раза, хвои – в 4,4–15,3 раза), хрома (в образцах травы – в 1,5–38,7 раза, листвы – в 1,5–11,2 раза, хвои – в 1,1–5,2 раза), никеля (в образцах травы – в 2,2–2,9 раза), свинца (в образцах

травы – в 1,2–6,2 раза, листья – в 1,1–3,8 раза, хвои – в 1,7 раза), кобальта (в образцах травы – в 1,5–3,0 раза), цинка (в образцах травы – в 1,1–2,0 раза), молибдена (в образцах травы – в 1,2 раза; листья – в 1,3 раза).

Расчеты показали, что почвы придорожных территорий городов Иркутской агломерации относятся к категориям «опасная» и «чрезвычайно опасная» (значение суммарного показателя загрязнения почвы лежит в диапазоне 77,2–170,7), что свидетельствует о значительном загрязнении придорожных зон тяжелыми металлами, входящими в состав преимущественно выхлопных газов автомобильного транспорта (см. табл.). Статистическая обработка позволила сделать выводы о степени однородности и корректности данных, полученных в результате осуществления массового (полуколичественного) полного спектрального анализа отобранных образцов почв и растительности.

Частицы почвы с содержащимися в ней загрязняющими веществами с помощью ветра могут подниматься в атмосферный воздух и, как следствие, ухудшать его качество. Для улучшения состояния придорожных почв следует предусматривать санацию урбанизированных территорий.

Как видно из результатов проведенного исследования, листва и трава придорожных зон содержат тяжелые металлы в довольно больших концентрациях. Согласно нормативному акту<sup>5</sup> сжигание листьев деревьев, кустарников на территории населенных пунктов запрещено. Собранные листья деревьев, кустарников подлежат вывозу на объекты размещения, обезвреживания или утилизации отходов. Однако в населенных пунктах Иркутской агломерации нередко выявляют случаи сжигания травы<sup>6</sup>, что, помимо угрозы стихийного возгорания прилегающих территорий, может являться причиной, способствующей ухудшению экологической ситуации.

Таким образом, для того чтобы не допустить ухудшения экологической обстановки путем поступления тяжелых металлов и других токсичных компонентов в атмосферный воздух, необходимо регулярно осуществлять мониторинг территории городов Иркутской агломерации с помощью беспилотных летательных аппаратов, особенно в пожароопасный период и привлекать виновных к ответственности. О случаях возгорания сухой придорожной растительности следует сообщать в Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России).

<sup>5</sup> СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий.

<sup>6</sup> Общественно-политическая газета «Областная». Иркутск на первом месте в регионе по поджогам сухой травы. URL: <https://www.ogirk.ru/2020/04/27/irkutsk-na-pervom-meste-v-regione-po-podzhogam-suhoy-travy/> (дата обращения: 10.10.2023).

### Список литературы

- [1] *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
- [2] *Алексеевко В.А., Алексеенко А.В.* Химические элементы в геохимических системах. Кларк почв селитебных ландшафтов: монография. Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2013. 380 с.
- [3] *Jin Y., Luan Y., Ning Y., Wang L.* Effects and mechanisms of microbial remediation of heavy metals in soil: a critical review // *Applied Science*. 2018. № 8(8). P. 1336. <http://doi.org/10.3390/app8081336>
- [4] *Макаренко В.П., Фетисов Д.М., Жучков Д.В.* Изучение растительного покрова малых и средних городов России: современное состояние // *Региональные проблемы*. 2022. Т 25. № 1. С. 3–15. <http://doi.org/10.31433/2618-9593-2022-25-1-3-15>
- [5] *Kumar P, Fulekar M.H.* Rhizosphere Bioremediation of Heavy Metals (Copper and Lead) by *Cenchrus ciliaris* // *Res. J. Environmental Science*. 2018. № 12. P. 166–176.
- [6] *Новикова С.А.* Оценка загрязнения почв придорожных территорий Иркутской агломерации // *Материалы XX Межрегиональной молодежной научно-практической конференции «Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы» (15 апреля 2018 г.)*. Иркутск: ИрНИТУ, 2018. С. 248–253.
- [7] *Новикова С.А.* Содержание тяжелых металлов в почвах придорожных зон Иркутской агломерации // *XXV рабочая группа «Аэрозоли Сибири» (27–30 ноября 2018 г.)*. Томск: Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 2018. С. 25–26.
- [8] *Новикова С.А.* Показатели содержания тяжелых металлов в почвах и растительности придорожных полос Иркутской области / *Свидетельство о регистрации базы данных RU 2017621197, 16.10.2017. Заявка № 2017620941 от 24.08.2017.*
- [9] *Седых Е.С.* Геохимия основных типов почв Приангарья: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск, 2003. 22 с.

### Сведения об авторе:

*Новикова Светлана Александровна*, старший преподаватель кафедры техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15. ORCID: 0000-0003-2534-3379. eLIBRARY SPIN-код: 8593-1545. E-mail: [eco-science@mail.ru](mailto:eco-science@mail.ru)



## БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

## BIOLOGICAL RESOURCES

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-544-555  
EDN: RVSPPG  
УДК 628.167+628.113

Научная статья / Research article

### Влияние фитопланктона на качество воды поверхностных водных источников и питьевой воды

Е.В. Калинина  , Л.В. Рудакова 

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Российская Федерация  
 Kalininaelenal@rambler.ru*

**Аннотация.** Рассмотрена проблема появления запахов в питьевой воде, связанная с развитием водорослей и цианобактерий в водоемах – источниках питьевой воды. Представлены результаты анализа информации об основных видах организмов, являющихся источниками одорантов в питьевой воде, продуцируемых ими химических веществ и описание запахов. Чаще всего причинами появления запахов в питьевой воде является массовое развитие *Aphanizomenon flos-aquae* и *Oscillatoria agardhii*, являющихся продуцентами геосмина и 2-метилизоборнеола. Приведены классификация уровней опасности по загрязнению воды цианобактериями и рекомендуемые при этом мероприятия, в том числе частота мониторинга и отбора проб. Представлены мероприятия, реализуемые при снижении численности цианобактерий в водоемах – источниках питьевого водоснабжения физическими, химическими и биологическими методами. Описаны методы удаления внутриклеточных и внеклеточных цианотоксинов из питьевой воды. Приводится анализ эффективности удаления различных веществ, обладающих одорирующим эффектом из питьевой воды.

**Ключевые слова:** питьевая вода, одоранты, геосмин, 2-метилизоборнеол фитопланктон, цианобактерии

© Калинина Е.В., Рудакова Л.В., 2023



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

**Благодарности и финансирование.** Исследование выполнено в рамках научного проекта № FSNM-2020-0024 «Разработка научных основ экологически чистых и природоподобных технологий и рационального природопользования в области добычи и переработки углеводородного сырья» по заказу Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Вклад авторов:** *Е.В. Калинина* – анализ литературных источников и подготовка текста статьи; *Л.В. Рудакова* – руководство направлением и критический анализ текста статьи.

**История статьи:** поступила в редакцию 15.01.2023; доработана после рецензирования 30.04.2023; принята к публикации 15.09.2023.

**Для цитирования:** *Калинина Е.В., Рудакова Л.В.* Влияние фитопланктона на качество воды поверхностных водных источников и питьевой воды // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 544–555. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-544-555>

## Influence of phytoplankton on the water quality of surface water sources and drinking water

Elena V. Kalinina<sup>ID</sup>✉, Larisa V. Rudakova<sup>ID</sup>

*Research Center of Ministry of Defence of the Russian Federation,  
Sevastopol, Russian Federation  
✉Kalininaelena1@rambler.ru*

**Abstract.** The problem of the appearance of odors in drinking water associated with the development of algae and cyanobacteria in reservoirs of drinking water sources is considered. The results of the analysis of information on the main types of organisms that are sources of odorants in drinking water, chemicals produced by them and a description of odors are presented. Most often, the causes of odors in drinking water are the massive development of *Aphanizomenon flos-aquae* and *Oscillatoria agardhii*, which are producers of geosmin and 2-methylisoborneol. The classification of hazard levels for water pollution by cyanobacteria and recommended measures, including the frequency of monitoring and sampling, are given. The measures implemented with a decrease in the number of cyanobacteria in reservoirs of drinking water supply sources by physical, chemical and biological methods are presented. Methods of removal of intracellular and extracellular cyanotoxins from drinking water are described. The analysis of the efficiency of removal of various substances with odorizing effect from drinking water is presented.

**Keywords:** drinking water, odorants, geosmin, 2-methylisoborneol phytoplankton, cyanobacteria

**Acknowledgements and Funding.** The research was carried out within the framework of the scientific project No. FSNM-2020-0024 “Development of scientific foundations of environmentally friendly and nature-like technologies and rational use of natural resources in the field of extraction and processing of hydrocarbon raw materials” commissioned by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

**Authors’ contributions:** *E.V. Kalinina* – literature analysis and the article text preparation; *L.V. Rudakova* – direction guidance and the article text critical analysis.

**Article history:** received 15.01.2023; revised 30.04.2023; accepted 15.09.2023.

**For citation:** Kalinina EV, Rudakova LV. Influence of phytoplankton on the water quality of surface water sources and drinking water. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):544–555. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-544-555>

## Введение

Более 40 % мирового населения сталкиваются с проблемой нехватки воды. Обеспечение питьевой водой нормативного качества является одной из целей устойчивого развития. Даже в регионах, количественно обеспеченных водой, возникают проблемы с ее качеством.

Качество питьевой воды обусловлено качеством воды в водных объектах – источниках питьевого водоснабжения и зависит от природных и антропогенных факторов, влияющих на содержание минеральных и органических примесей природного и антропогенного происхождения [1].

Проблемы возникновения запахов в питьевой воде зафиксированы в мире и Российской Федерации: Москва, Ижевск, Екатеринбург, Качканар, Новокузнецк, Хабаровск, Пермь. Особенностью возникновения неприятных запахов в воде является их эпизодичность, связанная с периодами массового развития цианобактерий [2]. Развитие некоторых видов диатомовых, сине-зеленых, зеленых и жгутиковых водорослей является причиной ухудшения органолептических свойств питьевой воды. Применение традиционной технологической схемы водоподготовки (коагуляция – осаждение – фильтрация – обеззараживание) не позволяет полностью удалить одоранты из питьевой воды.

## Анализ предметной области

Наиболее часто в питьевой воде проявляются запахи земли и плесени, характерные для таких веществ в воде, как геосмин и 2-метилизоборнеол (МИБ), являющихся продуктами жизнедеятельности актиномицетов, цианобактерий и многих видов водорослей [1; 3]. Общее количество видов, являющихся источниками одорантов, неизвестно. В природных водах геосмин и 2-метилизоборнеол могут встречаться совместно и по отдельности.

Запахи могут проявляться в водоисточнике, появляться в процессе водоподготовки и водораспределения. Известно, что при лабораторном культивировании цианобактерий одоранты выделяются на всех этапах роста культуры, но в природных водоемах интенсивность «цветения» водоема не всегда связана с интенсивностью проявления одорантов [2]. Наиболее часто запах в питьевой воде появляется весной и в конце лета – начале осени [3; 4].

В нормальных условиях роста цианобактерий количество одорантов, выделяемых ими незначительно, не представляет проблемы. При воздействии на них стрессовых факторов (отклонение от оптимальных степени освещенности, температуры, рН среды, скорости течения, содержания биогенных элементов и др.) количество продуцируемых одорантов повышается [3; 5]

в результате их естественной гибели и их разрушения гетеротрофными организмами (грибами, актиномицетами и мелкими ракообразными).

В современных условиях в связи с глобальными изменениями климата Земли можно ожидать повышения степени распространения цианобактерий в водных объектах ввиду:

- повышения температуры воды в водных объектах, расширения ареала обитания цианобактерий;
- увеличения содержания биогенных веществ в водных объектах;
- повышения частоты засух, приводящих к понижению уровня воды в водоемах, увеличению степени освещенности придонных слоев, формированию благоприятных для цианобактерий условий.

Наблюдения за развитием фитопланктона Волчихинского водохранилища (Свердловская область) позволили установить [4], что запах в воде появляется при резкой смене доминирующих видов *Aphanizomenon flos-aquae* и *Oscillatoria agardhii*. *Aphanizomenon flos-aquae* и *Oscillatoria agardhii* являются продуцентами геосмина, а *Oscillatoria agardhii* еще и МИБ. Совместное присутствие данных видов, даже при доминировании одного из них, не приводило к появлению запахов.

Запах воды из Ижевского пруда характеризовался как запах «дуста». При идентификации состава фитопланктона выделено более 250 видов и внутривидовых таксонов. Зеленые водоросли были представлены в основном родом *Scenedesmus*, *Pediastrum*, *Oocystis*, *Tetraedron*, *Monoraphidium*. Из диатомовых водорослей присутствовали представители родов *Aulacoseira*, *Asterionella*, *Diatoma*, *Stephanodiscus*, *Navicula*, *Fragilaria*, *Synedra*, *Nitzschia*. Виды сине-зеленых водорослей были представлены преимущественно *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis pulvereae*, *Merismopedia tenuissima*, *Oscillatoria agardhii*, *Anabaena flos-aquae*, *Woronichinia compacta*, *Woronichinia naegelianae*. Наблюдениями было установлено, что «цветение» воды совпадает с массовым развитием *Aphanizomenon flos-aquae* [4; 5], при этом в воде содержался геосмин. Отмечалось появление запаха в воде Ижевского пруда, совпадающее с массовым развитием вида *Oscillatoria agardhii*, ставшим в последующем доминирующим.

Анализ научно-технической информации [2–6] позволил выявить основные виды планктонных организмов, являющихся источником одорантов, приоритетные химические вещества, продуцируемые ими, и характер запахов (табл. 1).

Проблема снижения содержания одорантов в питьевой воде должна решаться комплексно и включать решение следующих задач [5]:

- 1) мониторинг количества цианобактерий и содержания цианотоксинов в водоисточнике;
- 2) снижение количества цианобактерий, содержания одорантов и цианотоксинов в водоисточнике;
- 3) удаление одорантов и цианотоксинов из питьевой воды.

Таблица 1. Одоранты, продуцируемые водорослями и цианобактериями [6]

№	Химическое вещество	Характер запаха	ПКЗ*, мг/дм <sup>3</sup>	Виды – источники одоранта
1.	Диметилсульфид C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S	Капусты, сероводорода	0,1	<i>Asterionella formosa</i> ; <i>Nitzschia actinastroides</i> ; <i>Diatoma elongate</i> ; <i>Ochromonas danica</i> ; <i>Ochromonas malhamensis</i> ; <i>Chlamydomonas globose</i> – <b>1</b> <i>Anacystis nidulans</i> ; <i>Synechococcus cedrorum</i> ; <i>Oscillatoria chalybea</i> ; <i>Oscillatoria tenuis</i> ; <i>Phormidium autumnale</i> ; <i>Plectonema boryanum</i> – <b>2</b>
2.	Диметил-дисульфид C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub>	Септика, чеснока, гнили	< 0,4	<i>Microcystis aeruginosa</i> ; <i>Microcystis wesenbergii</i> – <b>2</b>
3.	Диметил-трисульфид C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>3</sub>	Септика, чеснока, гнили, болота	0,001	<i>Microcystis aeruginosa</i> ; <i>Microcystis wesenbergii</i> – <b>2</b>
4.	Изопропил-дисульфид [(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH] <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	Лука, мяса, сероводорода	-	<i>Microcystis flos-aquae</i> – <b>2</b>
5.	6-метил-5-гептен-2-он (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C=CHCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COCH <sub>3</sub>	Капусты, фруктов, эфира	5,04	<i>Aulacoseira granulata</i> ; <i>Cyanidium caldarium</i> ; <i>Scenedesmus subspicatus</i> ; <i>Syncrypta sp.</i> ; <i>Synura sp.</i> – <b>1</b> <i>Anabaena cylindrica</i> ; <i>Microcystis aeruginosa</i> ; <i>Synechococcus sp.</i> – <b>2</b>
6.	2,6,6-триметил-1-циклогексен-1-карбоксальдегид или β-циклоцитраль C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	Табачного дыма, плесени	1,93	<i>Scenedesmus subspicatus</i> ; <i>Dinobryon cylindricum</i> ; <i>Uroglena sp.</i> ; <i>Ulothrix fimbriata</i> – <b>1</b> <i>Microcystis aeruginosa</i> ; <i>Microcystis flos-aquae</i> ; <i>Microcystis botrys</i> ; <i>Microcystis viridis</i> ; <i>Microcystis wesenbergii</i> – <b>2</b>
7.	Экзо-1,2,7,7-тетраметилбицикло [2.2.1] гертан-2-ол или 2-метил-изоборнеол C <sub>11</sub> H <sub>20</sub> O	Земли, затхлый, камфоры	0,0015	<i>Hyella sp.</i> ; <i>Jaaginema geminatum</i> (syn. <i>Oscillatoria geminate</i> ); <i>Leibleinia aestuarii</i> ; <i>Oscillatoria curviceps</i> ; <i>Oscillatoria limosa</i> ; <i>Oscillatoria tenuis</i> ; <i>Oscillatoria variabilis</i> ; <i>Phormidium breve</i> (syn. <i>Oscillatoria brevis</i> ); <i>Phormidium favosum</i> ; <i>Phormidium tenue</i> (syn. <i>Oscillatoria tenuis</i> ); <i>Phormidium LM689</i> , <i>Phormidium sp.</i> ; <i>Planktothrix agardhii</i> (syn. <i>Oscillatoria agardhii</i> ); <i>Planktothrix cryptovaginata</i> (syn. <i>Lyngbya cryptovaginata</i> ); <i>Planktothrix perornata f. attenuate</i> ; <i>Porphyrosiphon martensianus</i> (syn. <i>Lyngbya martensiana</i> ), <i>Pseudanabaena articulate</i> ; <i>Pseudanabaena catenata</i> ; <i>Pseudanabaena limnetica</i> (syn. <i>Oscillatoria lillinetica</i> ); <i>Tychonema granulatum</i> (syn. <i>Oscillatoria f. granulata</i> ) – <b>2</b>
8.	Геосмин C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O	Земли, затхлый	0,0004	<i>Anabaena circinalis</i> ; <i>Anabaena crassa</i> , <i>Anabaena lemmermannii</i> ; <i>Anabaena macrospora</i> ; <i>Anabaena planctonica</i> ; <i>Anabaena solitaria</i> ; <i>Anabaena viguieri</i> ; <i>Anabaena millerii</i> ; <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> ; <i>Aphanizomenon gracile</i> , <i>Geitlerinema splendidum</i> (syn. <i>Oscillatoria splendida</i> ); <i>Leibleinia subtilis</i> (syn. <i>Lyngbya subtilis</i> ); cf. <i>Microcoleus sp.</i> ; <i>Phormidium allorgei</i> (syn. <i>Lyngbya allorgei</i> ); <i>Phormidium amoenum</i> (syn. <i>Oscillatoria amoena</i> ); <i>Phormidium breve</i> (syn. <i>Oscillatoria brevis</i> ); <i>Phormidium cortianum</i> (syn. <i>Oscillatoria cortiana</i> ); <i>Phormidium formosum</i> (syn. <i>Oscillatoria formosa</i> ); <i>Phormidium simplicissimum</i> (syn. <i>Oscillatoria simplicissima</i> ); <i>Phormidium uncinatum</i> ; <i>Phormidium viscosum</i> ; <i>Phormidium sp.</i> ; <i>Planktothrix agardhii</i> (syn. <i>Oscillatoria agardhii</i> ); <i>Planktothrix prolifica</i> (syn. <i>Oscillatoria prolifica</i> ); <i>Pseudanabaena catenata</i> ; <i>Schizothrix muelleri</i> ; <i>Symploca muscorum</i> ; <i>Tychonema bornetii</i> (syn. <i>Oscillatoria bornetii</i> ); <i>Tychonema granulatum</i> (syn. <i>Oscillatoria f. granulata</i> ) – <b>2</b>

Окончание табл. 1

№	Химическое вещество	Характер запаха	ПКЗ*, мг/дм <sup>3</sup>	Виды – источники одоранта
9.	4-(2,6,6-триметил-1-циклогексенил)-3-бетен-2-он или β-ионон C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O	Фиалки, фруктов	0,0007	<i>Cyanidium caldarium</i> ; <i>Scenedesmus subspicatus</i> ; <i>Synura sp.</i> – <b>1</b> <i>Anabaena cylindrica</i> ; <i>Aphanizomenon gracile</i> ; <i>Synechococcus 6911</i> – <b>2</b>
10.	1,2-дигидро-1,1,6-триметилнафталин C <sub>13</sub> H <sub>16</sub>	Солодки	–	<i>Cyanidium caldarium</i> – <b>1</b>
11.	Транс-3,7-диметил-2,6-октадиен-1-ол C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	Сладковатый, цветов, фруктов, роз, воска, цитрусов	7,71	<i>Synechococcus 6911</i> – <b>2</b>
12.	Геранилацетон C <sub>13</sub> H <sub>22</sub> O	Свежести, зелени, фруктов, воска, роз, деревьев, магнолии	0	<i>Cyanidium caldarium</i> ; <i>Scenedesmus subspicatus</i> – <b>1</b>
13.	Цис-3,7-диметил-2,6-октадиен-1-ол, нерол C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	Сладковатый, цитрусов, магнолии	29,3	<i>Synechococcus 6911</i> – <b>2</b>
14.	(Е,Е)2,4-декадиеналь C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	Прогорклый / рыбный	1,98	<i>Dinobryon divergens</i> ; <i>Dinobryon cylindricum</i> ; <i>Mallomonas papillosa</i> ; <i>Synura petersenii</i> ; cf. <i>Syncrypta sp.</i> ; <i>Uroglena americana</i> ; <i>Uroglena sp.</i> ; <i>Fragilaria sp.</i> ; <i>Cryptomonas rostratiformis</i> ; <i>Peridinium willei</i> – <b>1</b>
15.	2,4,7-декатриеналь C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	Прогорклый / рыбы	1,95	<i>Dinobryon divergens</i> ; <i>Dinobryon cylindricum</i> ; <i>Synura petersenii</i> ; <i>Uroglena americana</i> ; <i>Uroglena sp.</i> (UTCC276) – <b>1</b> <i>Microcystis papillosa</i> ; <i>Microcystis varians</i> – <b>2</b>
16.	Эктокарпен C <sub>11</sub> H <sub>16</sub>	Зелени томатов	–	<i>Amphora veneta</i> ; <i>Gomphonema parvulum</i> ; <i>Phaeodactylum tricornutum</i> ; <i>Skeletonema costatum</i> ; <i>Lithodesmium undulatum</i> ; <i>Ectocarpus spp.</i> – <b>1</b>

ПКЗ\* – Пороговая концентрация запаха; 1 – эукариотические водоросли; 2 – цианобактерии.

В большинстве стран не установлены требования по обязательности контроля за численностью цианобактерий и содержанием цианотоксинов в источниках питьевого водоснабжения. Глобальной коалицией центров по изучению водных ресурсов (Global water research coalition) на основании существующего опыта разработаны принципы мониторинга численности цианобактерий в водных объектах [7]: визуальная оценка состояния водисточника, отбор проб воды для изучения видового состава цианобактерий и определения их численности, определение содержания цианотоксинов.

Для оценки опасности загрязнения водисточника цианобактериями [8; 9] выделены уровни опасности и предложены программы их мониторинга (табл. 2).

Косвенными методами определения уровня загрязнения воды цианобактериями являются определение концентрации хлорофилла α в воде [9] и определение вегетационного индекса [10]. Указанные методы реализуются в том числе дистанционно. В странах Европейского Союза концентрации хлорофилла α является регулярно контролируемым параметром в рамках реализации Водной рамочной директивы.

Таблица 2. Уровни опасности по загрязнению воды цианобактериями [8; 9]

Опасность	Характеристика уровня	Рекомендации
Низкая	500–2000 клеток цианобактерий в 1 мл воды	Регулярный мониторинг, идентификация доминирующего вида. Отбор проб воды 1 раз в неделю, определение количества клеток цианобактерий. Визуальное обследование водоема для выявления признаков его «цветения»
Средняя	2000–6500 клеток цианобактерий в 1 мл воды	Отбор проб воды 2 раза в неделю. Оценка роста популяции и видового разнообразия. Оценка необходимости контроля токсичности воды и мониторинга содержания токсинов
Высокая	Более 6500 клеток цианобактерий в 1 мл воды	Оценка возможного риска для здоровья человека по данным мониторинга содержания токсинов. Разработка рекомендаций для потребителей, использующих воду, не прошедшую водоподготовку. Отбор проб воды ежедневно. Мониторинг содержания цианотоксинов в питьевой воде
Очень высокая	Более 65 000 клеток цианобактерий в 1 мл воды	Информирование надзорных органов. Рекомендации для потребителей, использующих воду, не прошедшую водоподготовку. Оценка токсичности или содержания цианотоксинов в источнике водоснабжения и в питьевой воде. Мониторинг водоема. При высокой степени опасности для здоровья населения использование альтернативных источников питьевого водоснабжения

### Снижение численности цианобактерий в водоемах

В настоящее время для снижения численности цианобактерий в водоемах<sup>1</sup> [5; 7; 10–15] предложено применять физические, химические и биологические методы (табл. 3).

Таблица 3. Методы снижения численности цианобактерий в водоемах

Метод	Мероприятия
Физический	Искусственная дестратификация, аэрация, перемешивание. Очистка дна для удаления бентосных водорослей и питательных веществ. Обработка ультразвуком для замедления роста цианобактерий и их гибели
Химический	Контроль содержания питательных веществ: гипополимническая оксигенация, осаждение и «кэпирование» фосфора. Контроль численности цианобактерий: применение коагулянтов и веществ с альгистидным и альгистатическим действием
Биологический	Применение вирусов и инфекционных бактерий. Регулирование трофической структуры водной экосистемы с преобладанием численности гетеротрофов, питающихся цианобактериями или конкурирующих с ними за питание

### Устранение цианобактерий и цианотоксинов из питьевой воды

Известны следующие способы снижения количества цианобактерий и цианотоксинов из питьевой воды, подаваемой потребителям:

- 1) использование альтернативных источников водоснабжения;
- 2) предотвращение попадания цианобактерий и/или цианотоксинов при заборе воды из источника водоснабжения, в том числе изменение уровня водозаборного оголовка;
- 3) очистка воды от цианобактерий и/или цианотоксинов.

Характеристика методов очистки воды от цианобактерий и продуцируемых ими цианотоксинов представлена в табл. 4.

<sup>1</sup> Состав для очистки водоемов от цианобактерий и зеленых водорослей: пат. 2742169 Рос. Федерация: МПК C02F 1/24, C02F 1/50, C02F 1/72, C02F 1/28, C02F 9/04, C02F 9/14, C02F 103/04 / Зарев В.В.; заявитель и патентообладатель ООО «Листерра». N 2020118683/20; заявл. 05.06.2020; опубл. 02.02.2021 Бюл. № 4.

На первом этапе очистки воды рекомендуется удалять цианобактерии вместе с содержащимися в них цианотоксинами и одорантами методами предварительного окисления, коагуляции, седиментации, фильтрации и флотации. В процессе водоподготовки целесообразно применять микро-, ультрафильтрацию металлическими или тканевыми фильтрами с разным размером пор. Известно применение мембран, в том числе из полимерных биоразлагаемых материалов [19]. Извлечение из воды клеток цианобактерий седиментацией и флотацией позволяет предотвратить их разрушение и поступление одорантов в воду. При седиментации извлекается до 80 % цианобактерий, при флотации – до 98 % [21]. На эффективность применения коагулянтов и флокулянтов влияют вид цианобактерий. Исследованиями [21] показаны преимущества полимерных коагулянтов в сравнении с солями металлов: более высокая эффективность, легкое отделение образующегося осадка, возможность применения в более широком диапазоне pH среды и температур [19].

Таблица 4. Характеристика методов очистки воды от цианобактерий и цианотоксинов [1; 5; 7; 15–24]

Метод	Эффективность применения
<i>Удаление внутриклеточных цианотоксинов (интактные клетки)</i>	
Предварительное окисление	Может привести к лизису клеток и последующему выбросу цианотоксинов в воду. В случае применения окисления для очистки от других загрязнений необходимо использовать низкие дозы окислителей, не вызывающие лизис клеток (перманганат калия). При использовании высоких доз они должны быть достаточными для разрушения токсинов
Коагуляция, седиментация, фильтрация	Применяют для удаления внутриклеточных токсинов в случаях, когда клетки способны агрегироваться в легко отделяемый осадок
Отделение на мембранах	Мало данных. Предположительно эффективно для удаления внутриклеточных токсинов. Микрофильтрация и ультрафильтрация не эффективны, если клетки аккумулируются на мембране
Флотация	Эффективна для удаления внутриклеточных цианотоксинов
<i>Удаление внеклеточных цианотоксинов (растворенных)</i>	
Отделение на мембранах	Зависит от материала, размера пор мембраны и качества воды. Нанофильтрация эффективна для удаления внеклеточных микроцистинов. Для удаления внеклеточного микроцистина и цилиндроспермопсина используют обратный осмос
Окисление перманганатом калия	Эффективен для окисления микроцистинов и анатоксинов
Озонирование	Эффективен для окисления внеклеточного микроцистина, анатоксина-α и цилиндроспермопсина
Хлорамины	Не эффективны
Хлорирование	Эффективен для окисления внеклеточных цианотоксинов при pH=8 и ниже. Не эффективен для анатоксина-α
УФ-облучение	В высоких дозах эффективно для разрушения микроцистина и цилиндроспермопсина
Сорбция активированными углями	Эффективность порошкообразного активированного угля зависит от типа и размера пор. Древесный активированный уголь эффективен для адсорбции микроцистинов (в дозах более 20 мг/дм <sup>3</sup> ), не эффективен для удаления сакситоксинов, вкуса и запаха. Гранулированный активированный уголь эффективен для удаления микроцистинов, менее эффективен для удаления анатоксина-α и цилиндроспермопсина

Для снижения интенсивности запахов в питьевой воде недостаточно удалить только клетки цианобактерий, необходимо очистить ее от цианотоксикантов. Применение для этих целей сорбентов, в частности активированных углей, является наиболее эффективным и технически доступным методом.

Порошкообразные активированные угли (ПАУ) применяют совместно с коагулянтами или после очистки ими. Показана эффективность их введения в виде суспензии с дозой 1–7 мг/дм<sup>3</sup> в воду в начало технологического процесса с последующим удалением в процессе очистки. Преимуществом ПАУ является возможность его кратковременного использования, недостатком – невозможность его повторного использования.

Гранулированный активированный уголь (ГАУ) целесообразно применять на заключительных этапах водоочистки. Преимуществом ГАУ является большая адсорбирующая поверхность, позволяющая использовать его для извлечения из воды широкого спектра органических веществ. В качестве недостатка ГАУ можно отметить необходимость его регенерации и замены.

Высокая эффективность удаления из воды цианотоксинов достигается при использовании электроактивных полимеров [22]. Например, наночастицы оксида железа (II, III) в пленке полипиррола эффективно извлекают из воды микроцистис и цилиндропермопсин. К преимуществам электроактивных полимеров в сравнении с традиционными сорбентами относятся более высокая сорбционная емкость (238–300 мкг/мг), малое время контакта (8–15 минут), увеличенное количество циклов использования.

Реагентное окисление, озонирование и обработка воды ультрафиолетом [5; 7; 23] могут сопровождаться образованием токсичных побочных продуктов, например тригалометанов. Исследования в области окисления цианотоксинов позволили определить эффективность метода, объединяющего электролиз и гетерогенный фотокатализ. Применение метода электролиза позволяет снизить концентрацию микроцистинов на 49 %, применение фотокатализа – на 41 %, а их совместное применение – на 99 % [24].

Несмотря на эффективность применения озонирования, его распространение ограничивается высокой стоимостью реализации. Снижение затрат на озонирование достигается при использовании микропузырьков озона, генерируемых низкотемпературным плазменным реактором на основе диэлектрического барьерного разряда со встроенным жидкостным осциллятором [5; 25].

Эффективность использования методов устранения одорантов различного происхождения из воды [6] представлена в табл. 5.

Использование O<sub>3</sub> в дозах 1–15 мгO<sub>3</sub>/дм<sup>3</sup> или H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> с концентрацией 1–15 мг/дм<sup>3</sup> приводит к снижению суммарного содержания одорантов (геосмин и МИБ) до 50 % и снижению интенсивности запаха с 4 до 3 баллов. Совместное применение O<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> показало большую эффективность [3]. В целом применение окислительных агентов для дезодорации воды менее эффективно, чем применение ПАУ. Финишная хлораммонизация практически не влияет на уровень запаха питьевой воды. Вторичное хлорирование очищенной воды без аммонизации может привести к появлению хлорного запаха.

Таблица 5. Методы устранения одорантов из воды

№	Одорант	Эффективно	Не эффективно
1.	Геосмин	O <sub>3</sub> , УФ/Н <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> / Н <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , активированный уголь, биологический метод	Cl <sub>2</sub> , ClO <sub>2</sub> , KMnO <sub>4</sub> , хлорамины, аэрация
2.	2-метилизоборнеол	O <sub>3</sub> , УФ/Н <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> / Н <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , активированный уголь, биологический метод	Cl <sub>2</sub> , ClO <sub>2</sub> , KMnO <sub>4</sub> , хлорамины, аэрация
3.	Диметилдисульфид, Диметилтрисульфид	Окисление, активированный уголь, биологический метод	Хлорамины
4.	Хлорированные соединения	Активированный уголь	Биологический
5.	Сероводород	Аэрация, окисление	–
6.	Низкомолекулярные ароматические и алифатические соединения	Аэрация, активированный уголь	Окисление
7.	Фенол, хлорфенолы	O <sub>3</sub> , ClO <sub>2</sub> , активированный уголь, биологический метод	Cl <sub>2</sub> , хлорамины, KMnO <sub>4</sub>
8.	Бентосное цианобактериальное цветение	Оптимизация уровня воды в водоемах	–

## Заключение

1. Повышенная антропогенная нагрузка, сопровождающаяся поступлением биогенных элементов со сточными водами, и изменение климата Земли, способствующее увеличению содержания цианобактерий за счет расширения ареала их обитания, приводит к повышению частоты возникновения случаев появления запахов в питьевой воде.

2. Наиболее часто причиной возникновения запахов в питьевой воде является развитие в воде водоисточника *Aphanizomenon flos-aquae*; *Oscillatoria agardhii*; *Microcystis flos-aqua*; *Microcystis viridis*.

3. Для контроля численности цианобактерий в источниках питьевого водоснабжения необходимо проводить мониторинг, в том числе методами дистанционного зондирования.

4. Для удаления большинства видов одорантов, продуцируемых цианобактериями, целесообразно сочетание методов озонирования и сорбции.

5. Порошкообразные активированные угли целесообразно вводить в начале технологического процесса очистки. Гранулированные активированные угли обычно используют на заключительных стадиях.

## Список литературы

- [1] Пономарев Д.С. Интеллектуальная система поддержки принятия решений для управления технологическим процессом дезодорации природных поверхностных вод на городских очистных сооружениях: дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2019. 162 с.
- [2] Бутакова Е.А. Особенности одорирующих веществ (геосмина и 2-метилизоборнеола) как вторичных метаболитов цианобактерий // Физиология растений. 2013. Т. 60. № 4. С. 537–540.
- [3] Гусев Е.Е. Одорирующие вещества биологического происхождения в природных водах и способы их удаления при водоподготовке: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2007. 23 с.

- [4] Иванова Н.А., Шарипова Л.А. Состояние фитопланктона ижевского пруда в районе водозабора МУП города Ижевска «Ижводоканал» в 2002–2005 годах // Вестник Удмуртского университета. Биология. 2006. № 10. С. 17–24.
- [5] Калининкова Т.Б., Гайнутдинов М.Х., Шагидуллин Р.Р. Методы контроля численности цианобактерий в водоемах и очистки питьевой воды от цианотоксинов // Российский журнал прикладной экологии. 2019. № 4 (20). С. 33–45.
- [6] Lee J., Kumar Rai P., Jae Jeon Y., Kim K.-H., Kwon E.E. The role of algae and cyanobacteria in the production and release of odorants in water // Environmental Pollution. 2017. № 227. P. 252–262. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.058>
- [7] Hasan M.N. (ed.) International guidance manual for the management of toxic cyanobacteria. London, 2009. 93 p.
- [8] Newcombe G., House J., Ho L., Baker P., Burch M. Management strategies for cyanobacteria (blue-green algae) and their toxins: a guide for water utilities. WQRA // Research Report 74. 2010. 101 p.
- [9] Du Preez H.H., Van Baalen L. Generic incident management framework for toxic blue-green algal blooms, for application by potable water suppliers // WRS Report TT 263/06. Water Research Commission. Pretoria, 2006. 65 p.
- [10] Кутявина Т.И., Аишхмина Т.Я. Современное состояние и проблемы мониторинга поверхностных водных объектов России (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 13–21.
- [11] Chow C.W.K., Drikas M., House J., Burch M.D., Velzeboer R.M.A. The impact of conventional water treatment processes on cells of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* // Water Research. 1999. Vol. 33. P. 3253–3262.
- [12] Состав для очистки водоемов от цианобактерий и зеленых водорослей: пат. 2742169 Рос. Федерация: МПК C02F 1/24, C02F 1/50, C02F 1/72, C02F 1/28, C02F 9/04, C02F 9/14, C02F 103/04 / Зарев В.В.; заявитель и патентообладатель ООО «Листерра». N 2020118683/ 20; заявл. 05.06.2020; опубл. 02.02.2021 Бюл. № 4.
- [13] Barrett P.R.F., Curnow J.C., Littlejohn J.W. The control of diatom and cyanobacterial blooms in reservoirs using barley straw // Hydrobiologia. 1996. Vol. 340. P. 307–311.
- [14] Jelbart J. Effect of rotting barley straw on cyanobacteria: a laboratory investigation // Water. 1993. Vol. 20. P. 31–32.
- [15] Newman J.R., Barrett P.R.F. Control of *Microcystis aeruginosa* by decomposing barley straw // Journal of Aquatic Plant Management. 1983. Vol. 31. P. 203–206.
- [16] Everall N.C., Lees D.R. The use of barley straw to control general and blue-green algal growth in a Derbyshire reservoir // Water Research. 1996. Vol. 30. P. 269–276.
- [17] Ahn C.Y., Park M.H., Joung S.H., Kim H.S., Jang K.Y., Oh H.M. Growth inhibition of cyanobacteria by ultrasonic radiation: laboratory and enclosure studies // Environmental Science and Technology. 2003. Vol. 37. P. 3031–3037.
- [18] Zhang G.M., Zhang P.Y., Wang B., Liu H. Ultrasonic frequency effects on the removal of *Microcystis aeruginosa* // Ultrason. Sonochem. 2006. Vol. 13. P. 446–450.
- [19] Cyanobacteria and cyanotoxins: information for drinking water systems. United States Environmental Protection Agency, 2014. 11 p.
- [20] Hooman M., Sajjadi N., Marandi R., Zaeimdar M., Akbarzadeh N. Design of a novel PEBA/CDs polymeric fibrous composite nanostructure in order to remove navicula algal and improve the quality of drinking water // Polymer Bulletin. 2022. No. 79. P. 7459–7477. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03852-1>
- [21] Agrawal M., Yadav S., Patel C., Raipuria N., Agrawal M.K. Bioassay methods to identify the presence of cyanotoxins in drinking water supplies and their removal strategies // European Journal of Experimental Biology. 2012. Vol. 2. P. 321–336.

- [22] *Hena S., Rozi R., Tabassum S., Huda A.* Simultaneous removal of potent cyanotoxins from water using magnetophoretic nanoparticles of polypyrrole: adsorption kinetic and isotherm study // *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23. P. 14868–14880.
- [23] *Pelegri R.T., Freire R.S., Duran N., Bertazzolli R.* Photoassisted electrochemical degradation of organic pollutants on a DSA type oxide electrode: process test for a phenol synthetic solution and its application for the E1 bleach Kraft mill effluent // *Environmental Science and Technology*. 2001. Vol. 35. P. 22849–2853.
- [24] *Garcia A.C.A., Rodriguez M.A.S., Xavier J.L.N., Gazulla V., Meneguzzi A., Bernardes A.M.* Degradation of cyanotoxins (microcystin) in drinking water using photoelectrooxidation // *Brazilian Journal of Biology*. 2015. Vol. 75, no. 2. P. 45–49.
- [25] *Pandhal J., Siswanto A., Kuvshinov D., Zimmerman W.B., Lawton L., Edwards C.* Cell lysis and detoxification of cyanotoxins using a novel combination of microbubble generation and plasma microreactor technology for ozonation // *Frontiers in Microbiology*. 2018. Vol. 9. 678. 11 p.

### **Сведения об авторах:**

*Калинина Елена Васильевна*, кандидат технических наук, доцент, кафедра охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Российская Федерация, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, д. 29. ORCID: 0000-0001-6965-4895, eLIBRARY SPIN-код: 9259-4503. E-mail: Kalininaelena1@rambler.ru

*Рудакова Лариса Васильевна*, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Российская Федерация, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, д. 29. ORCID: 0000-0003-3292-8359, eLIBRARY SPIN-код: 1705-6430. E-mail: larisa.rudakova.007@gmail.com

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-556-571

EDN: RYFCYA

УДК 574.24

Научная статья / Research article

## Оценка воздействия антибиотиков на ростовые реакции высших растений – потенциальных фиторемедиантов

С.С. Тимофеева<sup>ID</sup>✉, О.В. Тюкалова<sup>ID</sup>, С.С. Тимофеев<sup>ID</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет,**Иркутск, Российская Федерация*✉ [ssstimofeeva@mail.ru](mailto:ssstimofeeva@mail.ru)

**Аннотация.** Актуальность работы обусловлена необходимостью исследования оценки токсичности противомикробных препаратов для объектов окружающей среды. Наиболее простыми и наглядными методами оценки воздействия антибиотиков на окружающую среду являются биоиндикационные методы, в частности оценка фитотоксичности препаратов. Приведены результаты анализа фитотоксического эффекта антибиотиков разной природы по отношению к травянистым растениям различных систематических групп в рамках лабораторного эксперимента. Определен фитотоксический эффект рассматриваемых образцов антибиотиков путем сопоставления показателей тест-функции семян контрольных и опытных групп. Показана зависимость величины фитотоксического эффекта в зависимости от фармацевтической группы антибиотика. Полученные данные являются основой для проведения дальнейших исследований по оценке негативного воздействия на окружающую среду и разработке технологий фиторемедиации объектов окружающей среды. Цель исследования – оценка воздействия антибиотиков на ростовые реакции высших растений – потенциальных фиторемедиантов.

**Ключевые слова:** антибиотик, фитотоксический эффект, фитотестирование, газоны, фиторемедианты

**Благодарности и финансирование.** Работа выполнена при поддержке Ученого совета ИРНИТУ грант № 18РАН\_2020 «Техногенные риски Байкальского региона».

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

© Тимофеева С.С., Тюкалова О.В., Тимофеев С.С., 2023



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 12.04.2023; доработана после рецензирования 15.05.2023; принята к публикации 20.08.2023.

**Для цитирования:** Тимофеева С.С., Тюкалова О.В., Тимофеев С.С. Оценка воздействия антибиотиков на ростовые реакции высших растений – потенциальных фиторемедиантов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 556–571. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-556-571>

## Evaluation of the effect of antibiotics on the growth reactions of higher plants – potential phytoremediants

Svetlana S. Timofeeva  , Olga V. Tyukalova , Semyon S. Timofeev 

*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation*

 [ssstimofeeva@mail.ru](mailto:ssstimofeeva@mail.ru)

**Abstract.** The relevance of the work is due to the need to study the assessment of the toxicity of antimicrobial drugs for environmental objects. The simplest and most obvious methods of assessing the impact of antibiotics on the environment are bioindication methods, in particular, the assessment of phytotoxicity of drugs. The study presents the results of the analysis of the cytotoxic effect of antibiotics of different nature in relation to herbaceous plants of various systematic groups in a laboratory experiment. The phytotoxic effect of the considered antibiotic samples was determined by comparing the indicators of the test function of the seeds of the control and experimental groups. The dependence of the magnitude of the phytotoxic effect on the pharmaceutical group of the antibiotic is shown. The data obtained are the basis for further research to assess the negative impact on the environment and the development of technologies for phytoremediation of environmental objects. The purpose of this work was to evaluate the effect of antibiotics on the growth reactions of higher plants – potential phytoremediants.

**Keywords:** antibiotic, phytotoxic effect, phytotesting, lawns, phytoremediants

**Acknowledgements and Funding.** The work was supported by the Academic Council of IRNITU grant No. 18RAN\_2020 “Technogenic risks of the Baikal region”.

**Authors’ contributions:** all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

**Article history:** received 12.04.2023; revised 15.05.2023; accepted 20.08.2023.

**For citation:** Timofeeva SS, Tyukalova OV, Timofeev SS. Evaluation of the effect of antibiotics on the growth reactions of higher plants – potential phytoremediants. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):556–571. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-556-571>

### Введение

В последнее время все объекты окружающей среды подвергаются возрастающему воздействию поллютантов разной природы. Одним из актуальных вопросов становится загрязнение природной среды антибиотиками [1; 2]

в результате возрастающего их потребления населением, использования в животноводстве для лечения и повышения продуктивности животных и птиц. При этом увеличиваются объем и разнообразие используемых антибиотиков. Особенностью метаболизма антибиотиков в организмах животных и человека является то, что большая часть препарата, введенного в организм, выводится из него в неизменном виде [3]. В результате антибиотики попадают в сточные воды и в отходы агропромышленных животноводческих предприятий и далее в окружающую среду, так как системы очистки этих субстанций не предусматривают удаление медицинских препаратов. Многие антибиотики устойчивы в воде и почве и могут оставаться неизменными в течение длительного времени [4–8]. Известно, что эти вещества могут передаваться по пищевым цепям и накапливаться в организмах животных [9]. Наличие антибиотиков в продуктах питания становится значительной проблемой. Основным следствием неконтролируемого потребления антибиотиков является развитие резистентности – устойчивости бактерий к антибиотикам, что представляется серьезной угрозой здоровью людей, так как с каждым годом становится все труднее подобрать эффективное лечение от инфекционных заболеваний. Особенно важно решение этой проблемы в условиях появления различных пандемий и других угроз биологического характера.

Накопление антибиотиков в окружающей среде, их трансформация и подвижность, а также влияние на экосистемы продолжают изучаться научными коллективами во всем мире [10–17]. В настоящее время выделяются два направления в исследовании антибиотиковой нагрузки на окружающую среду: 1) изучение поведения антибиотиков и их трансформация; 2) влияние антибиотиков на организмы. Следует отметить, что некоторые антибиотики сохраняются долгое время в окружающей среде, особенно в почве. Другие быстро подвергаются распаду, оказывают влияние на рост растений и урожайность сельскохозяйственных культур. Кроме того, появляется много исследований по разработке технологий очистки загрязненных вод, почв от антибиотиков и минимизации рисков для здоровья населения [18–24].

В ИРНТУ в рамках проектного обучения студентов в течение нескольких лет реализуется проект по оценке антибиотиковой нагрузки на объекты окружающей среды в Байкальском регионе и разработке технологий фиторемедиации загрязненных территорий, проектируются устройства для очистки путем высадки на загрязненные поля растений, устойчивых к антибиотикам и способных метаболизировать их. Разрабатываются экспресс-технологии создания газонных покрытий с использованием нетрадиционных фиторемедиантов.

### **Объекты и методы исследования**

Метод фитотестирования широко используется в экологическом мониторинге для оценки токсичности природных и сточных вод, а также биологической активности различных соединений [25].

В данной статье приведены результаты исследования воздействия антибиотиков на ростовые реакции проростков высших растений с целью определения токсического воздействия растворов антибиотиков и выявления их фиторемедиционного потенциала.

В качестве растений тест-объектов исследования использовали проростки горчицы (*Sinapis alba* L.), кресс-салата (*Lepidium sativum* L.) и овса (*Avena sativa*). В качестве тест-параметров рассмотрены длина побегов и длина корней относительно контроля. Выбранные растения являются классическими образцами для биомониторинга и позволяют получить широкий диапазон оценки потенциального отклика на анализируемые образцы антимикробных препаратов.

Растворы антибиотиков приготавливали на отстоянной водопроводной воде. Состав примесей в используемой воде определяли общепринятыми методами. Установлено, что содержание основных компонентов в воде не превышает ПДК для питьевой воды.

Для проведения эксперимента использовали антибиотики из аптечной сети. В работе применяли растворы тетрациклина, ципрофлоксацина, бициллина-3, амоксициллина, цефтриаксона и левомицетин в концентрациях от 1 до 100 мг/л.

Тетрациклин – противобактериальный антибиотик широкого спектра действия. Является представителем линейных конденсированных полициклических соединений. Тетрациклин нарушает клеточный обмен чувствительных микроорганизмов и подавляет синтез белка.

Ципрофлоксацин – антибиотик широкого спектра действия, относится к группе фторхинолонов – фторсодержащих производных хинолонкарбоновых кислот.

Амоксициллин – относится к группе полусинтетических пенициллинов. Амоксициллин представляет собой аминобензиловый пенициллин, полусинтетический антибиотик широкого спектра действия, обладающий бактерицидным действием в результате ингибирования синтеза бактериальной клеточной стенки.

Бициллин-3 представляет собой антибиотик пенициллиновой группы, способный оказывать продолжительное действие в борьбе с бактериальной флорой различного происхождения.

Цефтриаксон – бактерицидный антибиотик из группы цефалоспоринов. Он угнетает синтез клеточных мембран, применяется в медицине для лечения инфекций центральной нервной системы и желудочно-кишечного тракта. Используется по отношению к пенициллинустойчивым бактериям.

Левомицетин (хлорамфеникол) относится к группе амфениколов, обладает широким антимикробным действием, подавляет развитие грамотрицательных и грамположительных бактерий и многих других возбудителей заболеваний. Влияет на синтез белка в бактериальной клетке [26].

Фитотоксический эффект определяли путем сопоставления показателей тест-функции (длины корней и длины побегов) опытных и контрольных семян. Сначала по формулам (1) определяли величину тест-параметра как среднюю длину корней ( $ТП_k$ ) и среднюю длину побегов ( $ТП_{поб}$ ), мм, измеренных в трех параллельных экспериментах. Аналогично рассчитывали тест-параметры длины корней и побегов для контрольных опытов ( $ТП_{контр.к}$  и  $ТП_{контр.поб.}$ ):

$$ТП_k = \frac{\sum ТП_{ik}}{n}; ТП_{поб} = \frac{\sum ТП_{iпоб}}{n}, \quad (1)$$

где  $ТП_{ik}$  – максимальная длина корня каждого семени, мм;  $ТП_{iпоб}$  – максимальная длина побега каждого семени, мм;  $n$  – общее количество семян.

Величина показателя фитотоксического эффекта (ТЭ) на выбранные тест-параметры вычислялась по формулам (2) для совокупности длины корней (ТЭ<sub>к</sub>) и побегов (ТЭ<sub>поб</sub>).

$$ТЭ_k = \frac{ТП_{контр.к} - ТП_k}{ТП_{контр.к}} \cdot 100; ТЭ_{поб} = \frac{ТП_{контр.поб} - ТП_{поб}}{ТП_{контр.поб}} \cdot 100. \quad (2)$$

Рассчитанные показатели фитотоксического эффекта приведены в табл. 1–3.

Фитотестирование проводили в чашках Петри. На фильтровальную бумагу помещали по 20 семян тест-культуры, обрабатывали 15 мл раствора антибиотика соответствующей концентрации и выдерживали при температуре 18–20 °С в течение 7 суток. Контрольные опыты проводился в тех же условиях без добавления антибиотика. Все анализы проводили по три раза.

Статистическая обработка выполнена с использованием надстройки Excel «Пакет анализа данных».

## Результаты и обсуждение

В табл. 1 приведены данные фитотоксических эффектов антибиотиков на корни и побеги семян горчицы (*Sinapis alba* L.). Из представленных данных следует, что фитотоксические эффекты в значительной мере зависят от концентрации антибиотиков в растворе.

Наиболее токсичными для побегов и корней горчицы являются ципрофлоксацин, тетрациклин и левомицетин в больших концентрациях (более 10 мг/л). Бициллин-3, амоксициллин и цефтриаксон менее токсичны для горчицы. При небольших концентрациях эти антибиотики пенициллинового и цефалоспоринового рядов являются стимуляторами роста побегов (рис. 1).

Для кресс-салата (*Lepidium sativum* L.) (табл. 2) все антибиотики, кроме тетрациклина и левомицетина в больших концентрациях, являются относительно малотоксичными (длина побегов составляет более 80 % от контроля). Очевидная закономерность токсичного влияния антибиотиков наблюдается для корней кресс-салата. Тетрациклин, ципрофлоксацин и левомицетин

токсичны для роста корней кресс-салата при всех концентрациях, в то время как амоксициллин, бициллин-3 и цефтриаксон малотоксичны (рис. 2).

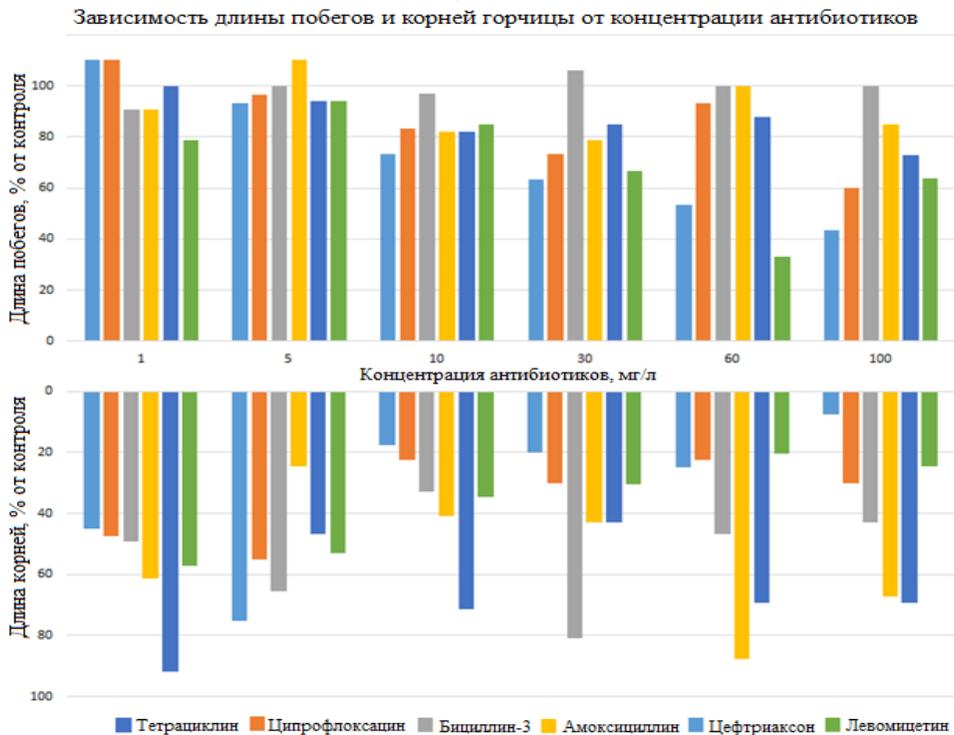
Таблица 1. Токсический эффект (ТЭ) различных антибиотиков на корни и побеги проросших семян горчицы (*Sinapis alba* L.)

Концентрация антибиотика, мг/л	Тетрациклин	Ципрофлоксацин	Бициллин-3	Амоксициллин	Цефтриаксон	Левомецетин
Токсический эффект на побеги (ТЭ <sub>поб</sub> )						
1	-10,0	-10,0	9,1	9,1	0,0	21,2
5	6,7	3,3	0,0	-10,0	6,1	6,1
10	26,7	16,7	3,0	18,2	18,2	15,2
30	36,7	26,7	-6,1	21,2	15,2	33,3
60	46,7	6,7	0,0	0,0	12,1	66,7
100	56,7	40,0	0,0	15,2	27,3	36,4
Токсический эффект на корни (ТЭ <sub>к</sub> )						
1	55,0	52,5	51,0	38,8	8,2	42,9
5	25,0	45,0	34,7	75,5	53,1	46,9
10	82,5	77,5	67,3	59,2	28,6	65,3
30	80,0	70,0	14,3	57,1	57,1	69,4
60	75,0	77,5	53,1	12,2	30,6	79,6
100	92,5	70,0	57,1	32,7	30,6	75,5

Table 1. Toxic effect (TE) of various antibiotics on the roots and shoots of germinated mustard seeds (*Sinapis alba* L.)

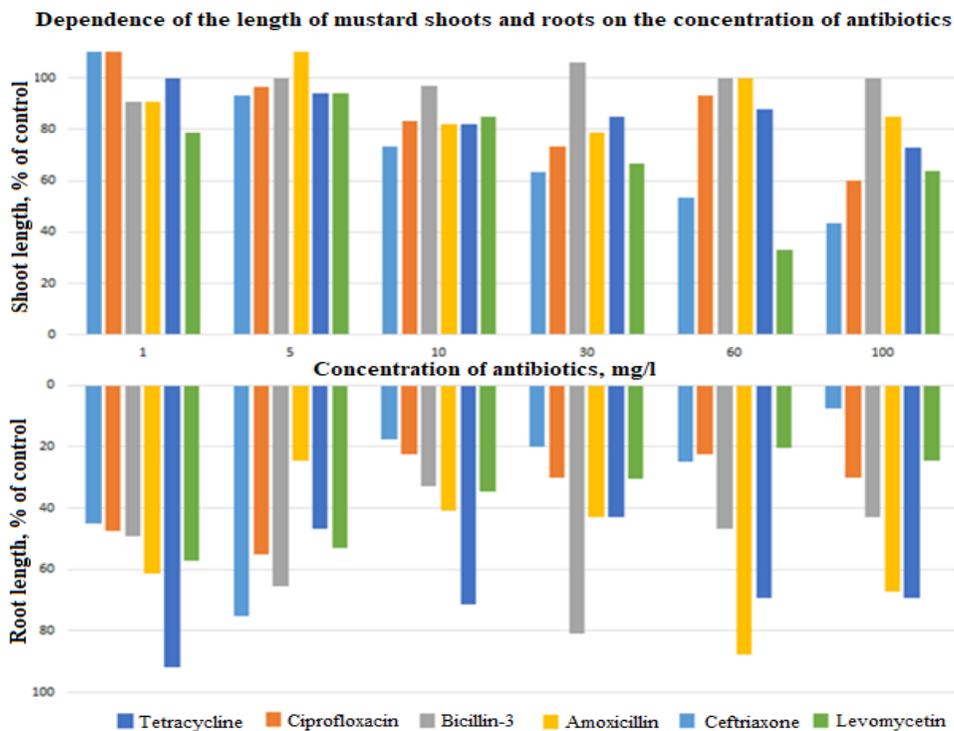
Antibiotic concentration, mg/l	Tetracycline	Ciprofloxacin	Bicillin-3	Amoxicillin	Ceftriaxone	Levomecetin
Toxic effect on shoots (TE <sub>shoot</sub> )						
1	-10.0	-10.0	9.1	9.1	0.0	21.2
5	6.7	3.3	0.0	-10.0	6.1	6.1
10	26.7	16.7	3.0	18.2	18.2	15.2
30	36.7	26.7	-6.1	21.2	15.2	33.3
60	46.7	6.7	0.0	0.0	12.1	66.7
100	56.7	40.0	0.0	15.2	27.3	36.4
Toxic effect on roots (TE <sub>root</sub> )						
1	55.0	52.5	51.0	38.8	8.2	42.9
5	25.0	45.0	34.7	75.5	53.1	46.9
10	82.5	77.5	67.3	59.2	28.6	65.3
30	80.0	70.0	14.3	57.1	57.1	69.4
60	75.0	77.5	53.1	12.2	30.6	79.6
100	92.5	70.0	57.1	32.7	30.6	75.5

Влияние антибиотиков на проростки овса посевного (*Avena sativa*) (табл. 3) заключается в том, что длина побегов последовательно снижается по мере увеличения концентрации всех антибиотиков. При этом максимальное снижение длины побегов наблюдается в случае тетрациклина, ципрофлоксацина и левомецетина. Длина корней растения также последовательно уменьшается по мере возрастания концентрации этих антибиотиков. Однако длина корней мало изменяется при увеличении концентрации амоксициллина, бициллина-3 и цефтриаксона и составляет 70–80 % от контрольного (рис. 3).



**Рис. 1. Динамика ростовых показателей семян горчицы (*Sinapis alba* L.)**

Источник: составлено авторами.



**Figure 1. Dynamics of growth indicators of mustard seeds (*Sinapis alba* L.)**

Source: compiled by the authors.

Таблица 2. Токсический эффект (ТЭ) различных антибиотиков на корни и побеги проросших семян кресс-салата (*Lepidium sativum* L.)

Концентрация антибиотика, мг/л	Тетрациклин	Ципрофлоксацин	Бициллин-3	Амоксициллин	Цефтриаксон	Левомецетин
Токсический эффект на побеги ТЭ <sub>поб</sub>						
1	13,6	-2,3	2,5	7,5	10,0	12,5
5	4,5	11,4	-10,0	15,0	2,5	-5,0
10	4,5	2,3	-5,0	7,5	0,0	70,0
30	6,8	0,0	5,0	12,5	10,0	-10,0
60	36,4	2,3	10,0	7,5	15,0	0,0
100	68,2	-2,3	5,0	20,0	7,5	-7,5
Токсический эффект на корни ТЭ <sub>к</sub>						
1	50,7	59,7	11,9	-5,9	-4,0	23,8
5	81,3	79,1	3,0	-3,0	8,9	63,4
10	83,6	76,9	2,0	-7,9	-11,9	77,2
30	85,8	76,1	7,0	5,9	4,0	83,2
60	90,3	82,1	39,6	27,7	6,9	84,2
100	94,0	82,1	11,9	-4,0	-2,0	83,2

Table 2. Toxic effect (TE) of various antibiotics on the roots and shoots of sprouted cress seeds (*Lepidium sativum* L.)

Antibiotic concentration, mg/l	Tetracycline	Ciprofloxacin	Bicillin-3	Amoxicillin	Ceftriaxone	Levomecetin
Toxic effect on shoots TE <sub>shoot</sub>						
1	13.6	-2.3	2.5	7.5	10.0	12.5
5	4.5	11.4	-10.0	15.0	2.5	-5.0
10	4.5	2.3	-5.0	7.5	0.0	70.0
30	6.8	0.0	5.0	12.5	10.0	-10.0
60	36.4	2.3	10.0	7.5	15.0	0.0
100	68.2	-2.3	5.0	20.0	7.5	-7.5
Toxic effect on roots TE <sub>root</sub>						
1	50.7	59.7	11.9	-5.9	-4.0	23.8
5	81.3	79.1	3.0	-3.0	8.9	63.4
10	83.6	76.9	2.0	-7.9	-11.9	77.2
30	85.8	76.1	7.0	5.9	4.0	83.2
60	90.3	82.1	39.6	27.7	6.9	84.2
100	94.0	82.1	11.9	-4.0	-2.0	83.2

Таким образом, фитотестирование для всех рассмотренных растений показало, что антибиотики β-лактаминового (пенициллинового) ряда – бициллин-3 и амоксициллин – являются для растений наименее токсичными из всех рассмотренных препаратов. Относительно невысокую токсичность проявляет цефтриаксон – антибиотик цефалоспориновой группы. Относительно невысокая токсичность цефтриаксона согласуется с данными других авторов [25]. Наиболее токсичными являются тетрациклин, ципрофлоксацин и левомецетин.

Установлено, что для всех изученных растений длина корней является более чувствительным тест-параметром фитотестирования для оценки биологических эффектов антибиотиков.

Зависимость длины побегов и корней кресс-салата от концентрации антибиотиков

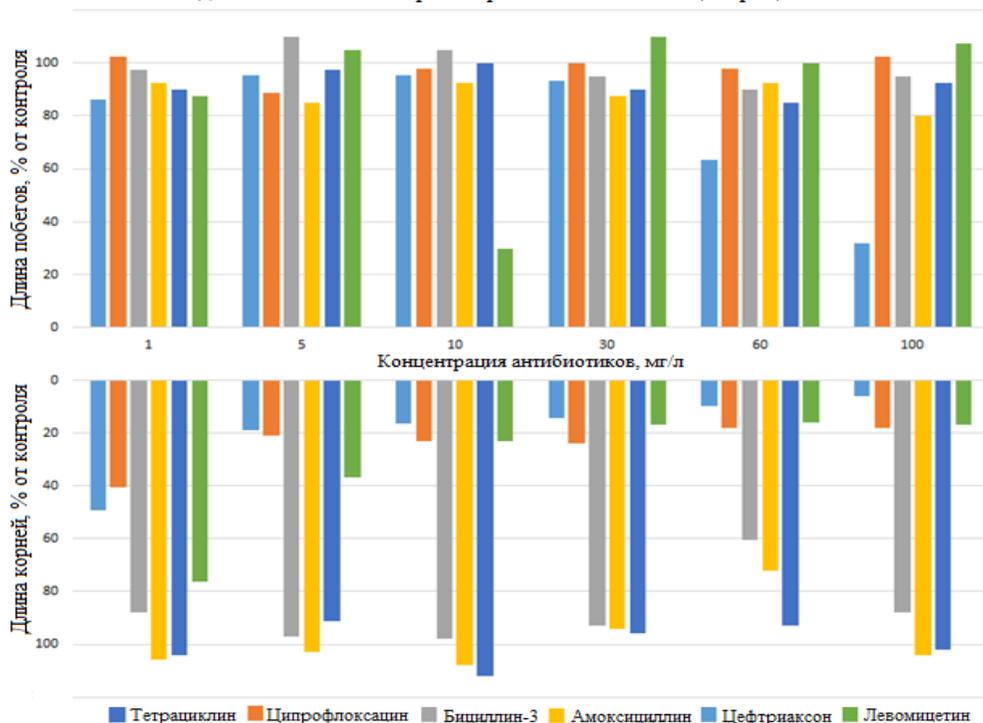


Рис. 2. Динамика ростовых показателей семян кресс-салата (*Lepidium sativum* L.)  
Источник: составлено авторами.

Dependence of the length of watercress shoots and roots on the concentration of antibiotics

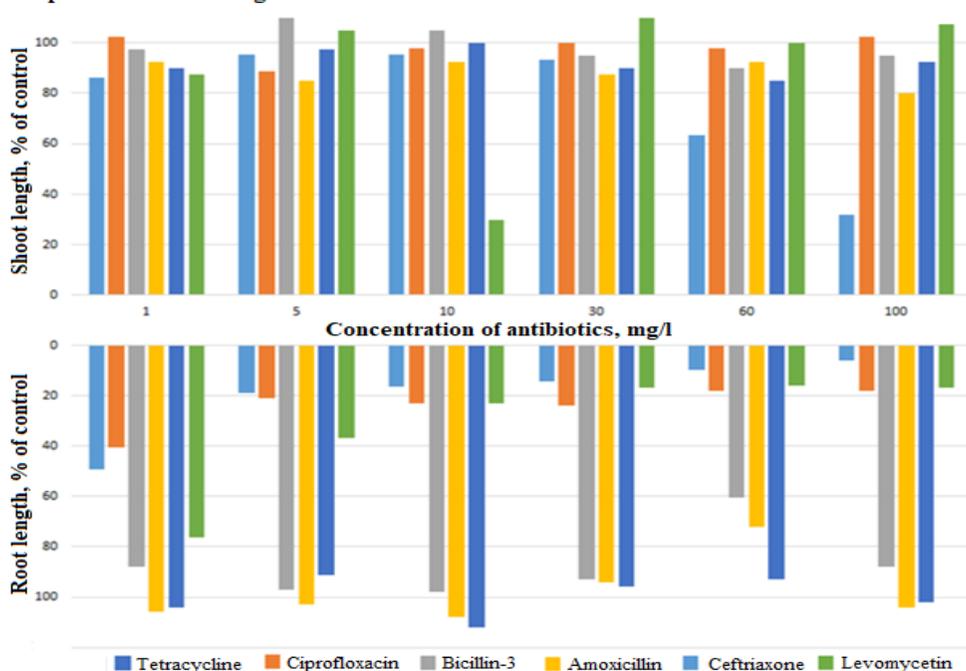


Figure 2. Dynamics of growth indicators of watercress seeds (*Lepidium sativum* L.)  
Source: compiled by the authors.

Таблица 3. Токсический эффект (ТЭ) различных антибиотиков на корни и побеги и проросших семян овса посевного (*Avena sativa*)

Концентрация антибиотика, мг/л	Тетрациклин	Ципрофлоксацин	Бициллин-3	Амоксициллин	Цефтриаксон	Левомецетин
Токсический эффект на побеги (ТЭ <sub>поб</sub> )						
1	-2,8	13,0	0,0	10,3	13,1	44,9
5	-4,6	-0,9	0,9	22,4	15,9	10,3
10	7,4	-8,3	13,1	13,1	16,8	11,2
30	30,6	13,0	17,8	21,5	1,9	21,5
60	49,1	27,8	7,5	12,1	5,6	32,7
100	56,5	46,3	21,5	34,6	13,1	34,6
Токсический эффект на корни (ТЭ <sub>к</sub> )						
1	9,4	39,1	0,0	16,7	16,7	64,4
5	42,2	39,1	6,7	4,4	3,3	46,7
10	53,1	53,1	18,9	31,1	10,0	58,9
30	75,0	60,9	13,3	18,9	16,7	72,2
60	79,9	64,1	12,2	26,7	13,3	83,3
100	85,9	65,6	40,0	15,6	32,2	87,8

Table 3. Toxic effect (TE) of various antibiotics on the roots and shoots of germinated seeds of oats (*Avena sativa*)

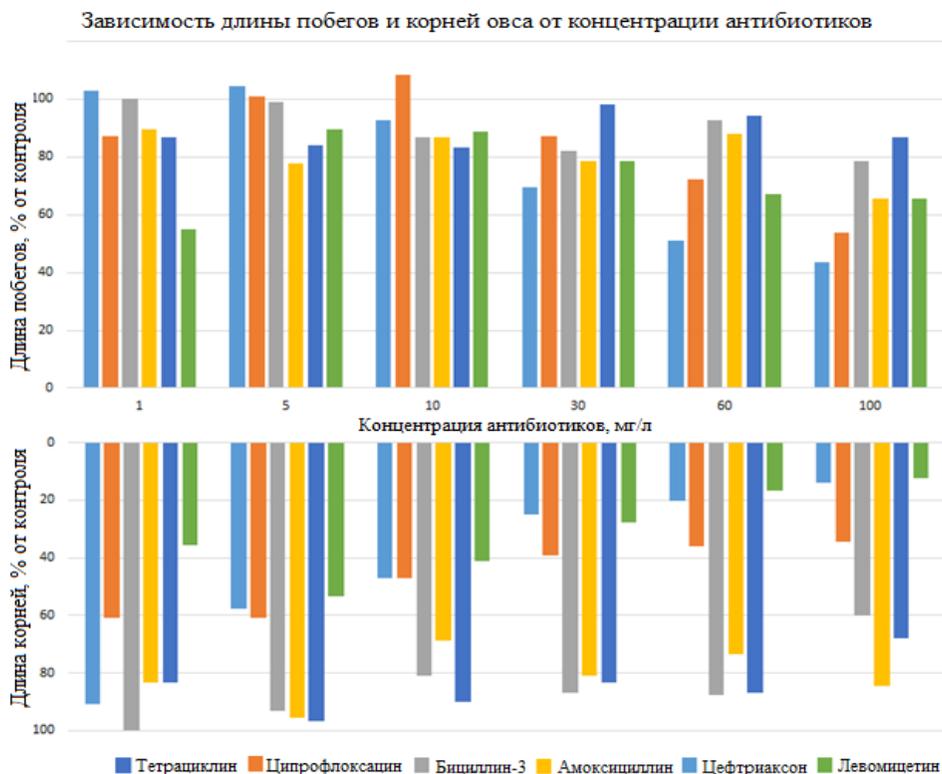
Antibiotic concentration, mg/l	Tetracycline	Ciprofloxacin	Bicillin-3	Amoxicillin	Ceftriaxone	Levomecetin
Toxic effect on shoots (TE <sub>shoots</sub> )						
1	-2.8	13.0	0.0	10.3	13.1	44.9
5	-4.6	-0.9	0.9	22.4	15.9	10.3
10	7.4	-8.3	13.1	13.1	16.8	11.2
30	30.6	13.0	17.8	21.5	1.9	21.5
60	49.1	27.8	7.5	12.1	5.6	32.7
100	56.5	46.3	21.5	34.6	13.1	34.6
Toxic effect on roots (TE <sub>roots</sub> )						
1	9.4	39.1	0.0	16.7	16.7	64.4
5	42.2	39.1	6.7	4.4	3.3	46.7
10	53.1	53.1	18.9	31.1	10.0	58.9
30	75.0	60.9	13.3	18.9	16.7	72.2
60	79.9	64.1	12.2	26.7	13.3	83.3
100	85.9	65.6	40.0	15.6	32.2	87.8

## Заключение

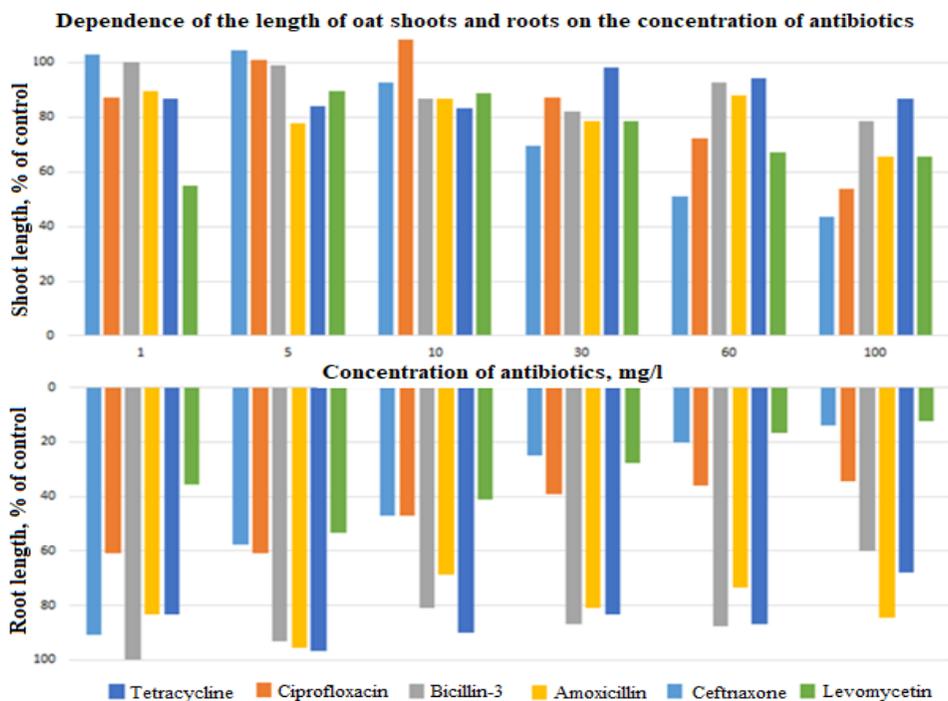
Таким образом установлено, что в качестве потенциальных фиторемедиантов для создания очистки от антибиотиков пенициллинового ряда и цефалоспориновой группы можно рекомендовать горчицу и овес при создании гидропонных газонных покрытий.

Антибиотики тетрациклинового ряда оказались более токсичными и необходимо продолжить поиск растений, перспективных для технологии биоремедиации.

В качестве субстратов для выращивания гидропонных вариантов ковровой дернины можно использовать вермикулит, древесные опилки, хвою и кору хвойных деревьев, водные растения. Исследования в данном направлении продолжаются, отрабатываются технологии выращивания и укладки газонов.



**Рис. 3. Динамика ростовых показателей семян овса посевного (*Avena sativa*)**  
 Источник: составлено авторами.



**Figure 3. Dynamics of growth indicators of seeds of oats (*Avena sativa*)**  
 Source: compiled by the authors.

### Список литературы

- [1] *Баренбойм Г.М.* Загрязнение природных вод лекарствами. М.: Наука, 2015.
- [2] *Водяницкий Ю.Н., Яковлев А.С.* Загрязнение почв и почвенно-грунтовых вод новыми органическими микрополлютантами // *Почвоведение*. 2016. № 5. С. 609–619.
- [3] *Клиническая фармакология* / под ред. В.Г. Кукеса, Д.А. Сычева. 6-е изд. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021.
- [4] *Kraemer S.A., Ramachandran A., Perron G.G.* Antibiotic pollution in the environment: from microbial ecology to public policy // *Microorganisms*. 2019. № 7. P. 180. <http://doi.org/10.3390/microorganisms7060180>
- [5] *Zheng D., Yin G., Liu M., Chen C., Jiang Y., Hou L., Zheng Y.* A systematic review of antibiotics and antibiotic resistance genes in estuarine and coastal environments // *Science of The Total Environment*. 2021. No. 777 (2). P. 146009. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146009>
- [6] *De Carvalho J.F., Moraes J.E.F.* Treatment of simulated industrial pharmaceutical wastewater containing amoxicillin antibiotic via advanced oxidation processes // *Environmental Technology*. 2021. Vol. 42 (26). P. 4145–4157. <http://doi.org/10.1080/09593330.2020.1745296>
- [7] *Rooklidge S.J.* Environmental antimicrobial contamination from terraccumulation and diffuse pollution pathways // *Science of the Total Environment*. 2004. Vol. 325. P. 1–13. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.11.007>
- [8] *Zhu Y.G., Johnson T.A., Su, J.Q., Qiao M., Guo G.X., Stedtfeld R.D. et al.* Diverse and abundant antibiotic resistance genes in chinese swine farms // *PNAS*. 2013. Vol. 110(9). P. 3435–3440. <http://doi.org/10.1073/pnas.1222743110>
- [9] *Datta R., Das P., Smith S., Punamiya P., Ramanathan D.M., Reddy R., Sarkar D.* Phytoremediation potential of vetiver grass [*Chrysopogon zizanioides* (L.)] for tetracycline // *Int J Phytoremediation*. 2013. Vol. 15(4). P. 343–351. <http://doi.org/10.1080/15226514.2012.702803>
- [10] *Rodriguez-Mozaz S., Chamorro S., Marti E., Huerta B., Gros M., Sánchez-Melsió A. et al.* Occurrence of antibiotics and antibiotic resistance genes in hospital and urban wastewaters and their impact on the receiving river // *Water Research*. 2015. Vol. 69. P. 234–242. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2014.11.021>
- [11] *Danner M.-C., Robertson A., Behrends V., Reiss J.* Antibiotic pollution in surface fresh waters: Occurrence and effects // *Science of The Total Environment*. 10 May 2019. Vol. 664. P. 793–804 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.406>
- [12] *Boxall A., Wilkinson J.* Identifying hotspots of resistance selection from antibiotic exposure in urban environments around the world // *SETAC Europe 29th Annual Meeting, Helsinki, Finland*. May 27, 2019.
- [13] *Zhi C., Zhou J., Yang F., Tian L., Zhang K.* Systematic analysis of occurrence and variation tendency about 58 typical veterinary antibiotics during animal wastewater disposal processes in Tianjin, China // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. V. 165. P. 376–385. <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.101>
- [14] *Zhang Y., Wang B., Cagnetta G., Duan L., Yang J., Deng S., et al.* Typical pharmaceuticals in major WWTPs in Beijing, China: Occurrence, load pattern and calculation reliability // *Water Research*. 2018. Vol. 140. P. 291–300. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2018.04.056>
- [15] *Li Z., Zheng T., Li M., Liu X.* Organic contaminants in the effluent of Chinese wastewater treatment plants // *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 25. P. 26852–26860. <http://doi.org/10.1007/s11356-018-2840-2>

- [16] Zhanga M., Liu Y., Zhao J., Liu W., He L., Zhang J. et al. Occurrence, fate and mass loadings of antibiotics in two swine wastewater treatment systems // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 639. P. 1421–1431. <http://doi.org/10.1016/j.amjcard.2008.02.056>
- [17] Williams M., Kookana R.S., Mehta A., Yadav S.K., Taylor B.L., Maheshwari B. Emerging contaminants in a river receiving untreated wastewater from an Indian urban centre // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 647. P. 1256–1265. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.084>
- [18] Шуварин М.В., Борисова Е.Е., Ганин Д.В., Шуварина Н.А., Леханов И.А. Экологические проблемы утилизации отходов животноводства // *Вестник НГИЭИ*. 2020. № 4 (107). С. 101–112. <http://doi.org/10.24411/2227-9407-2020-10068>
- [19] Гальченко Д.С., Смирнова М.Г., Соколова Л.И. Использование сорбента на основе природного алюмосиликата (вермикулита) для очистки сточных вод от антибиотиков // *XXI век. Техносферная безопасность*. 2021. Т. 6. № 4. С. 387–394. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-4-387-394>
- [20] Соколова Л.И., Гальченко Д.С., Смирнова М.Г., Блиновская Я.Ю. Использование природных алюмосиликатов для очистки сточных вод от антибиотиков различных классов // *Журнал гидрометеорологии и экологии (Труды Российского государственного гидрометеорологического университета)*. 2021. № 62. С. 113–126. <http://doi.org/10.33933/2074-2762-2021-62-113-126>
- [21] Новикова Ю.А., Маркова О.Л., Фридман К.Б. Основные направления минимизации рисков здоровью населения, обусловленных загрязнением поверхностных источников питьевого водоснабжения лекарственными средствами // *Гигиена и санитария*. 2018. № 97(12). С. 1166–1170. <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1166-1170>
- [22] Тимофеева С.С., Шуплецова И.Д. Прогнозирование экологических рисков микрополлютантов в Байкальском регионе // *XXI век. Техносферная безопасность*. 2020. № 5 (3). С. 269–283. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-3-269-283>
- [23] Тимофеева С.С., Гудилова О.С. Антибиотики в окружающей среде: состояние и проблемы // *XXI век. Техносферная безопасность*. 2021. Т. 6. № 3. С. 251–265. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-3-251-26>
- [24] Тимофеева С.С., Тимофеев С.С., Тюкалова О.В. Оценка потенциальных рисков для здоровья населения Байкальского региона при употреблении продуктов, загрязненных антибиотиками // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2022. Т. 30. № 3. С. 312–325. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-312-325>
- [25] Чеснокова С.М., Савельев О.В. Оценка устойчивости антибиотиков различных групп в водной среде методом биотестирования // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2020. № 9–1 (99). С. 101–110. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.99.9.018>
- [26] Егоров Н.С. Основы учения об антибиотиках: учебник. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ; Наука, 2004. 528 с.

## References

- [1] Barenboim GM. *Pollution of natural waters by medicines*. Moscow: Nauka; 2015. (In Russ.)
- [2] Vodyanitskii YuN, Yakovlev AS. Contamination of soils and soil-groundwater with new organic micro pollutants. *Soil Science*. 2016;5:609–619. (In Russ.)

- [3] Kukec VG, Sychev DA (eds.) *Clinical pharmacology*. 6th ed. Moscow: GEHOTAR-Media, 2021. (In Russ.)
- [4] Kraemer SA, Ramachandran A, Perron GG. Antibiotic pollution in the environment: from microbial ecology to public policy. *Microorganisms*. 2019;7:180. <http://doi.org/10.3390/microorganisms7060180>
- [5] Zheng D, Yin G, Liu M, Chen C, Jiang Y, Hou L, et al. A systematic review of antibiotics and antibiotic resistance genes in estuarine and coastal environments. *Science of The Total Environment*. 2021;777(2):146009. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.146009>
- [6] De Carvalho JF, Moraes JEF. Treatment of simulated industrial pharmaceutical wastewater containing amoxicillin antibiotic via advanced oxidation processes. *Environmental Technology*. 2021;42(26):4145–4157. <http://doi.org/10.1080/09593330.2020.1745296>
- [7] Rooklidge SJ. Environmental antimicrobial contamination from terraccumulation and diffuse pollution pathways. *Science of the Total Environment*. 2004;325:1–13. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.11.007>
- [8] Zhu YG, Johnson TA, Su JQ, Qiao M, Guo GX, Stedtfeld RD, et al. Diverse and abundant antibiotic resistance genes in Chinese swine farms. *PNAS*. 2013;110(9):3435–3440. <http://doi.org/10.1073/pnas.1222743110>
- [9] Datta R, Das P, Smith S, Punamiya P, Ramanathan DM, Reddy R, Sarkar D. Phytoremediation potential of vetiver grass [*Chrysopogon zizanioides* (L.)] for tetracycline. *Int J Phytoremediation*. 2013;15(4):343–351. <http://doi.org/10.1080/15226514.2012.702803>
- [10] Rodriguez-Mozaz S, Chamorro S, Marti E, Huerta B, Gros M, Sánchez-Melsió, A, et al. Occurrence of antibiotics and antibiotic resistance genes in hospital and urban wastewaters and their impact on the receiving river. *Water Research*. 2015;69:234–242. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2014.11.021>
- [11] Danner M-C, Anne Robertson A., Volker Behrends V., Reiss J. Antibiotic pollution in surface fresh waters: Occurrence and effects. *Science of The Total Environment*. 2019;664(10):793–804. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.406>
- [12] Boxall A, Wilkinson J. Identifying hotspots of resistance selection from antibiotic exposure in urban environments around the world. *SETAC Europe 29th Annual Meeting*, Helsinki, Finland. May 27, 2019.
- [13] Zhi C, Zhou J, Yang F, Tian L, Zhang K. Systematic analysis of occurrence and variation tendency about 58 typical veterinary antibiotics during animal wastewater disposal processes in Tianjin, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018;165:376–385. <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.101>
- [14] Zhang Y, Wang B, Cagnetta G, Duan L, Yang J, Deng S, et al. Typical pharmaceuticals in major WWTPs in Beijing, China: Occurrence, load pattern and calculation reliability. *Water Research*. 2018;140:291–300. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2018.04.056>
- [15] Li Z, Zheng T, Li M, Liu X. Organic contaminants in the effluent of Chinese wastewater treatment plants. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25:26852–26860. <http://doi.org/10.1007/s11356-018-2840-2>
- [16] Zhanga M, Liu Y, Zhao J, Liu W, He L, Zhang J, et al. Occurrence, fate and mass loadings of antibiotics in two swine wastewater treatment systems. *Science of the Total Environment*. 2018;639:1421–1431. <http://doi.org/10.1016/j.amjcard.2008.02.056>
- [17] Williams M, Kookana RS, Mehta A, Yadav SK, Taylor BL, Maheshwari B. Emerging contaminants in a river receiving untreated wastewater from an Indian urban centre. *Science of the Total Environment*. 2019;647:1256–1265. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.084>

- [18] Shuvarin MV, Borisova EE, Ganin DV, Shuvarina NA, Lekhanov IA. Экологические проблемы утилизации отходов животноводства. *Vestnik NGIEI*. 2020;4(107):101–112. <http://doi.org/10.24411/2227-9407-2020-10068>
- [19] Galchenko DS, Smirnova MG, Sokolova LI. Using natural aluminosilicate (vermiculite) sorbent for purifying waste water from antibiotics. *XXI Century. Technosphere Safety*. 2021;6(4):387–394. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-4-387-394>. (In Russ.)
- [20] Sokolova LI, Gal'chenko DS, Smirnova MG, Blinovskaya YaYu. Using of natural aluminosilicates for clean wastewater from antibiotics various classes. *Gidrometeorologiya i Ekologiya. Journal of Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University)*. 2021;62:113–126. <http://doi.org/10.33933/2074-2762-2021-62-113-126> (In Russ.).
- [21] Novikova YuA, Markova OL, Fridman KB. The main directions of minimizing risks to public health caused by contamination of surface sources of drinking water supply with drugs. *Gigiena i sanitariya*. 2018;97(12):1166–1170. <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1166-1170>. (In Russ.).
- [22] Timofeeva SS, Shupletsova ID. Forecasting environmental risks of micro-pollutants in the Baikal region. *XXI century. Technosphere safety*. 2020;5(3):269–283. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-3-269-283> (In Russ.).
- [23] Timofeeva SS, Gudilova OS. Antibiotics in the environment: state and problems. *XXI century. Technosphere safety*. 2021;6(3):251–265. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-3-251-265> (In Russ.).
- [24] Timofeeva SS, Timofeev SS, Tyukalova OV. Assessment of potential risks to the health of the population of the Baikal region when using products contaminated with antibiotics. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):312–325. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-312-325>. (In Russ.).
- [25] Chesnokova SM, Savel'ev OV. Assessing the antibiotic resistance of various groups in water environment through biotesting. *International Research Journal*. 2020;9–1(99):101–110. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.99.9.018>. (In Russ.).
- [26] Egorov NS. Fundamentals of learning about antibiotics. 6th ed. Moscow: Izd. MGU. Nauka; 2004. (In Russ.).

### Сведения об авторах:

Тимофеева Светлана Семеновна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83. ORCID: 0000-0001-8427-3732, eLibrary SPIN-код: 8427-9622. E-mail: sstimofeeva@mail.ru

Тюкалова Ольга Васильевна, кандидат химических наук, доцент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83. ORCID: 0000-0002-2464-261X, eLibrary SPIN-код: 6806-7565. E-mail: olgaburlak1@yandex.ru

Тимофеев Семён Сергеевич, старший преподаватель кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83. ORCID: 0000-0001-7085-9468, eLibrary SPIN-код: 2694-7070. E-mail: sstimofeeva@mail.ru

**Bio notes:**

*Svetlana S. Timofeeva*, D. of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontova St, Irkutsk 664074, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8427-3732, eLibrary SPIN-code: 8427-9622. E-mail: sstimofeeva@mail.ru

*Olga V. Tyukalova*, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontova St, Irkutsk 664074, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2464-261X, eLibrary SPIN-code: 6806-7565. E-mail: olgaburlak1@yandex.ru

*Semyon S. Timofeev*, Senior Lecturer of the Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontova St, Irkutsk 664074, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-7085-9468; eLibrary SPIN-code: 2694-70. E-mail: sstimofeeva@mail.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-572-582

EDN: SZYTPTV

UDC 504.75

Research article / Научная статья

## Biosafety evaluation for some remediants and their effectiveness in detoxication peaty soils with heavy metals

Cesar C. Zambrano-Gary<sup>1</sup>, Yuliy D. Sergeeva<sup>2</sup>,  
Vera A. Terekhova<sup>2</sup> , Anatoly A. Kirichuk<sup>1</sup>  

<sup>1</sup>RUDN University, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Moscow State University, Moscow, Russian Federation

kirichuk-aa@rudn.ru

**Abstract.** Contamination soils with heavy metals is a problem with high interest, because contamination with heavy metals affect food chains and human health by intake and accumulation in living beings. Although all of these methods not quite effective for recovering contaminated environments, however they are still good options for recovering contaminated soils. In this research evaluated the recovering potential in different concentrations and combinations of dolomite with additives like zerovalent iron, Fe-Mn concretions, iron powder, ferrihydrite and iron nanoparticles. With these treatments, achieved reduction of concentration of all heavy metals founded (Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn) and also reduction in toxicity, confirmed with a biotest with *Daphnia magna*. These findings confirms that the optimal remediants are nanoparticles with biochar and iron powder with and without biochar.

**Keywords:** remediation soils, heavy metals, biotest, ecotoxicity, soil's contamination

**Acknowledgments.** The authors thank Sophia Kuznetsova for her help in Statistical analyses Anastasia Kiryushina for her help in phytotests, of this work and Alexander Neaman for providing soil samples.

**Authors' contributions:** C.C. Zambrano-Gary – data collection, data analysis and interpretation, paper preparation; Yu.D. Sergeeva – data collection, data analysis and interpretation; V.A. Terekhova – the concept or design of the article, analysis and interpretation of data, critical revision of the article; A.A. Kirichuk – analysis and interpretation of data, critical revision of the article, final approval of the version for publication.

**Article history:** received 12.08.2023; revised 14.09.2023; accepted 15.09.2023.

© Zambrano-Gary C.C., Sergeeva Yu.D., Terekhova V.A., Kirichuk A.A., 2023



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

**For citation:** Zambrano-Gary CC, Sergeeva YuD, Terekhova VA, Kirichuk AA. Biosafety evaluation for some remediants and their effectiveness in detoxication peaty soils with heavy metals. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):572–582. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-572-582>

## Оценка биобезопасности некоторых ремедиантов и их эффективности при детоксикации торфяных почв тяжелыми металлами

С.К. Самбрано-Гари<sup>1</sup>, Ю.Д. Сергеева<sup>2</sup>,  
В.А. Терехова<sup>2</sup> , А.А. Киричук<sup>1</sup>  

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Московский государственный университет, Москва, Российская Федерация  
kirichuk-aa@rudn.ru

**Аннотация.** Почвенное загрязнение тяжелыми металлами – крайне важная проблема, поскольку этот вид загрязнения влияет на пищевые цепи и в конечном итоге на человеческое здоровье из-за аккумуляции в живых организмах. В настоящее время существуют различные технологии и методы восстановления экосистем. Хотя эти методы не всегда достаточно эффективны для устранения загрязнения окружающей среды, они вполне приемлемы для почвенной ремедиации. В исследовании был протестирован восстановительный потенциал доломита в различных концентрациях, в сочетании с такими добавками, как ноль-валентное железо, конкреции Fe-Mn, железный порошок, ферригидрит и наночастицы металлов. Предложенная схема восстановления почвы привела к снижению концентрации всех тяжелых металлов в почвенных пробах (Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn), а также уменьшению токсичности, что было подтверждено биотестом с *Daphnia magna*. Эти исследования показывают, что оптимальными ремедиантами являются наночастицы с биочаром и железный порошок с биочаром и без него.

**Ключевые слова:** ремедиация почв, тяжелые металлы, биотест, экотоксичность, почвенное загрязнение

**Благодарности.** Авторы благодарят Софью Кузнецову за помощь в статистическом анализе, Анастасию Кириюшину за помощь в фитотестах, данной работе и Александра Неамана за предоставление образцов почвы.

**Вклад авторов:** С.К. Самбрано-Гари – сбор данных, анализ и интерпретация данных, подготовка статьи. Ю.Д. Сергеева – сбор данных, анализ и интерпретация данных. В.А. Терехова – концепция или дизайн статьи, анализ и интерпретация данных, критическая доработка статьи. А.А. Киричук – анализ и интерпретация данных, критическая доработка статьи, окончательное утверждение версии к публикации.

**История статьи:** поступила в редакцию 12.08.2023; доработана после рецензирования 14.09.2023; принята к публикации 15.09.2023.

**Для цитирования:** *Zambrano-Gary C.C., Sergeeva Yu.D., Terekhova V.A., Kirichuk A.A.* Biosafety evaluation for some remediants and their effectiveness in detoxication peaty soils with heavy metals // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 572–582. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-572-582>

## Introduction

The contamination soils by heavy metals is a serious problem that has increased due to human activities, such as mining, metallurgical industry, automobile's emissions, indiscriminate waste disposal activities, agriculture and natural discharge of some aquifers. Although it does have a lot of benefits for society, thanks to economic development, there are also a lot of risks for environment [1; 3; 6; 9; 11; 14].

Heavy metals are a group of toxic elements with high biological and industrial importance, that could be uptake by food crops and vegetables, affecting food chains and as a result human health by intake of contaminated food. In general, heavy metals have a specific density  $> 5 \text{ g/cm}^3$ , that is why their excessive accumulation in soils may cause soil deterioration and generate other environmental problems, like disturbances in soil microbiota and alterations in the metabolic activities of these microorganisms [4; 7; 12].

Since the heavy metals tends to accumulate themselves in the soil's surface, it is make them available to be absorbed by plants roots. Plants absorb and accumulate these elements in aerial parts, such as stems, foils and fruits. While moving through trophic chains heavy metals may be affecting on biosafety and food quality [4; 7; 12].

The heavy metals could be released to environment by natural processes (like weathering of underlying bedrock) or by human exploitation (refining and mining, pesticides using, incorrect disposal of batteries, solid wastes irrigation with wastewater, use of fertilizers and exploitation of industrial tanneries). Oppose to organic contaminants, the heavy metals are hard to be biologically, chemically or physically decomposed. Therefore, the remediation of soils contaminated with heavy metals only could be achieved by isolation or altering their mobility, solubility or toxicity, through changes in their chemical valence, favoring their dissolution or chelation [4; 7–9; 16].

One of the techniques that is used to remediate contaminated soils is the use of biochar, a carbon rich, porous, purpose-produced charcoal, manufactured during pyrolysis of organic residues such as animal wastes, crop residues, municipal wastes, wood and biosolids. Using biochar changes soil features, like microbiota and their physical and chemical properties, or increase of soil pH, that cause precipitation and immobilization of heavy metals. With the addition of biochar to a contaminated soil increases the population and microbial activity, and also the seed germination and plant growth. Besides, this technique contributes to processes of immobilization/mobilization of different kinds of heavy metals, with benefits to

environmental and economic aspects. Therefore, biochar is a helpful method to remediate polluted with heavy metals soils [2; 7; 17].

Despite that there are different methods and technologies used in remediation processes, all of them have not the same effectiveness to recover contaminated environments, especially those polluted with heavy metals. Since not all of the remedial substances and technologies that are used in order to recover contaminated environments and ecosystems have the same potential, it's necessary to evaluate their effectiveness and biosafety in the environment, in this case, in soils.

To immobilize toxic heavy metals with sorbents in acidic peat soils, pre-treatment with acid-reducing soil conditioners is generally recommended. In particular, the variant of treatment with dolomite powder was tested on samples of polluted peat soil [13]. It seems important to address the issue of how pre-treatment of soils and altered soil properties effect the efficiency of subsequent detoxification with metal-containing sorbents.

**The purpose of this work** was to study the effectiveness and biosafety of tillage substances to determine the ecotoxicity and remediation effect.

## Materials and methods

### Object and methods

Polluted peat soil was collected at an industrial wasteland 0,7 kilometers from a copper-nickel plant (67°55'70" N, 32°51'50" E). This area is a part of a northern taiga subzone located in Kola peninsula, Russia. Samples of soil were collected from a depth of 0–20 cm, from 10 equidistant points. Total sampling area reach 400 m<sup>2</sup>. Soil samples were later dried and mixed.

Experiment consisted of 8 variants: control (polluted soil), soil with dolomite and 6 types of remidiants. Remidiants used in the experiment were Biochar and a vary of ZVI (zerovalent iron) additives such as Fe-Mn concretions, iron powder, ferrihydrite and iron nanoparticles.

Dolomite is a carbonate mineral  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ . It is widely used to treat acidic soils by leaching them. It also improves soil structure and water regime. We have compared the effect of two doses – 3 and 10% dolomite on the detoxification polluted soils using biochar and several metal-containing sorbents.

Biochar is a coal of plant origin that results after pyrolysis of biomass. It is widely used as a fertilizer. Biochar improves water regime, microbial life and reduces nutrient leaching. Thus, perfecting conditions for plant growth.

Fe-Mn concretions is a natural source of iron and manganese. They are commonly found in peaty soils. They consist of Fe and Mn oxides and form a red-brown spheres.

Iron powder is a ground ZVI. Iron nanoparticles is also ground ZVI but the size of particles is much smaller therefore surface is higher than than regular iron powder. Iron nanoparticles can aggregate and cannot be used without other additives. Nanoparticles were mixed with biochar.

Ferrihydrite is a mineral  $5(\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . It can be found in soil.

## Results and discussion

In this study have been obtained two kind of results: in first place we have results for chemical analysis and in second place, in order to determine toxicity of soils after treatment.

### Chemical analysis soils:

In order to determinate the concentrations of heavy metals in soil samples this analysis was performed by the extraction method. In Table 1 shows the values of heavy metals' founded in the soil's samples.

Table 1. Average values for heavy metals' concentration (mg/kg) and values pH in soil's samples

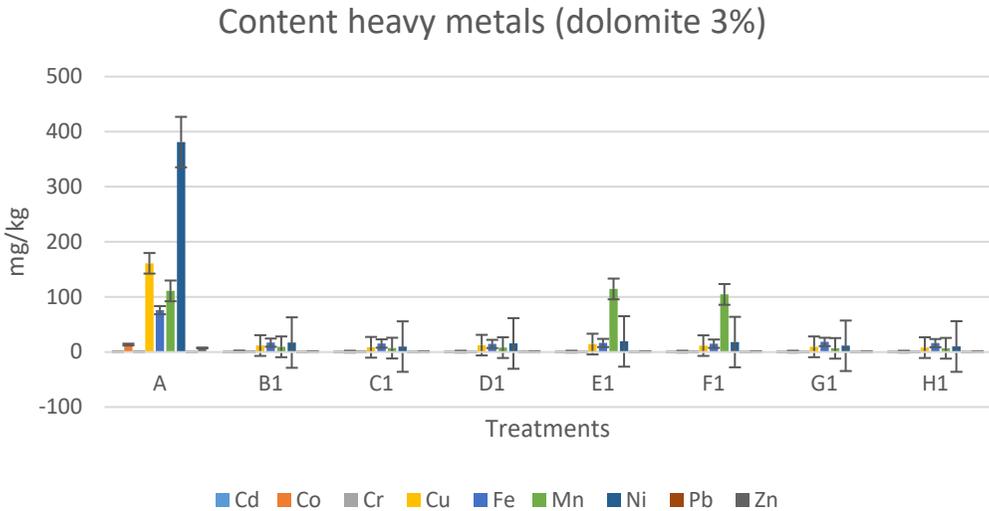
Soil's samples		Heavy metals' concentration (mg/kg) and pH									
Series	Remediant	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	pH
<b>A</b>	Soil without treatment	0.21	13.39	0.08	161.01	75.98	111.04	381.00	0.00	7.32	4.65
<b>B1</b>	Dolomite 3%	0.00	0.77	0.04	11.65	16.94	9.28	17.04	0.00	0.63	5.84
<b>C1</b>	Biochar + iron nanoparticles	0.00	0.48	0.05	8.58	15.36	6.97	9.79	0.00	0.35	5.92
<b>D1</b>	Biochar	0.00	0.66	0.02	12.41	14.58	7.92	15.49	0.03	0.52	5.85
<b>E1</b>	Fe-Mn concretion	0.00	0.58	0.02	14.42	16.33	114.44	19.27	0.00	0.63	5.82
<b>F1</b>	Biochar + Fe-Mn concretion	0.00	0.54	0.03	11.54	15.07	104.53	17.93	0.00	0.62	5.80
<b>G1</b>	Iron's Macroparticles	0.00	0.56	0.00	9.37	18.29	6.61	11.31	0.00	0.36	5.91
<b>H1</b>	Biochar + Iron's Macroparticles	0.00	0.52	0.02	7.93	16.04	6.67	9.95	0.00	0.35	5.88
<b>B2</b>	Dolomite 20%	0.00	0.25	0.04	12.18	16.64	4.83	6.72	0.00	0.38	7.16
<b>C2</b>	Biochar + iron nanoparticles	0.00	0.15	0.04	8.42	17.28	3.10	4.41	0.00	0.24	7.12
<b>D2</b>	Biochar	0.00	0.25	0.06	12.73	16.24	4.39	6.72	0.00	0.46	7.13
<b>E2</b>	Fe-Mn concretion	0.00	0.14	0.03	9.67	11.96	13.11	5.11	0.04	0.33	7.13
<b>F2</b>	Biochar + Fe-Mn concretion	0.00	0.12	0.06	11.10	14.95	9.36	4.94	0.00	0.33	7.14
<b>G2</b>	Iron's Macroparticles	0.00	0.13	0.02	8.54	14.74	2.37	4.16	0.00	0.26	7.20
<b>H2</b>	Biochar + Iron's Macroparticles	0.00	0.14	0.02	9.91	18.36	2.24	4.46	0.04	0.22	7.34

For a more visual distribution of elements in soil samples, the next graphs show the distribution of heavy metals in samples of treated and uncultivated soil with the addition of 20% dolomite and 3% dolomite, respectively: Figure 1 and 2.

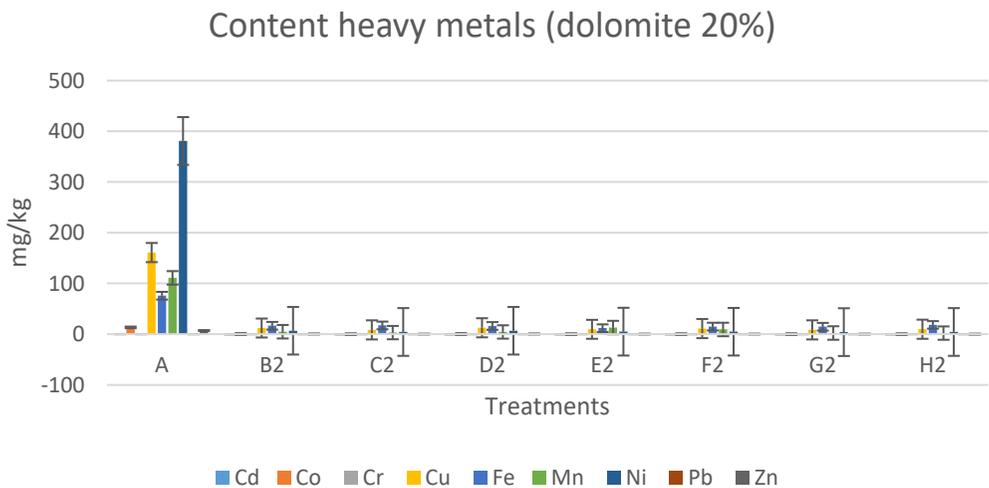
According to the graphics, there are high differences between samples with treatments (B-H 1 and 2) and sample control, without them (A). In soil without treatment, there are high concentrations of nickel, copper, iron and manganese. These high levels of copper and nickel can explain the contamination by a metallurgical factory, to 700 m from sampling point. The presence of iron and manganese can be explained by soils natural compounds, because in peat soils there are high amounts of those metals in the form of ferruginous-manganese nodules, also solid accumulations of iron and manganese.

Even after the addition of dolomite, in both cases the concentration of heavy metal ions is significantly reduced. When adding 20% dolomite, the ion concentration is less than when adding 3% dolomite. In Figure 1, it's shown that

with the addition of 3% dolomite, there are two peaks of manganese's concentration, probably by the addition of ferruginous-manganese modules. With the use of 20% dolomite doesn't reported the same behavior, probably because of the higher pH levels.

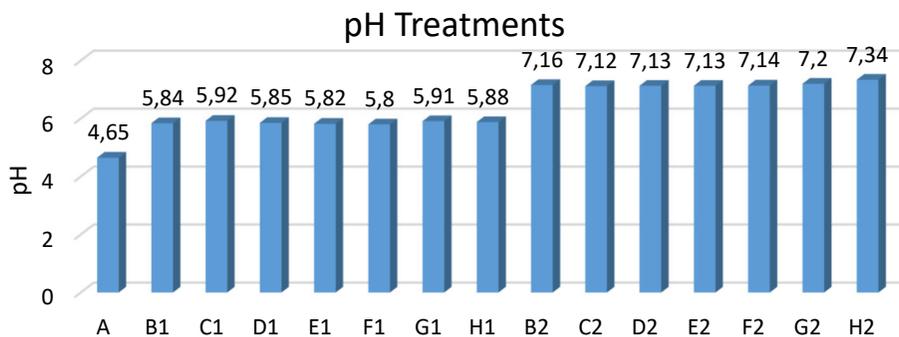


**Figure 1. Average content of heavy metals in soil samples with 3% dolomite**  
 Source: compiled by the authors.



**Figure 2. Average content of heavy metals in soil samples with 20% dolomite**  
 Source: compiled by the authors.

It follows from Figure 3 that only dolomite and its quantity affect the acidity of the samples, since with the addition of 3% dolomite, the pH of the samples averaged 5.86, and with the addition of 20% dolomite was 7.2.



Treatments – 1. Dolomite 3%; 2. Dolomite 20%

**Figure 3. Values pH for soils with different treatment**

Source: compiled by the authors.

### Results of biotest with hydrobionts

The test on hydrobionts was carried out in 4 repetitions. The toxicity of the sample is assessed based on the survival of the organisms. The results are resumed in Table 2.

**Table 2. Survival organisms *Daphnia magna* in aquatic extracts soil's samples without and with remediators**

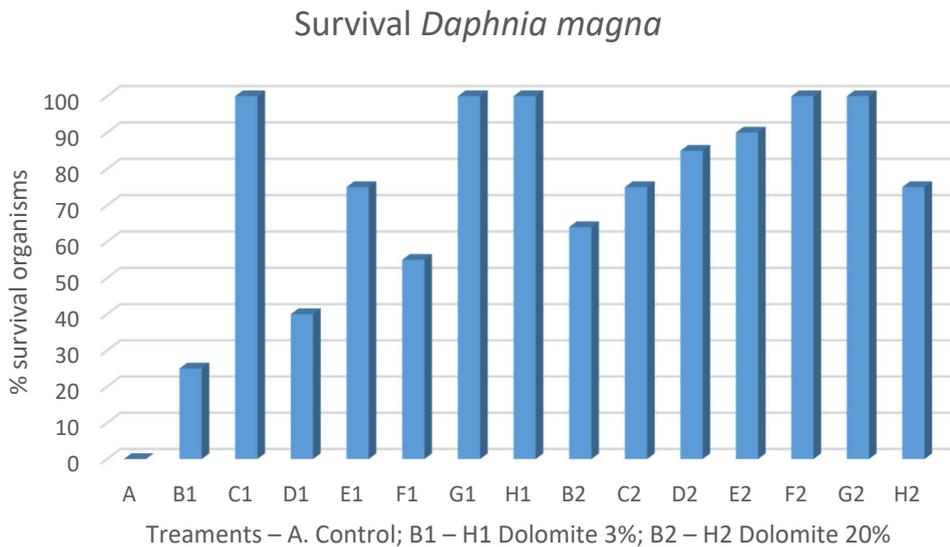
Sample	Code sample	Survival organisms, %
Soil without treatment	A	0
Dolomite 3%	B1	25
Biochar + iron nanoparticles (Dolomite 3%)	C1	100
Biochar (Dolomite 3%)	D1	40
Fe-Mn concretion (Dolomite 3%)	E1	75
Biochar + Fe-Mn concretion (Dolomite 3%)	F1	55
Iron's Macroparticles (Dolomite 3%)	G1	100
Biochar + Iron's Macroparticles (Dolomite 3%)	H1	100
Dolomite 20%	B2	64
Biochar + iron nanoparticles (Dolomite 20%)	C2	75
Biochar (Dolomite 20%)	D2	85
Fe-Mn concretion (Dolomite 20%)	E2	90
Biochar + Fe-Mn concretion (Dolomite 20%)	F2	100
Iron's Macroparticles (Dolomite 20%)	G2	100
Biochar + Iron's Macroparticles (Dolomite 20%)	H2	75

The Figure 4 shows the proportions of organisms that survive to treatments.

According to results, in the samples treated with dolomite 20% was an increase in pH, these values were higher than samples with dolomite 3%. In general, the pH values for treatments with dolomite 20% were in average 7.2 (neutral), while with dolomite 3% were 5.87 (weak acid).

In toxicity analysis, it's have been determined the level of toxicity, according to percentage of survived organisms *D. magna* in aquatic extracts, obtained from soil's samples; While the percentage of survived organisms is high, it's still considered high efficiency in remediation soils, with reduction of toxicity. As can it see in the graphic, treatments with dolomite 20% show that there were better levels remediation as with dolomite 3% as were, mainly in use only dolomite and

dolomite's combination with biochar, with iron-manganese's concretion and combination of biochar with iron-manganese's concretion. Moreover, treatments with dolomite 3% mixed with iron nanoparticles and biochar with iron nanoparticles shown higher levels than those treatments with the dolomite 20%; in the case of dolomite mixed only with iron nanoparticles, both treatments had the same effectiveness.



**Figure 4. Percentage organisms *D. magna* survivor to treatments with dolomite**  
 Source: compiled by the authors.

Some authors like Machado [10] says that iron's nanoparticles are efficient to degrade contaminants in soils, like halogenated hydrocarbons, polychlorinated biphenyls and also heavy metals. In this research, we found that addition of iron helps to improve the quality of soil, at least, with reduction/elimination toxicity in soil, according to the results obtained with biotests.

Furthermore, Galdames [5] says that remediation treatments with iron nanoparticles have disadvantages, like a short lifetime, due to their structural changes, surface passivation and environmental risks associated with the second metal, namely, the metal causing contamination, especially for iron, due to the toxicity of the obtained by-products and reactivity decrease if they are not eliminated. However, these nanoparticles have a high reactivity, due to their surface area, an important characteristic for rapid degradation contaminants. Moreover, these authors also say that iron's nanoparticles it's an effective decontaminant agent. In this research, we can see the potential in reduction of concentration heavy metals, although not in the same proportions for all the treatments including this additive with dolomite in different concentrations.

By other hand, in the use of dolomite contributes to fixation heavy metals in soils, authors like Zhang & Lu [17] says that dolomite helps to prevent biological

transfer of heavy metals like Cd or Cr from soils, to plants, using like main mechanism immobilization, the surface adsorption. Also, Vrînceanu [17] says that addition of dolomite helps to reduce significantly the concentration of heavy metals in soil, mainly lead and zinc; for this investigation, was found that dolomite helps to recover soil of contamination, reducing concentrations of heavy metals.

### Conclusions

The problem of chemical pollution of soils, particularly pollution with heavy metals, has many solutions. Within the studied variants of sorbents, the optimal remediants were determined simultaneously of adding dolomite at different concentrations, which is for different pH. For an acidic environment, the optimal remediants are nanoparticles with biochar and iron powder with and without biochar. For a neutral environment, the optimal remediants are ferromanganese nodules with biochar and iron powder without biochar. Thus, among those examined, an optimal remediand was found that works in both cases—iron powder without the addition of biochar.

### References

- [1] Bolan N, Kunhikrishnan A, Thangarajan R, Kumpiene J, Park J, Makino T, Kirkham MB, Scheckel K. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soil – To mobilize or to immobilize? *Journal of Hazardous Materials*. 2014;266:141–166. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389413009485>
- [2] Covarrubias SA, Peña-Cabriaes JJ. Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 2019;33:7–21. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2017.33.esp 01.01>
- [3] Kazakova NA. Contamination soils with heavy metals. *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2009;1(8):29–31. <https://cyberleninka.ru/article/n/zagryaznenie-pochvy-tyazhelymi-metallami>
- [4] Liu LL, Song WW, Guo M. Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: principles and applicability. *Science of the total environment*. 2018;633:206–219. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718309215>
- [5] Muluyema-Allaica JC, Canga-Castillo SM, Pucha-Medina PM, Espinoza-Ruiz CG. Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de la Reserva Ecológica de Manglares Cayapas Mataje (REMACAM) – Ecuador. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*. 2019;7(41):40–61. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-97532019000600003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-97532019000600003)
- [6] Vodyanitsky YuN. Modern tendencies contaminated soils with heavy metals. *Agrochemistry*. 2013;9:88–96. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20250698>
- [7] Covarrubias SA, García-Berumen JA, Peña-Cabriaes JJ. *El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados*. *Acta Universitaria*. 2015;25(3):40–45. <http://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/907>
- [8] Khalid S., Shahid M., Niazi NK., Murtaza B., Bibi I., Dumat C. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. *Journal of Geochemical Exploration*. 2017;182:247–268. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674216303818>

- [9] Puga S, Sosa M, Lebgue T, Quintana C, Campos A. *Contaminación por metales pesados provocada por la industria minera*. *Ecología Aplicada*. 2006;5(2):149–155. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162006000100020&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162006000100020&script=sci_arttext)
- [10] Koptsik GN. Modern approaches for remediation soils contaminated with heavy metals. A review. *Soil science*. 2014;7:851–868. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21699031>
- [11] Yankevich MI, Khadieva VV, Murygina VP. Biorremediation soils: yesterday, today, tomorrow. *Interdisciplinary scientific and applied journal “Biosphere”*. 2015;7(2):199–208. <https://cyberleninka.ru/article/n/bioremediatsiya-pochv-vchera-segodnya-zavtra>
- [12] Cheng S, Chen T, Xu W, Huang J, Jiang S, Yan B. Application research of biochar for the remediation of soil heavy metals: a review. *Molecules*. 2020;25(14):3167. <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/14/3167>
- [13] Zhang X, Wang H, He L, Lu K, Sarmah A, Li J, Bolan NS, Pei J, Huang H. Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013;20:8472–8483. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-013-1659-0>
- [14] Sergeeva YD, 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;56(2):238–246. <https://doi.org/10.1134/S1064229322602037>
- [15] Machado S, Stawiński W, Slonina P, Pinto AR, Grosso JP, Nouws HP, Albergaria JT, Delerue-Matos C. Application of green zero-valent iron nanoparticles to the remediation of soils contaminated with ibuprofen. *Science of the Total Environment*. 2013;461:323–329. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713005597>
- [16] Galdames A, Ruiz-Rubio L, Orueta M, Sánchez-Arzalluz M, Vilas-Vilela JL. Zero-Valent iron nanoparticles for soil and groundwater remediation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018;17:5817. <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/16/5817>
- [17] Vrinceanu NO, Motelică DM, Dumitru M, Calciu I, Tănase V, Preda M. Assessment of using bentonite, dolomite, natural zeolite and manure for the immobilization of heavy metals in a contaminated soil: the Copșa Mică case study (Romania). *Journal Catena*. 2019;176:336–342. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816219300153>

#### Bio notes:

*Cesar C. Zambrano-Gary*, Postgraduate Student, Department of Human Ecology and Bioelementology, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: [sambrano-gari-s@rudn.ru](mailto:sambrano-gari-s@rudn.ru)

*Yulia D. Sergeeva*, Student, Department of Land Resources and Soil Assessment, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, build. 12, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation. E-mail: [sergeeva.yulia.dm@gmail.com](mailto:sergeeva.yulia.dm@gmail.com)

*Vera A. Terekhova*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Land Resources and Soil Assessment, Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, build. 12, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9121-639X. E-mail: [vterehova@gmail.com](mailto:vterehova@gmail.com)

*Anatoly A. Kirichuk*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Director of the Department of Human Ecology and Bioelementology, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5125-5116. E-mail: kirichuk-aa@rudn.ru

**Сведения об авторах:**

*Самбрано-Гари Сезар Камило*, аспирант, департамент экологии человека и биоэlementологии, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: sambrano-gari-s@rudn.ru

*Сергеева Юлия Дмитриевна*, студент, кафедра земельных ресурсов и оценки почв, факультет почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, д. 1, стр. 12. E-mail: sergeeva.yulia.dm@gmail.com

*Терехова Вера Александровна*, доктор биологических наук, профессор кафедры земельных ресурсов и оценки почв, факультет почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, д. 1, стр. 12. ORCID: 0000-0001-9121-639X. E-mail: vterekhova@gmail.com

*Киричук Анатолий Александрович*, доктор биологических наук, профессор, директор департамента экологии человека и биоэlementологии, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0001-5125-5116. E-mail: kirichuk-aa@rudn.ru



## ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

## INDUSTRIAL ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-583-592

EDN: TDFLEI

УДК 331.45:502.13

Научная статья / Research article

### **Авторские инновационные технические решения в области экологии и безопасности жизнедеятельности для применения в топливосжигающих и золоулавливающих устройствах**

**В.Д. Катин, А.А. Журавлев**✉

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,  
г. Хабаровск, Российская Федерация  
✉goposor@yandex.ru*

**Аннотация.** Рассмотрены и рекомендованы к применению в транспортной отрасли, теплоэнергетике, нефтегазовой промышленности, металлургии принципиально новые технические решения в области экологии и безопасности в техносфере, подтвержденные патентами на изобретения и полезные модели и разработанные учеными и аспирантами кафедры техносферной безопасности Дальневосточного государственного университета путей сообщения. Из инновационных разработок представляют практический интерес и заслуживают внимания установки по подготовке к сжиганию водомазутных эмульсий, энергосберегающие устройства для экологичного сжигания жидкого топлива, рациональные конструкции малотоксичных газомазутных горелок, а также эффективные устройства фильтр-циклонов и группового циклона для очистки дымовых газов, выбрасываемых из угольных и мазутных котельных и печных агрегатов.

**Ключевые слова:** инновационные технические решения, энергосберегающие устройства, малоотходные и наилучшие доступные технологии, котельные и печные установки, сжигание топлива, экологическая и техносферная безопасность, охрана окружающей среды, водомазутные эмульсии, газомазутные горелки, циклоны-золоуловители

© Катин В.Д., Журавлев А.А., 2023



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

**Вклад авторов:** В.Д. Катин – автор изобретений и полезных моделей, написание текста статьи; А.А. Журавлев – автор полезных моделей, подготовка текста публикации;

**История статьи:** поступила в редакцию 12.05.2023; доработана после рецензирования 24.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

**Для цитирования:** Катин В.Д., Журавлев А.А. Авторские инновационные технические решения в области экологии и безопасности жизнедеятельности для применения в топливосжигающих и золоулавливающих устройствах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 583–592. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-583-592>

## Author's innovative technical solutions in the field of ecology and life safety for use in fuel-burning and ash-collecting devices

Victor D. Katin, Alexander A. Zhuravlev✉

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russian Federation

✉goposor@yandex.ru

**Abstract.** The study reviews and recommends fundamentally new technical solutions in the field of ecology and safety in the technosphere, confirmed by patents for inventions and utility models developed by scientists and graduate students of the Department of Technosphere Safety of the Far Eastern State Transport University. Innovative developments that are of practical interest and deserve attention include installations for preparing water-oil emulsions for combustion, energy-saving devices for environmentally friendly combustion of liquid fuels, rational designs of low-toxic gas and oil burners, as well as effective filter-cyclone and group cyclone devices for purification of flue gases from coal and fuel oil boiler and furnace units.

**Keywords:** innovative technical solutions, energy-saving devices, low-waste and best available technologies, boiler and furnace installations, fuel combustion, environmental and technospheric safety, environmental protection, water-oil emulsions, gas-oil burners, cyclones-ash collectors

**Authors' contributions:** V.D. Katin is the author of inventions and utility models, writing the text of the article; A.A. Zhuravlev – author of utility models, preparation of publication text;

**Article history:** received 12.05.2023; revised 24.08.2023; accepted 11.09.2023.

**For citation:** Katin VD, Zhuravlev AA. Author's innovative technical solutions in the field of ecology and life safety for use in fuel-burning and ash-collecting devices. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):583–592. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-583-592>

### Введение

Несомненно, что современные технологии создают техногенный и экологический риск. В этой связи в настоящее время становится актуальной проблема повышения экологической и техносферной безопасности различных производств: теплоэнергетики, транспортной отрасли, нефтепереработки и

др. Эксплуатируемые на теплоэнергетических, транспортных и нефтеперерабатывающих предприятиях котельные и печные установки являются главными источниками загрязнения окружающей среды, прежде всего атмосферного воздуха. Это можно объяснить тем, что уровень проектных решений и техническое состояние котельно-печного парка, по экологическим аспектам, не в полной мере соответствует современным требованиям охраны окружающей среды.

При рассмотрении этой проблемы в направлении Экологической стратегии железнодорожного транспорта на период до 2030 г. [1] становится важным снижение негативного воздействия на окружающую природную среду к 2030 г. на 70 % за счет внедрения энергосберегающих установок и наилучших доступных технологий.

Очевидно, что разработку и практическое применение воздухоохраных и эффективных технических решений по сжиганию топлива следует производить уже в настоящее время, и это должно стать насущной и приоритетной задачей как экологических, так и энергетических служб промышленных предприятий [2; 3].

В связи с этим приоритетными задачами в условиях теплоэнергетических, нефтеперерабатывающих и других производств становятся поиск и разработка наиболее эффективных и рациональных технических решений, направленных на создание новых технологий и устройств в сфере экологии и безопасности жизнедеятельности.

Ниже даны описания инновационных технических разработок, защищенных патентами на изобретения и полезные модели, созданных авторами при выполнении научных исследований и представляющих практический интерес для предприятий транспорта, теплоэнергетики, нефтегазовой отрасли и других производств.

### **Эффективные установки новой конструкции для приготовления водомазутных эмульсий (ВМЭ) с целью их дальнейшего экологического сжигания в котельных, работающих на жидком топливе**

Полезная модель (патент № 149636) относится к области теплоэнергетики и может быть использована для приготовления водотопливных эмульсий (ВТЭ) для котельных. Устройство для приготовления ВТЭ содержит топливную накопительную цистерну, снабженную патрубком спуска отстоянной воды, эмульгатор, снабженный напорным патрубком и двумя приемными патрубками, два приемных трубопровода для забора топлива из накопительной цистерны, соединенные с приемными патрубками эмульгатора, фильтры, установленные на линии приемных трубопроводов перед эмульгатором, трубопровод для подачи гомогенной водотопливной эмульсии в верхнюю часть топливной накопительной цистерны и трубопровод для подачи топлива в расходную цистерну, соединенные с напорным патрубком эмульгатора [4].

Технический результат новой разработки заключается в уменьшении не только времени для приготовления ВМЭ, но и энергозатрат за счет

сокращения цикла диспергирования топлива, а также в снижении затрат на текущую эксплуатацию устройства путем исключения образования осадка в застойных зонах устройства. Для достижения цели авторами предлагается [4]:

а) соединить два приемных трубопровода между собой, образуя приемный трубопровод в виде замкнутого контура;

б) выполнить на приемном трубопроводе отверстия диаметром 6–8 мм, суммарная площадь которых составляет не менее двух площадей поперечного сечения приемного трубопровода;

в) расположить приемный трубопровод горизонтально и установить его внутри цистерны на  $3/4$  ее длины и на высоте  $h = 100–200$  мм от дна цистерны.

С целью дальнейшего сокращения времени приготовления ВМЭ и улучшения ее качества перед сжиганием в котельных транспортных предприятий авторами в работе [5] предлагается еще одно устройство, которое защищено патентом на изобретение № 2621332. Сущность технического решения заключается в том, что приемный трубопровод оборудован вибратором кулачкового типа, кулачок которого установлен внутри цистерны под консолью приемного трубопровода и связан через вал с приводом, установленным снаружи цистерны. Благодаря этому отличительному признаку сокращается время приготовления и улучшается качество ВМЭ. Это обусловлено созданием колебаний приемного трубопровода, что позволяет дробить дополнительно водяные линзы. Особенностью и отличием от аналогов является то, что в процессе эксплуатации устройства вибратор имеет периодический режим работы: отключается и включается автоматически после слива части отстоявшейся воды, а также после прекращения подготовки ВМЭ. Новое устройство позволяет сократить вредные выбросы в атмосферу при сжигании ВМЭ на 15–25 %, объем капитальных вложений и энергозатрат на 10–20 % [5].

### **Новые энергосберегающие устройства для сжигания жидкого топлива с малым выбросом загрязняющих веществ в атмосферу**

Полезная модель (патент № 187320) предназначена для сжигания обводненных мазутов в виде ВМЭ с сопутствующей утилизацией теплоты уходящих продуктов сгорания котлов и печей и может быть использована в теплоэнергетической и нефтеперерабатывающей отрасли. Техническим результатом нового устройства является повышение экологической эффективности сжигания жидкого топлива путем снижения выбросов оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) [6]. Устройство содержит последовательно соединенные трубопровод подачи жидкого топлива, фильтр, установленный на трубопроводе для удаления из жидкого топлива механических примесей, насос, диспергатор, котел или печь с форсункой и топкой, дымовую трубу, соединенную через дымоход с котлом или печью. Участок трубопровода подачи жидкого топлива, примыкающий к котельному или печному агрегату, проложен в канале дымохода. Для достижения поставленной цели авторы предлагают установить в топке котла или печи трубу с распылителем пара, подаваемого в зону горения, и за счет этого происходит снижение выброса  $\text{NO}_x$  на 5–10 % [6].

Следует отметить универсальность данного метода, которая заключается в возможности использования пара на НПЗ из существующей системы пожаротушения трубчатых печей в качестве впрыскиваемой среды. При этом важно выбрать рациональную конструкцию аппарата для подачи пара в корень факела, где происходит максимальное образование  $\text{NO}_x$ . Названный способ эффективен не только для подавления  $\text{NO}_x$ , но и снижения образования оксида углерода, сажи и углеводородов путем увеличения их скорости выгорания за счет радикалов Н и ОН [6].

Дальнейшая модернизация конструкции данного устройства, проведенная авторами в работе [7], позволила на 10–15 % сократить выбросы  $\text{NO}_x$  путем установки в топке котла (печи) водяного трубчатого змеевика. Экологический эффект достигается подачей холодной воды в трубчатый змеевик, которая подогревается от зоны горения ВМЭ и это приводит к уменьшению температуры горения за счет теплоотвода от факела. На данное техническое решение авторами получен патент № 197468 [7]. Отметим, что новая разработка может быть успешно применена как в котельных, так и в печных установках, работающих на жидком и газообразном топливе.

Ниже дано описание еще одной новой конструкции энергосберегающей установки для сжигания мазута в виде ВМЭ, созданной авторами и защищенной патентом № 207269 на полезную модель [8]. Существенное отличие предлагаемого устройства от аналогов заключается в дополнительной установке эмульгатора на подающем трубопроводе, а в топке котельного или печного агрегата оборудуют специальный инжектор с обратным клапаном для периодической подачи холодного воздуха. Благодаря указанному отличительному признаку значительно повышается экологическая эффективность сжигания ВМЭ. Это объясняется тем, что поступающее на сжигание жидкое топливо, предварительно проходит через эмульгатор, в котором готовится для сжигания ВМЭ, при сгорании которой снижаются выбросы вредных веществ. Через инжектор с обратным клапаном поступает холодный воздух в топку и тем самым уменьшает максимальную температуру горения и, следовательно, подавляет образование как  $\text{NO}_x$ , так и продуктов неполного горения [8].

### **Новые конструкции газомазутных горелок с малым выбросом вредных веществ из котлов и печей**

В настоящее время перспективность применения в печах и котлах новых газомазутных горелок должна представляться с учетом негативных экологических последствий, и прежде всего сопутствующего загрязнения атмосферы токсичными продуктами сгорания.

Так, применительно к нефтезаводским трубчатым печам необходимо отметить, что в эксплуатируемых горелочных устройствах типа ГП, ГЭВК и др. имеется существенный конструктивный недостаток, который заключается в неправильном расположении в одной камере газовой части горелки и жидкостной мазутной форсунки. В результате при эксплуатации подобных

горелок наблюдается попадание мазутных капель в газовые сопла с дальнейшим закоксовыванием их отверстий и нарушением их работы и трубчатой печи в целом. Это приводит к остановке печи и полному демонтажу горелок для устранения нарушения.

Авторы разработали новую конструкцию горелки типа ГП-2, защищенную патентом № 139470 на полезную модель [9]. Предлагаемая горелка содержит корпус с патрубком для подачи воздуха, соединенный с амбразурой горелки, установленной в отверстие печи, смесительную камеру, трубу с патрубком для подачи воздуха при работе горелки на мазуте, расположенную по оси корпуса, мазутную форсунку, установленную внутри трубы, вставку, закрепленную на наружной поверхности трубы с возможностью поворота и предназначенную для образования пережима на воздушном тракте, периферийный кольцевой коллектор с патрубком и газораздающими отверстиями, расположенными в зоне пережима воздушного тракта. Технический результат заключается в повышении надежности и эффективности совместного сжигания газа и мазута в горелке без каких-либо сопутствующих нарушений в работе. С этой целью авторами предлагается распылительную часть мазутной форсунки горизонтально сдвинуть и расположить в амбразуре горелки [9]. Это обусловлено тем, что при совместном сжигании в горелке мазута и газа, газ через патрубок поступает в коллектор и, распределяясь по газораздающим отверстиям, расположенным в смесительной камере, истекает в виде поперечных струй в высокоскоростной поток воздуха, а распылительная часть форсунки располагается в амбразуре горелки, тем самым исключается близость расположения распылительной части форсунки от газораздающих отверстий.

Отметим, что новая конструкция комбинированной горелки ГП-2 была апробирована в заводских условиях на печи установки первичной переработки нефти Хабаровского НПЗ и показала надежную и эффективную работу при совместном сжигании газа и мазута: закоксовывания газораздающих отверстий нераспыленными частицами мазута не было выявлено.

Дальнейшее усовершенствование конструкции горелки ГП-2, проведенное авторами в работе [10], подтверждено патентом № 158820 на полезную модель как отвечающую требованиям новизны и получения высокого экологического эффекта. Целью авторской новой технической разработки являлось повышение экологической эффективности совместного сжигания газа и мазута в горелке за счет снижения выбросов  $\text{NO}_x$ .

Для достижения поставленной цели авторами предлагается:

- установить форсунку с возможностью осевого перемещения относительно амбразуры горелки к ее выходу;
- оборудовать горелку каналом с заслонкой, который располагают у основания амбразуры, и специальным отверстием в основании амбразуры для подачи рециркулирующих дымовых газов.

Данные практические рекомендации позволяют эксплуатационникам на Хабаровском и других НПЗ сократить выбросы  $\text{NO}_x$  на 20–30 % без значительных материальных затрат.

Полезная модель (патент № 187181) также связана с еще одной реконструкцией горелки ГП-2, при создании которой авторы поставили цель достижения сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  при совместном сжигании газа и мазута [11]. Признаком, отличающим новую горелку типа ГП от аналогов, является то, что в ней в канале у основания амбразуры дополнительно устанавливается труба с распылителем пара в зону горения топлива. При этом подаваемый пар снижает максимальную температуру горения и приводит к сокращению выбросов  $\text{NO}_x$  на 10–15 %. Таким образом, учитывая, что горелки типа ГП-2 нашли на отечественных НПЗ наиболее широкое применение, для решения насущных экологических задач следует рекомендовать новые малотоксичные горелочные устройства, защищенные патентами [9–11] для замены несовершенных горелок по экологическим аспектам.

Следует также отметить, что полезная модель (патент № 208146) устраняет эксплуатационные и конструктивные недостатки горелки ГП-2, подробно описанной в патенте [11], взятой за прототип. Одним из основных недостатков прототипа является неполнота сгорания газообразного топлива вследствие неравномерного распределения воздушного потока в смесительной камере и неудовлетворительного перемешивания газа с воздухом [12]. Технической задачей является создание принципиально новой конструкции газомазутной горелки с малым выбросом  $\text{NO}_x$  при обеспечении полноты сжигания газа и снижении шума при ее работе. Для достижения цели авторы предлагают дополнительно оборудовать горелку разделителем воздушного потока с овальными отверстиями в смесительной камере, а также установить впрыски сжатого воздуха периодического действия.

Благодаря указанному отличительному признаку существенно повышается экологическая эффективность горелочного устройства, что обусловлено тем, что разделитель воздушного потока выполнен с овальными отверстиями, выполняющими задачу распределения воздушного потока по высоте смесительной камеры, а впрыски сжатого воздуха, установленные в смесительной камере под углом 20–30°, интенсифицируют процесс перемешивания газа с воздухом.

Впрыски сжатого воздуха в горелку и интенсификация смешения газа с воздухом позволяют реально сократить выбросы  $\text{NO}_x$  и обеспечить полноту сгорания газообразного топлива. Данная горелка рекомендуется для применения в печных и котельных агрегатах как отличающаяся от аналогов новизной устройства и экологической эффективностью [12].

### **Разработка эффективных циклонов-золоуловителей новой конструкции для очистки дымовых газов от твердых частиц**

Проблема, существующая в области очистки запыленного газового потока, заключается в том, что все известные циклоны в основном позволяют производить очистку крупных частиц дисперсной фазы от дисперсионной

среды (газа) с последующим их удалением, а мелкие частицы из-за своих небольших размеров поступают в атмосферу, в результате чего происходит загрязнение воздушного бассейна.

Конструкция нового фильтра-циклона, защищенная патентом № 2638969 на изобретение, подробно описана ниже. Целью предлагаемого авторского технического решения является повышение производительности и снижение затрат на эксплуатацию фильтра-циклона. Для её достижения авторы согласно изобретению установили набор фильтров внутри выхлопной трубы подвижно на фланце, который связан с верхней частью выхлопной трубы упругими элементами и оборудован вибратором кулачкового типа. Кроме того, упругие элементы выполнены в виде пружин, которые расположены по окружности фланца. Итак, признаками, отличающими фильтр-циклон от прототипа, являются установка набора фильтров внутри выхлопной трубы подвижно на фланце, который связан с верхней частью выхлопной трубы упругими элементами и оборудован вибратором, и выполнение упругих элементов в виде пружин, расположенных по окружности фланца. Это позволяет производить очистку набора фильтров без демонтажа в процессе эксплуатации за счет вибрации сеток и их самоочистки. Благодаря отличительным признакам предлагаемый фильтр-циклон повышает производительность и снижает затраты на эксплуатацию устройства. Причем вибратор включают периодически, в зависимости от уровня загрязнения сеток фильтра. Выполнение упругих элементов в виде пружин повышает надежность процесса очистки фильтра.

Полезная модель (патент № 202973) «Групповой циклон» предназначена для очистки больших объемов запыленных дымовых газов (до 150 000 м<sup>3</sup>/ч) в угольных котельных. Групповой циклон содержит коллектор, общую камеру для очищенного газа с газоходом, общий бункер для сбора уловленной пыли, циклонные элементы, содержащие вертикальный цилиндрический корпус с коническим днищем, снабженным штуцером для удаления золы, выхлопную трубу, штуцер для подачи в аппарат зологазового потока, расположенный тангенциально к корпусу, крышку, коллектор, расположенный в верхней части одного из циклонных элементов, выполнен в виде цилиндра ступенчато уменьшающимся в диаметре по высоте, с тангенциальным подводом газов. При этом каждая ступень снабжена патрубками для отвода части газов в циклонные элементы, расположенные тангенциально. Технической задачей являлось повышение степени очистки зологазового потока путем улавливания мелкодисперсных частиц золы. Для решения поставленной задачи предлагается внутри газохода перед выбросом в атмосферу дополнительно установить фильтр для улавливания мелкодисперсных золовых частиц.

Таким образом, в отличие от аналогов данное устройство позволяет повысить его экологическую эффективность и увеличить степень очистки от твердых частиц до 90 %. На данную конструкцию группового циклона авторами получен патент на полезную модель [14].

## Заключение

На основании изложенного материала можно рекомендовать для практического применения следующие новые технические решения в сфере экологии и безопасности жизнедеятельности:

- рациональные установки по приготовлению ВМЭ с целью дальнейшего экологичного сжигания в котлах и печах;
- энергосберегающие устройства для сжигания жидкого топлива в печных и котельных установках с малым выбросом вредных веществ в атмосферу;
- комбинированные горелочные устройства с минимальным выбросом оксидов азота и других загрязняющих веществ;
- эффективные конструкции золоуловителей циклонного типа для очистки дымовых газов котельно-печного парка от твердых частиц.

Рекомендуемые для внедрения авторские инновационные технические разработки обладают простотой устройства, оригинальностью конструкции, достаточно высокой экологической эффективностью и сравнительно невысокими материальными затратами.

## Список литературы

- [1] Экологическая стратегия ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года и на перспективу 2030 года. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=958> (дата обращения: 28.10.2023).
- [2] Катин В.Д., Шевцов М.Н., Журавлев А.А. Энергосберегающие и экологичные технологии в нефтегазовой и других отраслях промышленности. Хабаровск: ТОГУ, 2022. 128 с.
- [3] Катин В.Д., Катин А.В., Журавлев А.А. Научно-технические подходы к проблеме повышения экологической безопасности и эффективности энергосбережения. Хабаровск: ТОГУ, 2022. 178 с.
- [4] Патент 149636 RU. Устройство для приготовления водотопливной эмульсии / В.Д. Катин, И.В. Вольхин. Опубл. 10.01.2015. Бюл. № 1.
- [5] Патент 2621332 RU. Устройство для приготовления водотопливной эмульсии / В.Д. Катин, А.П. Богачев, И.В. Вольхин. Опубл. 02.06.2017. Бюл. № 16.
- [6] Патент 187320 RU. Устройство для сжигания жидкого топлива / В.Д. Катин, В.И. Нестеров, М.Н. Шевцов. Опубл. 01.03.2019. Бюл. № 7.
- [7] Патент 197468 RU. Устройство для сжигания жидкого топлива / В.Д. Катин, И.В. Вольхин. Опубл. 29.04.2020. Бюл. № 13.
- [8] Патент 207269 RU. Устройство для сжигания жидкого топлива / А.А. Журавлев, В.Д. Катин. Опубл. 21.10.2021. Бюл. № 30.
- [9] Патент 139470 RU. Газомазутная горелка / В.Д. Катин, А.Ю. Березуцкий. Опубл. 20.04.2014. Бюл. № 11.
- [10] Патент 158820 RU. Газомазутная горелка / А.Ю. Березуцкий, В.Д. Катин. Опубл. 20.01.2016. Бюл. № 2.
- [11] Патент 187171 RU. Газомазутная горелка / В.Д. Катин, В.И. Нестеров. Опубл. 22.02.2019. Бюл. № 6.
- [12] Патент 208146 RU. Газомазутная горелка / А.А. Журавлев, В.Д. Катин. Опубл. 06.12.2021. Бюл. № 34.
- [13] Патент 2638969 RU. Фильтр-циклон для очистки газов / В.Д. Катин, А.П. Богачев. Опубл. 19.12.2017. Бюл. № 35.

- [14] Патент 202973 RU. Групповой циклон для очистки газов / В.Д. Катин, В.И. Нестеров. Опубл. 17.03.2021. Бюл. № 8.

### References

- [1] *Ecological strategy of Russian Railways OJSC for the period up to 2015 and for the prospect of 2030*. (In Russ.) Available from: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=958> (accessed: 28.10.2023).
- [2] Katin VD, Shevtsov MN, Zhuravlev AA. *Energy-saving and environmentally friendly technologies in oil and gas and other industries*. Khabarovsk: TOGU; 2022. 128 p.
- [3] Katin VD, Katin AV, Zhuravlev AA. *Scientific and technical approaches to the problem of improving environmental safety and energy saving efficiency*. Khabarovsk: TOGU; 2022. 178 p.
- [4] Patent 149636 RU. *Device for preparation of water-fuel emulsion*. VD Katin, IV Volkhin. Publ. 01/10/2015. Bul. No. 1.
- [5] Patent 2621232 RU. *Device for preparation of water-fuel emulsion*. VD Katin, AP Bogachev, IV Volkhin. Publ. 06/02/2017. Bul. No. 16.
- [6] Patent 187320 RU. *Device for burning liquid fuel*. VD Katin, VI Nesterov, MN Shevtsov. Publ. 03/01/2019. Bul. No. 7.
- [7] Patent 197468 RU. *Device for burning liquid fuel*. VD Katin, IV Volkhin. Publ. 04/29/2020. Bul. No. 13.
- [8] Patent 207269 RU. *Device for burning liquid fuel*. AA Zhuravlev, VD Katin. Publ. 10/21/2021. Bul. No. 30.
- [9] Patent 139470 RU. *Oil-gas burner*. VD Katin, AYu Berezutsky. Publ. 04/20/2014. Bul. No. 11.
- [10] Patent 158820 RU. *Oil-gas burner*. AYu Berezutsky, VD Katin. Publ. 01/20/2016. Bul. No. 2.
- [11] Patent 187171 RU. *Oil-gas burner*. VD Katin, VI Nesterov. Publ. 02/22/2019. Bul. No. 6.
- [12] Patent 208146 RU. *Oil-gas burner*. AA Zhuravlev, VD Katin. Publ. 06.12.2021. Bul. No. 34.
- [13] Patent 2638969 RU. *Filter cyclone for gas purification*. VD Katin, AP Bogachev. Publ. 12/19/2017. Bul. No. 35.
- [14] Patent 202973 RU. *Group cyclone for gas purification*. VD Katin, VI Nesterov. Publ. 03/17/2021. Bul. No. 8.

### Сведения об авторах:

Катин Виктор Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47. E-mail: [bgd@festu.khv.ru](mailto:bgd@festu.khv.ru).

Журавлев Александр Александрович, аспирант, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47. eLIBRARY SPIN-код: 6959-7411. E-mail: [goposor@yandex.ru](mailto:goposor@yandex.ru)

### Bio notes:

*Viktor D. Katin*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal State Budgetary Institution of Higher Education, Far Eastern State University of Railway Engineering, 47 Serysheva St, Khabarovsk, 680021, Russian Federation. E-mail: [bgd@festu.khv.ru](mailto:bgd@festu.khv.ru)

*Alexander A. Zhuravlev*, postgraduate student, Federal State Budgetary Institution of Higher Education Far Eastern State University of Railway Engineering, 47 Serysheva St, Khabarovsk, 680021, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 6959-7411. E-mail: [goposor@yandex.ru](mailto:goposor@yandex.ru)

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-593-606

EDN: TJXVOT

УДК 628.2

Научная статья / Research article

## Минимизация осадков, образующихся при эксплуатации очистных сооружений

В.Н. Волкова<sup>1</sup>  , М.Н. Шевцов<sup>2</sup><sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет (ДФУ),  
Владивосток, Российская Федерация<sup>2</sup>Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ),  
Хабаровск, Российская Федерация vladavibi@bk.ru

**Аннотация.** Деятельность канализационных очистных сооружений для очистки бытовых сточных вод не ограничивается только очисткой сточных вод. Основной проблемой в этой деятельности является обработка и утилизация образующихся осадков на очистных сооружениях, где основная задача состоит в уменьшении объема осадка и последующем преобразовании его в полезный продукт, не вызывающий загрязнения окружающей среды. В настоящее время представители полигонов отказывают в принятии данного вида осадков, объясняя это тем, что данный вид осадков не относится к категории твердых коммунальных отходов. Вопрос применения осадков от очистных сооружений как сырья для изготовления остается открытым, но, по нашему мнению, данный вид осадка может быть подвергнут рециклингу в технологии очистки сточных вод. Практическая ценность заключается в проведении промышленных испытаний преобразователя осадка сточных вод в жидкие стоки, в том числе всех отходов, образующихся в ходе эксплуатации канализационных очистных сооружений с последующей доочисткой жидких стоков на очистных сооружениях. Данные испытания позволят сократить объем осадка до 90 %, что позволит минимизировать интенсивное накопление осадков от канализационных очистных сооружений и улучшить состояние окружающей среды.

**Ключевые слова:** сточные воды, водные объекты, жилищно-коммунальное хозяйство, переработка осадков, технологические требования

**Благодарности и финансирование.** Авторы благодарны сотрудникам КГУП «Приморский водоканал» за предоставленное научное оборудование и образцы для исследования.

**Вклад авторов:** все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

© Волкова В.Н., Шевцов М.Н., 2023

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 14.04.2023; доработана после рецензирования 14.09.2023; принята к публикации 14.10.2023.

**Для цитирования:** Волкова В.Н., Шевцов М.Н. Минимизация осадков, образующихся при эксплуатации очистных сооружений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 593–606. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-593-606>

## Minimization of residues generated during the operation of treatment facilities

Vladislava N. Volkova<sup>1</sup>  , Michael N. Shevtsov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Far Eastern Federal University (FEFU), Vladivostok, Russian Federation

<sup>2</sup>Pacific State University (TOGU), Khabarovsk, Russian Federation

vladavibi@bk.ru

**Abstract.** The activity of sewage treatment plants for the treatment of domestic wastewater is not limited only to wastewater treatment. The main problem in this activity is the treatment and disposal of the resulting sediments at sewage treatment plants, where the main task is to reduce the volume of sediment and then transform it into a useful product that does not cause environmental pollution. Currently, representatives of landfills refuse to accept this type of precipitation, explaining that this type of precipitation does not belong to the category of solid municipal waste. The issue of using sediments from sewage treatment plants as raw materials for manufacturing remains open, but in our opinion this type of sediment can be recycled in wastewater treatment technology. The practical value lies in conducting industrial tests of the converter of sewage sludge into liquid effluents, including all waste generated during the operation of sewage treatment plants with subsequent post-treatment of liquid effluents at wastewater treatment plants. These tests will reduce the amount of sediment by up to 90%, which will minimize the intensive accumulation of precipitation from sewage treatment plants and improve the state of the environment.

**Keywords:** wastewater, water bodies, housing and communal services, precipitation processing, technological requirements

**Acknowledgements and Funding.** The authors are grateful to the employees of the Primorsky Vodokanal State Unitary Enterprise for the scientific equipment and samples provided for research.

**Authors' contributions:** all authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

**Article history:** received 14.04.2023; revised 14.09.2023; accepted 14.10.2023.

**For citation:** Volkova VN, Shevtsov MN. Minimization of residues generated during the operation of treatment facilities. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):593–606. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-593-606>

### Введение

Методы переработки осадков от очистных сооружений недостаточно изучены, их ущерб, нанесенный окружающей среде, не является минимальным, а его снижение, в свою очередь, является высокочувствительным

и экономически невыгодным процессом [1]. Минимизация осадков от канализационных очистных сооружений актуальная проблема [2], связанная с предотвращением антропогенного загрязнения окружающей среды [3]. Ученными изучаются разные методы утилизации осадков от очистных сооружений [4]. В зависимости от технологии очистки сточных вод на сооружениях образуются следующие виды сырья [5]:

- грубые (отбросы), задерживаемые решетками;
- тяжелые (песок), улавливаемые песколовками;
- плавающие (жировые вещества), накапливаемые в песколовках и отстойниках;
- взвеси, осаждаемые в резервуарах;
- избыточный ил;
- осадки, обезвоженные на механических аппаратах, подсушенные на иловых картах или термически высушенные.

В основном для утилизации осадков сточных вод используют избыточный ил и осадки от обезвоживания на механических аппаратах, остальные виды осадков в предлагаемых методах утилизации не применяются [6]. Наиболее остро вопрос состоит в складировании осадков в возрастающем количестве на иловых площадках (песок, избыточный ил и осадки после обезвоживания), что приводит к распространению неблагоприятного газовойздушной среды, загрязнения почв и подземных вод токсичными компонентами, входящими в состав осадков [7].

Существующие направления полезной утилизации осадков не используются широко не только в России [8], но и за рубежом [9; 10], что приводит к обострению негативного влияния на окружающую среду.

Предложенные методы утилизации осадков требуют длительного времени для превращения их в полезный продукт. Так, для пиролиза необходимо осадок высушивать и производить брикеты [11; 12]. Для газификации требуется продолжительный период времени для производства биогаза [13]. Многие методы по вопросам использования отходов сточных вод в качестве удобрений нельзя использовать в наших грунтах. Влияние на почву малоизучено, а сельскохозяйственные предприятия отказываются принимать такие удобрения в связи с негативным опытом – гибель сельскохозяйственных угодий [14; 15]. Для соответствия современным требованиям к грунтам и их компонентам, осадки очистных сооружений, кроме обеспечения нормативов по содержанию в них различных веществ [16], должны быть безопасны по санитарным показателям.

В частности, ученые из Китая выяснили, что осадок от очистных сооружений – это опасный побочный продукт биологической очистки сточных вод, и он является главным источником загрязнения водной среды, который вызывает проблемы со здоровьем и даже со смертельным исходом у людей [17]. Исторически сложилось, что более 80 % шлама не подвергалось эффективной и безопасной обработке и утилизации, и это представляет серьезную угрозу

для окружающей среды, особенно из-за повсеместного использования комбинированных систем очистки городских, промышленных и дождевых сточных вод. Таким образом, крайне важно создать отдельные дренажные системы для повышения эффективности и результативности обработки и утилизации осадка.

**Цель работы** – минимизация количества осадков очистных сооружений путем преобразования осадков в воду с последующей биологической очисткой. В связи с целью поставлены следующие задачи:

- исследовать состав осадков;
- разработать новый подход в системе обращения с осадками на канализационных очистных сооружениях.

Жизнедеятельность современного человека неминуемо ведет к образованию огромного количества отходов. Практически каждый житель производит более 300 кг мусора в год, лишь 15 % которого подвергается переработке. Весь прочий мусор попадает либо на санкционированные полигоны, среди которых только один еще не исчерпал свой ресурс, а остальные переполнены, но продолжают принимать отходы в обход узаконенных процедур, либо на одну из множества несанкционированных свалок, где речь о сортировке и переработке, естественно, вообще не идет. На сегодняшний день проблема переработки отходов остается актуальной экологической задачей [18]. Основные направления исследований в переработке отходов состоят из поиска путей получения вторичного сырья, где в основном предлагается длительная переработка отходов, требующая строительства новых заводов и фабрик по переработке сырья [19]. При этом осадки от очистных сооружений не являются отходами, так как эти осадки в технологии очистки сточных вод являются незавершенным технологическим процессом [20], но из-за крупных объемов при размещении создают глобальную экологическую проблему. Конкуренция в преобразовании осадков сточных вод в водный ресурс нет. Известен способ переработки осадков сточных вод с последующим слеживанием осадков на иловых картах [21]. Недостатком данного способа является загрузка осадка на иловые карты, для последующего применения осадка требуется несколько лет слеживания данных отходов, при неблагоприятных погодных условиях появляется неприятный запах, что недопустимо в населенных пунктах.

Известна конструкция круглогодичного обезвоживания осадков муниципальных сточных вод на иловых площадках [22]. Уже известно, что обезвоженный осадок флокулянтами не подходит для удобрения сельскохозяйственных культур, хотя иловые карты были придуманы именно для последующего применения удобрения, после нескольких лет слеживания данных отходов.

Известно изобретение [23], где при утилизации активного ила осуществляют химическую обработку с выдерживанием реакции от двух часов. Недостатками данного изобретения является долговременная утилизация активного ила и отсутствие обеззараживающего эффекта. Основной проблемой при

очистке сточных вод является образование отходов, которые отправляются на свалки [24]. Переработка осадков признана во всем мире серьезной проблемой на пути к реализации стратегии устойчивого развития и зеленого роста экономик всех стран [25; 26]. Организация Объединенных Наций определяет зеленый рост как политику, которая делает упор на экологически устойчивое экономическое развитие, сокращающее выбросы углекислого газа. Новая стратегия Европейской комиссии по устойчивому экономическому росту и созданию рабочих мест «Европа 2020» также включает концепцию зеленого роста и инноваций с особым акцентом на разработку и обеспечение соблюдения законодательства в области обращения с отходами. Особое внимание уделяется изучению осадков как вторичных ресурсов [27]. Способы обращения с осадками с очистных сооружений связаны с затратами и ограничениями из-за жестких требований российских властей [20]. Переработка отходов дает возможность снизить затраты или, в некоторых случаях, получить доход и экологические выгоды за счет минимизации осадков сточных вод на очистных сооружениях [29].

### Материалы и методы

В данной работе были изучены осадки очистных сооружений «Центральный», расположенных в г. Владивостоке Приморского края, после механического обезвоживания. Методологической основой исследования послужили прикладные и фундаментальные методы промышленной экологии. Исследование основано на теории массопереноса, гидравлики, физической химии и биотехнологии.

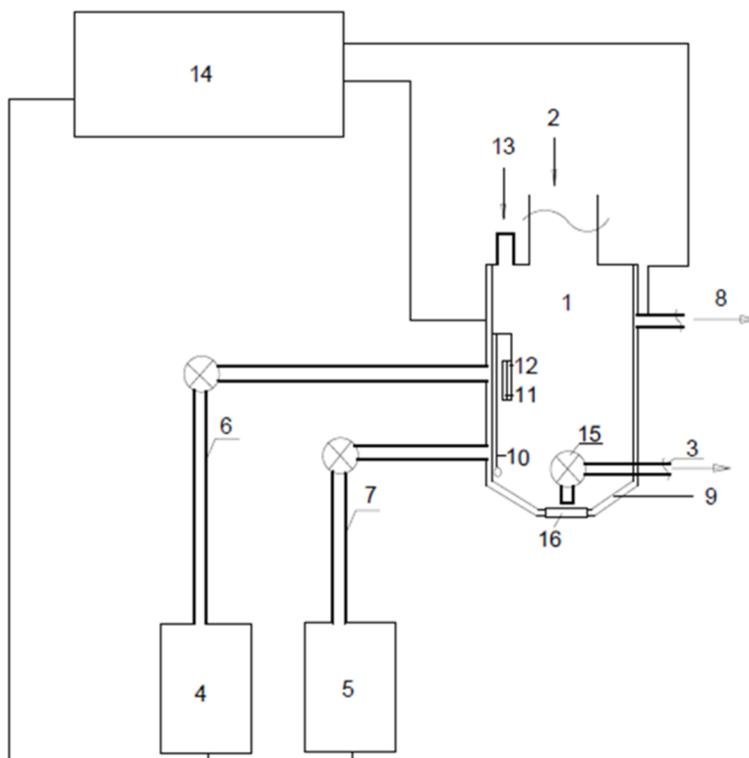
Для научных исследований выбраны следующие параметры осадков: агрегатное состояние, массовая доля влаги, массовая доля сухого вещества, массовая доля золы (минеральных веществ), органических веществ, массовая доля общего азота, массовая доля общего фосфора, кремния в пересчете на оксид, титана в пересчете на оксид, серы в пересчете на сульфат-ион, мышьяка, удельная активность техногенных радионуклидов, эффективная удельная активность природных радионуклидов, ХПК и БПК<sub>5</sub>, исследование тяжелых металлов, группа бактерий *E. coli*, патогенные микроорганизмы, яйца гельминтов и цисты простейших, наличие жизнеспособных личинок и куколок синантропных мух.

Влияние растворенного осадка сточных вод на активный ил было изучено с помощью сканирующего электронного микроскопа ЛОМО Микмед 5 методом гидробиологического анализа.

### Результаты и обсуждение

Преобразователь отходов (рис. 1) работает следующим образом. На рис. 1 показаны реакгентная камера 1, патрубок 2 подачи осадка, патрубок 3 отвода нерастворимой фракции осадка, емкости 4 и 5 с кислотным и щелочным реагентами соответственно и патрубки их подвода 6 и 7, патрубок 8

отвода жидкой фракции осадка, корпус 9 реакгентной камеры 1, датчики уровня 10, температуры 11 и pH 12 соответственно, газоочищающее устройство 13, блок управления 14, насосный агрегат 15, затвор 16.



**Рис. 1. Преобразователь отходов:**

1 – реакгентная камера; 2 – патрубок поступления осадка; 3 – патрубок отвода нерастворимой фракции осадка; 4, 5 – емкости с кислотным и щелочным реагентами; 6, 7 – патрубки отвода реагентов; 8 – патрубок отвода жидкой фракции осадка; 9 – корпус реакгентной камеры; 10 – датчик уровня жидкости; 11 – датчик температуры; 12 – датчик pH; 13 – газоочищающее устройство; 14 – блок управления; 15 – насосный агрегат; 16 – аварийный затвор

Источник: составлено авторами /

**Figure 1. Waste converter:**

1 – reagent chamber; 2 – sludge intake pipe; 3 – discharge pipe for insoluble fraction of sediment; 4, 5 – containers with acid and alkaline reagents; 6, 7 – reagent discharge pipes; 8 – discharge pipe for liquid fraction of sediment; 9 – reagent chamber housing; 10 – liquid level sensor; 11 – temperature sensor; 12 – pH sensor; 13 – gas cleaning device; 14 – control unit; 15 – pumping unit; 16 – emergency shutter

Source: compiled by the authors.

Установка для переработки осадка, получаемого при эксплуатации очистных сооружений, содержит вертикально ориентированную реакгентную камеру 1:

- с корпусом 9 цилиндрической формы с двойными коаксиальными стенками, в зазоре между которыми циркулирует теплоноситель;
- в которой расположены датчики уровня 10, температуры 11 и pH 12 соответственно;
- в верхней части которой размещены патрубок 2 подачи осадка и газоочищающее устройство 13;

– в нижней части которой расположен патрубок 3 отвода нерастворимой фракции осадка;

– которая снабжена патрубком 8 отвода жидкой фракции осадка;

– которая сообщена с емкостями с кислотным 4 и щелочным 5 реагентами через соответствующие патрубки подвода 6 и 7.

Блок управления 14 руководит реагентным хозяйством (определение концентраций и контроль уровня водных растворов реагентов в соответствующих емкостях 4 и 5, регулирование подачи указанных растворов в реагентную камеру 1) и работой реагентной камеры 1 (контроль уровня жидкости с помощью датчика уровня 10, температурного режима с помощью датчика температуры 11, pH с помощью датчика pH 12, удаление нерастворимой фракции осадка, слив жидкой фракции осадка и работа затвора).

Осадок влажностью, например 98 %, вводят в реагентную камеру 1 через патрубок 2.

Далее из емкости 4 по патрубку 6 в реагентную камеру 1 подают кислотный реагент, например 25%-й водный раствор серной кислоты, при массовом соотношении *осадок : кислотный реагент* как 1:1, в результате чего начинается процесс растворения осадка и его преобразование в жидкую и газообразную форму, последняя удаляется из реагентной камеры 1 через газоочищающее устройство 13.

Затем из емкости 5 по патрубку 7 в реагентную камеру 1 подают щелочной реагент, например 5%-й водный раствор гидроксида натрия, до тех пор, пока pH суспензии, измеряемый датчиком 12, не станет равным 5,5–6,5 и ее температура, измеряемая датчиком 11, не достигнет 30 °С.

В процессе нейтрализации кислоты щелочью выделяется большое количество тепла, в результате за счет повышения температуры водяной смеси происходит надежное обеззараживание и растворение 95 % осадка.

Реагентную камеру 1 охлаждают посредством теплоносителя, который циркулирует в зазоре между двойными коаксиальными стенками корпуса 9, а количество химических реагентов и растворенного осадка контролируют с помощью датчика уровня 10. Разделяют жидкую и нерастворимую фракции осадка. Жидкую фракцию в виде осветленной воды через патрубок 8 отвода можно повторно направить в очистные сооружения – это позволяет исключить затраты на водоотделение и обеззараживание, на нейтрализацию тяжелых металлов, транспортирование или энергозатраты в случаях использования отходов очистных сооружений в качестве удобрения или при сжигании отхода, а также дает возможность сократить объемы отходов от очистных сооружений. Нерастворимая фракция осадка после слива жидкой фракции по сигналу датчика уровня 10 систематизированно выводится из реагентной камеры 1 путем ее опорожнения с помощью насосного агрегата 15. При аварийных ситуациях выгрузку осадка и опорожнение реагентной камеры 1 осуществляют через затвор 16 днища реагентной камеры 1.

Установка производительностью 10 м<sup>3</sup>/час диаметром 1 м и высотой 3 м, в которую осадок, получаемый при эксплуатации очистных сооружений, вводят по напорному трубопроводу Ду 65, причем при обработке 1 м<sup>3</sup> осадка опорожнение реакгентной камеры осуществляется на 0,5 м.

Провели тест в периодическом режиме для осадка, состав которого приведен в табл. 1.

Таблица 1. Исходный состав осадка от очистных сооружений /  
Table 1. The initial composition of sludge from sewage treatment plants

№	Наименование показателя / The name of the indicator	Единица измерения / Unit	Значение / Meaning
1	Агрегатное состояние / Aggregate state	–	твердый / solid
2	Массовая доля влаги / Mass fraction of moisture	%	67
3	Массовая доля сухого вещества / Mass fraction of dry matter		33
4	Массовая доля золы (минеральные вещества) / Mass fraction of ash (minerals)	% сух. на в-во / % на факт. вл. / % dry. per substance / % per fact. humidity	52 / 17,6
5	Органические вещества / Organic substances		48 / 15,84
6	Массовая доля общего азота / Mass fraction of total nitrogen		3,2 / 1,06
7	Массовая доля общего фосфора / Mass fraction of total phosphorus		9,4 / 3,1
8	Кремний в пересчете на оксид / Silicon in terms of oxide	мг/кг сух. на в-во / мг/кг на факт. вл. / mg/kg dry. per substance / mg/kg per fact. humidity	118336 / 83600
9	Титан в пересчете на оксид / Titanium in terms of oxide		2603 / 1718
10	Сера в пересчете на сульфат-ион / Sulfur in terms of sulfate ion	мг/кг сух. на в-во / мг/кг на факт. вл. / mg/kg dry. per substance / mg/kg per fact. humidity	184 / 182
11	Мышьяк / Arsenic		0,25 / 0,000008
12	Удельная активность техногенных радионуклидов / Specific activity of technogenic radionuclides	отн. Единицы / rel. units	<1
13	Эффективная удельная активность природных радионуклидов / Effective specific activity of natural radionuclides	Бк/кг / Bq/kg	17,8+ / –12,3
14	ХПК водной вытяжки / COD of water extraction	мг/дм <sup>3</sup> / mg/dm <sup>3</sup>	2930
15	БПК <sub>5</sub> водной вытяжки / BOD <sub>5</sub> water extraction	мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> / mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	1760

В мерный стакан объемом 100 мл вносили осадок весом 100 г (рис. 2).

Постепенно в мерный стакан вливали 100 г 25%-го водного раствора серной кислоты, после перемешивания в полученную суспензию вливали 5 мл 5%-го водного раствора гидроксида натрия, в течение 1 мин рН суспензии стал равным 6, а ее температура достигла 30 °С, далее разделили жидкую и нерастворимую фракции (рис. 2).

Из 100 г осадка осталось 2 мл нерастворимой фракции (рис. 3). Сравнительный анализ состава осадка до и после его переработки приведен в табл. 2.

На основе данных табл. 2 можно сделать вывод, что заявляемая установка обеспечивает надежное обеззараживание и высокую степень растворения осадка.

Проведено исследование по влиянию растворенного осадка на активный ил в течение одного месяца (рис. 4).

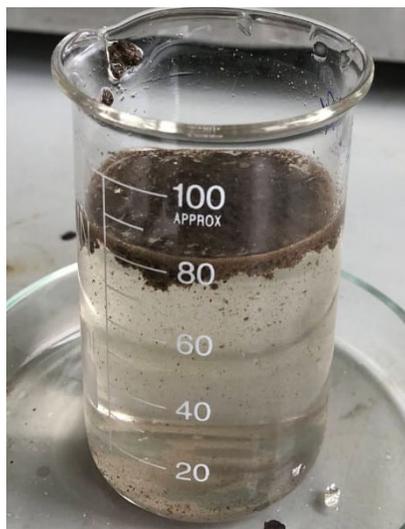


**Рис. 2. Осадок от канализационных очистных сооружений**

Источник: составлено авторами /

**Figure 2. Sediment from sewage treatment**

Source: compiled by the authors.



**Рис. 3. Преобразование осадка в водный раствор**

Источник: составлено авторами /

**Figure 3. Transformation of sediment into an aqueous solution**

Source: compiled by the authors.

**Таблица 2. Сравнительный анализ состава осадка до и после его переработки / Table 2. Comparative analysis of sediment composition before and after its processing**

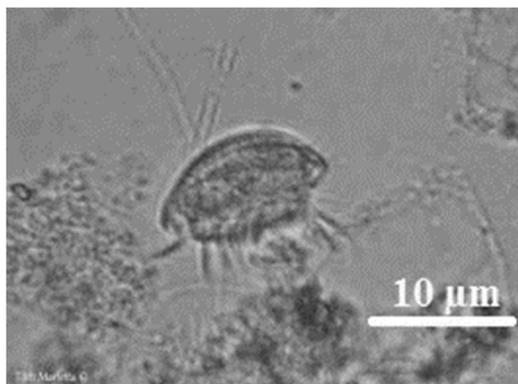
№	Наименование показателя / The name of the indicator	Единица измерения / Unit	Значение / Meaning	
			до переработки / before	после переработки / after
1	Водородный показатель солевой вытяжки (рН) / Hydrogen index of salt extraction	ед.рН / рН	5,6	5,4
2	Алюминий в пересчете на оксид / Aluminum in terms of oxide		23559 / 15317	<0,5
3	Железо в пересчете на оксид / Iron in terms of oxide		44669 / 21079	<0,1
4	Марганец в пересчете на оксид / Manganese in terms of oxide	мг/кг сух. на в-во / мг/кг на факт. вл. / mg/kg dry. per substance / mg/kg per fact. humidity	1849 / 788	<0,05
5	Кальций в пересчете на оксид / Calcium in terms of oxide		12977 / 5991	0,23
6	Магний в пересчете на оксид / Magnesium in terms of oxide		2851 / 1560	0,07
7	Натрий в пересчете на оксид / Sodium in terms of oxide	мг/кг сух. на в-во / мг/кг на факт. вл. / mg/kg dry. per substance / mg/kg per fact. humidity	5387 / 2396	1,9
8	Калий в пересчете на оксид / Potassium in terms of oxide		12009 / 4775	0,23
9	Ртуть / Mercury		0,68 / 0,00002	<0,1
10	Хром / Chrome		4,4 / 0,0001	1,1
11	Свинец / Plumbum	мг/кг сух. на в-во / % на факт. вл. / mg/kg dry. per substance / % per fact. humidity	14,4 / 0,0005	<0,1
12	Кадмий / Cadmium		0,98 / 0,00003	0,015
13	Никель / Nickel		6,2 / 0,0002	<0,1
14	Медь / Cuprum		67,8 / 0,0022	0,189
15	Цинк / Zinc		217 / 0,0072	0,194

Окончание табл. 2

№	Наименование показателя / The name of the indicator	Единица измерения / Unit	Значение / Meaning	
			до переработки / before	после переработки / after
16	Бактерии группы кишечной палочки, индекс / E. coli group bacteria, index	клеток/г/ cells/g	<1	<1
17	Патогенные микроорганизмы / Pathogenic microorganisms		Не обнаружены / not detected	Не обнаружены / not detected
18	Жизнеспособные яйца гельминтов и цисты простейших / Viable helminth eggs and protozoan cysts	экз. /100 г / copies / 100 g	Не обнаружены / not detected	Не обнаружены / not detected
19	Наличие жизнеспособных личинок и куколок синантропных мух / The presence of viable larvae and pupae of synanthropic flies	экз. с площади 20*20 см / copies from an area of 20*20 cm	Не обнаружены / not detected	Не обнаружены / not detected



**Рис. 4.** Исследование активного ила методом сканирующего электронного микрокопирования (Коловратка) / **Figure 4.** Investigation of activated sludge by scanning electron microscopy (Rotifer)



**Рис. 5.** Исследование активного ила методом сканирующего электронного микрокопирования (Аспидиска) / **Figure 5.** Investigation of activated sludge by scanning electron microscopy (Aspidiska)

По результатам исследований выявлено, что в течение месяца количественный состав гидробионтов не менялся, в составе активного ила присутствовали коловратки (рис. 4), аспидиски (рис. 5), колониальные вортицеллы, небольшое количество раковинных амёб. Эти цифры подтверждают низкое воздействие переработанных отходов на биоценоз активного ила.

В заключение необходимо отметить, что по результатам анализа установлено, что ситуация с осадками сточных вод начнет изменяться в первые месяцы работы таких установок.

### Выводы

1. В технологию канализационных очистных сооружений с биологической очисткой целесообразно включать преобразователи, обеспечивающие снижение количества осадков от очистных сооружений до технологически возможного минимума.

2. Теоретически и экспериментально подтверждена высокая эффективность технологии преобразования осадков в жидкую среду при использовании преобразователя, преимущества которого заключаются в техническом

решении, которое состоит в разработке эффективной и простой технологии переработки осадка, получаемого при эксплуатации очистных сооружений, что позволяет рекомендовать преобразователь для широкого применения как при разработке и строительстве новых очистных сооружений, так и при реконструкции существующих.

3. Экспериментально определено, что преобразованные осадки в водный раствор при поступлении на очистные сооружения не создают нагрузку на активный ил, тем самым гарантируя непрерывную работоспособность очистных сооружений.

### Список литературы

- [1] Дьяков М.С., Вайсман Я.И., Глушанкова И.С. Экологически безопасный способ утилизации твердых отходов биохимических очистных сооружений с получением продуктов, обладающих товарными свойствами // *Экология и промышленность России*. 2013. № 11. С. 53–57.
- [2] Степанов М.А. Создание объектов утилизации отходов очистных сооружений // *Твердые бытовые отходы*. 2022. № 5(191). С. 48–51.
- [3] Ибадуллаева Э.С. Утилизация осадка сточных вод на очистных сооружениях г. Севастополя // *Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность*. 2018. С. 481–484.
- [4] Гоголева Н.А., Гусева М.В., Юрчук Ю.С. Анализ методов утилизации отходов очистных сооружений // *Безопасность городской среды: материалы VII Международной научно-практической конференции*. Омский государственный технический университет, 2020. С. 31–35.
- [5] Смирнов Ю.Д., Сучкова М.В. Опыт использования отходов очистных сооружений коммунального хозяйства // *Инновационные технологии и вопросы обеспечения безопасности реальной экономики*. 2019. С. 251–261.
- [6] Кожевников В.П., Зонов В.Д., Кожевникова А.В. Обзор технологий переработки отходов сельского хозяйства и очистных сооружений // *Дневник науки*. 2018. № 5 (17). 6 с.
- [7] Благоразумова А.М. *Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод*. СПб.: Лань, 2014. 208 с.
- [8] Волосникова Г.А., Чернобровкина О.Е. Поиск путей оптимизации технологического процесса обработки осадков очистных сооружений канализации МУП г. Хабаровска «Водоканал» // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 5. С. 187–194.
- [9] *Małgorzata Kacprzak*. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development // *Environmental Research*. 2017. Vol. 156. P. 39–46.
- [10] *Fytali D., Zabaniotou A*. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008. Vol. 12. Issue 1. P. 116–140.
- [11] *Samolada M., Zabaniotou A*. Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece // *Waste Manag.* Vol. 34. Issue 2. 2014. P. 411–420.
- [12] *Векшин А.А., Рассохина Е.В.* Сжигание осадка как безотходный способ утилизации осадка сточных вод // *Приволжский научный журнал*. 2023. № 2 (66). С. 100–107.
- [13] *Chao L., Liangshan H., Ming X*. Revealing the microbial mechanism of FeO and MnO<sub>2</sub> mediated microbial fuel cell-anaerobic digestion coupling system and its energy flow distribution // *Jingliang Liu Chemosphere*. 2022. Vol. 308. P. 136597.
- [14] *Балашов А.М., Федоровская Л.А.* Обезвреживание осадка сточных вод и осадка водоподготовки – существенное снижение экологической нагрузки на биогеоценозы // *Ростовский научный журнал*. 2017. № 8. С. 92–98.

- [15] Степанова Л.П., Коренькова Е.А., Степанова Е.И. Биоэкологические свойства почвогрунтов на основе отходов производства как фактор мониторинга и управления продукционным процессом растений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30, № 2. С. 143–152. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-143-152>
- [16] Янин Е.П. Осадки сточных вод городов России как источник эмиссии ртути в окружающую среду // Экологические системы и приборы. 2009. № 7. С. 14–15.
- [17] LeiYu F., Jingyang L., Yinguang C. Dilemma of Sewage Sludge Treatment and Disposal in China // Environ. Sci. Technol. 2015. 49 (8). P. 4781–4782.
- [18] Егорова Н.А., Шошин А.В. Биологические отходы рыбоводства и перспективы их переработки с помощью дождевого червя *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 292–299. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-292-299>
- [19] Шкаредо В.А., Самбурский Г.А., Максимова А.С. Особенности обращения с осадком сточных вод как с побочным продуктом // Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве: сборник материалов I Международной научной конференции. Магистратура: Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 2023. С. 139–142.
- [20] Шахова И.М. Способы обращения с осадками сточных вод канализационных очистных сооружений // Научные проблемы водного транспорта. 2023. № 74. С. 229–233. <http://doi.org/10.37890/jwt.vi74.342>
- [21] Демин Д.В., Севостьянов С.М., Татаркин И.В. Способ переработки осадка сточных вод, Патент РФ № 2457909, Бюл. № 4, дата публикации 10.02.2012.
- [22] Иванов Н.А., Иванов А.Н. Способ круглогодичного обезвоживания осадка городских сточных вод на очистных сооружениях, Патент РФ № 2393122, Булл. № 18, дата публикации 27.06.2010.
- [23] Яценко В.Н., Бабкин В.Ф., Евсеев Е.П., Захаров П.Д. Способ утилизации отработанного активного ила очистных сооружений, патент РФ № 2680509, дата публикации 21.02.2019.
- [24] Tempest B.Q., Pando M.A. Characterization and demonstration of Re-use applications of sewage sludge ash, International Journal of GEOMATE. Vol. 4. Issue 8. 2013. P. 552–559.
- [25] Vongchan P., Chompunth Ch., Phoochinda W. Green business model of biomass very small power producers in Thailand // International Journal of GEOMATE. Vol. 19, Issue 72. 2020. P. 102–108.
- [26] Курочкина В.А., Волкова В.Н. Обращение с твердыми коммунальными отходами как формирование экологического риска в Приморском крае // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 3. <http://doi.org/10.15862/04NZVN323>
- [27] Shibata K., Yoshida H., Inoue T. Study on ad-sorption performance of food wastes for various heavy metals // International Journal of GEOMATE. Vol. 16, Issue 55. 2019. P. 46–52.
- [28] Apriani M., Masduqi A., Hadi W. Investigation on calcium and magnesium in traditional salt plots: promoting utilization waste by-product // International Journal of GEOMATE. Vol. 15. Issue 49. 2018. P. 130–136.
- [29] Волкова В.Н., Пикула К.С., Головин В.Л. Биотестирование сточных вод г. Владивостока на морской микроводоросли *Heterosigma Akashiwo* // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26, № 8. С. 54–58. <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-8-54-58>

## References

- [1] Dyakov MS, Vaisman YaI, Glushankova IS. An environmentally safe method of disposal of solid waste from biochemical treatment facilities with the production of products with marketable properties. *Ecology and industry of Russia*. 2013;11:53–57. (In Russ.)
- [2] Stepanov MA. Creation of waste disposal facilities of treatment facilities. *Solid household waste*. 2022;5(191):48–51. (In Russ.)
- [3] Ibadullayeva ES. Utilization of sewage sludge at the treatment facilities of Sevastopol. *Environmental, industrial and energy security*. 2018;481–484. (In Russ.)
- [4] Gogoleva NA, Guseva MV, Yurchuk YuS. Analysis of waste disposal methods of treatment facilities. *Urban environment safety: materials of the VII International Scientific and Practical Conference, Omsk State Technical University*. 2020. p. 31–35. (In Russ.)
- [5] Smirnov YuD, Suchkova MV. Experience of using waste from municipal wastewater treatment plants. *Innovative technologies and issues of ensuring the security of the real economy*. 2019. p. 251–261. (In Russ.)
- [6] Kozhevnikov VP, Zonov VD, Kozhevnikova AV. Review of technologies for processing agricultural waste and treatment facilities. *Diary of Science*. 2018;5(17):6. (In Russ.)
- [7] Razdorazumova AM. *Treatment and dewatering of urban sewage sludge*. St. Petersburg: Publishing house “Lan”; 2014. 208 p. (In Russ.)
- [8] Volosnikova GA, Chernobrovkina OE. Search for ways to optimize the technological process of precipitation treatment of sewage treatment plants of the Municipal Unitary Enterprise of Khabarovsk “Vodokanal”. *Innovations and investments*. 2022;(5):187–194. (In Russ.)
- [9] Małgorzata Kacprzak Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. *Environmental Research*. 2017;156:39–46. (In Russ.)
- [10] Fytilli D, Zabaniotou A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008;12(1):116–140.
- [11] Samolada M, Zabaniotou A. Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece. *Waste Manag*. 2014;34(2):411–420.
- [12] Vekshin AA, Rassokhina EV. Burning of sludge as a waste-free method of disposal of sewage sludge. *Volga Scientific Journal*. 2023;2(66):100–107. (In Russ.)
- [13] Chao L, Liangshan H, Ming X. Revealing the microbial mechanism of FeO and MnO<sub>2</sub> mediated microbial fuel cell-anaerobic digestion coupling system and its energy flow distribution. *Jingliang Liu Chemosphere*. 2022;(308):136597.
- [14] Balashov AM, Fedorovskaya LA. Neutralization of sewage sludge and water treatment sludge – a significant reduction in the environmental load on biogeocenoses. *Rostov Scientific Journal*. 2017;(8):92–98. (In Russ.)
- [15] Stepanova LP, Korenkova EA, Stepanova EI. Bioecological properties of soils based on production waste as a factor of monitoring and management of the production process of plants. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(2):143–152. (In Russ.)
- [16] Yanin EP. Sewage sludge of Russian cities as a source of mercury emission into the environment. *Ecological systems and devices*. 2009;(7):14–15. (In Russ.)
- [17] Leiyu F, Jingyang L, Yinguang C. Dilemma of Drainage Sludge Treatment and Disposal in China. *Environ. Sci. Technol*. 2015;49(8):4781–4782.
- [18] Egorova NA., Shoshin AV. Biological waste from fish farming and prospects for their processing with the help of the earthworm *Eisenia foetida* (Savigny, 1826). *Ecological systems and devices*. 2022;30(3):292–299. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-292-299> (In Russ.)
- [19] Shkaredo VA., Sambursky GA., Maksimova AS. Features of treatment of sewage sludge as a by-product. *Problems of technosphere and environmental safety in industry, construction and urban economy: collection of materials of the I International Scientific*

- Conference, Makeyevka: Donbass National Academy of Construction and Architecture.* 2023. p. 139–142. (In Russ.)
- [20] Shakhova IM. Methods of handling sewage sludge from sewage treatment plants. *Scientific problems of water transport.* 2023;74:229–233. <http://doi.org/10.37890/jwt.vi74.342> (In Russ.)
- [21] Demin DV, Sevostyanov SM, Tatarkin IV. Method of processing sewage sludge, *RF Patent* 2457909, Bul. 4, publication date 10.02.2012. (In Russ.)
- [22] Ivanov NA, Ivanov AN. Method of year-round dewatering of urban sewage sludge at sewage treatment plants, *RF Patent* 2393122, Bul. 18, date of publication 27.06.2010. (In Russ.)
- [23] Yatsenko VN, Babkin VF, Evseev EP, Zakharov PD. Method of disposal of spent activated sludge of treatment facilities, *RF patent* 2680509, date of publication 21.02.2019. (In Russ.)
- [24] Tempest BQ, Pando MA. Characterization and demonstration of Re-use applications of sewage sludge ash. *International Journal of GEOMATE.* 2013;4(8):552–559.
- [25] Vongchan PCh, Phoochinda W. Green business model of biomass very small power producers in Thailand. *International Journal of GEOMATE.* 2020;19(72):102–108.
- [26] Kurochkina VA, Volkova VN. Solid municipal waste management as an environmental risk formation in Primorsky Krai. *Bulletin of Eurasian Science.* 2023;15(3). <http://doi.org/10.15862/04NZVN323> (In Russ.)
- [27] Shibata K, Yoshida H, Inoue T. Study on ad-sorption performance of food wastes for various heavy metals. *International Journal of GEOMATE.* 2019;16(55):46–52.
- [28] Apriani M, Masduqi A, Hadi W. Investigation on calcium and magnesium in traditional salt plots: promoting utilization waste by-product. *International Journal of GEOMATE.* 2018;15(49):130–136.
- [29] Volkova VN, Pikula KS, Golovin VL. Biotesting of Vladivostok wastewater on marine microalgae *Heterosigma Akashiwo*. *Ecology and industry of Russia.* 2022;26(8):54–58. <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-8-54-58> (In Russ.)

#### Сведения об авторах:

*Волкова Владислава Николаевна*, кандидат технических наук, старший преподаватель, Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт (школа), Российская Федерация, 690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс 10. ORCID: 0000-0001-9078-9858, eLIBRARY SPIN-код: 4987-5211. E-mail: [vladavibi@bk.ru](mailto:vladavibi@bk.ru)

*Шевцов Михаил Николаевич*, доктор технических наук, доцент, профессор, Тихоокеанский государственный университет, Российская Федерация, 690922, г. Хабаровск, Тихоокеанская улица, 136. E-mail: [000458@pnu.edu.ru](mailto:000458@pnu.edu.ru)

#### Bio notes:

*Vladislava N. Volkova*, PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer, Far Eastern Federal University, Polytechnic Institute (School), 10 village Ajax, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9078-9858, eLIBRARY SPIN-code: 4987-5211. E-mail: [vladavibi@bk.ru](mailto:vladavibi@bk.ru)

*Michael N. Shevtsov*, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Pacific State University, 136 Pacific Street, Khabarovsk, 680035, Russian Federation. E-mail: [000458@pnu.edu.ru](mailto:000458@pnu.edu.ru)



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-607-617

EDN: TLYHLS

УДК 504.05:62/69

Научная статья / Research article

## Эколого-технологическая эффективность инновационного угольно-водоугольного кластера ЖКХ

Т.В. Зоммер<sup>1</sup>  , В.В. Симонян<sup>1</sup>, А.Г. Морозов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Амальтея-Сервис, Москва, Российская Федерация

 ZommerTV@mgsu.ru

**Аннотация.** Рассмотрены возможности повышения эколого-технологической эффективности инновационного угольно-водоугольного кластера ЖКХ, включая механику разрушения угля методом мокрого помола в гидроударной установке с контролем гранулометрического состава полученной водоугольной суспензии. Создание опытного угольно-водоугольного кластера ЖКХ предполагает использование в строящихся или действующих котельных инновационной угольно-водоугольной технологии, включая переработку твердых видов угольного топлива в инновационную водоугольную топливную суспензию с последующим сжиганием в специально оборудованных топках. Поставленные задачи управления экологическими и технологическими качествами в процессе приготовления инновационной водоугольной топливной суспензии на основе статистического анализа гранулометрического состава коррелируют с задачами получения микро- и ультрадисперсной водоугольных суспензий с целью достижения высоких экологических и технологических качеств. Результаты, полученные путем стандартного математико-статистического анализа гранулометрического состава, были подтверждены экспериментальными данными. Полученные результаты позволили осуществить генерацию новых идей с использованием природной трещиноватости угля для управляющего гидроударного воздействия в рамках угольно-водоугольного кластера ЖКХ. Предложено управление инновационной угольно-водоугольной топливной технологией на основе автоматического контроля гранулометрического состава с использованием природной трещиноватости угля для управляющего воздействия при разрушении угля методом гидроудара. Выявлены технологические закономерности уменьшения негативного техногенного воздействия на геосферы, включая методику управления экологическими и технологическими качествами инновационной водоугольной суспензии на основе

© Зоммер Т.В., Симонян В.В., Морозов А.Г., 2023



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

автоматического контроля гранулометрического состава при измельчении угля методом гидроудара.

**Ключевые слова:** экология, промышленная экология, эколого-технологическая эффективность, водоугольная топливная суспензия, гидроударная установка, энергосбережение, энергоэффективность, инновационный угольно-водоугольный кластер ЖКХ

**Благодарности и финансирование.** Исследование проводилось в рамках гранта РФФИ № 19-35-90135.

**Вклад авторов:** Т.В. Зоммер – идея, проведение и анализ исследования, обработка полученных данных и их интерпретация; В.В. Симомян – обработка полученных данных; А.Г. Морозов – проведение эксперимента, обработка полученных данных.

**История статьи:** поступила в редакцию 12.03.2023; доработана после рецензирования 20.06.2023; принята к публикации 21.09.2023.

**Для цитирования:** Зоммер Т.В., Симомян В.В., Морозов А.Г. Эколого-технологическая эффективность инновационного угольно-водоугольного кластера ЖКХ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 607–617. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-607-617>

## Ecological and technological efficiency of the innovative coal-watercoal cluster of housing and communal services

Tatyana V. Zommer<sup>1</sup>  , Vladimir V. Simonyan<sup>1</sup>, Andrey G. Morozov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Amaltea-Service, Moscow, Russian Federation

 ZommerTV@mgsu.ru

**Abstract.** The possibilities of increasing the ecological and technological efficiency of the innovative coal-watercoal cluster of housing and communal services, including the mechanics of coal destruction in a hydraulic shock installation, are considered. The creation of an experimental coal-watercoal cluster of housing and communal services involves the use of innovative coal-watercoal technology in boilers under construction or in operation, including the processing of solid coal fuels into innovative coal-water fuel suspension with subsequent combustion in specially equipped furnaces. The set tasks of managing environmental and technological qualities in the process of preparing an innovative coal-water fuel suspension based on statistical analysis of the granulometric composition correlate with the tasks of obtaining micro- and ultrafine coal-water suspensions in order to achieve high environmental and technological qualities. The control of an innovative coal-watercoal fuel technology based on automatic control of the granulometric composition using the natural fracturing of coal for the control action during the destruction of coal by the method of water hammer is proposed. Technological patterns of reducing the negative technogenic impact on the geospheres are revealed, including a method for managing the environmental and technological qualities of an innovative water-coal suspension based on automatic control of the granulometric composition during coal grinding by the hydraulic shock method.

**Keywords:** ecology, industrial ecology, ecological and technological efficiency, water-coal fuel suspension, hydraulic shock installation, energy saving, energy efficiency, innovative coal-watercoal cluster of housing and communal services.

**Acknowledgements and Funding.** The study was conducted within the framework of RFBR grant No. 19-35-90135.

**Authors' contributions:** *T.V. Zommer* – the idea, conduct and analysis of the study, processing of the received data and their interpretation; *V.V. Simonyan* – processing of the received data; *A.G. Morozov* – conducting the experiment, processing of the received data.

**Article history:** received 12.03.2023; revised 20.06.2023; accepted 21.09.2023.

**For citation:** Zommer TV, Simonyan VV, Morozov AG. Ecological and technological efficiency of the innovative coal-watercoal cluster of housing and communal services. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(4):607–617. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-607-617>

## Введение

Применение инновационных технологий в строительстве и коммунальном хозяйстве должно преследовать своей целью снижение антропогенного воздействия на геосферы [1]. Это отвечает задачам формирования городской системы жизнеобеспечения, совместимой с биосферой [2]. Для разрешения глобальных проблем геоэкологии в области добычи полезных ископаемых, в том числе угля, также должны применяться природоподобные технологии [3; 4].

Проект по созданию опытного угольно-водоугольного кластера ЖКХ предполагает использование в строящихся или действующих котельных инновационной угольно-водоугольной технологии [5; 6], которая включает в том числе переработку твердых видов угольного топлива в водоугольную топливную суспензию с последующим сжиганием в специально оборудованных вихревых топках.

Управление инновационной угольно-водоугольной технологией должно происходить на основе автоматического контроля гранулометрического состава с использованием природной трещиноватости угля [7] для управляющего воздействия при мокром помоле методом гидроудара [8; 9].

## Материалы и методы

В статье использованы теоретическое обобщение экспериментальных методов и анализ литературных данных. Основу методологии теоретических и практических исследований составили теория и методы стандартного математико-статистического анализа.

Результаты, полученные путем стандартного математико-статистического анализа гранулометрического состава, были подтверждены экспериментальными данными. Это позволило осуществить генерацию новых идей с использованием природной трещиноватости угля для управляющего гидроударного воздействия в рамках угольно-водоугольного кластера ЖКХ.

## Результаты и обсуждения

Эффективность инновационной водоугольной технологии напрямую зависит от производства водоугольных смесей с заданными реологическими свойствами. Также для соблюдения экологических норм при производстве водоугольной топливной суспензии большое внимание уделяется контролю гранулометрического состава [10; 11].

При получении мелкодисперсной водоугольной топливной суспензии целью является достижение однородного гранулометрического состава, обеспечивающего стабильные реологические свойства на стадии приготовления, хранения и транспортирования, глубокую деминерализацию и уменьшение вредных выбросов за счет почти стопроцентного сгорания.

Получение различных сортов водоугольной топливной суспензии обеспечивается наличием определенного гранулометрического состава. Это явилось причиной исследования возможности использования природной трещиноватости угля для управляющего воздействия при мокром помоле методом гидроудара.

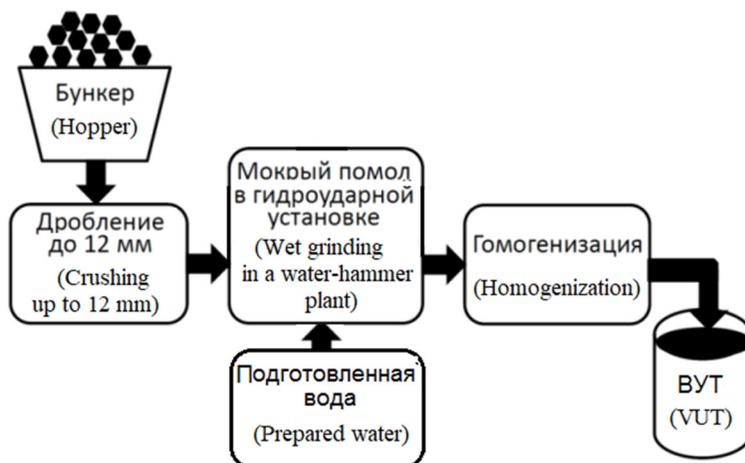
Каменный и бурый уголь в сравнении с пустой породой геологических толщ обладает низкой прочностью и малой пластичностью. Поэтому в угольных пластах при тектонических деформациях возникают сложные сети трещин. При этом к обычным для осадочных пород перпендикулярным слою трещинам добавляются ориентированные под углом  $45^\circ$  к плоскости напластования трещины, которые возникают вдоль плоскостей максимальных тангенциальных напряжений. На некоторых угольных пластах наблюдается до 10 систем трещин, в результате чего уголь может быть разбит видимыми трещинами на небольшие отдельности размером  $1 \text{ см}^3$  [7].

Сложное структурное строение пространственных сетей трещин определяет прочностные, деформационные и фильтрационные свойства угольных слоёв. Ископаемые каменный и бурый уголь как порода характеризуются большой степенью трещиноватости и механизмом хрупкого разрушения [12–14], которые в конечном итоге должны определять технологии разработки месторождений и использования полезных ископаемых.

Изначально дробление угля до нужного размера осуществлялось посредством шаровых мельниц или вибромельниц. При этом оборудование быстро изнашивалось, что делало водоугольные технологии низкорентабельными.

Оптимальным на сегодняшний день является применение гидроударных технологий [8; 9]. При этом технология приготовления водоугольной топливной суспензии сводится к предварительному дроблению угля в шаровых мельницах или вибромельницах до гранул  $10 \dots 12 \text{ мм}$  и мокрого помола в гидроударной установке с последующей гомогенизацией (рис. 1).

В основе мокрого помола в водной среде методом гидроудара лежит природная трещиноватость угля. Работа современной гидроударной установки мокрого помола основана на использовании гидроудара, энергия которого передается водой в микротрещины, по которым происходит разрушение угля.



**Рис. 1. Схема приготовления водоугольного топлива.** Источник: составлено авторами / **Figure 1. Scheme of preparation of coal-water fuel.** Source: compiled by the authors.

Гидроударные технологии при гидродобыче угля и мокром помоле при помощи гидроудара имеют сходство на микро- и макроуровнях. Процессы хрупкого разрушения угля как трещиноватой породы на макро- и микроуровнях носят один и тот же характер. Метод вибровоздействия при направленной гидродобыче с высвобождением содержащегося в угольных пластах метана схож с методом гидроудара при мокром помоле.

Анализ процессов хрупкого разрушения угля как горной трещиноватой породы на макро- и микроуровнях показал, что направленная гидродобыча с высвобождением содержащегося в угольных пластах метана, а также мокрый помол с получением определенного гранулометрического состава водоугольной топливной суспензии методом гидроудара происходят по макро- и микротрещинам.

Каменный и бурый уголь как породы характеризуются большой степенью трещиноватости и механизмом хрупкого разрушения по трещинам. Сложное структурное строение пространственных сетей трещин определяет прочностные, деформационные и фильтрационные свойства угольных слоев.

В данном случае нас интересует задача хрупкого разрушения добытого ископаемого угля при помощи управляющих гидровибрационных воздействий на уровне микротрещин с целью дробления в воде методом гидроудара.

Схематичное изображение опытно-промышленной гидроударной установки приведено на рис. 2.

Говоря о микротрещинах угля, можно отметить, что частота кливажа раскола очень велика, что дает возможность направленного воздействия гидроударом до измельчения на микроуровнях [7].

Нами было установлено, что поставленные задачи управления экологическими и технологическими качествами в процессе приготовления инновационной водоугольной топливной суспензии на основе статистического анализа гранулометрического состава коррелируют с задачами получения

микро- и ультрадисперсных водоугольных суспензий [15; 16] с целью достижения высоких экологических и технологических качеств.

Автоматическое управление гранулометрическим составом водоугольной суспензии позволит получать и неограниченное время сохранять за счет измельчения до микро- и ультрауровня и гомогенизации экологические и технологические свойства водоугольной топливной суспензии как дизельного топлива, полученного нехимическим путем.



**Рис. 2. Гидроударная установка [9] /  
Figure 2. Hydraulic-shock installation [9]**

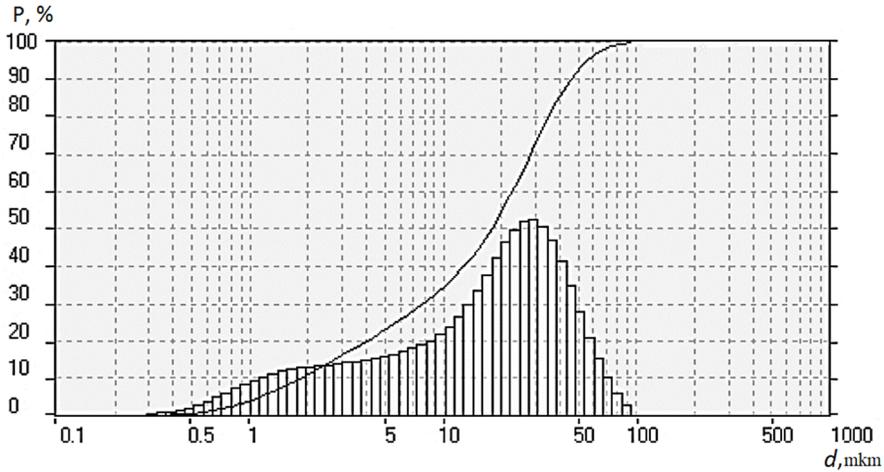
При формировании первичных трещин в осадочных породах параметры трещин подчиняются нормальному закону распределения [7]. Нормальное (гауссово) распределение – это симметричное распределение сортировки или роста в природных стабильных условиях. Логнормальное левоасимметричное распределение характерно для разрушения под воздействием внешнего воздействия. Эта общая природная закономерность отражена также в других работах [17; 18].

Для математико-статистического анализа нами использовались опытные данные испытаний промышленных образцов ВУТ (рис. 3).

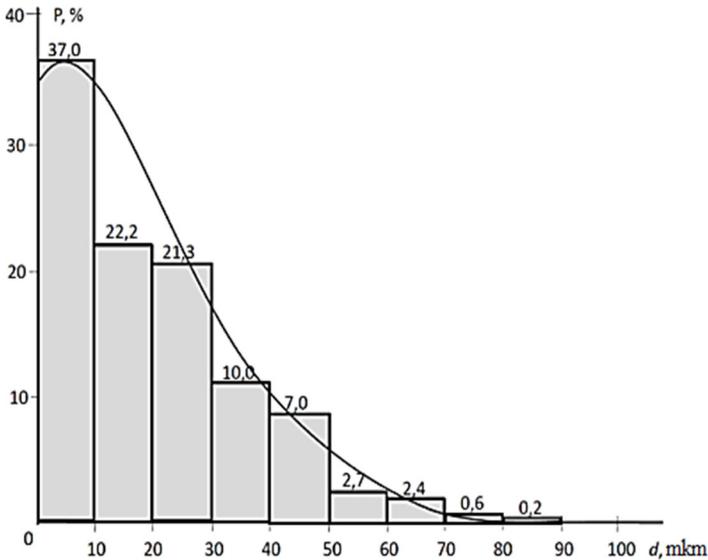
С использованием данных промышленных образцов было получено массовое распределение грансостава ВУТ (рис. 4).

В результате исследования было установлено, что дроблению было подвергнуто совместно два вида угля, которые различались по трещиноватости и, следовательно, по прочности. Один из них дал обломки со средним значением около 1,5...2,0 мкм, второй – с размером 30–35 мкм.

Построив интегральную кривую распределения гранулометрического состава водной топливной суспензии по фракциям на вероятностной бумаге в логарифмическом масштабе, определили неоднородную смесь из трех компонентов с собственным логнормальным распределением для каждого из них (рис. 5).



**Рис. 3. Дифференциальная и интегральная кривые распределения грансостава бурого угля Б2, измельченного в гидродарной установке (70% – фракция 28 мкм) [8] / Figure 3. Differential and integral distribution curves of the granulation of brown coal B2 crushed in a hydraulic shock unit (70% – fraction of 28 mkm) [8]**

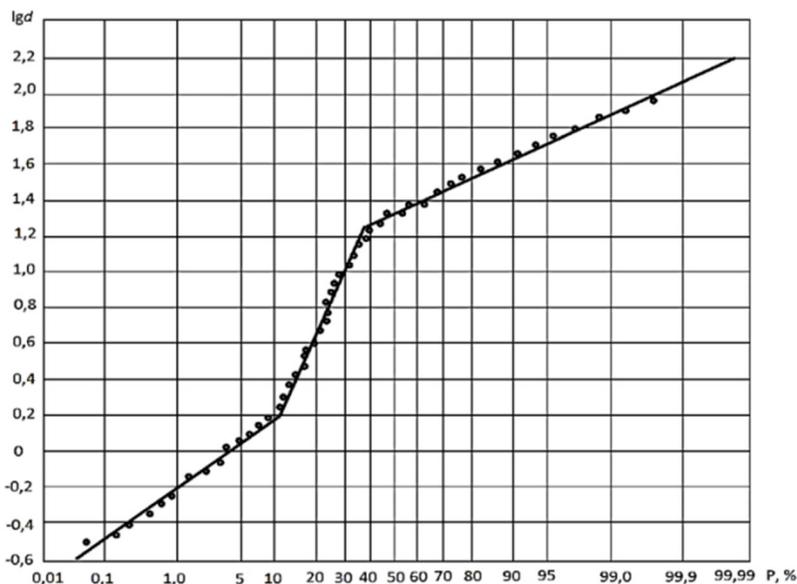


**Рис. 4. Дифференциальная кривая распределения грансостава ВУТ в натуральном масштабе. Источник: составлено авторами / Figure 4. Differential distribution curve of the granulometric composition of the VUT on a natural scale. Source: compiled by the authors.**

По оси абсцисс отложен  $\lg d$ . Вероятностное распределение  $\lg d$  имеет форму, подобную распределению Гаусса. То есть распределение  $d$  логнормальное, характерное для расстояний между тектоническими трещинами, возникающими на стадии разрушения горных пород в массиве от внешних напряжений. Деформации от напряжений внутренних (усыхание, усадка) приводят к формированию нормального, а не логнормального распределения.

Наличие трех распределений логнормального типа подтверждается построением интегральной кривой распределения грансостава ВУТ на

вероятностной бумаге, где по оси ординат отложены  $\lg d$ , а на оси абсцисс – вероятность присутствия частиц конкретного размера. Ось абсцисс деформирована так, чтобы гауссова интегральная кривая имела форму прямой линии.



**Рис. 5. Интегральная кривая распределения грансостава водоугольной топливной суспензии по фракциям на вероятностной бумаге в логарифмическом масштабе.**

*Источник: составлено авторами /*

**Figure 5. Integral distribution curve of the granulometric composition of a coal-water fuel suspension by fractions on probabilistic paper on a logarithmic scale.**

*Source: compiled by the authors.*

В данном случае на графике присутствуют три прямых отрезка, что свидетельствует о наличии в пробе водоугольной топливной суспензии шихты из трех статистических выборок, соответствующих трем генетически различным породам угля.

Это позволяет оптимизировать получение водоугольного топлива с повышением экологической эффективности водоугольных технологий и ресурсосбережения [19–26].

### **Заключение**

В результате исследования проанализированы возможности повышения эколого-технологической эффективности инновационного угольно-водоугольного кластера ЖКХ, включая механику разрушения угля как трещиноватой породы в гидродударной установке.

Предложено управление инновационной угольно-водоугольной топливной технологией на основе автоматического контроля гранулометрического состава с использованием природной трещиноватости угля для управляющего воздействия при разрушении угля методом гидроудара.

Полученные путем стандартного математико-статистического анализа данные гранулометрического состава были подтверждены экспериментальными данными.

Проведенные исследования делают возможным использование природной трещиноватости угля для управляющего гидроударного воздействия и управления гранулометрическим составом инновационной водоугольной топливной суспензии в целях повышения ее экологических и технологических качеств в рамках создания опытного участка инновационного угольно-водоугольного кластера ЖКХ.

### References

- [1] Zommer TV, Chernyshev SN Innovative geotechnologies is the key to geoenvironmental sustainability of urban areas by reducing the load and control techno-landscapes on the example of innovative water-coal technologies. *MATEC Web of Conferences*. 2016;(5):03011.
- [2] Plyichev V, Emelyanov S, Kolchunov V, Bakaeva N. About the dynamic model formation of the urban livelihood system compatible with the biosphere. *Applied Mechanics and Materials*. 2015:725–726, 1224–1230.
- [3] Trubetskoy KN, Galchenko YP. Naturelike mining technologies: prospect of resolving global contradictions when developing mineral resources of the lithosphere. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2017;87(4):378–384.
- [4] Trubetskoy KN, Iofis MA, Yesina EN, Postavnin BN, Fedorov EV, Krasnyukova EV. RU 2684647 C1 Method for controlling the geomechanical state of a rock mass. 2018 (In Russ).
- [5] Zommer TV. Expert-analytical substantiation of the transition from combustion of solid coal fuel to combustion of coal-water slurry fuel. *Science Review*. 2016;(7):33–38 (In Russ).
- [6] Zommer TV, Chernyshev SN. Management of the urban landscapes on the basis of geo-bio-positive coal-watercoal technologies. *Journal of Economy and entrepreneurship*, 2017;4(2):969–973 (In Russ).
- [7] Chernyshev SN. Rock fractures. London; 1991.
- [8] Morozov AG, Korenyugina NV. Hydroimpact technologies in the production of watercoal fuel. *Energy Safety and Energy Economy*. 2010;(2):12–15 (In Russ).
- [9] Morozov AG. RU 82482 U1, Installation for burning coal-water fuel. 2009 (In Russ).
- [10] Patrakov YF, Semenova SA. Analysis of particle size distribution in coal dust by laser diffraction. *Gornyi Zhurnal*. 2020;(4):71–75.
- [11] Surowiak A, Foszcz D, Niedoba T. Evaluation of jig work on the basis of granulometric analysis of particle size fractions of beneficiation products in purpose of process optimization. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;641(1):012006.
- [12] Nikolenko PV, Epshtein SA, Shkuratnik VL, Anufrenkova PS. Experimental study of coal fracture dynamics under the influence of cyclic freezing–thawing using shear elastic waves. *International Journal of Coal Science and Technology*. 2020.
- [13] Kossovich EL. Mechanical, structural and scaling properties of coals: depth-sensing indentation studies. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*. 2019;125(3):195.
- [14] Karacan CÖ, Okandan E. Fracture cleat analysis of coals from Zonguldak Basin (northwestern Turkey) relative to the potential of coalbed methane production. *International Journal of Coal Geology*. 2000;44(2):109–125.

- [15] Manjunath GL, Jha B. Nanoscale fracture mechanics of Gondwana coal. *International Journal of Coal Geology*. 2019;204:102–112.
- [16] Yu H, Zhang Y, Lebedev M, Han T, Verrall M, Wang Z, Al-Khdheawi E, Iglauer S. Nanoscale geomechanical properties of western australian coal. *J. Pet. Sci. Eng.* 2017;(1):109.
- [17] Chernyshev SN, Zommer TV, Zommer VL. A Method for Determining the Hydraulic Conductivity of Rock Mass with Fractures of Limited Length. *Power Technology and Engineering*. 2019;53(2):155–158.
- [18] Ter-Martirosyan ZG, Mirmyy AY, Ter-Martirosyan AZ, Chernyshev SN. The mechanical properties of soils with inhomogeneous granulometric composition. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016;11(3):1715–1718.
- [19] Osintsev KV, Prikhodko IS. Application of linear programming techniques to optimize the choice of coal and water coal fuel. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1333(4):042025.
- [20] Malyshev DYU, Syrodoiy SV. Justification of resource efficiency of the technologies for burning water-coal fuels with biomass additives. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*. 2020;331(6):77–85.
- [21] Murko VI, Khyamyalyainen VA, Baranova MP. The creation of a low-capacity boiler plant on coal-enrichment waste. *International Science and Technology Conference "EastConf"*. 2019:8725397.
- [22] Liu K, Ostadhassan M, Bubach B. Applications of nano-indentation methods to estimate nanoscale mechanical properties of shale reservoir rocks. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. Part A 35. 2016;1310–1319.
- [23] Scholtès L, Donzé FV, Khanal M. Scale effects on strength of geomaterials, case study: Coal. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 2011;59(5):1131–1146.
- [24] Du Q, Liu X, Wang W, Zhong J, Wang S. Dynamic response of coal under impact load after supercritical CO<sub>2</sub>-water-coal interaction, *Meitan Xuebao/Journal of the China Coal Society*. 2019;44(11):3453–3462.
- [25] Gorlov EG, Andrienko VG, Shpirt MY. Gasification of Ultrafine Coal–Water Suspensions. *Solid Fuel Chemistry*. 2019;53(6):347–351.
- [26] Kossovich EL, Epshtein SA, Dobryakova NN, Minin MG. Structural features and mechanical properties of anthracite, metaanthracite and graphite. *Gornyi Zhurnal*. 2020;(4):25–29.

### Сведения об авторах:

Зоммер Татьяна Валентиновна, научный сотрудник научно-технического отдела института комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ, аспирант направления подготовки 1.5.15 «Экология», Национальный исследовательский «Московский государственный строительный университет», Российская Федерация, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26. ORCID: 0000-0001-6937-9774, eLIBRARY SPIN-код: 1999-2722, eLIBRARY Author ID: 658156, Scopus Author ID: 57191867230, ResearcherId: S-3433-2018. E-mail: ZommerTV@mgsu.ru

Симонян Владимир Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры инженерных изысканий и геоэкологии, Национальный исследовательский «Московский государственный строительный университет», Российская Федерация, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26. eLIBRARY SPIN-код: 9556-1207, eLIBRARY Author ID: 646817. E-mail: simonyan.vladimir55@gmail.com

*Морозов Андрей Геннадиевич*, кандидат технических наук, директор ООО «Амальтеа-Сервис». eLIBRARY SPIN-код: 5944-5809, eLIBRARY Author ID: 666302. E-mail: info@innotoplivo.ru

**Bio notes:**

*Tatyana V. Zommer*, Researcher of the Scientific and Technical Department of the Institute of Integrated Safety in Construction of the National Research University of Moscow, MSU, postgraduate student of the 1.5.15 “Ecology”, National Research “Moscow State University of Civil Engineering”, 26 Yaroslavskoe Sh, Moscow, 129337, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6937-9774, eLIBRARY SPIN-код: 1999-2722, eLIBRARY Author ID: 658156, Scopus Author ID: 57191867230, ResearcherId: S-3433-2018. E-mail: tzommer-1@yandex.ru

*Vladimir V. Simonyan*, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering Surveys and Geoecology, National Research “Moscow State University of Civil Engineering”, 26 Yaroslavskoe Sh, Moscow, 129337, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-код: 9556-1207, eLIBRARY Author ID: 646817. E-mail: simonyan.vladimir55

*Andrey G. Morozov*, Candidate of Technical Sciences, Director of «Amaltea-Service», eLIBRARY SPIN-код: 5944-5809, eLIBRARY Author ID: 666302. E-mail: info@innotoplivo.ru