



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

2023 Том 31 № 3

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-3

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

**Научный журнал  
Издается с 1993 г.**

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

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

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

## Главный редактор

*Савенкова Елена Викторовна*, доктор экономических наук, профессор, директор института экологии 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

*Ледацева 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

*Садиков 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 19.09.2023. Выход в свет 30.09.2023. Формат 70×108/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times New Roman».  
Тираж 500 экз. Заказ № 1127. 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. 3

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-3

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

Founded in 1993

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

## Editor-in-Chief

*Elena V. Savenkova*, 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

- Лебедовская М.В.** Мшанки в сообществе обростания искусственных субстратов в бухте Казачья Черного моря ..... 313
- Ускова С.С., Мартынова А.В., Ким А.В.** Изучение и анализ резистентности бактерий рода *Enterococcus* к антибиотикам ..... 323
- Кирсанов Т.С., Попкова А.В., Ранасингхе Х.** Оценка экосистемных услуг по регулированию климата водно-болотными угодьями Мадуганга ..... 339

### ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

- Хомченко О.С., Новороцкая А.Г.** Ртуть в снежном покрове Хабаровска ..... 349

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

- Каманина И.З., Каплина С.П., Любимова А.В.** Анализ пространственно-временной картины полей химического загрязнения почв как базового компонента городских экосистем ..... 359
- Плахотин А.С., Анищенко Л.Н.** Эколого-химическая оценка состояния реки Десны по донным отложениям на примере Брянской области Нечерноземной зоны РФ ..... 368
- Фомина А.А., Шеина К.В., Абросимова О.В.** Влияние зарегулирования стока на гидрохимические показатели воды малых рек на примере р. Теплая Саратовской области ..... 381

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

- Kharlamova M.D., Adamovich M., Romanovskaya K.S., Spirin M.A., Mustaeva L.R., Adamovich N.** Decomposition of individual components of bio-organic waste: volatile organic compounds and the impact on health and psycho-emotional state (Харламова М.Д., Адамович М., Романовская К.С., Спирин М.А., Мустаева Л.Р., Адамович Н. Разложение отдельных компонентов биоорганических отходов: летучие органические соединения и их влияние на здоровье и психоэмоциональное состояние) ..... 390

### НОВОСТИ

- Экспертное мнение сотрудников института экологии: какие последствия могут быть вследствие сброса сточных вод, загрязненных тритием с АЭС «Фукусима-дайити» в океан (к.э.н., доц. **В.Е. Пинаев**) ..... 407

## CONTENTS

### ECOLOGY

- Lebedovskaya M.V.** Bryozoans in fouling communities on artificial substrates in Kazachya bay of the Black Sea ..... 313
- Uskova S.S., Martynova A.V., Kim A.V.** Study and analysis of the resistance of *Enterococcus* bacteria to antibiotics ..... 323
- Kirsanov T.S., Popkova A.V., Ranasinghe H.** Assessment of ecosystem services for climate regulation: case study of the Madu Ganga wetlands ..... 339

### HUMAN ECOLOGY

- Khomchenko O.S., Novorotskaya A.G.** Mercury concentration in the snow cover of the city of Khabarovsk ..... 349

### ENVIRONMENTAL MONITORING

- Kamanina I.Z., Kaplina S.P., Lyubimova A.V.** Analysis of the spatiotemporal fields of chemical soil pollution as a basic component of urban ecosystems ..... 359
- Plakhotin A.S., Anishchenko L.N.** Ecological and chemical assessment of the state of the Desna river by bottom sediments on the example of the Bryansk region, Non-Chernozem region of the Russian Federation ..... 368
- Fomina A.A., Sheina K.V., Abrosimova O.V.** Influence of runoff regulation on hydrochemical indicators of water in small rivers on the example of the Teplaya river in the Saratov region ..... 381

### BIOLOGICAL RESOURCES

- Kharlamova M.D., Adamovich M., Romanovskaya K.S., Spirin M.A., Mustaeva L.R., Adamovich N.** Decomposition of individual components of bio-organic waste: volatile organic compounds and the impact on health and psycho-emotional state ..... 390

### NEWS

- Expert opinion of the Institute of Environmental Engineering staff: what consequences can be due to the discharge of wastewater contaminated with tritium from the Fukushima Daiichi NPP into the ocean (Ph.D. in Economics, Assoc. V.E. Pinaev) ..... 407



## ЭКОЛОГИЯ

## ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-3-313-322

EDN: THFQNN

УДК 574.58(262.5)

Научная статья / Research article

### Мшанки в сообществе обрастания искусственных субстратов в бухте Казачья Черного моря

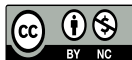
М.В. Лебедевская✉

*Научно-исследовательский центр Министерства обороны Российской Федерации,  
Севастополь, Российская Федерация*

✉lebedovskaya.margarita@yandex.ru

**Аннотация.** Актуальность изучения особенностей формирования сообществ обрастания искусственных субстратов связана с развитием марикультуры в условиях Черного моря. Некоторые виды макрообрастателей способны влиять на процесс оседания и развития объектов культивирования. Цель исследования – выявить особенности формирования сообщества обрастания экспериментальных пластин из различных материалов в условиях бухты Казачья Черного моря и роль мшанок в сообществе обрастания. Материалы и методы: экспериментальные пластины из различных материалов (пластмассы, алюминия, резины, оцинкованного железа) были установлены в сентябре 2017 г. на глубине 5 м в бухте Казачья (Черное море). Подъем пластин осуществлялся ежемесячно в течение года. Всего обследовано 480 пластин. Результаты. Исследованы особенности формирования сообщества обрастания экспериментальных пластин из различных материалов в условиях бухты Казачья Черного моря. В сообществе обрастания, сформированном на экспериментальных пластинах в бухте Казачья, в течение года было отмечено 22 вида макрообрастателей, относящихся к 8 крупным таксонам: гидроидные полипы – 1, усногие раки – 1, актинии – 1, мшанки – 4, полихеты – 4, двустворчатые моллюски – 1, оболочники – 2, макрофиты – 8. В течение года сообщество обрастания

© Лебедевская М.В., 2023



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

экспериментальных пластин прошло последовательные стадии доминирования: микроорганизмов – усоногого рака (*Amphibalanus improvisus*) – мшанки *Cryptosula pallasiana*. Выводы: в бухте Казачья (Черное море) мшанка *Cryptosula pallasiana* является доминирующим видом в сообществе обрастания экспериментальных пластин возрастом четыре-двенадцать месяцев на глубине 5 м.

**Ключевые слова:** экспериментальные пластины, сообщество обрастания, макрообрастатели, мшанки, Черное море

**История статьи:** поступила в редакцию 15.11.2022; доработана после рецензирования 20.02.2023; принята к публикации 25.05.2023.

**Для цитирования:** Лебедевская М.В. Мшанки в сообществе обрастания искусственных субстратов в бухте Казачья Черного моря // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 3. С. 313–322. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-313-322>

## Bryozoans in fouling communities on artificial substrates in Kazachya bay of the Black Sea

Margarita V. Lebedovskaya✉

Research Center of Ministry of Defence of the Russian Federation,  
Sevastopol, Russian Federation

✉lebedovskaya.margarita@yandex.ru

**Abstract.** Study of the formation of fouling communities on artificial substrates is actual due to the development of mariculture in the Black Sea. Some representatives of macrofoulers are able to influence the process of colonization and development of cultivated organisms. Purpose of work. The main tasks of the study are the revealing the peculiarities of the formation of the fouling community on the experimental plates of the various materials in the environment of the Kazachya bay in the Black Sea and the role of bryozoans in the fouling community. Materials and methods. The experimental plates which were made from the different materials (plastic, aluminum, rubber, galvanized iron) were installed in September 2017 at a depth of 5 m in Kazachya bay (Black Sea). The plates were lifted every month during the year, a total of 480 plates were examined. Results. The peculiarities of the formation of the fouling community on the experimental plates of different materials in the Kazachya bay (Black Sea) were studied. Totally, 22 species were found in the macrofouling community formed on the experimental plates in the Kazachya bay during the year, comprising the following 8 taxa: hydroid polyps – 1, barnacles – 1, sea anemones – 1, bryozoans – 4, polychaetes – 4, bivalve mollusks – 1, tunicates – 2, macrophytes – 8. During the year, the succession of the fouling community of the experimental plates developed through the stage of dominance of microorganisms – barnacle *Amphibalanus improvisus*, and then – bryozoan *Cryptosula pallasiana*. Conclusion: the bryozoan *Cryptosula pallasiana* is the dominant species in the fouling community at four to twelve months old at a depth of five meters.

**Keywords:** experimental plates, fouling communities, macrofouling, bryozoans, Black Sea

**Article history:** received 15.11.2022; revised 20.02.2023; accepted 25.05.2023.



**For citation:** *Lebedovskaya MV. Bryozoans in fouling communities on artificial substrates in Kazachya bay of the Black Sea. RUDN Journal of Ecology and Life Safety. 2023;31(3):313–322. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-313-322>*

## Введение

Развитие марикультуры в условиях Черного моря требует детального изучения особенностей формирования сообществ обрастания искусственных субстратов, так как некоторые виды макрообрастателей способны влиять на процесс оседания и развитие объектов культивирования [1; 2]. Сообщества обрастания в разных районах Черного моря имеют свои особенности, связанные с природными условиями, свойствами субстрата, с биоценозом обрастателей, сформированным в данной акватории [2–5]. В обрастаниях в акваториях Крыма, Северного Кавказа, в Новороссийской бухте доминируют мидия (*Mytilus galloprovincialis*) и усоногий рак (*Amphibalanus improvisus*), у берегов Южного Кавказа значительную роль играют полихеты и мшанки [6; 7].

**Цель исследования** – выявление особенностей формирования сообщества обрастания экспериментальных пластин из различных материалов в условиях бухты Казачья Черного моря и роль мшанок в сообществе обрастания.

## Материал и методы

Исследования проводили в бухте Казачья – одной из самых больших в системе бухт города Севастополя. Бухта является относительно мелководной: средняя глубина – 12 м, максимальные глубины отмечаются на выходе из бухты (22–23 м). Акватория бухты Казачья характеризуется разнообразными экологическими условиями, здесь присутствуют как мягкие, так и твердые грунты, интенсивный обмен с открытой частью моря, скорость течения в среднем составляет 0,6–1,2 узла.

Для изучения развития сообщества обрастания искусственных субстратов использовался стенд, представляющий собой цельносваренную металлическую конструкцию, в которой размещались двенадцать съемных водопроницаемых ячеек с экспериментальными пластинами. Стенд был установлен на глубине 5 м. Схема установки экспериментального стенда представлена на рис. 1.

На экспериментальном стенде одновременно были размещены пластины из различного материала: пластмассы, резины, цветного металла (алюминия) и «черного» металла (оцинкованного профлиста). Площадь одной пластины составляла 100 см<sup>2</sup>. Пластины из одного материала были собраны в коллекторы по 10 штук, их поверхности были ориентированы горизонтально, расстояние до дна составляло 0,5 м. Подъем пластин для исследований осуществлялся ежемесячно. Всего обследовано 480 пластин, экспонировавшихся в море с сентября 2017 по сентябрь 2018 года. Видовой состав и численность обрастателей определяли на живом материале под микроскопом МБС-10.

Численность обрастателей вычисляли на единицу поверхности пластин, затем пересчитывали в экз./м<sup>2</sup>.

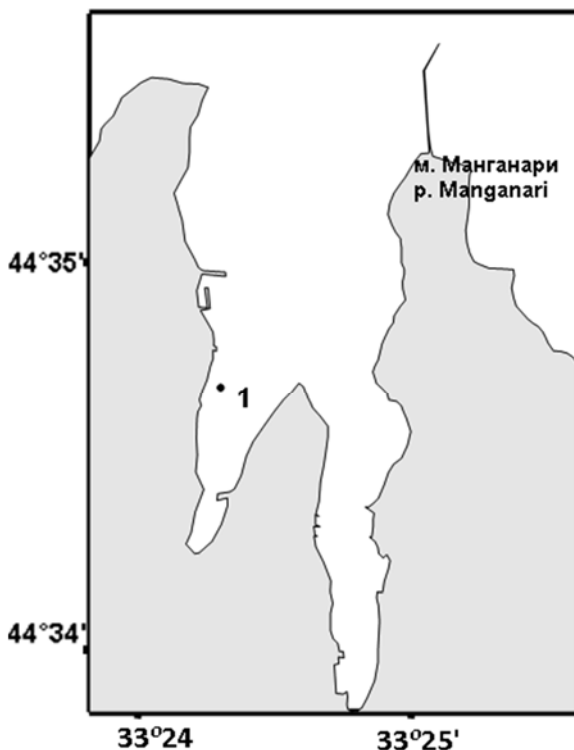


Рис. 1. Схема установки экспериментального стенда в бухте Казачья /  
Figure 1. Installation scheme of the experimental stand in the Kazachya bay

### Результаты и обсуждение

В Черном море сукцессия сообщества обрастания нетоксичных поверхностей проходит последовательные стадии доминирования: микроорганизмов – гидроидов – баянусов – колониальных асцидий – мидий, встречается и другой вариант сукцессии, когда отсутствует стадия доминирования баянусов, а также третий вариант – без стадий преобладания как баянуса, так и гидроидов [4; 7; 8]. В обрастаниях у берегов Южного Кавказа значительную роль играют полихеты и мшанки [6; 7].

В сообществе обрастания, сформированном на экспериментальных пластинах в бухте Казачья в течение года было отмечено 22 вида макрообрастателей, относящихся к 8 крупным таксонам: гидроидные полипы – 1, усоногие раки – 1, актинии – 1, мшанки – 4, полихеты – 4, двустворчатые моллюски – 1, оболочники – 2, макрофиты – 8. В течение года сообщество обрастания экспериментальных пластин прошло последовательные стадии доминирования: микроорганизмов – усоногого рака (*Amphibalanus improvisus*) – мшанки *Cryptosula pallasiana* (Moll, 1803).

Мшанки регулярно встречаются в биоценозах обрастания, они особенно характерны для ранних этапов сукцессии экосистем [9]. Впервые мшанки появляются в сообществе обрастания экспериментальных пластин в бухте Казачья через месяц их экспонирования в море: на пластмассовых пластинах – мшанка *C. pallasiana*, на пластинах из цветного металла – мшанка *Conoponium seurati* (Canu, 1928).

В течение трех осенних месяцев первичная сукцессия сообщества обрастания экспериментальных пластин, экспонировавшихся на глубине 5 м в бухте Казачья, прошла через стадии доминирования микроорганизмов и усоногого рака *A. improvisus*. Мшанка *C. pallasiana* обнаружена на всех типах экспериментальных пластин трехмесячной экспозиции, ее колонии покрывали от 10 до 20 % поверхности пластин. Средняя численность зооидов *C. pallasiana* на всех типах пластин составляла  $3690 \pm 554$  экз./м<sup>2</sup>, максимальные значения были отмечены для пластмассовых пластин –  $5200 \pm 746$  экз./м<sup>2</sup>, минимальные – для пластин из оцинкованного металла –  $1058 \pm 138$  экз./м<sup>2</sup>. На пластмассовых пластинах обнаружено еще два вида мшанок: *Amathia imbricata* (Adams, 1800) и *Cradoscrupocellaria bertholletii* (Audouin, 1826), однако их численность была незначительной. Доминирует в сообществе обрастания в этот период усоногий рак *A. improvisus*.

В зимний период (четвертый – шестой месяц экспонирования в море) сукцессия перешла к следующей стадии развития – доминирования мшанок. Средняя численность зооидов *C. pallasiana* на всех типах пластин в зимний период составляла  $782\,521 \pm 93\,904$  экз./м<sup>2</sup>. Через шесть месяцев мшанка *C. pallasiana* занимает до 70 % поверхности пластин из пластика, цветного металла и резины, максимальное количество зооидов *C. pallasiana* обнаружено на алюминиевых и пластмассовых пластинах ( $1\,437\,638 \pm 172\,500$  экз./м<sup>2</sup> и  $1\,448\,777 \pm 260\,800$  экз./м<sup>2</sup> соответственно) (рис. 2).

В весенний период (седьмой-девятый месяцы экспонирования) на всех экспериментальных пластинах сформировалось сообщество макрообрастателей с доминированием по численности мшанки *C. pallasiana*, колонии которой покрывали до 90 % площади пластин. Средняя численность зооидов *C. pallasiana* на всех типах пластин в этот период составляла  $1\,245\,053 \pm 136\,950$  экз./м<sup>2</sup>. Численность зооидов мшанки постепенно увеличивалась на всех типах пластин, однако ее значения на пластинах из различных материалов значительно отличались друг от друга (рис. 3). Максимальное количество зооидов *C. pallasiana* в весенний период отмечено на пластмассовых пластинах (в среднем –  $1\,778\,736 \pm 23\,133$  экз./м<sup>2</sup>), на пластинах из оцинкованного металла численность мшанки была в 1,7 раза меньше.

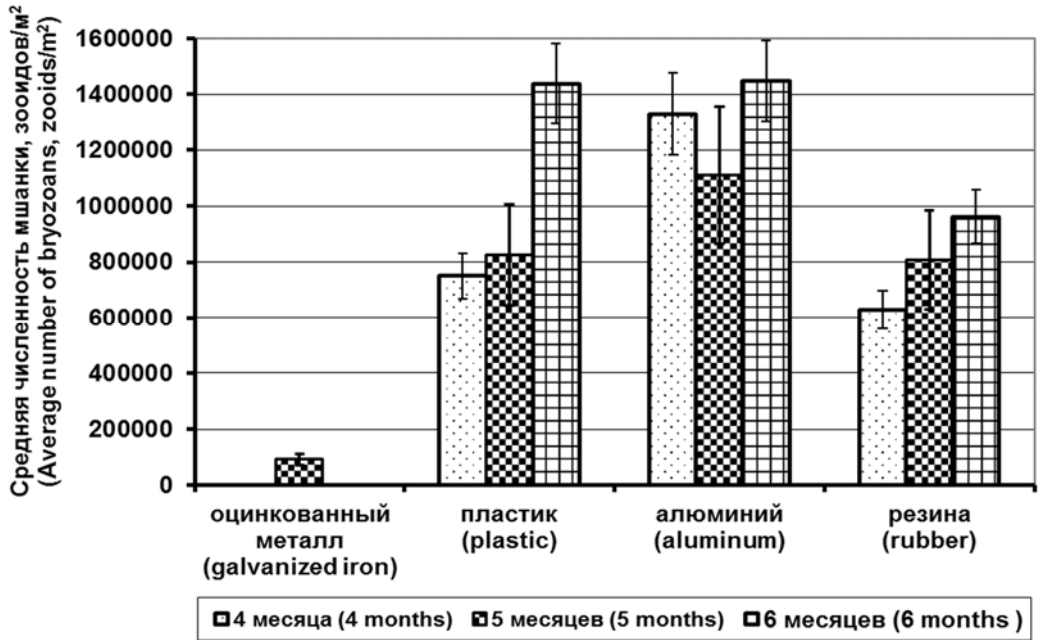


Рис. 2. Средняя численность мшанки *C. pallasiana* на экспериментальных пластинах из различных материалов в зимний период (4–6 месяцев экспонирования), зооид./м<sup>2</sup> /  
 Figure 2. Average number of bryozoans *C. pallasiana* on the experimental plates of different materials in winter (4–6 months of exposure), zooids/m<sup>2</sup>

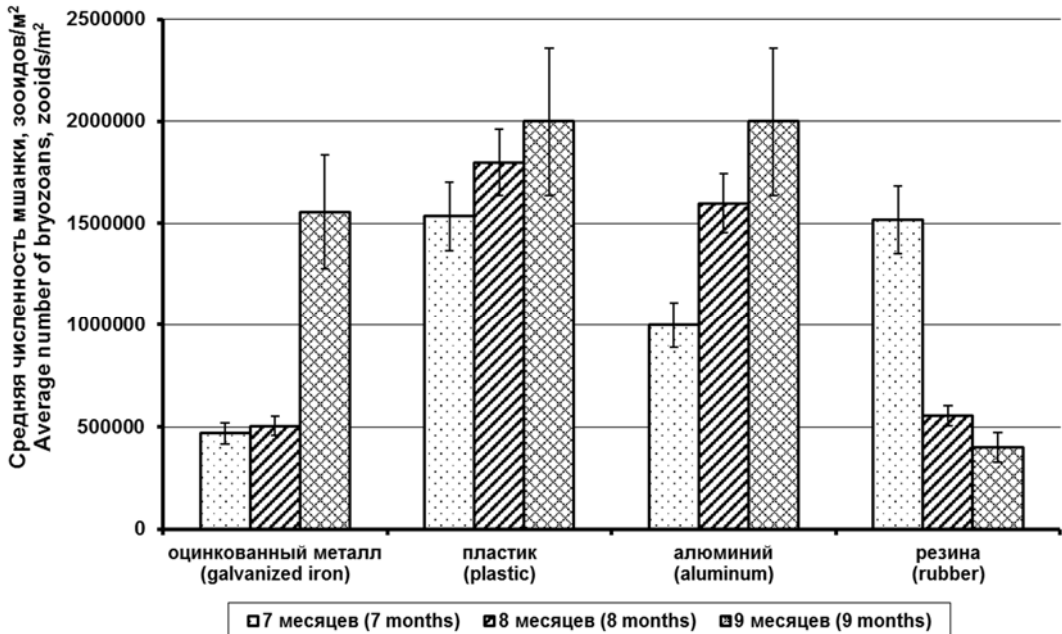


Рис. 3. Средняя численность мшанки *C. pallasiana* на экспериментальных пластинах из различных материалов в весенний период (7–9 месяцев экспонирования), зооид./м<sup>2</sup> /  
 Figure 3. Average number of bryozoans *C. pallasiana* on the experimental plates of different materials in the spring (7–9 months of exposure), zooids/m<sup>2</sup>

В начале весеннего периода, который пришелся на седьмой месяц экспонирования пластин в море, на пластинах из пластмассы и резины численность мшанки *C. pallasiana* была максимальной. Эти материалы имеют химически нейтральную поверхность, не окисляются в морской воде, не оказывают отрицательного влияния на развитие гидробионтов. На пластмассовых пластинах, имеющих шероховатую поверхность, рост численности зооидов мшанки в следующие два месяца продолжился. На пластинах из резины, имеющих гладкую поверхность, численность зооидов в конце весеннего периода уменьшилась в два раза, что, скорее всего, связано с тем, что колонии мшанки, образуя пуговчатые формы, утолщаясь и приподнимаясь над субстратом, не могли удержаться на гладкой поверхности пластин и отваливались. На резиновых пластинах девятимесячной экспозиции численность зооидов *C. pallasiana* была в пять раз меньше, чем на пластмассовых и алюминиевых пластинах этого же срока экспонирования.

В летний период (десятый-двенадцатый месяц экспонирования) в сообществе обрастания экспериментальных пластин продолжают доминировать мшанки. Колонии мшанок на всех типах пластин обрастают створки мидий, домики баянусов и известковые трубки многощетинковых червей *Spirobranchus triqueter*, угнетая жизнедеятельность последних и приводя к их гибели.

Если в весенний период доминирующим был один вид мшанок *C. pallasiana*, то в летний период интенсивно развивается еще один вид мшанок *C. seurati*. Колонии *C. pallasiana* покрывают 40 % поверхности пластин из оцинкованного железа и 70 % поверхности пластмассовых пластин, на пластинах из алюминия *C. pallasiana* занимает 50 % поверхности, а на резиновых пластинах всего 25 %. Средняя численность зооидов мшанки *C. pallasiana* на всех типах пластин в период с десятого по двенадцатый месяцы экспонирования в море составила  $1\,267\,675 \pm 177\,475$  экз./м<sup>2</sup> (рис. 4).

Самые большие показатели средней численности зооидов *C. pallasiana* в летний период (на протяжении десятого-двенадцатого месяцев экспонирования) выявлены на пластмассовых и алюминиевых пластинах ( $2\,003\,703 \pm 180\,667$  экз./м<sup>2</sup> и  $1\,666\,667 \pm 190\,100$  экз./м<sup>2</sup> соответственно).

Следует отметить, что на двенадцатом месяце экспонирования пластин средняя численность мшанки *C. pallasiana* снизилась по сравнению с десятым месяцем экспонирования: на пластинах из пластмассы – в 1,4 раза, на пластинах из цинкованного и цветного металла – в 1,8 раза, что, вероятно, связано с интенсивным развитием мшанки *C. seurati*, численность которой в течение двенадцатого месяца экспонирования пластин выросла на пластмассовых и резиновых пластинах в 2 раза, на пластинах из цветного металла – в 5 раз (рис. 5).

На пластинах двенадцатимесячной экспозиции из оцинкованного металла средняя численность зооидов мшанок была минимальной и составляла: для *C. pallasiana* –  $456\,050 \pm 72\,970$  экз./м<sup>2</sup>, для *C. seurati* –  $101\,587 \pm 16\,523$  экз./м<sup>2</sup>.

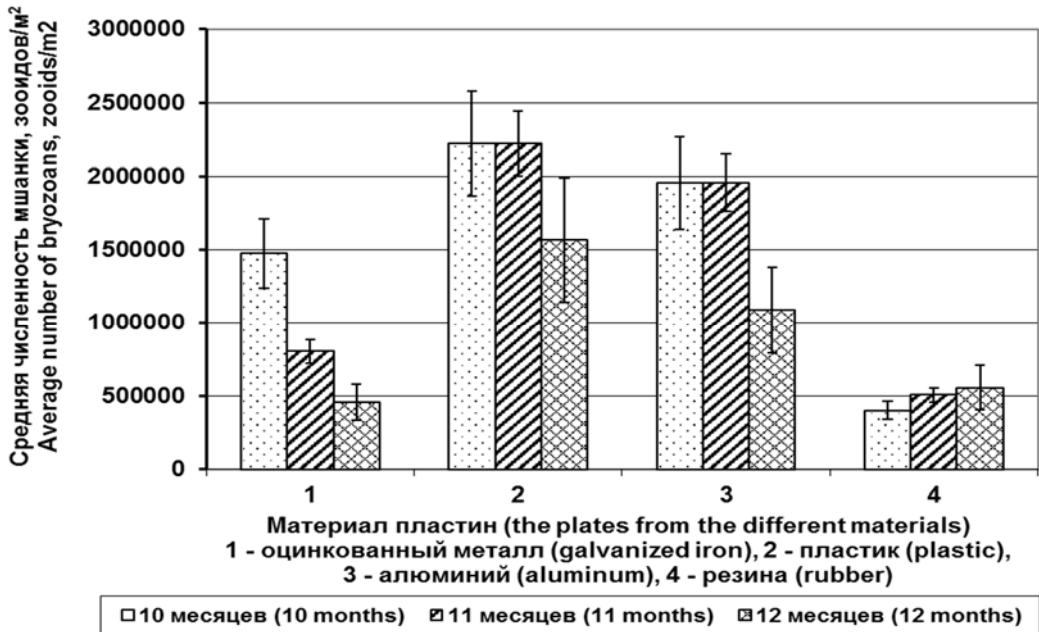


Рис. 4. Средняя численность мшанки *C. pallasiana* на экспериментальных пластинах из различных материалов в летний период (10–12 месяцев экспонирования), зооид./м<sup>2</sup> /  
Figure 4. Average number of bryozoans *C. pallasiana* on the experimental plates of different materials in summer (10–12 months of exposure), zooids/m<sup>2</sup>

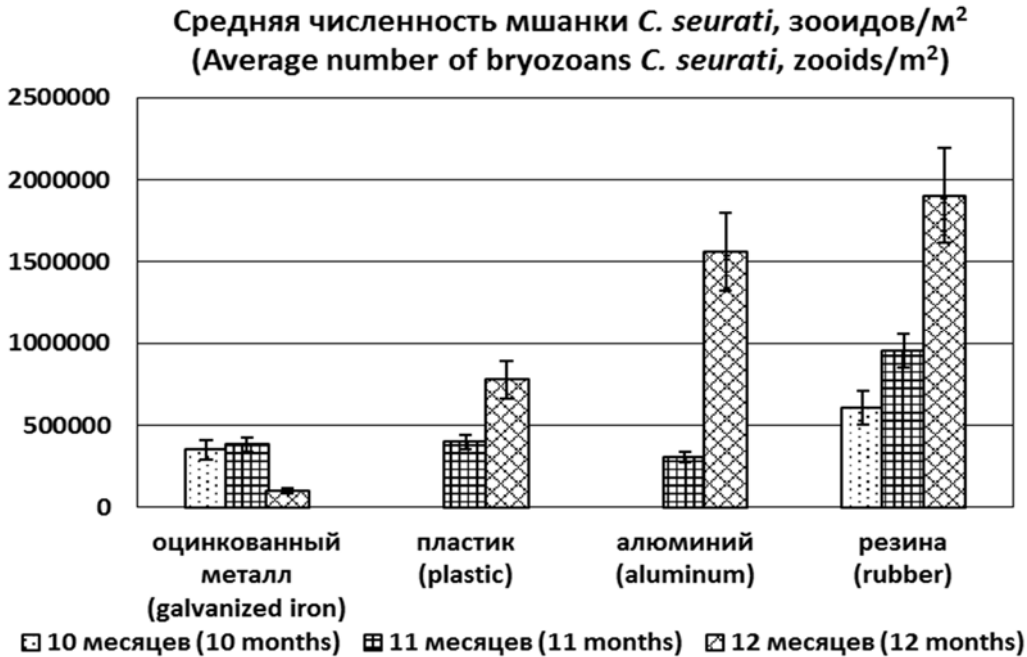


Рис. 5. Средняя численность мшанки *C. seurati* на экспериментальных пластинах из различных материалов в летний период (10–12 месяцев экспонирования), зооид./м<sup>2</sup> /  
Figure 5. Average number of bryozoans *C. seurati* on the experimental plates of different materials in summer (10–12 months of exposure), zooids/m<sup>2</sup>

Вся поверхность пластин из оцинкованного металла была подвергнута коррозии и покрыта ржавчиной, гидробионты были в угнетенном состоянии. Анцеструлы во многих колониях мшанок были пустыми, в них не было обнаружено зооидов. Данное явление может объяснить тот факт, что цинк – один из наиболее токсичных металлов, соли которого оказывают ярко выраженное негативное воздействие на оседание и развитие гидробионтов [10].

### Заключение

В течение года сообщество обрастания экспериментальных пластин, экспонированных в бухте Казачья на глубине 5 м, прошло последовательные стадии доминирования: микроорганизмов → усоного рака *Amphibalanus improvisus* → мшанки *C. pallasiana*.

Мшанки являются постоянным, а начиная с четвертого месяца – доминирующим компонентом сообществ обрастания. В летний период (10–12 месяцы экспонирования пластин) средняя численность зооидов мшанки *Cryptosula pallasiana* (Moll, 1803) достигла максимальных значений на пластмассовых пластинах ( $2\ 003\ 703 \pm 180\ 667$  экз./м<sup>2</sup>). На остальных типах пластин она была меньше: на пластинах из цветного металла в 1,2 раза, на пластинах из оцинкованного металла в 2,1 раза, на резиновых пластинах в 4 раза, вероятно, это связано с тем, что цинк и железо относятся к ряду наиболее токсичных металлов, соли которых оказывают ярко выраженное негативное воздействие на оседание и развитие гидробионтов. Гладкая поверхность резиновых пластин способствовала элиминации крупных, имеющих пуговчатую форму колоний *C. pallasiana*, освободившееся пространство заняли колонии мшанки *C. seurati*, интенсивно развивающиеся в этот период.

В течение года в обрастании экспериментальных пластин отмечено еще два вида мшанок: *Amathia imbricata* (Adams, 1800), *Cradoscrupocellaria bertholletii* (Audouin, 1826).

### Список литературы

- [1] Брайко В.Д., Бобкова А.Н., Добротина Г.А. Метаболиты ботриллюсов и их функциональная роль в сообществах // Известия АН СССР. Серия: Биология. 1988. № 1. С. 29–35.
- [2] Лебедевская М.В., Далекая Л.Б., Шахматова О.А. Влияние сообщества черноморских обрастателей ранних стадий развития на оседание личинок гигантской устрицы (*Crassostrea gigas* Thunberg, 1793) // Экология моря. 2007. Вып. 74. С. 40–46.
- [3] Раилкин А.И. Колонизация твердых тел бентосными организмами. СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. ун-та, 2008. 427 с.
- [4] Брайко В.Д. Обрастание в Черном море. Киев: Наукова думка, 1985. 123 с.
- [5] Лебедевская М.В. Сообщество обрастания искусственных субстратов в условиях бухты Казачья (Черное море) // Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2017. С. 103–107.
- [6] Никитин В.Н. Биология обрастания судов в Черном море // Докл. АН СССР. 1947. № 6 (58). С. 1183–1185.

- [7] Зевина Г.Б. Биология морского обрастания. М.: Изд-во МГУ, 1994. 134 с.
- [8] Далекая Л.Б. Особенности сукцессии сообществ обрастания на искусственных субстратах // Риб. гос-во України. 2004. № 7. С. 182–188.
- [9] Зевина Г.Б. Обрастания в морях СССР. М.: Изд-во МГУ, 1972. 219 с.
- [10] Гелашивили Д.Б., Безель В.С., Романова Е.Б., Безруков М.Е., Силкин А.А. Нижегородцев А.А. Принципы и методы экологической токсикологии. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. 142 с.

## References

- [1] Braiko VD, Bobkova AN, Dobrotina GA. Botryllus metabolites and their functional role in communities. *Izvestiia Akadeii nauk SSSR. Biologiya*. 1988;(1):20–35. (In Russ).
- [2] Lebedovskaya MV, Dalekaya LB, Shakhmatova OA. Influence of the Black Sea fouling community of early developmental stages on concretion of larvae of huge oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg, 1793). *Ekologiya moray*. 2007;(74):40–46. (In Russ).
- [3] Railkin AI. *Colonization of solid substrates by benthic organisms*. Saint Petersburg: Saint Petersburgskii gosudarstvennyi universitet; 2008. (In Russ).
- [4] Braiko VD. *Fouling in the Black Sea*. Kiev: Nauchnaja mysl'; 1985. (In Russ).
- [5] Lebedovskaya MV. Fouling community on artificial substrates in Kazachya Bay (The Black Sea). *Aktual'nye problemy bioraznoobraziya i prirodopol'zovaniya: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Simferopol', IT «ARIAL»*. 2017:103–107. (In Russ).
- [6] Nikitin VN. Biology of the ship fouling in the Black Sea. *Doklady Akadeii nauk SSSR*. 1947;(58, 6):1183–1185. (In Russ).
- [7] Zevina GB. *Biology of marine fouling*. Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet; 1994. (In Russ).
- [8] Dalekaya LB. Peculiarities of succession of fouling community on artificial substrates. *Rybnoe hozjajstvo Ukrainy*. 2004;(7):182–188. (In Russ).
- [9] Zevina GB. *Fouling in the seas of the USSR*. Moscow: Mosrovskii gosudarstvennyi universitet; 1972. (In Russ).
- [10] Gelashvili DB, Bezel' VS, Romanova EB, Bezrukov ME, Silkin AA, Nizhegorodtsev AA. *Principles and methods of ecological toxicology*. Nizhnij Novgorod: Nizhegorodskij gosuniversitet; 2015. (In Russ).

## Сведения об авторе:

Лебедовская Маргарита Витальевна, кандидат биологических наук, доцент, Научно-исследовательский центр Министерства обороны Российской Федерации. 299057, Севастополь, ул. Эпроновская д. 7. E-mail: lebedovskaya.margarita@yandex.ru

## Bio note:

Margarita V. Lebedovskaya, PhD of Biological Science, Docent, Research Center of Ministry of Defence of the Russian Federation, 7 Epronovskaya St, Sevastopol, 299057, Russian Federation. E-mail: lebedovskaya.margarita@yandex.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-3-323-338

EDN: SXEMXM

УДК 579.86

Научная статья / Research article

## Изучение и анализ резистентности бактерий рода *Enterococcus* к антибиотикам

С.С. Ускова<sup>ORCID</sup>, А.В. Мартынова<sup>ORCID</sup>, А.В. Ким<sup>✉</sup>

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация  
<sup>✉</sup>rectorat@dvfu.ru

**Аннотация.** Энтерококки приобрели резистентность почти ко всем классам антибиотиков. Цель данного исследования – изучение и анализ резистентности бактерий рода *Enterococcus* к антибиотикам, выделенных из водных объектов г. Владивостока. Была изучена антибиотикорезистентность 70 штаммов рода *Enterococcus* диско-диффузным методом к таким антибиотикам, как тетрациклин, стрептомицин, эритромицин, ампициллин, левофлоксацин, рифампицин, гентамицин, ванкомицин. Было выявлено, что в б. Золотой Рог более половины выделенных штаммов обладали резистентностью к стрептомицину, эритромицину и левофлоксацину, а в р. Вторая Речка более 50 % штаммов к стрептомицину и рифампицину. Выделенная популяция штаммов энтерококков характеризовалась мультирезистентностью к двум антибиотикам (41 %) в р. Вторая Речка и трем или более антибиотикам (45 %) в б. Золотой. Чаще всего встречалась резистентность к сочетанию таких антибиотиков, как стрептомицин, рифампицин и эритромицин.

**Ключевые слова:** энтерококки, свойства резистентности, антибиотики, бактерии

**Благодарности и финансирование.** Боготырченко Елене Александровне, сотруднику кафедры биоразнообразия и морских биоресурсов, ИМО, ДВФУ.

**Вклад авторов:** С.С. Ускова – получение, анализ и интерпретация данных, написание статьи, отбор проб; А.В. Мартынова – анализ и интерпретация данных, написание статьи, окончательное утверждение присланной в редакцию рукописи; А.В. Ким – получение данных, написание статьи.

**История статьи:** поступила в редакцию 02.11.2022; доработана после рецензирования 12.01.2023; принята к публикации 20.04.2023.

---

© Ускова С.С., Мартынова А.В., Ким А.В., 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: Ускова С.С., Мартынова А.В., Ким А.В. Изучение и анализ резистентности бактерий рода *Enterococcus* к антибиотикам // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 3. С. 323–338. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-323-338>

## Study and analysis of the resistance of *Enterococcus* bacteria to antibiotics

Svetlana S. Uskova , Alina V. Martynova , Aleksandra V. Kim 

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

rectorat@dvfu.ru

**Abstract.** Enterococci have acquired resistance to almost all classes of antibiotics. The purpose of this study was to study and analyze the resistance of *Enterococcus* bacteria to antibiotics isolated from Vladivostok water bodies. The antibiotic resistance of 70 strains of the genus *Enterococcus* to such antibiotics as tetracycline, streptomycin, erythromycin, ampicillin, levofloxacin, rifampicin, gentamicin, vancomycin was studied by disco diffusion. It turned out that in b. In the b. Zolotoy Rog, more than half of the isolated strains were resistant to streptomycin, erythromycin, and levofloxacin, and in the r. Vtoraya Rechka, more than 50 % of the strains were resistant to streptomycin and rifampicin. The isolated population of enterococcal strains was characterized by multiple resistance to two antibiotics (41 %) in the Second River and three or more antibiotics (45 %) in the Golden River. The most common was resistance to a combination of antibiotics such as streptomycin, rifampicin and erythromycin.

**Keywords:** enterococci, resistance properties, antibiotics, bacteria

**Acknowledgements and Funding.** Bogotyrenko Elena Alexandrovna, worker of the Department of Biodiversity and Marine Bioresources, IMO, FEFU.

**Authors' contributions:** S.S. Uskova – obtaining, analyzing and interpreting data, writing an article, sampling; A.V. Martynova – analysis and interpretation of data, writing the article, final approval of the manuscript sent to the editorial office; A.V. Kim – data acquisition, article writing.

**Article history:** received 02.11.2022; revised 12.01.2023; accepted 20.04.2023

**For citation:** Uskova SS, Martynova AV, Kim AV. Study and analysis of the resistance of *Enterococcus* bacteria to antibiotics. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(3):323–338. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-323-338>

### Введение

Бактерии рода *Enterococcus* – представители не только типичной кишечной микрофлоры млекопитающих, но также они являются причиной многих заболеваний человека и животных. Среди них такие, как эндокардиты, маститы, метриты, сепсис новорождённых и др. [1]. Патогенность представителей рода *Enterococcus* неотъемлема от их чувствительности к антибиотикам и связана с наличием детерминант патогенности в одних и тех же носителях генетической информации [2].

На данный момент антибиотикорезистентность энтерококков, выделенных из животных, является серьезной проблемой, поскольку неправильное использование антибактериальных препаратов, а также применение в сельском хозяйстве ампициллина и гентамицина в качестве пищевых добавок для стимуляции роста создает условия для формирования в организме животных резистентных к антибиотикам штаммов энтерококков [3]. Доказано, что антибиотикорезистентные представители рода *Enterococcus* могут передаваться от заражённых животных к человеку из-за тесного контакта или при употреблении в пищу продуктов животного происхождения [4]. Помимо этого, было обнаружено, что в морской среде представители рода *Enterococcus* могут передавать свои гены другим видам микроорганизмов, а также возможен совместный перенос генов *tet (L)* и *erm (B)*, отвечающих за резистентность к тетрациклину и эритромицину [5]. В связи с этим **цель данного исследования** заключается в изучении и анализе резистентности бактерий рода *Enterococcus* к антибиотикам, выделенных из водных объектов г. Владивостока.

### Материалы и методы

Было изучено 70 штаммов бактерий рода *Enterococcus*, выделенных из водной среды с антропогенной нагрузкой на территории г. Владивостока. Было отобрано 20 проб воды в период с 17 января 2018 г. по 27 сентября 2020 г. из водных объектов б. Золотой рог и р. Вторая Речка, так как они находятся в черте города и подвержены сильному антропогенному воздействию.

Изучение резистентности определялась диско-диффузным методом в соответствии с МУК 4.2.1890-04. Статистическая обработка данных производилась в программе STATISTICA 10. Графики и таблицы формировались в программе Excel.

### Результаты

Исследование резистентности к антибиотикам бактерий рода *Enterococcus*, выделенных из б. Золотой Рог, показало, что 56 % чувствительны к тетрациклину, 67 % резистентны к стрептомицину, 56 % резистентны к эритромицину, 100 % чувствительны к ампициллину, 78 % резистентны к левофлоксацину, 89 % чувствительны к рифампицину, 100 % чувствительны к гентамицину, 67 % чувствительны к ванкомицину (табл. 1, рис. 1).

Штаммы, выделенные из б. Золотой Рог, имеют повышенный уровень резистентности к левофлоксацину. Также следует отметить повышенный уровень резистентности к тетрациклину и эритромицину. В особенности необходимо уделить внимание эритромицину, поскольку, по данным исследователей, выявлена связь между генами, отвечающими за устойчивость к эритромицину (*ermB*) и меди (*tcrB*), которая впервые была продемонстрирована на штаммах *E. faecalis* и *E. faecium* [6]. Необходимо отметить наличие штаммов с промежуточной устойчивостью к ванкомицину, что позволяет

предположить возможность формирования устойчивы к ванкомицину штаммов, что отразится на клиническом значении и роли данных изолятов в лечении инфекций, вызываемых энтерококками.

Исследование чувствительности к антибиотикам бактерий рода *Enterococcus*, выделенных из р. Вторая Речка, показало, что 80 % чувствительны к тетрациклину, 66 % резистентные к стрептомицину, 54 % промежуточно устойчивые к эритромицину, 95 % чувствительны к ампициллину, 86 % чувствительны к левофлоксацину, 72 % резистентные к рифампицину, 100 % чувствительны к гентамицину, 72 % чувствительны к ванкомицину (табл. 2, рис. 2).

Таблица 1. Устойчивость к антимикробным химиопрепаратам штаммов рода *Enterococcus*, выделенных из б. Золотой Рог ( $n = 9$ )

Название антибиотика	Чувствительные		Промежуточно устойчивые		Резистентные	
	$n$	Процент штаммов, %	$n$	Процент штаммов, %	$n$	Процент штаммов, %
Тетрациклин	5	56	1	11	3	33
Стрептомицин	3	33	0	0	6	67
Эритромицин	3	33	1	11	5	56
Ампициллин	9	100	0	0	0	0
Левифлоксацин	0	0	2	22	7	78
Рифампицин	8	89	0	0	1	11
Гентамицин	9	100	0	0	0	0
Ванкомицин	6	67	3	33	0	0

Table 1. Resistance to antimicrobial chemotherapy drugs of strains of the genus *Enterococcus* isolated from b. Zolotoy Rog ( $n = 9$ )

Name of the antibiotic	Sensitive		Intermediate resistant		Resistant	
	$n$	Percentage of strains, %	$n$	Percentage of strains, %	$n$	Percentage of strains, %
Tetracycline	5	56	1	11	3	33
Streptomycin	3	33	0	0	6	67
Erythromycin	3	33	1	11	5	56
Ampicillin	9	100	0	0	0	0
Levofloxacin	0	0	2	22	7	78
Rifampicin	8	89	0	0	1	11
Gentamicin	9	100	0	0	0	0
Vancomycin	6	67	3	33	0	0

Схожий характер устойчивости к антибактериальным химиопрепаратам штаммов рода *Enterococcus* наблюдается фактически во всех обследованных водных объектах с антропогенной нагрузкой, за исключением штаммов, выделенных в р. Вторая Речка, где отмечается повышение уровня устойчивых к рифампицину и стрептомицину. А также наличие 3 % штаммов, резистентных к ванкомицину.

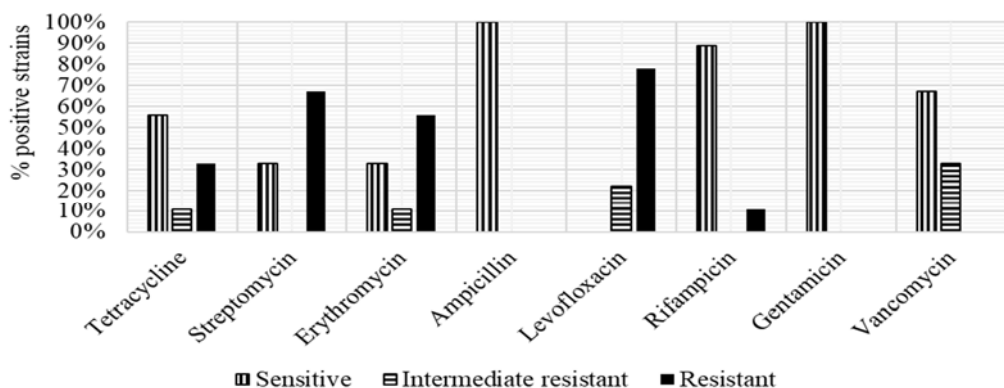
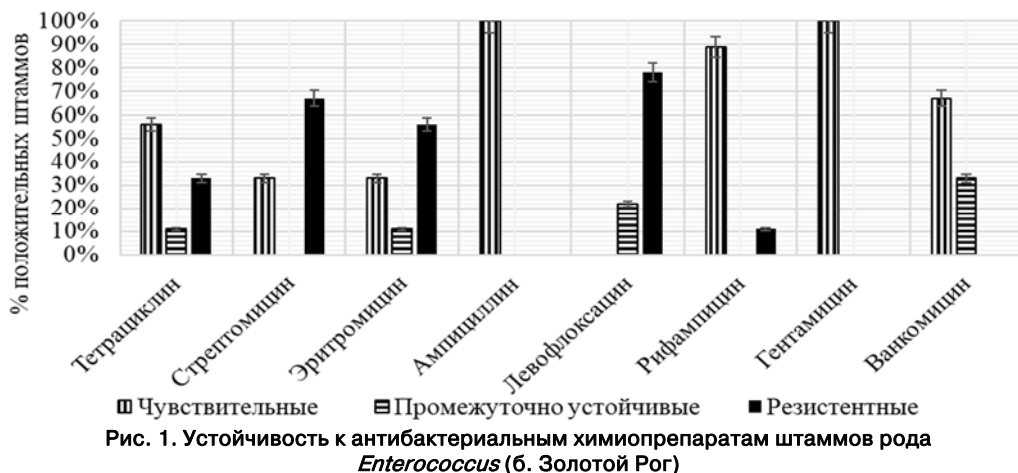


Figure 1. Resistance to antibacterial chemotherapy drugs of strains of the genus *Enterococcus* (b. Zolotoy Rog)

Общность характера формирования устойчивости к аминогликозидам и значительную долю резистентных к стрептомицину штаммов позволяет предположить возможность появления ванкомицин устойчивых штаммов энтерококков в ближайшем будущем, что является чрезвычайно актуальным для санитарно-микробиологической и гигиенической характеристики среды пребывания человека.

Таблица 2. Устойчивость к антимикробным химиопрепаратам штаммов рода *Enterococcus* выделенных из р. Вторая Речка (n = 61)

Название антибиотика	Чувствительные		Промежуточно устойчивые		Резистентные	
	n	Процент штаммов, %	n	Процент штаммов, %	n	Процент штаммов, %
Тетрациклин	49	80	3	5	9	15
Стрептомицин	7	11	14	23	40	66
Эритромицин	10	16	33	54	18	30
Ампициллин	58	95	0	0	3	5
Левифлоксацин	51	84	6	10	4	6
Рифампицин	11	18	6	10	44	72
Гентамицин	52	87	2	3	6	10
Ванкомицин	44	72	15	25	2	3

Table 2. Resistance to antimicrobial chemotherapy drugs of strains of the genus *Enterococcus* isolated from the r. Vtoraya Rechka (n = 61)

Name of the antibiotic	Sensitive		Intermediate resistant		Resistant	
	n	Percentage of strains, %	n	Percentage of strains, %	n	Percentage of strains, %
Tetracycline	49	80	3	5	9	15
Streptomycin	7	11	14	23	40	66
Erythromycin	10	16	33	54	18	30
Ampicillin	58	95	0	0	3	5
Levofloxacin	51	84	6	10	4	6
Rifampicin	11	18	6	10	44	72
Gentamicin	52	87	2	3	6	10
Vancomycin	44	72	15	25	2	3

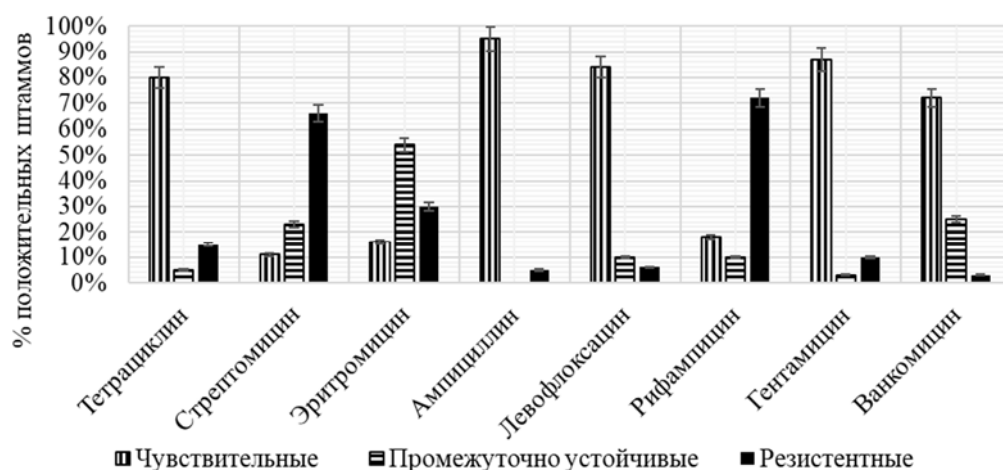


Рис. 2. Устойчивость к антибактериальным химиопрепаратам штаммов рода *Enterococcus* (р. Вторая Речка)

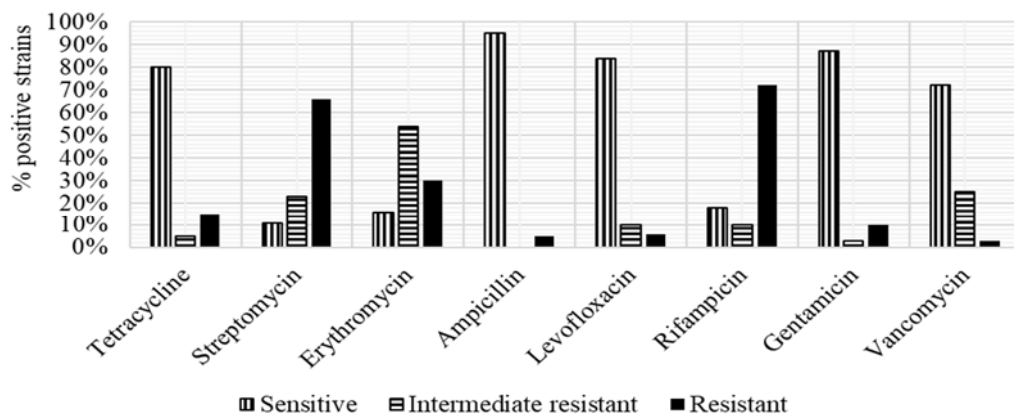


Figure 2. Resistance to antibacterial chemotherapy drugs of strains of the genus *Enterococcus* (r. Vtoraya Rechka)

Однако изучению мультирезистентности или множественной устойчивости к антибиотикам уделяется недостаточно внимание. Поэтому была проанализирована мультирезистентность 70 штаммов рода *Enterococcus*, выделенных из окружающей среды с антропогенной нагрузкой (б. Золотой Рог и

р. Вторая Речка) для 8 антибиотиков разных классов и механизмов действия (тетрациклин, стрептомицин, эритромицин, ампициллин, левофлоксацин, рифампицин, гентамицин и ванкомицин).

Было выявлено, что в б. Золотой Рог большинство штаммов рода *Enterococcus* проявляли устойчивость к трем антибиотикам, что составляло 45 % от всей выборки, к одному и двум – составляло по 22 %. И только 11 % штаммов проявляли устойчивость к четырем антибиотикам, а именно тетрациклину, стрептомицину, эритромицину и рифампицину (рис. 3).

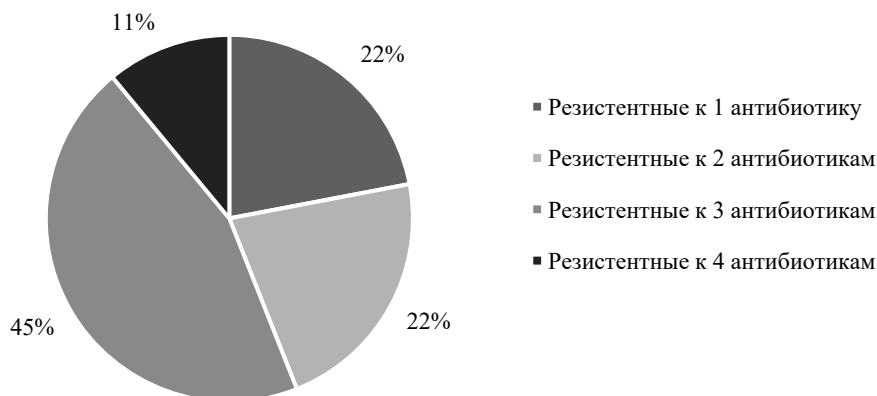


Рис. 3. Мультирезистентность бактерий рода *Enterococcus* к антибиотикам, выделенных из б. Золотой Рог

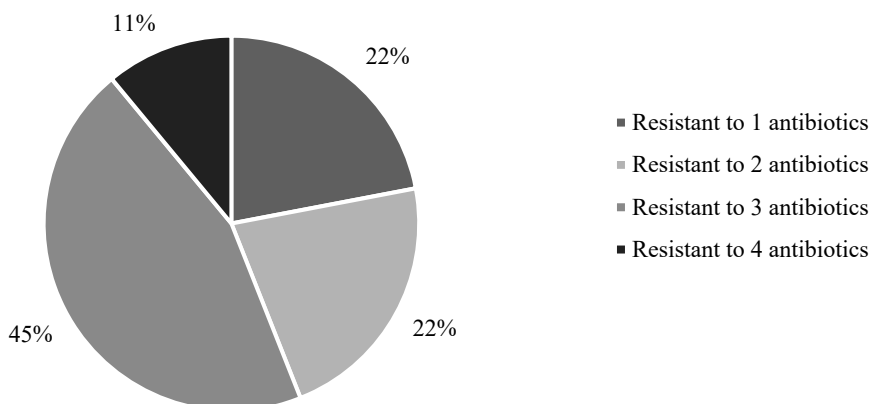


Figure 3. Multiresistance of bacteria of the genus *Enterococcus* to antibiotics isolated from b. Zolotoy Rog

В р. Второй Речке большинство штаммов проявляли резистентность к двум антибиотикам, а именно 41 % выделенных штаммов. 20 % были резистентны к трем антибиотикам, 21 % – чувствительны к 6 антибиотикам, 8 % – к четырем антибиотикам и только 2 % к шести антибиотикам. Также

следует отметить что было 8 % штаммов, не проявлявших резистентность, однако среди них встречались с промежуточной устойчивостью (рис. 4).

В целом выделенные штаммы характеризуются мультирезистентностью по отношению к таким антибиотикам, как стрептомицин, рифампицин и эритромицин, что можно считать отличительной особенностью бактерий рода *Enterococcus*, выделенного их водных объектов г. Владивостока. При этом в б. Золотой Рог чаще всего встречались штаммы с резистентностью к трем антибиотикам, реже к одному, двум и четырем, а в р. Вторая Речка чаще встречались к двум, реже одному, трем и четырём, однако также встречались чувствительные штаммы и резистентные к восьми антибиотикам.

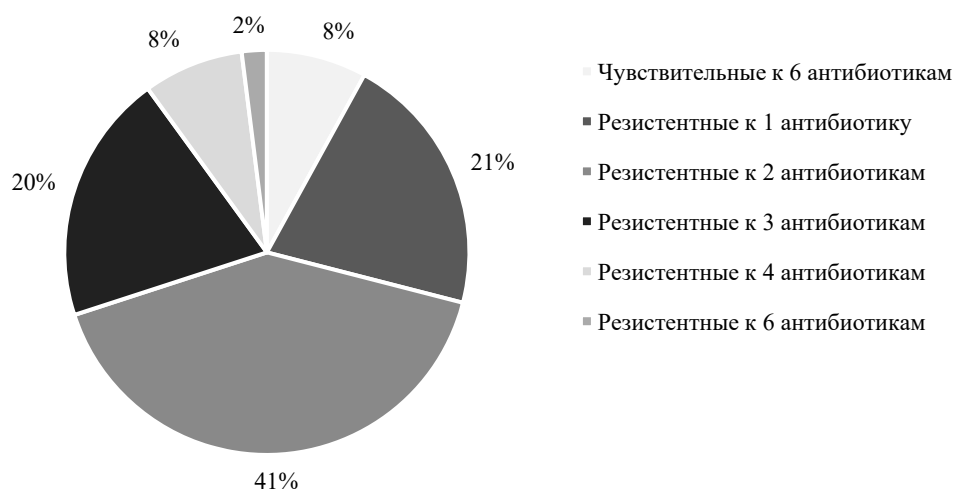


Рис. 4. Мультирезистентность бактерий рода *Enterococcus* к антибиотикам, выделенных из р. Вторая Речка

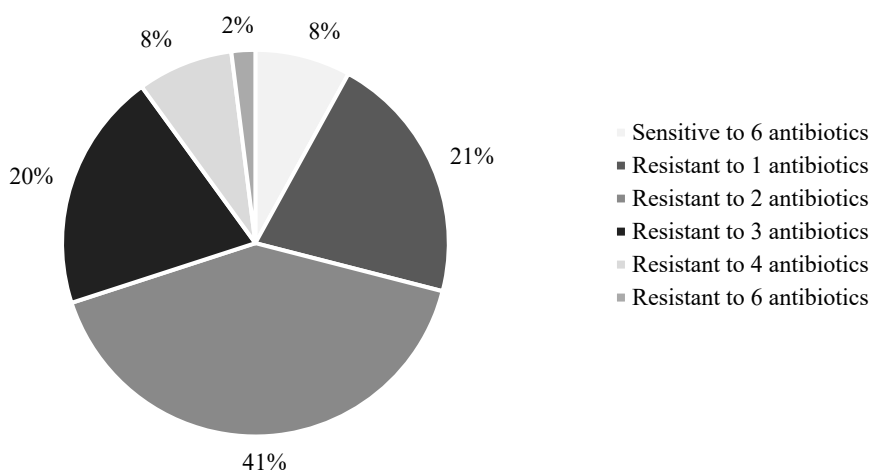


Figure 4. Multiresistance of bacteria of the genus *Enterococcus* to antibiotics isolated from the r. Vtoraya Rechka



## Обсуждение

Устойчивость энтерококков к антибиотикам являются одной из основных причин внутрибольничных инфекций [7]. Виды энтерококков, включая наиболее клинически важных представителей этого рода, *Enterococcus faecalis* и *Enterococcus faecium*, являются нормальной микрофлорой желудочно-кишечного тракта человека и поэтому повсеместно встречаются в бытовых сточных водах. Сточные воды могут загрязнять поверхностные и грунтовые воды многими путями, включая неадекватную очистку сточных вод, разливы из-за неисправности или перегрузки инфраструктуры, а также удаление отходов животноводства в водные объекты [8].

Недавние сообщения указывают на то, что слишком много антибиотиков прописывают во всем мире [8; 9]. Например, в США выписывается около 300 миллионов рецептов антибиотиков ежегодно (что эквивалентно более чем 800 рецептам на 1000 человек), и это только для амбулаторного лечения [9]. По оценкам, 30 % этих рецептов антибиотиков были ненужными или несоответствующими, поскольку они были назначены при респираторных заболеваниях, для которых не были показаны (например, вирусные инфекции, бронхит, астма и аллергия, негнойный средний отит) или назначенные антибиотики не соответствовали общепринятым принципам лечения (например, β-лактамы являются терапией первой линии при распространенных бактериальных инфекциях, а азитромицин – наиболее часто назначаемый антибиотик) [9; 10].

Устойчивость микроорганизмов к антимикробным препаратам может быть двух типов. К первому относится врожденная устойчивость, ген которой располагается в хромосоме, а ко второму – приобретенная, ген которой возникает из-за мутаций или появляется при обмене ДНК между бактериями [11].

**Тетрациклин** обладает бактериостатическим действием, подавляет синтез белка бактериальной клетки на уровне рибосом, а также необратимо связывает металлы (Cu, Fe, Mg, Mn), образуя с ними хелатные соединения и ингибируя ферментные системы [12]. По различным литературным данным, от 60 до 80 % представителей рода *Enterococcus* имеют резистентность к тетрациклину [13]. Ген *prgQ* устойчивости к тетрациклину находится в плазмиде, а его конъюгация стимулируется пептидным ферментом cCF10 [14]. Также у энтерококков было выделено два варианта гена *tet*, отвечающего за защиту от действия тетрациклина. Первый вариант гена осуществляет защиту путем рибосомальной защиты, включая гены *tet (M)*, *tet (O)* и *tet (S)*, а второй провоцирует энергозависимый отток тетрациклина из клетки энтерококка и кодируется генами *tet (K)* и *tet (L)* [15].

**Стрептомицин** относится к аминогликозидам, которые действуют бактерицидно на бактериальную клетку, при этом необратимо связываются со специфичными рецепторами бактериальных рибосом и угнетают синтез

белка [12]. Поскольку представители рода *Enterococcus* обладают анаэробным метаболизмом, они практически неустойчивы к малым концентрациям аминогликозидов. Среди клинических изолятов все чаще встречаются энтерококки с генами устойчивости к аминогликозидам [16]. Существует три механизма устойчивости к данным антибиотикам: первый и второй можно объединить, так как они происходят из-за генных мутаций, а третий механизм связан с плазмидами. При первом механизме происходит изменение сайта мишени, при втором – изменения в транспорте антибиотика, а третий – происходит путем ферментативной дезактивации аминогликозидов [17]. Устойчивость к стрептомицину может быть связана как с мутацией рибосомного белка, так и с ферментативным расщеплением последнего [16].

**Эритромицин** относится к макролидам и обладает бактериостатическим действием, что проявляется в подавлении синтеза белка микробной клетки на уровне рибосом и связано с угнетением фермента пептидтранслоказы [12]. Существует два основных механизма, приводящих к устойчивости к макролидам: первый с помощью рибосомальной метилазы, которая кодируется геном *erm*, а второй – благодаря действию, опосредованному мембрано-связанным эффлюксным белком, кодирующимся генами *mef* (*A* или *E*) и *msr* (*M*) [18]. По литературным данным выявлена связь между генами, отвечающими за устойчивость к эритромицину (*ermB*) и меди (*tcpB*), которая впервые была продемонстрирована на штаммах *E. faecalis* и *E. faecium*, выделенных от свиней, позже показали подобную связь у *E. hirae*, который был выделен из морской воды [6].

**Ампициллин** – это β-лактамный антибиотик, имеющий бактериостатическое действие [12]. Подавляет синтез клеточной стенки бактерий, связываясь с пенициллинсвязывающими белками, которые являются ферментами, ответственными за формирование структуры клеточной стенки [19]. Замены, которые ранее считались способствующими развитию устойчивости к ампициллину в клинических штаммах, при экспрессии плазмидным *pbp5* в чувствительном к нему хозяине *E. faecium* давали умеренные уровни устойчивости, тем самым обеспечивая прямое доказательство их влияния. Комбинации точечных мутаций, особенно Pbp5 M485A с вставкой Ser в положении 466, давали существенно повышенные уровни устойчивости. Кроме того, была установлена корреляция между сродством очищенных рекомбинантных мутантов Pbp5 к связыванию антибиотиков с уровнями устойчивости, обеспечиваемыми этими аллелями. Дальнейший анализ показал, что хромосомно-кодируемый детерминант *pbp5* может передаваться между штаммами *E. faecium* [20] путем конъюгации, что предполагает механизм, с помощью которого высокая устойчивость к ампициллину, обеспечиваемая мутантными аллелями *pbp5*, может распространяться среди клинических изолятов [21]. Подобно *E. faecium*, мутации в Pbp5 клинических изолятов *E. faecalis* могут также приводить к повышенной устойчивости к бета-лактамным антибиотикам, таким как ампициллин [22].

**Левифлоксацин** – это фторхинолон с бактерицидным действием, обладает выраженной противомикробной активностью за счет ингибирования двух ключевых ферментов клетки, отвечающих за биосинтез и репликацию ДНК: ДНК-гиразы и топоизомеразы IV [23]. Считается, что мутации в областях, определяющих устойчивость к хинолонам *gyrA*, кодирующей ДНК-гиразу, и *parC*, кодирующей ДНК-топоизомеразу IV, системы оттока, антимикробных ферментов устойчивости и плазмид-опосредованных механизмов, способствуют устойчивости к фторхинолонам [24]. Исследования факторов риска устойчивости к фторхинолонам при энтерококковых инфекциях мочевых путей продемонстрировали, что недавнее воздействие антибиотиков, таких как фторхинолоны, цефалоспорины широкого спектра действия и клиндамицин, в значительной степени связано с устойчивостью к фторхинолонам энтерококковых уропатогенов, включая *E. faecalis* и *E. faecium* [25].

**Рифампицин** относится к группе макролактамных антибиотиков, имеет бактерицидное действие и проявляется в подавлении синтеза РНК путем образования комплекса с ДНК-зависимой РНК-полимеразой [12]. Изучение *E. faecium* показало, что 78,9 % энтерококков являются резистентными к рифампицину. Большинство микроорганизмов, включая энтерококки, вырабатывают резистентность путем мутаций в гене *rpoB*, который кодирует  $\beta$ -субъединицу РНК-полимеразы, существуют и другие механизмы устойчивости к рифампицину, однако они встречаются редко [26].

**Гентамицин** является аминогликозидом с бактерицидным действием [12]. Аминогликозиды действуют путем связывания с 16S рРНК 30S субъединицы рибосомы и препятствуют синтезу белка. Энтерококки обычно проявляют умеренный уровень внутренней устойчивости к аминогликозидам, что объясняется плохим усвоением антибиотиков. Анализ выбранных мутантов, которые проявляли повышенную устойчивость к гентамицину *in vitro*, показал, что нарушение усвоения гентамицина может непосредственно способствовать усилению устойчивости [27].

**Ванкомицин** – антибактериальный химиопрепарат, относящийся к гликопептидам с бактерицидным действием, при котором нарушается синтез клеточной стенки [12]. У микроорганизмов существует пять фенотипов резистентности к ванкомицину: VanA, VanB, VanC, VanD и VanE. Первые, два из которых стали выделять в последнее время, хотя до этого не выделяли, у *E. faecalis* и *E. faecium* [28]. В исследовании 1988 г. впервые упоминаются резистентные к ванкомицину штаммы *E. faecalis* и *E. faecium*. После этого их стали выделять все чаще в различных больницах [29]. В исследовании энтерококков госпитализированных и негоспитализированных лиц показало, что *E. faecium* имеет большую устойчивость к ванкомицину по сравнению с *E. faecalis* [29–30]. В России данная проблема не столь актуальна, однако, чтобы избежать негативного опыта других стран, необходимо сократить применение данного антибиотика и повысить санитарно-гигиенические меры во избежание энтерококковых инфекций.

## Выводы

Было выявлено, что в б. Золотой Рог более половины выделенных штаммов обладали резистентностью к стрептомицину, эритромицину и левофлоксацину, а в р. Вторая Речка более 50 % штаммов – стрептомицину и рифампицину. Выделенная популяция штаммов энтерококков характеризовалась мультирезистентностью к двум антибиотикам (41 %) в р. Вторая Речка и трем или более антибиотикам (45 %) в б. Золотой. Чаще всего встречалась резистентность к сочетанию таких антибиотиков, как стрептомицин, рифампицин и эритромицин.

## Список литературы

- [1] Красная Ю.В., Нестерев А.С., Потатуркина-Нестерова Н.И. Значение бактерий рода *Enterococcus* в жизнедеятельности человека // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 1169–1178. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16620> (дата обращения: 17.07.2023).
- [2] Veljovic K. et al. Environmental waters as a source of antibiotic-resistant *Enterococcus* species in Belgrade, Serbia // Environmental Monitoring and Assessment. 2015. Vol. 187, № 9. P. 1–15. <http://doi.org/10.1007/s10661-015-4814-x>
- [3] Hammerum AM. Enterococci of animal origin and their significance for public health // Clinical Microbiology and Infection. 2012. Vol 18, № 7. P. 619–625. <http://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2012.03829.x>
- [4] Паивина Д. В. Характеристика вирулентного потенциала клинических изолятов энтерококков, выделенных от животных: дис. ... канд. биол. наук. Оренбург, 2015. 116 с. URL: <https://www.dissercat.com/content/kharakteristika-virulentnogo-potentsiala-klinicheskikh-izolyatov-enterokokkov-vydelennykh> (дата обращения: 17.07.2023).
- [5] Cesare Di A. et al. The marine environment as a reservoir of enterococci carrying resistance and virulence genes strongly associated with clinical strains // Environmental Microbiology Reports. 2014. Vol. 6, № 2. P. 184–190. <http://doi.org/10.1111/1758-2229.12125>
- [6] Pasquaroli S. et al. Erythromycin- and copper-resistant *Enterococcus hirae* from marine sediment and co-transfer of *erm*(B) and *tcrB* to human *Enterococcus faecalis* // Diagnostic Microbiology and Infectious Disease. 2014. Vol. 80, № 1. P. 26–28. <http://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2014.06.002>
- [7] Weiner-Lastinger L.M. et al. Antimicrobial-resistant pathogens associated with adult healthcare-associated infections: summary of data reported to the National Healthcare Safety Network, 2015-2017 // Infection Control Hospital Epidemiology. 2020. Vol. 41. P. 1–18. <http://doi.org/10.1017/ice.2019.296>
- [8] Korajkic A. et al. Antibiotic-resistant *Enterococcus* species in marine habitats: A review // Current Opinion in Environmental Science & Health. 2016. Vol. 16. P. 92–100. <http://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.07.003>
- [9] Hicks L.A. et al. US outpatient antibiotic prescribing variation according to geography, patient population, and provider specialty in 2011 // Clinical Infectious Diseases. 2015. Vol. 60. P. 1308–1316. <http://doi.org/10.1093/cid/civ076>
- [10] Fleming-Dutra KE. et al. Prevalence of inappropriate antibiotic prescriptions among US ambulatory care visits, 2010–2011 // Journal of American Medical Association. 2016. Vol. 315. P. 1864–1873 <http://doi.org/10.1001/jama.2016.4151>

- [11] Землянко О.М., Рогоза Т.М., Журавлева Г.А. Механизмы множественной устойчивости бактерий к антибиотикам // Экологическая генетика. 2018. Т. 16. № 3. С. 4–17. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizmu-mnozhestvennoy-ustoychivosti-bakteriy-k-antibiotikam> (дата обращения: 12.07.2023).
- [12] Егоров Н.С. Основы учения об антибиотиках: учебник. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, Наука, 2004. 580 с. URL: [http://www.vixri.ru/d3/Egorov%20%20\\_Osnovu%20uchenija%20ob%20antibiotikah,%20izd.6,%202004,%20528s.pdf](http://www.vixri.ru/d3/Egorov%20%20_Osnovu%20uchenija%20ob%20antibiotikah,%20izd.6,%202004,%20528s.pdf) (дата обращения: 16.07.2023).
- [13] Acar J.F., Vuu-Hoi A.Y. Resistance patterns of important Gram-positive pathogens // *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 1988. Vol. 21. P. 41–47. DOI: 10.1093/jac/21.suppl\_c.41
- [14] Nakayama J. et al. The prgQ gene of the *Enterococcus faecalis* tetracycline resistance plasmid pCF10 encodes a peptide inhibitor, iCF10 // *Journal of Bacteriology*. 1994. Vol. 176, № 23. P. 7405–7408. <http://doi.org/10.1128/jb.176.23.7405-7408.1994>
- [15] Huys G. Prevalence and Molecular Characterization of Tetracycline Resistance in *Enterococcus* Isolates from Food // *Applied and Environmental Microbiology*. 2004. Vol. 70. P. 1555–1562. <http://doi.org/10.1128/AEM.70.3.1555-1562.2004>
- [16] Chow J.W. Aminoglycoside Resistance in Enterococci // *Clinical Infectious Diseases*. 2000. Vol. 31, № 2. P. 586–589. <http://doi.org/10.1086/313949>
- [17] Leclercq R. et al. Resistance of enterococci to aminoglycosides and glycopeptides // *Clinical Infectious Diseases*. 1992. Vol. 15, № 3. P. 495–501. <http://doi.org/10.1093/clind/15.3.495>
- [18] Zou L.K. Erythromycin resistance and virulence genes in *Enterococcus faecalis* from swine in China // *New Microbiologica*. 2011. Vol. 34, № 1. P. 73–80. URL: [https://www.newmicrobiologica.org/PUB/allegati\\_pdf/2011/1/73.pdf](https://www.newmicrobiologica.org/PUB/allegati_pdf/2011/1/73.pdf) (дата обращения: 17.07.2023).
- [19] Rafailidis P.I. Ampicillin/Sulbactam in Severe Bacterial Infections // Review Article. 2007. Vol. 67, № 13. P. 1829–1849. <http://doi.org/10.2165/00003495-200767130-00003>
- [20] Rice L.B. Beta-lactam antibiotics and gastrointestinal colonization with vancomycin-resistant enterococci // *The Journal of Infectious Diseases*. 2005. Vol. 24, № 12. P. 804–814. <http://doi.org/10.1007/s10096-005-0057-z>
- [21] Marshall S.H. Gene dosage and linezolid resistance in *Enterococcus faecium* and *Enterococcus faecalis* // *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2002. Vol. 46, № 10. P. 3334–3336. <http://doi.org/10.1128/AAC.46.10.3334-3336.2002>
- [22] Oyamada Y. et al. Combination of known and unknown mechanisms confers high-level resistance to fluoroquinolones in *Enterococcus faecium* // *Journal of Medical Microbiology*. 2006. Vol. 55, № 6. P. 729–736. <http://doi.org/10.1099/jmm.0.46303-0>
- [23] Седова М.К. Разработка состава и методов контроля качества твердой лекарственной формы левофлоксацина: дис. ... канд. фарм. наук. М., 2016. 167 с. URL: <http://www.dslib.net/farmakognozia/razrabotka-sostava-i-metodov-kontrolja-kachestva-tverdoj-lekarstvennoj-formy.html> (дата обращения: 17.07.2023).
- [24] Yasufuku T. Mechanisms of and Risk Factors for Fluoroquinolone Resistance in Clinical *Enterococcus faecalis* Isolates from Patients with Urinary Tract Infections // *J. Clin. Microbiol.* 2011. Vol. 49, № 11. P. 3912–3916. <http://doi.org/10.1128/JCM.05549-11>
- [25] Rattanaumpawan P. Risk factors for fluoroquinolone resistance in *Enterococcus* urinary tract infections in hospitalized patients // *Epidemiology and Infections* 2011. Vol. 139. P. 955–961. <http://doi.org/10.1017/S095026881000186X>
- [26] Enne V.I. Rifampicin resistance and its fitness cost in *Enterococcus faecium* // *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 2004. Vol. 53, № 2. P. 203–207. <http://doi.org/10.1093/jac/dkh044>

- [27] Aslangul E. Acquired Gentamicin Resistance by Permeability Impairment in *Enterococcus faecalis* // *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2006. Vol. 50, № 11. P. 3615–3621. <http://doi.org/10.1128/AAC.00390-06>
- [28] Jolivet S. First nosocomial outbreak of vanA-type vancomycin-resistant *Enterococcus raffinosus* in France // *Journal of Hospital Infection*. 2016. Vol. 94, № 4. P. 346–350. <http://doi.org/10.1016/j.jhin.2016.09.004>
- [29] Cetinkaya Y. Vancomycin-Resistant Enterococci // *Clin. Microbiol. Rev.* 2000. Vol. 13, № 4. P. 686–707. <http://doi.org/10.1128/CMR.13.4.686>
- [30] Hijazi N.M. Vancomycin-Resistant Enterococci in Fecal Samples from Hospitalized Patients and Non-Hospitalized Individuals in Gaza City // *Journal of Public Health*. 2009. Vol. 17, № 19. P. 243–249. <http://doi.org/10.1007/s10389-008-0242-5>

## References

- [1] Krasnaya YuV. Significance of bacteria of genus *Enterococcus* in human activity. *Modern problems of science and education*. 2014;6:1169–1178. (In Russ.) Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16620> <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16620> (accessed: 17.07.2023).
- [2] Veljovic K, Popvic N, Vidojevic M, Tolinacki M, Mihailovic S, Jovcic B, Kojic M. Environmental waters as a source of antibiotic-resistant *Enterococcus* species in Belgrade, Serbia. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015;187(9):1–15. <http://doi.org/10.1007/s10661-015-4814-x>
- [3] Hammerum AM. Enterococci of animal origin and their significance for public health. *Clinical Microbiology and Infection*. 2012;18(7):619–625. <http://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2012.03829.x>
- [4] Pashvina DV. Peculiarities of virulence potential of clinical isolates of enterococci gained from animals: thesis for Candidate of biological science. Orenburg, 2015. 116 p. (In Russ.) Available from: <https://www.disserscat.com/content/kharakteristika-virulentnogo-potentsiala-klinicheskikh-izolyatov-enterokokkov-vydelennykh> (accessed: 17.07.2023).
- [5] Cesare Di A. The marine environment as a reservoir of enterococci carrying resistance and virulence genes strongly associated with clinical strains. *Environmental Microbiology Reports*. 2014;6(2):184–190. Available: <http://doi.org/10.1111/1758-2229.12125>
- [6] Pasquaroli S. et al. Erythromycin- and copper-resistant *Enterococcus hirae* from marine sediment and co-transfer of erm(B) and tcrB to human *Enterococcus faecalis*. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*. 2014;80(1):26–28. <http://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2014.06.002>
- [7] Weiner-Lastinger LM. et al. Antimicrobial-resistant pathogens associated with adult healthcare-associated infections: summary of data reported to the National Healthcare Safety Network, 2015–2017. *Infection Control Hospital Epidemiology*. 2020;41:1–18. <http://doi.org/10.1017/ice.2019.296>
- [8] Korajkic A, McMinn BR, Staley ZR, Ahmed W, Harwood VJ. Antibiotic-resistant *Enterococcus* species in marine habitats: A review. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2016;16:92–100. <http://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.07.003>
- [9] Hicks LA, Bartoces MG, Roberts RM, Suda KJ, Hunkler RJ, Taylor TH, Schrag SJ. US outpatient antibiotic prescribing variation according to geography, patient population, and provider specialty in 2011. *Clinical Infectious Diseases*. 2015;60:1308–1316. <http://doi.org/10.1093/cid/civ076>
- [10] Fleming-Dutra KE. et al. Prevalence of inappropriate antibiotic prescriptions among US ambulatory care visits, 2010–2011. *Journal of American Medical Association*. 2016;315:1864–1873. <http://doi.org/10.1001/jama.2016.4151>

- [11] Zemlyanko OM. Mechanisms of multiresistance of bacteria to antibiotics. *Ecological genetics*. 2018;16(3):4–17. (In Russ.) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizmy-mnozhestvennoy-ustoychivosti-bakteriy-k-antibiotikam> (accessed: 12.07.2023).
- [12] Egorov NS. *Basics of study of antibiotics./textbook 6 ed. revised and added*. Moscow: Moscow State University, Science. 2004. 580 p. (In Russ.) Available from: [http://www.vixri.ru/d3/Egorov%20%20\\_Osnovy%20uchenija%20ob%20antibiotikax,%20izd.6,%202004,%20528s.pdf](http://www.vixri.ru/d3/Egorov%20%20_Osnovy%20uchenija%20ob%20antibiotikax,%20izd.6,%202004,%20528s.pdf) (accessed: 16.07.2023).
- [13] Acar JF, Buu-Hoi AY. Resistance patterns of important Gram-positive pathogens. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 1988;21:41–47. [http://doi.org/10.1093/jac/21.suppl\\_c.41](http://doi.org/10.1093/jac/21.suppl_c.41)
- [14] Nakayama J, Ruhfel RE, Dunny GM, Isogal A, Suzuki A. The prgQ gene of the *Enterococcus faecalis* tetracycline resistance plasmid pCF10 encodes a peptide inhibitor, iCF10. *Journal of Bacteriology*. 1994;176(23):7405–7408. <http://doi.org/10.1128/jb.176.23.7405-7408.1994>
- [15] Huys G, D’Haene K, Collard J, Swings J. Prevalence and Molecular Characterization of Tetracycline Resistance in *Enterococcus* Isolates from Food. *Applied and Environmental Microbiology*. 2004;70(4):1555–1562. <http://doi.org/10.1128/AEM.70.3.1555-1562.2004>
- [16] Chow JW. Aminoglycoside Resistance in Enterococci. *Clinical Infectious Diseases*. 2000;31(2):586–589. <http://doi.org/10.1086/313949>
- [17] Leclercq R. et al. Resistance of enterococci to aminoglycosides and glycopeptides. *Clinical Infectious Diseases*. 1992;15(3):495–501. <http://doi.org/10.1093/clind/15.3.495>
- [18] Zou LK. et al. Erythromycin resistance and virulence genes in *Enterococcus faecalis* from swine in China. *New Microbiologica*. 2011;34(1):73–80. Available from: [https://www.newmicrobiologica.org/PUB/allegati\\_pdf/2011/1/73.pdf](https://www.newmicrobiologica.org/PUB/allegati_pdf/2011/1/73.pdf) (accessed 17.07.2023).
- [19] Rafailidis PI, Ioannidou EN, Falagas ME. Ampicillin/Sulbactam in Severe Bacterial Infections. *Review Article*. 2007;67(13):1829–1849. <http://doi.org/10.2165/00003495-200767130-00003>
- [20] Rice LB. Beta-lactam antibiotics and gastrointestinal colonization with vancomycin-resistant enterococci. *The Journal of Infectious Diseases*. 2005;24(12):804–814. <http://doi.org/10.1007/s10096-005-0057-z>
- [21] Marshall SH, Donskey CJ, Hutton-Thomas R, Salata RA, Rice LB. Gene dosage and linezolid resistance in *Enterococcus faecium* and *Enterococcus faecalis*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2002;46(10):3334–3336. <http://doi.org/10.1128/AAC.46.10.3334-3336.2002>
- [22] Oyamada Y, Ito H, Fujimoto K, Asada R. et al. Combination of known and unknown mechanisms confers high-level resistance to fluoroquinolones in *Enterococcus faecium*. *Journal of Medical Microbiology*. 2006;55(6):729–736. <http://doi.org/10.1099/jmm.0.46303-0>
- [23] Sedova MK. Development of content and methods of quality control of hard drug substance of levofloxacin: thesis of candidate pharmacological science. Moscow; 2016. 167 p. (In Russ.) Available from: <http://www.dslib.net/farmakognozja/razrabotka-sostava-i-metodov-kontrolja-kachestva-tverdoj-lekarstvennoj-formy.html> (accessed: 17.07.2023).
- [24] Yasufuku T. et al. Mechanisms of and Risk Factors for Fluoroquinolone Resistance in Clinical *Enterococcus faecalis* Isolates from Patients with Urinary Tract Infections. *Journal of Clinical Microbiology*. 2011;49(11):3912–3916. <http://doi.org/10.1128/JCM.05549-11>
- [25] Rattanaumpawan P, Tolomeo P, Bilker WB, Fishman NO, Lautenbach E. Risk factors for fluoroquinolone resistance in *Enterococcus* urinary tract infections

- in hospitalized patients. *Epidemiology and Infections*. 2011;139:955–961. <http://doi.org/10.1017/S095026881000186X>
- [26] Enne VI, Delsol AA, Roe JM, Bennett PM. Rifampicin resistance and its fitness cost in *Enterococcus faecium*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 2004;53(2):203–207. <http://doi.org/10.1093/jac/dkh044>
- [27] Aslangul E, Massias L, Meulemans A, Chau F, Andremont A, Courvalin P, Fantin B, Ruimy R. Acquired Gentamicin Resistance by Permeability Impairment in *Enterococcus faecalis*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2006;50(11):3615–3621. <http://doi.org/10.1128/AAC.00390-06>
- [28] Jolivet S. et al. First nosocomial outbreak of vanA-type vancomycin-resistant *Enterococcus raffinosus* in France. *Journal of Hospital Infection*. 2016;94 (4):346–350. <http://doi.org/10.1016/j.jhin.2016.09.004>
- [29] Cetinkaya Y, Fallk P, Mayhall C. Vancomycin-Resistant Enterococci. *Clinical Microbiology Review*. 2000;13(4):686–707. <http://doi.org/10.1128/CMR.13.4.686>
- [30] Hijazi NM, Elmanama AA, Al-Hindi A. Vancomycin-Resistant Enterococci in Fecal Samples from Hospitalized Patients and Non-Hospitalized Individuals in Gaza City. *Journal of Public Health*. 2009;17(19):243–249. <http://doi.org/10.1007/s10389-008-0242-5>

#### Сведения об авторах:

Ускова Светлана Сергеевна, аспирант, Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. ORCID: 0000-0001-7515-1207; SPIN-код: 2127-7799. E-mail: uskova.ss@yandex.com

Мартынова Алина Викторовна, доктор медицинских наук, профессор кафедры биоразнообразия и морских биоресурсов, Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. ORCID: 0000-0001-6823-5971; SPIN-код: 1842-1670. E-mail: clinmicro@yandex.ru

Ким Александра Вячеславовна, кандидат биологических наук, старший преподаватель каф. биоразнообразия и морских биоресурсов, Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. E-mail: kim-sandra@mail.ru

#### Bio notes:

Svetlana S. Uskova, post-graduate student, Institute of the World, Far Eastern Federal University, 10 p. Ajax, island Russian, st. Vladivostok, Primorsky Territory, 690922, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-7515-1207; SPIN-код: 2127-7799. E-mail: uskova.ss@yandex.com

Alina V. Martynova, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Biodiversity and Marine Bioresources, Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University, 10 p. Ajax, island Russian, st. Vladivostok, Primorsky Territory, 690922, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6823-5971; SPIN-код: 1842-1670. E-mail: clinmicro@yandex.ru

Aleksandra V. Kim, Ph.D. Biol. Sciences, Senior Lecturer, Dept. Biodiversity and Marine Bioresources, Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University. 10 p. Ajax, island Russian, st. Vladivostok, Primorsky Territory, 690922, Russian Federation. E-mail: kim-sandra@mail.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-3-339-348

EDN: SNVVUO

УДК 504.4.062.2


Научная статья / Research article

## Оценка экосистемных услуг по регулированию климата водно-болотными угодьями Мадуганга

Т.С. Кирсанов<sup>1</sup>, А.В. Попкова<sup>1</sup>  , Х. Ранасингхе<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Университет Шри Джаяварденепуры, Нугегода, Шри-Ланка

 [popkova-av@rudn.ru](mailto:popkova-av@rudn.ru)

**Аннотация.** Мангровые лесные массивы играют важную роль в достижении углеродной нейтральности. Однако для развивающихся стран, таких как Шри-Ланка, недостаточно представлены данные об экономической ценности способности мангровых экосистем накапливать и поглощать углерод. Целью данного исследования была экономическая оценка услуг по регулированию климата на примере водно-болотных угодий Мадуганга (Шри-Ланка). Данные по накоплению углерода были рассчитаны как предельные затраты на сокращение выбросов углерода, а данные по поглощению – через расчет социальной стоимости углерода или предельной стоимости ущерба. В результате исследования установлена общая стоимость услуг по регулированию углеродного цикла водно-болотных угодий Мадуганга, которая составила 0,18 % от номинального ВВП острова Шри-Ланка на 2021 г. Высокая экономическая ценность мангровых лесных массивов Мадуганга отражает их приоритетную роль в достижении углеродной нейтральности в рамках концепции устойчивого развития.

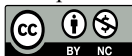
**Ключевые слова:** мангровые заросли, водно-болотные угодья, экосистемные услуги, углеродная нейтральность, устойчивое развитие

**Вклад авторов:** Т.С. Кирсанов – выбор и обоснование методик, выполнение расчетов, исследование, обсуждение, подготовка текста публикации; А.В. Попкова и Х. Ранасингхе – концепция работы, подготовка текста публикации (рецензирование и редактирование).

**История статьи:** поступила в редакцию 26.04.2023; доработана после рецензирования 25.05.2023; принята к публикации 27.05.2023.

---

© Кирсанов Т.С., Попкова А.В., Ранасингхе Х., 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: Кирсанов Т.С., Попкова А.В., Ранасингхе Х. Оценка экосистемных услуг по регулированию климата водно-болотными угодьями Мадуганга // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 3. С. 339–348. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-339-348>

## Assessment of ecosystem services for climate regulation: case study of the Madu Ganga wetlands

Trofim S. Kirsanov<sup>1</sup>, Anna V. Popkova<sup>1</sup>  , Hemanthi Ranasinghe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*RUDN University, Moscow, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Forestry and Environmental Science University of Sri Jayawardenepura, Nugegoda, Sri Lanka*

 [popkova-av@rudn.ru](mailto:popkova-av@rudn.ru)

**Abstract.** The ecosystem services assessment plays one of the key role in the modern concept of sustainable development, including combat climate change and achievement carbon neutrality, since the value assessment of all benefits and risks from ecosystem services is the most visible for decision makers (business and government). Mangrove forests in developing countries, such as Sri Lanka, are important factor in achieving carbon neutrality. The purpose of present investigation was the economic assessment of climate regulation services on the example of the Madu Ganga wetlands (Sri Lanka). The carbon stock was calculated as the marginal cost of reducing carbon emissions, and the sequestration was assessed through the calculation of the carbon social cost or the marginal cost of damage. As a result, the high cost of carbon storage by the Madu Ganga wetlands was revealed – approximately, it amounted to \$153,341,221. The cost of the ES for carbon sequestration was \$2,153,424. The total cost of services to regulate the carbon cycle of the Madu Ganga wetlands was \$155,494,645, or 0.18% of the nominal GDP of the island of Sri Lanka for 2021. The high value of the mangrove forests of Madu Ganga shows their crucial role in achieving carbon neutrality within the framework of the concept of sustainable development.

**Keywords:** mangroves, wetlands, ecosystem services, carbon neutrality, sustainable development

**Authors' contributions:** *T.S. Kirsanov* – methods' selection, calculations, research, discussion, text preparation for the publication; *A.V. Popkova* and *H. Ranasinghe* – the research concept text preparation for the publication (reviewing and editing).

**Article history:** received 26.04.2023; revised 25.05.2023; accepted 27.05.2023.

**For citation:** Kirsanov TS, Popkova AV, Ranasinghe H. Assessment of ecosystem services for climate regulation: case study of the Madu Ganga wetlands. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(3):339–348. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-339-348>

## Введение

Одной из приоритетных задач оценки экосистемных услуг является привлечение внимания лиц, принимающих решения (бизнеса и правительства), к необходимости учитывать состояние природного капитала для устойчивого

экономического роста. Для эффективной интеграции экосистемных услуг в существующие рынки необходимы комплексные методы экономической оценки [2; 20].

Мангровые лесные массивы предоставляют множество экосистемных услуг, в частности продовольствие, древесные материалы, различное сырье, регулирование климата, борьбу с загрязнением, защиту прибрежных районов, рекреационные и другие услуги [12; 19]. В дополнение мангровые экосистемы относятся к числу наиболее продуктивных экосистем и представляют собой потенциально важные поглотители углерода в биосфере, что делает их важным элементом для достижения углеродной нейтральности. Из-за высоких запасов углерода оценка экосистемных услуг мангровых лесных массивов для регулирования климата является одним из центральных направлений достижения углеродной нейтральности в рамках концепции устойчивого развития [5; 10; 15].

Поскольку многие услуги мангровых экосистем являются общественным благом, для них не существует рынков сбыта, и возможности управлять ими с помощью обычных рыночных механизмов ограничены. Более того, из-за трудностей в оценке стоимости данных услуг мангровые заросли часто недооцениваются при анализе выгод и затрат на сохранение по сравнению с коммерческим землепользованием, что приводит к их деградации и утрате [7].

Развивающиеся страны вносят вклад в достижение углеродной нейтральности, в том числе из-за большого потенциала регулирования углеродных циклов. Например, Sooray et al. [3] установили, что более 10 % территории острова Шри-Ланка занимают мангровые леса, обладающие богатыми запасами углерода. Hernández-Blanco et al. [6] также отмечают значительную роль мангровых лесных массивов Коста-Рики в мировом углеродном цикле [3; 6].

Несмотря на важность оценки экосистемных услуг по регулированию климата для устойчивого развития и высокий потенциал экосистем развивающихся стран в накоплении и поглощении углерода, Sannigrahi et al. [12] отмечают, что в современной научной литературе по оценке экосистемных услуг уделяется крайне мало внимания развивающимся странам. Работы по оценке регулирования климата преимущественно сфокусированы на развитых странах Европы, Северной Америки и Азии, в то время как потенциал экосистем, в частности мангровых лесных массивов, развивающихся стран Южной Америки и Юго-Восточной Азии значительно выше [12; 13].

**Цель исследования** – экономическая оценка услуг по управлению климатом, предоставляемых мангровыми лесами, на примере водно-болотных угодий Мадуганга (Шри-Ланка).

### **Методы и объект исследования**

*Объект исследования.* В качестве объекта исследования были выбраны водно-болотные угодья Мадуганга (Шри-Ланка). Озеро Мадуганга

с прилегающими мангровыми островами представляет собой сложную прибрежную водно-болотную экосистему, раскинувшуюся на площади более 900 гектаров и насчитывающую 64 острова (рис. 1). Бассейн реки Маду представляет собой заболоченные участки, покрытые мангровыми лесами. В этом районе произрастает 14 из 24 видов мангровых деревьев. Водно-болотные угодья Маду-Ганга были официально зарегистрированы в 2003 г. в соответствии с Рамсарской конвенцией [3; 8].

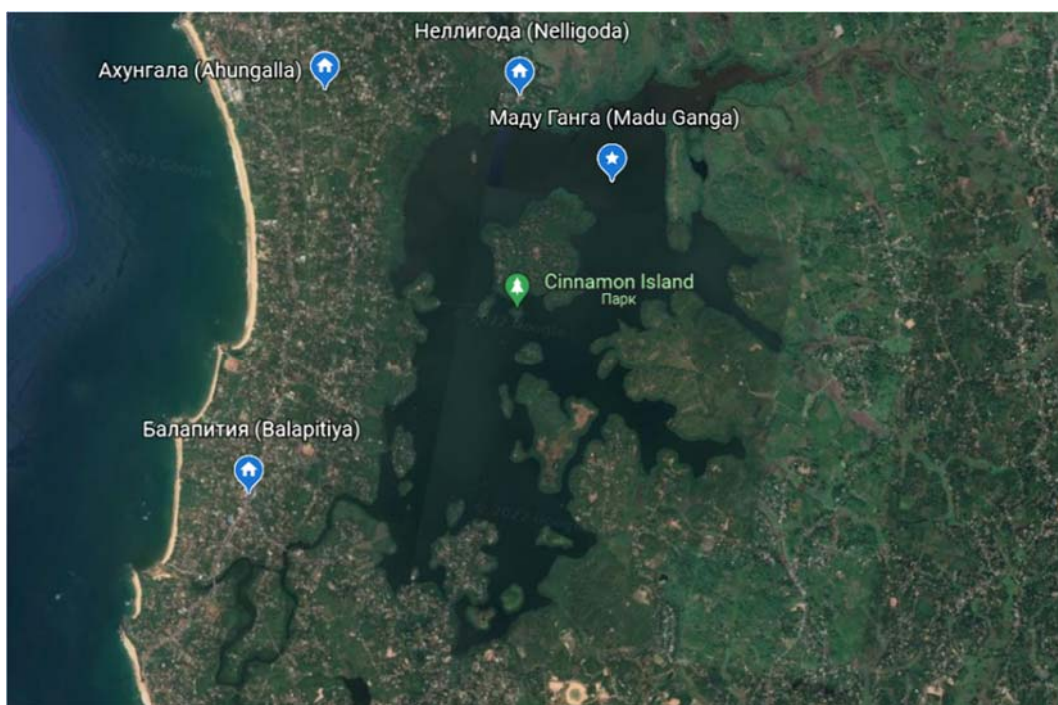


Рис. 1. Озеро и водно-болотные угодья Маду-Ганга на космическом снимке

Водно-болотные угодья Маду-Ганга находятся во влажной зоне, расположенной на юго-западе, среднегодовое количество осадков составляет более 2500 мм, причем значительная часть их обусловлена юго-западным муссоном. Характер выпадения осадков зависит от муссонных ветров Индийского океана и Бенгальского залива [8].

Климат острова Шри-Ланка – тропический. Средняя температура в районе угодий Маду-Ганга составляет около 27–28 °С, опускаясь в минимуме до 22–24 °С и достигая 31–32 °С максимально [3].

*Методика экономической оценки накопления углерода.* Для оценки экономической ценности накопления органического углерода в мангровых лесах Маду-Ганга использовался метод, разработанный Fisher et al. [4] для Четвертого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и представляющий собой расчёт предельных затрат на сокращение выбросов углерода как количество запаса углерода на гектар

(MAC) [6; 8]. Средний показатель предельных затрат, предоставленный Fisher et al. [4], был пересчитан согласно коэффициенту инфляции и составил 169,78 долл. США за тонну на 2022 год [4; 16].

Для оценки стоимости услуги по накоплению углерода мангровыми зарослями использовалась следующая формула:

$$V_{cs} = TC \times MAC \times A_m,$$

где  $V_{cs}$  – стоимость накопления углерода;  $TC$  – общий запас углерода на гектар;  $MAC$  – предельные затраты на контроль выбросов одной тонны углерода;  $A_m$  – площадь мангровых зарослей в гектарах [8; 15].

*Методика экономической оценки поглощения углерода.* Для оценки поглощения углерода проведен расчет социальной стоимости углерода ( $SCC$ ), или предельной стоимости ущерба, опробованный Hernández-Blanco et al. [6]. Этот параметр определяется как чистая приведенная стоимость дополнительного ущерба для окружающей среды и общества в результате увеличения выбросов углекислого газа [8; 11; 20].

Поскольку  $SCC$  теоретически отражает то, что общество должно быть готово платить сейчас, чтобы избежать будущего ущерба, вызванного увеличением выбросов  $CO_2$  [7], то для данной работы  $SCC$  был приравнен к налогу Пигуви (налогу на рыночную деятельность) [6; 11; 14].

Поглощение углерода как экосистемная услуга оценивалось с использованием следующей формулы:

$$V_{cseq} = SR \times SCC \times 3,67 \times A_m,$$

где  $V_{cseq}$  – стоимость услуг по связыванию углерода;  $SR$  – коэффициент поглощения в тоннах  $CO_{2eq}$  на гектар в год; 3,67 – коэффициент пересчета для получения  $CO_{2eq}$  из C;  $A_m$  – площадь мангровых зарослей в гектарах;  $SCC$  – социальные издержки углерода, оцененного в метаанализе, который Tol [14] провел с использованием 311 опубликованных оценок [8; 17].

Окончательная стоимость  $SCC$  на 2022 г. составила 108,66 долл. США/ $TS$  [11]. Коэффициент поглощения  $SR$  для мангровых зарослей был взят из данных Murray et al. [9], а также Maldonado & Zarate-Barrera [18] и равен 6  $CO_{2eq}/га/год$  [1; 14].

Для получения данных о запасе углерода были использованы данные спутниковых снимков, взятые из базы данных Landviewer Sentinel-2 EOS.com за 29.06.2022. Для отражения данных использовались спектры NDWI и NDVI.

## Результаты и их обсуждение

Данные о запасах наземного углерода были получены в результате исследования Coora et al. [3] и экстраполированы на исследуемую территорию на основе анализа спутниковых изображений водно-болотных угодий в спектрах NDVI и NDWI (рис. 2, 3) [9; 18].

Выявлено, что запасы углерода на гектар в районе озера Мадуганга отличаются от запасов углерода на гектар в озере Рандомбе и составляют приблизительно 804,71 мгК/га на 3 м глубины для озера Мадуганга до 1455,39 мгК/га на глубине 3 м для озера Рандомбе [9].

Проведенные расчеты показали, что существенные различия в площадях исследуемых районов практически компенсируются разницей в показателях запаса углерода на гектар – этот показатель для водно-болотных угодий озера Рандомбе в несколько раз выше аналогичного показателя для земель озера Маду-Ганга. В результате разница в показателе накопленного углерода на исследуемых территориях в несколько раз ниже ожидаемого и составляет 502 943,75 мг для озера Маду-Ганга и 400 232,25 мг для озера Рандомбе.

Стоимость хранения углерода в качестве экосистемной услуги составляет 85 389 790 долл. США для озера Маду-Ганга и 67 951 431 доллар США для озера Рандомбе, общая стоимость хранения углерода ( $V_{cs}$ ) на водно-болотных угодьях Маду-Ганга составила 153 341 221 долл. США.



Рис. 2. Водно-болотные угодья Маду-Ганга: озеро Маду-Ганга и озеро Рандомбе на изображении в спектре NDWI

Оценка экосистемной услуги по связыванию/поглощению углерода водно-болотных угодий Маду-Ганга (рис. 4) была проведена на основе данных о социальной стоимости углерода в размере 108,66 долл. США и коэффициенте поглощения  $CO_2eq$ , равном 6 т/га в год. Стоимость услуг по связыванию углерода ( $V_{seq}$ ) составила приблизительно 2 153 424 долл. США.

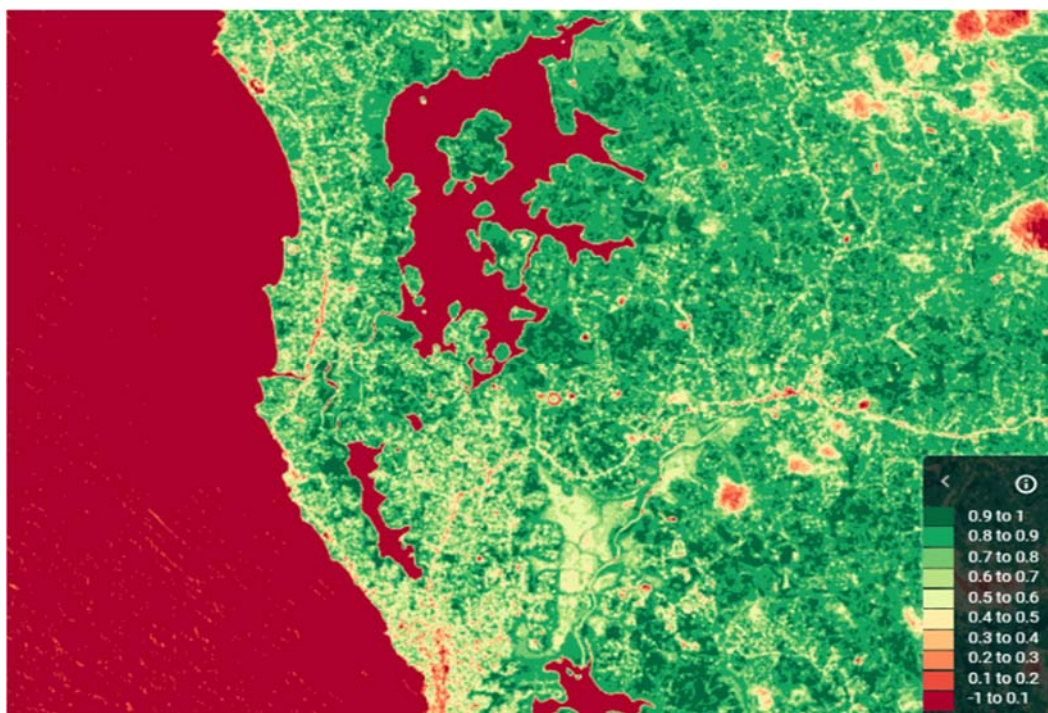


Рис. 3. Водно-болотные угодья Мадуганга: озеро Мадуганга и озеро Рандомбе на изображении в спектре NDVI

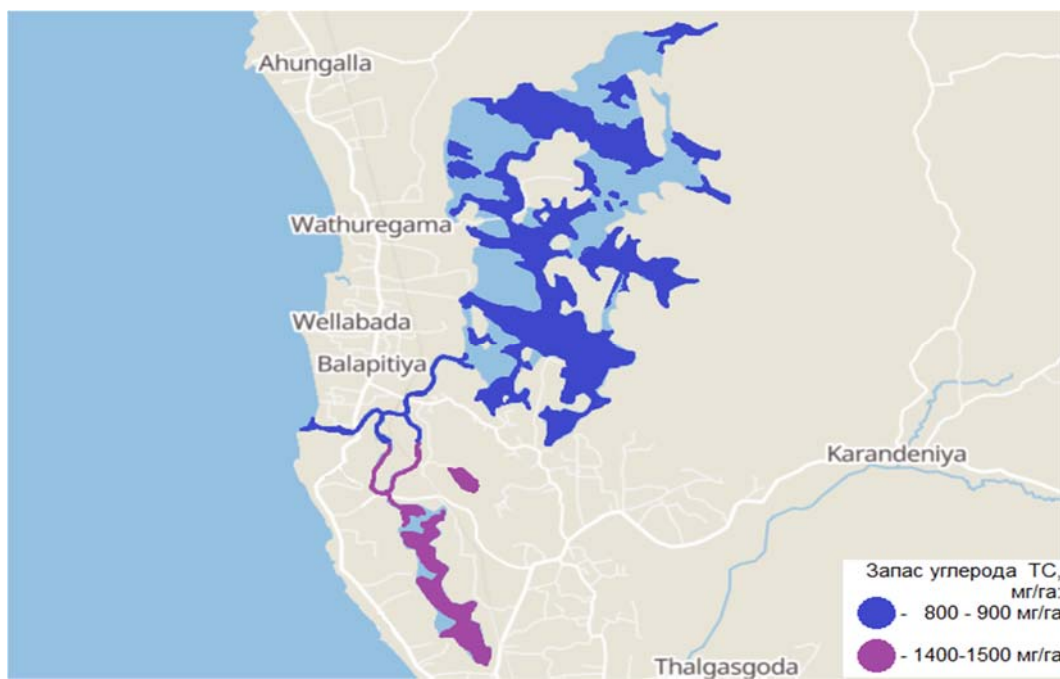


Рис. 4. Накопление углерода в водно-болотных угодьях Мадуганга: озеро Мадуганга и Рандомбе

Таблица 1. Расчет стоимости накопления углерода как экосистемной услуги

Зона исследования	Запасы углерода на гектар ТС, мг/га	Средний показатель ТС, мг/га	Площадь исследовательской зоны $A_m$ , га	Количество накопленного углерода в зоне исследования, мг	MAC (2022), долл. США/мг	Стоимость накопления углерода как ЭУ ( $V_{eq}$ ), долл. США
Озеро Мадуганга	804,71	1 130,05	625	502 943,75	169,78	85 389 789,88
Озеро Рандомбе	1 455,39		275	400 232,25	169,78	67 951 431,41
Всего			900	903 176	169,78	153 341 221,3

Таблица 2. Стоимость поглощения углерода как экосистемная услуга

Коэффициент поглощения $CO_2eq$ (SR), т/га/год	Социальная стоимость углерода SCC (2022), долл. США/мг	Площадь исследовательской зоны $A_m$ , га	Коэффициент пересчета для получения $CO_{2eq}$ из C	Стоимость поглощения углерода как ЭУ ( $V_{eq}$ ), долл. США
6,00	108,66	900,00	3,67	2 153 423,88

Экономические затраты на хранение углерода в качестве экосистемной услуги составили приблизительно 153 млн долл. США, а стоимость связывания, или поглощения, углерода в качестве ЭУ составила около 2 млн долл. США. Общая стоимость услуг по регулированию углеродного цикла водно-болотных угодий Мадуганга составила 155 494 645 долл. США, или 0,18 % от номинального ВВП острова Шри-Ланка, что резко контрастирует с данными Hernández-Blanco et al. [6], где средняя стоимость всех исследованных экосистемных услуг мангровых лесных массивов залива Никоя составила 0,16 % от номинального ВВП Коста-Рики. Различия в показателях в первую очередь связано с площадями мангровых лесных массивов: залив Никоя имеет площадь приблизительно 1,53 км<sup>2</sup>, в то время как водно-болотные угодья Мадуганга – около 900 га, или 9 км<sup>2</sup>. При этом также были выявлены значительные различия в запасах углерода на гектар: для залива Никоя размер запасов углерода составляли от 547 мгК/га до 1175 мгК/га, в то время как для водно-болотных угодий Мадуганга – от 804,71 мгК/га до 1455,39 мгК/га [3; 6].

В сравнении с данными, полученными Vo et al. [17], где общая стоимость поглощения углерода 45 876 280 долл. США (что зависит, в первую очередь, от большой площади представленных в исследовании мангровых лесов – 73 994 га), а стоимость поглощения на гектар водно-болотных угодий составила приблизительно 600 долл. США, полученная в нынешнем исследовании стоимость поглощения углерода на гектар значительно выше – при меньшей площади угодий (всего 900 га) она составила около 2200 долл. США на гектар [17].

## Выводы

В результате исследования была проведена оценка стоимости экосистемных услуг водно-болотных угодий Мадуганга по регулированию



климата (накопление и связывание углерода) и установлена высокая экономическая ценность данных видов услуг для острова Шри-Ланка.

В целом экономическая ценность экосистемных услуг, определенная через предельную стоимость сокращения выбросов углерода (*MAC*) и его социальные издержки (*SCC*), демонстрирует большую роль мангровых лесов в смягчении последствий изменения климата и адаптации к ним.

Оценка может быть использована для оказания влияния на лиц, принимающих решения (правительство и бизнес-сообщество), с целью разработки стратегии сохранения водно-болотных угодий и разработки политики углеродной нейтральности.

### Список литературы

- [1] *Ayukai T.* Introduction: carbon fixation and storage in mangroves and their relevance to the global climate change – a case study in Hinchinbrook Channel in northeastern Australia // *Mangroves and Salt Marshes*. 1998. Vol. 2. P. 189–190.
- [2] *Burkhard B., Maes J.* Mapping ecosystem services // *Advanced books*. 2017. P. 374.
- [3] *Cooray G.M., Sunanda Kodikara S., Kumara P., Indeewari Jayasinghe I., Madarasinghe K., Dahdouh-Guebas F., Gorman D., Huxham M., Jayatissa L.P.* Climate and intertidal zonation drive variability in the carbon stocks of Sri Lankan mangrove forests // *Geoderma*. 2021. No. 389. P. 1–13.
- [4] *Fisher B.S., Nakicenovic N., Alfsen K., Corfee-Morlot J., Chesnaye F., Hourcade J.C., Jiang K., Kainuma M., La Rovere E., Matysek A.* Issues related to mitigation in the long-term context. Cambridge University Press, 2007.
- [5] *Gattuso J.P., Frankignoulle M., Wollast R.* Carbon and carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystems // *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1998. Vol. 29. P. 405–434.
- [6] *Hernández-Blanco M., Costanza R., Cifuentes-Jara M.* Economic valuation of the ecosystem services provided by the mangroves of the Gulf of Nicoya using a hybrid methodology // *Ecosystem Services*. 2021. Vol. 49. P. 1–24.
- [7] *Jerath M.* The role of economic, policy, and ecological factors in estimating the value of carbon stocks in Everglades mangrove forests, South Florida, USA // *Environmental Science & Policy*. 2016, Vol. 66. P. 160–169.
- [8] Maduganga, Ramsar Sites Information Service. December 11, 2003. Available at: <https://rsis Ramsar.org/ris/1372>. Accessed: October 5, 2022. [Maduganga, Ramsar Sites Information Service. December 11, 2003].
- [9] *Murray B.C., Jenkins W.A., Sifleet S., Pendleton L., Baldera A.* Payments for blue carbon: Potential for protecting threatened coastal habitats // *Policy Brief*, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. 2010. P. 1–8.
- [10] *Ong J.E.* Mangroves – a carbon source and sink // *Chemosphere*. 1993. Vol. 27. P. 1097–1107.
- [11] *Russi D., Brink P., Farmer A., Badura T., Coates D., Forster J., Kumar R., Davidson N.* The economics of ecosystems and biodiversity for water and wetlands // *IEEP*. 2013. Vol. 78.
- [12] *Sannigrahi S., Zhang Q., Pilla F., Joshi P.K., Basu B., Keesstra S., Roy P.S., Wang Y., Sutton P.C., Chakraborti S., Paul S.K., Sen S.* Responses of ecosystem services to natural and anthropogenic forcings: A spatial regression-based assessment in the world’s largest mangrove ecosystem // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 715. P. 1–13.

- [13] *Scharlemann J.P., Tanner E., Hiederer R., Kapos V.* Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool // *Carbon Management*. 2014. Vol. 5, no. 1. P. 81–91.
- [14] *Tol R.S.* The social cost of carbon // *Annual Review of Environment and Resources*. 2011. Vol. 3, no. 1. P. 419–443.
- [15] *Twilley R.R., Chen R.H., Hargis T.* Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems // *Water Air Soil Pollution*. 1992. Vol. 64. P. 264–288.
- [16] *Ayukai T.* Introduction: carbon fixation and storage in mangroves and their relevance to the global climate change – a case study in Hinchinbrook Channel in northeastern Australia // *Mangroves and Salt Marshes*. 1998. Vol. 2. P. 189–190.
- [17] *Vo T.Q., Kuenzer C., Oppelt N.* How remote sensing supports mangrove ecosystem service valuation: A case study in Ca Mau province, Vietnam // *Ecosystem Services*. 2015. Vol. 14. P. 67–75.
- [18] *Zarate-Barrera T.G., Maldonado J.H.* Valuing Blue Carbon: Carbon Sequestration Benefits Provided by the Marine Protected Areas in Colombia // *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10, no. 5. P. 1–22.
- [19] *Бобылев С.Н., Захаров В.М.* Экосистемные услуги и экономика // *Институт устойчивого развития*, 2009. С. 72.
- [20] *Тихонова Т.В.* Современные методы оценки экосистемных услуг и потенциал их применения на практике // *Известия Коми научного центра УРО РАН*. 2018. Т. 4, № 36. С. 122–135.

#### **Сведения об авторах:**

*Курсанов Трофим Сергеевич*, студент, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: 1032212485@pfur.ru

*Попкова Анна Владимировна*, кандидат биологических наук, старший преподаватель департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-2435-954X. E-mail: popkova-av@rudn.ru

*Ранасингхе Хеманти* – профессор, старший профессор в области лесного хозяйства и наук об окружающей среде, Университет Шри Джаяварденепуры, Нугеода, Шри-Ланка, дипломированный специалист по охране окружающей среды – CEnv – Институт специалистов по охране окружающей среды Шри-Ланки (IEPSL), председатель академической и экзаменационной комиссии IEPSL, редактор Шри-Ланкийской ассоциации по повышению качества и производительности (SLAAQP), сопредседатель SEM MCOП в Южной Азии, советник. E-mail: info@sjp.ac.lk

## ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

## HUMAN ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-3-349-358


EDN: UAVVSF

УДК 551.578.46:546.49(571.62)

Научная статья / Research article

### Ртуть в снежном покрове Хабаровска

**О.С. Хомченко**  , **А.Г. Новороцкая** 

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский  
Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской  
академии наук, обособленное подразделение Институт водных и экологических  
проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВЭП ДВО РАН),  
Хабаровск, Российская Федерация  
 [homchenko.ru@mail.ru](mailto:homchenko.ru@mail.ru)*

**Аннотация.** Представлены результаты исследований содержания общей ртути в снежном покрове г. Хабаровска, сформировавшемся в зимний период 2021–2022 годов. Отмечена связь ртути со взвешенными веществами, переход из которых в растворенную фазу незначителен. Содержание общей ртути в нерастворимом остатке находилось в диапазоне от 0,3 до 1,4 мг/кг. Выявлен участок на северной границе Большехехцирского заповедника с высоким содержанием Hg – 3 мг/кг, превышающим ПДК для почв в 1,4 раза, что, вероятно, явилось следствием кратковременного локального загрязнения, возможно, трансграничного происхождения. Осаждение Hg на земную поверхность в составе твердых атмосферных выпадений на данном участке составило 37,5 мкг/м<sup>2</sup>, при средних значениях 10...18 мкг/м<sup>2</sup>. Максимум – 73,9 мкг/м<sup>2</sup> был отмечен в районе ТЭЦ-3 и обусловлен наличием в снежном покрове большого количества продуктов горения. Количество твердых атмосферных выпадений в районе ТЭЦ-1 также значительно превышало средние значения, однако это не привело к увеличению общего количества ртути, поступившей на поверхность. Минимальное осаждение Hg отмечено в набережной парковой зоне города – 3,2 мкг/м<sup>2</sup>.

© Хомченко О.С., Новороцкая 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>

**Ключевые слова:** снегосъемка, ртуть, снежный покров, взвешенные вещества, продукты горения


**Вклад авторов:** О.С. Хомченко – определение концентрации ртути; А.Г. Новороцкая – проведение снегосъемки, определение взвешенных веществ.

**История статьи:** поступила в редакцию 15.11.2022; доработана после рецензирования 20.02.2023; принята к публикации 25.05.2023.

**Для цитирования:** Хомченко О.С., Новороцкая А.Г. Ртуть в снежном покрове Хабаровска // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 3. С. 349–358. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-349-358>

## Mercury concentration in the snow cover of the city of Khabarovsk

Olga S. Khomchenko  , Alexandra G. Novorotskaya 

*Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Institute of Water and Ecology Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IWEP FEB RAS), Khabarovsk, Russian Federation*  
 [homchenko.ru@mail.ru](mailto:homchenko.ru@mail.ru)

**Abstract.** The research reveals results of studies of the total mercury content in the snow cover of Khabarovsk in winter period 2021–2022. Researchers highlight a connection between mercury and non-soluble residue, with minor transition into soluble phase. The total mercury content in the non-soluble residue ranged from 0.3 to 1.4 mg/kg. On the northern border of the Bolshekhokhtsirsky Reserve, area with high content of quicksilver (3 mg/kg) was found, which exceeds the maximum permissible concentration by 1.4 times. Authors consider that high concentration of quicksilver may be a result of short-term local pollution and do not exclude cross-border origin of it. Content of mercury as a part of solid atmospheric precipitation on the Earth's surface in this area is 37.5  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ , with average values of 10–18  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ . The maximum content of mercury (73.9  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) was found nearby CHP-3 area. The reason is a high concentration of combustion products in snow cover. The amount of solid atmospheric precipitation in the area of CHP-1 also significantly exceeded the average values, but this did not lead to an increase in the total amount of mercury that reached the surface. The minimum concentration of quicksilver was found in the embankment park area of the city – 3.2  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ .

**Keywords:** snow photography, mercury, snow cover, suspended substances, gorenje products

**Authors' contributions:** O.S. Khomchenko – determination of mercury concentration; A.G. Novorotskaya – conducting snow's cover height and density, determination of suspended substances.

**Article history:** received 15.11.2022; revised 20.02.2023; accepted 25.05.2023.

**For citation:** Khomchenko OS, Novorotskaya AG. Mercury concentration in the snow cover of the city of Khabarovsk. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(3):349–358. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-349-358>

## Введение

Снежный покров – универсальный объект исследований, позволяющий оценить состояние атмосферы, выявить не только вещества постоянно присутствующие в воздухе, но и появляющиеся эпизодически как результат периодических или катастрофических выбросов, ближнего или дальнего атмосферного переноса, выявление которых возможно лишь при постоянном мониторинге, являющемся весьма сложной и трудоемкой задачей.

Изучение состава снежного покрова как часть мониторинга загрязнения атмосферы в настоящее время весьма широко распространено. Изучение снежного покрова Хабаровска проводится ИВЭП ДВО РАН в течение ряда лет [1]. Однако, исследованию содержания ртути не уделялось должного внимания. Объем и скорость осаждения ртути из атмосферы как в виде влажных выпадений, так и в виде сухого осаждения, сильно варьируют в зависимости от множества факторов [2], что обуславливает необходимость проведения мониторинговых исследований, в том числе локальных, в целях своевременного выявления возрастания ртутного фона, а также появления новых источников загрязнений.

Среднее содержание ртути в углях, как каменных, так и бурых, составляет порядка 0,1 г/т, за исключением аномальных ртутоносных углей, обнаруженных в некоторых районах России, Украины, США и Китая, [3], в углях Хабаровского края выше – 0,4 г/т, существующие темпы его потребления ежегодно поставляют в атмосферу РФ от 10 до 13 тонн ртути [4]. Высока доля углей в энергетической составляющей Хабаровска и бытовых системах отопления города и пригорода. Кроме того, для ртути характерно наличие дальнего атмосферного переноса, что, учитывая близость границ с КНР – одной из стран с крупнейшим выбросом ртути [5], может являться дополнительным источником ртутного загрязнения атмосферы.

## Характеристика района исследований

Хабаровск является краевым центром с населением 617 тыс. человек, расположен в зоне повышенного потенциала загрязнения атмосферы с неблагоприятными условиями для рассеивания примесей. Климат умеренный, муссонный. Наиболее продолжительным сезоном года является зима. Устойчивый снежный покров устанавливается в середине ноября. Самый холодный месяц январь со средней температурой  $-21,6$  °С. Средняя скорость ветра в зимний период (ноябрь – март) составляет 4,7 м/с. Преобладающими направлениями ветра являются юго-западное и западное [6]. Зима 2021–2022 гг. установилась в обычные сроки, сумма выпавших осадков превысила таковую

за предыдущий пятилетний период в 1,5 раза, а средняя температура составила  $-13,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , против  $-11,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>1</sup>.

Поступление загрязняющих веществ в атмосферу Хабаровска только от стационарных источников в 2021 году составило 38,414 тыс. тонн<sup>2</sup>. Основными из них являются объекты теплоэнергетики – структурные подразделения АО ДГК филиала «Хабаровская генерация»: «Хабаровская ТЭЦ-1», «Хабаровская ТЭЦ-3», а также нефтеперерабатывающий завод – АО «ННК-Хабаровский НПЗ». Некоторый вклад вносят маломощные автономные котельные и, расположенные на окраинах города и в ближайшем пригороде, малоэтажные дома с автономным угольным и дровяным отоплением.

ТЭЦ-3 самая крупная и самая молодая электростанция Хабаровского края и вторая по мощности тепловая электростанция на Дальнем Востоке России. Основное топливо – каменный уголь, природный газ, мазут. Три из четырех энергоблоков ТЭЦ-3 работают на угле. В основном используются угли Нерюнгринского месторождения, в последние годы стали использовать угли Ургальского месторождения и иногда – угли из Китая с месторождений провинции Хэйлунцзян. Плановый перевод на газ должен завершиться через три года [7].

ТЭЦ-1 в качестве топлива использует природный газ сахалинских месторождений, а также каменный и бурый уголь различных месторождений (чаще всего Ургальского и Переяславского). В результате поэтапного перевода на природный газ, потребление угля с 2006 по 2018 год сократилось втрое. В настоящее время сооружения и оборудование Хабаровской ТЭЦ-1 устарели и достигли высокой степени износа. Модернизация станции признана нецелесообразной, в 2020-х годах планируется вывод её из эксплуатации со строительством на той же площадке замещающей Хабаровской ТЭЦ-4.<sup>3</sup>

На обследованных ТЭЦ сжигание углей происходит при температуре 1100–1600 °С. На ТЭЦ-1 золоулавливание – мокрое на скрубберах с трубами Вентури, на ТЭЦ-3 – сухое на электрофилтрах. Количество золы уноса в зависимости от типа котлов, вида топлива и режима его сжигания может составлять 70...85 % от массы смеси, шлака – 10...20 % [7].

## Материалы и методы

Пробы снежного покрова (СП) отобраны 2–3 марта 2022 года в период максимального влагозапаса с помощью весового снегомера ВС-43 согласно

<sup>1</sup> Погода и климат. Справочно-информационный портал. Режим доступа: [http://www.pogodaiklimat.ru/history/31735\\_2.htm](http://www.pogodaiklimat.ru/history/31735_2.htm) (дата обращения: 29.12.2022).

<sup>2</sup> Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2021 году». Режим доступа: <https://mpr.khabkrai.ru/Deyatelnost/Ekologiya/Gosudarstvennyj-doklad-o-sostoyanii-i-ob-ohrane-okruzhayuschej-sredy-Nabarovskogo-kraja> (дата обращения: 29.12.2022).

<sup>3</sup> Распоряжение Правительства Российской Федерации от 15.07.2019 № 1544-р. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201907170007?index=1&rangeSize=1> (дата обращения: 29.12.2022).

РД 52.04.186-89 с участков с разной интенсивностью антропогенной нагрузки. Условно их можно разделить на следующие зоны.

*Зона промышленного техногенного воздействия.* Точка № 1 (район ТЭЦ-3, 48.571715° N, 135.143285° E) расположена в 400 м к западу от ТЭЦ-3, характеризуется сильным загрязнением снежного покрова сажистыми частицами, из-за которых профиль СП имеет слоистую окраску. Средняя высота СП – 42 см, плотность – 0,17 г/см<sup>3</sup>.

Точка № 2 (район ТЭЦ-1, 48.410403° N, 135.118544° E) расположена в 200 м к югу от ТЭЦ-1, характеризуется умеренным загрязнением снежного покрова со слабо выраженной слоистостью профиля. Средняя высота СП – 49 см, плотность – 0,22 г/см<sup>3</sup>.

Точка № 3 (район НПЗ, 48.493285° N, 135.040061° E) расположена в 350 м к юго-западу от нефтеперерабатывающего завода и в 150 м к северо-востоку от берега Амура. Средняя высота СП – 40 см, плотность – 0,24 г/см<sup>3</sup>.

*Зона жилой застройки.* Точка № 4 (48.488518° N, 135.080751° E) расположена во дворе жилого дома, экранируется от оживленных улиц 5-этажными постройками, промышленных предприятий поблизости нет. Средняя высота СП – 50 см, плотность – 0,24 г/см<sup>3</sup>.

*Парковая зона.* Точка № 5 (район детского санатория, 48.529152° N, 135.029209° E) расположена в 600 м к северо-востоку от берега Амура, от которого экранируется лесопарковой зоной. Рядом проходит автомобильная дорога. Промышленных предприятий поблизости нет. Средняя высота СП – 41 см, плотность – 0,22 г/см<sup>3</sup>.

Точка № 6 (район парка «Динамо», 48.483493° N, 135.076957° E) расположена в 70 м к юго-востоку от ул. Муравьева-Амурского (главной улицы города), от которой не экранируется. Средняя высота СП – 45 см, плотность – 0,22 г/см<sup>3</sup>.

Точка № 7 (район парка «ЦПКО», 48.471992° N, 135.054385° E) расположена в 170 м к северо-востоку от берега Амура. Средняя высота СП – 50 см, плотность – 0,19 г/см<sup>3</sup>.

*Береговая зона.* Точка № 8 (48.546253° N, 135.016174° E) расположена в 100 м к востоку от берега Амура, в 850 м к северу от автомобильно-железнодорожного моста. Средняя высота СП – 31 см, плотность – 0,19 г/см<sup>3</sup>.

Точка № 9 (р. Амур, лед 48.546508° N, 135.013296° E) расположена в 200 м к западу от точки № 8. Средняя высота СП – 32 см, плотность – 0,22 г/см<sup>3</sup>.

Пробы СП были расплавлены при комнатной температуре и профильтрованы через бумажный фильтр «синяя лента». Определение содержания растворенной ртути проведено согласно ПНД Ф 14.1:2:4.271-2012 (М 01-52-2012), взвешенных веществ – по РД 52.24.468-2019, содержание ртути во взвешенном веществе – по М 03-09-2013. Исследования выполнены на анализаторе ртути РА-915+ в Центре экологического мониторинга ИВЭП ДВО РАН.

## Результаты и обсуждение

Содержание растворенных форм ртути в точке № 1 (ТЭЦ-3) составило  $11,4 \pm 2,3$  нг/дм<sup>3</sup>, что незначительно превысило ПДК для воды рыбохозяйственных водоемов<sup>4</sup>, составляющую  $0,00001$  мг/дм<sup>3</sup>, и значительно ниже ПДК для вод иного назначения –  $0,0005$  мг/л<sup>5</sup>. На других исследованных участках концентрация растворенной ртути не превышала предела количественного определения методики –  $10$  нг/дм<sup>3</sup>. В районе Томской ГРЭС-2 среднее содержание ртути в талой снеговой воде также было очень низким –  $8,4$  нг/дм<sup>3</sup> [8]. В провинции Хэйлунцзян (КНР) на участке, наиболее приближенном к Хабаровску и имеющем сходные климатические условия, содержание растворенной ртути в снежном покрове в 2018 г. находилось в пределах  $75 \dots 95$  нг/л, что выше, чем на западе Китая. Авторы связывают это с особенностями местной промышленности, большую долю в которой составляют угольные электростанции и котельные [9].

Количество взвешенных веществ (ВВ) в СП было сходным между большинством контрольных точек города и изменялось в пределах  $166 \dots 281$  мг/дм<sup>3</sup>. Значительно отличались лишь зона центрального парка, где содержание взвешенных веществ составило  $71$  мг/дм<sup>3</sup> и районы ТЭЦ-1 и ТЭЦ-3 с содержанием  $625$  и  $1935$  мг/дм<sup>3</sup> соответственно (таблица).

Содержание взвешенных веществ и ртути в снежном покрове

Район исследования	Точка отбора	Содержание			Твердые атмосферные выпадения, г/м <sup>2</sup>	Поступление Hg на поверхность, мкг/м <sup>2</sup>
		ВВ в СП, мг/дм <sup>3</sup>	Hg во ВВ СП, мкг/кг	общей Hg, нг/дм <sup>3</sup>		
Промышленная зона	№ 1	1935	$687 \pm 172$	1329	107,6	73,9
	№ 2	625	$344 \pm 86$	215	51,3	17,6
	№ 3	236	$1029 \pm 257$	243	17,6	18,1
Жилая зона	№ 4	200	$629 \pm 157$	126	19,1	12,0
Парковая зона	№ 5	253	$825 \pm 206$	210	18,3	15,1
	№ 6	166	$885 \pm 221$	147	12,2	10,8
	№ 7	71	$605 \pm 151$	43	5,4	3,2
Береговая зона	№ 8	227	$1396 \pm 349$	279	11,4	15,9
	№ 9	281	$992 \pm 248$	317	11,6	11,5
Загородная зона	№ 10	82	$1065 \pm 266$	87	6,0	6,4
	№ 11	138	$3036 \pm 759$	419	12,4	37,5

*Примечание.* ВВ – взвешенное вещество в снежном покрове, мг/дм<sup>3</sup>, СП – снежный покров, содержание ртути во взвешенном веществе в снежном покрове, мкг/кг.

<sup>4</sup> Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». URL: <https://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 29.12.2022).

<sup>5</sup> СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов внешней среды обитания. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 29.12.2022).



Высокое содержание взвешенных веществ в СП в районе ТЭЦ-3 свидетельствует о значительном поступлении в атмосферу твердых продуктов горения. Общее количество твердых атмосферных выпадений в зимний период 2021–2022 гг. в районе ТЭЦ-3 было максимальным среди всех исследованных участков и составило 107,6 г/м<sup>2</sup>, что в 7,8 раза больше среднего по городу и в 2,1 раза больше, чем в районе ТЭЦ-1. Последнее, вероятно, обусловлено использованием разного вида топлива. Расчетное валовое количество ртути в СП составило от 43 до 1329 нг/дм<sup>3</sup>. Исследования снежного покрова Хабаровска, сформировавшегося зимой 2018–2019 гг.<sup>6</sup>, показали еще более высокое содержание общей ртути в районе ТЭЦ-3 – 3,44 мкг/дм<sup>3</sup>.

Содержание Hg во взвешенном веществе снежного покрова было достаточно высоким, даже в парковой и жилой зонах – 605–885 мкг/кг, и превосходило таковое в промышленной зоне Усолье-Сибирского (0,6 мг/кг)<sup>7</sup> и Томска (0,21 мг/кг)<sup>8</sup>. Сопоставимая концентрация была выявлена и в районе ТЭЦ-3 – 687 мкг/кг. Минимальное количество (344 мкг/кг) определено в районе ТЭЦ-1. Ранее сходные концентрации были отмечены для окрестностей Томской ГРЭС-2 [8] и для г. Благовещенска, где среднее содержание ртути в нерастворимой фракции снега составило 0,136 мг/кг. В зависимости от направления и удаления от ТЭЦ концентрации возрастали до 20 раз по сравнению с фоновыми – от 0,021 мг/кг до 0,410 мг/кг [9]. В 2018–2019 гг. в твердом остатке снежного покрова Хабаровска содержание ртути было гораздо более низким: ТЭЦ-1 – 0,12 мг/кг, ТЭЦ-3 – 0,06 мг/кг, НПЗ – 0,02 мг/кг [10]. Выявленные нами концентрации Hg превосходили их в районе ТЭЦ-1 и ТЭЦ-3 – в 5,7 раза, в районе НПЗ – в 51 раз. Одной из причин столь значительного расхождения данных могут служить различия в условиях формирования СП. Зима 2018–2019 гг. была теплой и малоснежной. В таких условиях возрастает вклад частиц почвы, переносимых ветром с непокрытых снегом участков, в формирование состава нерастворимого осадка СП. Содержание ртути в почвах Хабаровска и ближайшего пригорода находится в пределах 0,012–0,112 мг/кг, при среднем значении 0,03–0,04 мг/кг [11]. Зима 2021–2022 гг., напротив, была снежной и холодной, в связи с чем, нерастворимый осадок СП практически полностью формировался из атмосферных выпадений с высоким содержанием продуктов горения.

<sup>6</sup> Распоряжение Правительства Российской Федерации от 15.07.2019 № 1544-р. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201907170007?index=1&rangeSize=1> (дата обращения: 29.12.2022).

<sup>7</sup> Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». URL: <https://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 29.12.2022).

<sup>8</sup> СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов внешней среды обитания. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 29.12.2022).

Для сравнения было исследовано содержание общей ртути во взвешенном веществе СП, отобранного в тот же период в двух точках, расположенных по северной границе Большехехцирского заповедника, территорию которого некоторые исследователи использовали в качестве фоновой [10, 15]. Точка № 10 (48.281528° N, 134.755951° E) расположена в устье ручья Соснинский. Средняя высота СП – 25 см, плотность 0,34 г/см<sup>3</sup>. Точка № 11 (48.295736° N, 134.808365° E) – река Быкова, в районе с. Бархатное. Средняя высота СП – 45 см, плотность – 0,26 г/см<sup>3</sup>. Расстояние между точками отбора – 4 км. Участки расположены к северо-востоку от Китая, в 5,5 и 8,5 км от русско-китайской границы, проходящей по острову Большой Уссурийский. Оба участка испытывают воздействие воздушных масс, приходящих с территории КНР во время преобладающих юго-западных ветров. Содержание взвешенных веществ в СП в точке № 11 было выше, чем в точке № 10 и составило 138 мг/дм<sup>3</sup> против 82 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание ртути во взвешенном веществе СП превысило таковое на участке № 10 почти в 3 раза и составило 3,03 мг/кг, что в 1,4 раза выше ПДК для почв. Вероятно, в данном районе присутствует локальный источник постоянного ртутного загрязнения или имел место значительный единичный выброс. В пользу последнего свидетельствуют данные о низком содержании ртути в твердом осадке снежного покрова зимой 2018–2019 гг. – 0,06 мг/кг [10].

Зимой 2021–2022 гг. поступление ртути на поверхность земли в составе твердых атмосферных выпадений в большинстве исследованных участков не превысило 20 мкг/м<sup>2</sup>. Максимальное количество ртути (73,9 мкг/м<sup>2</sup>) поступило в районе ТЭЦ-3, что обусловлено значительным количеством взвешенных веществ. Кроме того, более высокий показатель (37,5 мкг/м<sup>2</sup>) отмечен для района р. Быкова, но здесь это связано с повышенным содержанием элемента во взвешенном веществе СП.

### Заключение

Ртуть в снежном покрове Хабаровска связана со взвешенными веществами, переход из которых в растворенную фазу незначителен. Содержание растворенной ртути в снежном покрове не превысило 10 нг/дм<sup>3</sup>, за исключением участка в зоне влияния ТЭЦ-3, где оно составило 11,4 нг/дм<sup>3</sup>. Содержание ртути во взвешенном веществе снежного покрова в пределах Хабаровска изменялось в диапазоне от 0,3 до 1,4 мг/кг. Выявлен участок на северной границе Большехехцирского заповедника с содержанием ртути 3 мг/кг, что в 1,4 раза выше ПДК для почвы.

### Список литературы

- [1] Новороцкая А.Г. О результатах химического мониторинга снежного покрова Хабаровска // Успехи современного естествознания. 2018. № 12-2. С. 374–379. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37023> (дата обращения: 29.12.2022).

- [2] *Lyman S.N., Cheng I., Gratz L.E., Weiss-Penzias P., Zhang L.* An updated review of atmospheric mercury // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 707, no. 135575. P. 1–20.
- [3] *Юдович Я.Э., Керпис М.П.* Ртуть в углях – серьезная экологическая проблема // *Биосфера*. 2009. Т. 1, № 2. С. 237–247.
- [4] *Янин Е.П.* Эмиссия ртути в атмосферу при сжигании каменного угля в России // *Ресурсосберегающие технологии*. 2006. № 3. С. 3–14.
- [5] *Расуна Е.Г., Расуна Ж.М., Steenhuisen F., Wilson S.* Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000 // *Atmospheric Environment*. 2006. Vol. 40, no. 22. P. 4048–4063.
- [6] *Петров Е.С., Новороцкий П.В., Ленишин В.Т.* Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области // *Институт водных и экологических проблем ДВО РАН*. 2000. 174 с.
- [7] *Черепанов А.А., Кардаш В.Т.* Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ (результаты лабораторных и полупромышленных испытаний) // *Технология и полезные ископаемые мирового океана*. 2009. № 2. С. 98–115.
- [8] *Поликанова С.А., Самохина Н.П., Филимоненко Е.А., Таловская А.В., Осипова Н.А.* Содержание фтора и ртути в жидкой фазе снегового покрова Томского региона // *Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты): молодежная конференция: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии*. Москва, 21–22 марта 2013 года. М.: РУДН, 2013. С. 336–338.
- [9] *Niu Z., Sun P., Li X., He Y., Huang C., He M-Y., Huang H., Wang N.* Spatial characteristics and geographical determinants of mercury and arsenic in snow in northeastern China // *Atmospheric Pollution Research*. 2020. Vol. 11, no. 11. P. 2068–2075.
- [10] *Голубева Е.М., Чурсина А.Д.* Распределение тяжелых металлов в снежном покрове г. Хабаровск // *Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы международной научной-практической конференции*. Грозный: Чеченский государственный педагогический университет, 2019. С. 89–94.
- [11] *Холодова М.С., Пастухов М.В., Бычинский В.А., Просекин С.Н., Белозерова О.Ю.* Минерально-вещественный состав твердого осадка снегового покрова в различных функциональных зонах г. Усолье-Сибирское // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022. Т. 333, № 9. С. 219–230.
- [12] *Таловская А.В., Филимоненко Е.А.* Оценка загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных районов Томской области по данным изучения снежного покрова // *Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты): Молодежная конференция: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии*. Москва, 21–22 марта 2013 года. М.: РУДН, 2013. С. 353–359.
- [13] *Таловская А.В., Филимоненко Е.А., Язиков Е.Г.* Динамика загрязнения в окрестностях предприятия теплоэнергетики на основе химического анализа снегового покрова (на примере ГРЭС-2 г. Томск) // *Сергеевские чтения: юбилейная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения академика Е.М. Сергеева: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии*. Москва, 21 марта 2014 года. М.: РУДН, 2014. С. 491–496.

- [14] Юсупов Д.В., Радомская В.И., Павлова Л.М. Тяжелые металлы в пылевом аэрозоле северо-западной промышленной зоны г. Благовещенска (Амурская область) // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 10. С. 906–910.
- [15] Чурсина А.Д. Содержание валовых форм ртути и свинца в твердом осадке снежного покрова Хабаровска // Современные технологии воспроизводства экологической среды на урбанизированных территориях: сборник докладов V Международной научно-практической студенческой конференции. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2020. С. 45–49.
- [16] Кошельков А.М., Матюшкина Л.А. Оценка химического загрязнения почв водохозяйственных зон малых рек города Хабаровска // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 2. С. 76–85.

### **Сведения об авторах:**

*Хомченко Ольга Степановна*, кандидат биологических наук, ведущий инженер, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, обособленное подразделение Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВЭП ДВО РАН), Российская Федерация, 680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56. ORCID: 0000-0003-1953-7249; eLIBRARY SPIN-код: 5599-0211. E-mail: homchenko.ru@mail.ru

*Новороцкая Александра Григорьевна*, кандидат географических наук, младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, обособленное подразделение Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВЭП ДВО РАН), Российская Федерация, 680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56. ORCID: 0000-0003-1938-5417; eLIBRARY SPIN-код: 4850-3467. E-mail: novag59@mail.ru

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

## ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-3-359-367

EDN: UZMUSO

УДК 504.064.3

Научная статья / Research article


### Анализ пространственно-временной картины полей химического загрязнения почв как базового компонента городских экосистем

И.З. Каманина<sup>1,2</sup>, С.П. Каплина<sup>1,2</sup>, А.В. Любимова<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Университет «Дубна», Московская область,  
г. Дубна, Российская Федерация

<sup>2</sup> Международная межправительственная организация Объединенный институт  
ядерных исследований, Московская область, г. Дубна, Российская Федерация

<sup>3</sup> Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт,  
г. Москва, Российская Федерация

kamanima@uni-dubna.ru

**Аннотация.** Почва является депонирующей средой и индикатором геохимической нагрузки. Выполнение важных экосистемных функций городскими почвами обеспечивает экологическую безопасность урбоэкосистем в целом. Цель работы – прогноз загрязнения почв как базового компонента урбоэкосистемы с высоким уровнем техногенной нагрузки. Расчет пространственно-временных полей химического загрязнения почв г. Кольчугино Владимирской обл. выполнен с помощью балансовой модели на основе эколого-аналитических данных по результатам площадных съемок почв и снежного покрова. Содержание тяжелых металлов 1 и 2 классов опасности в пробах почв и снега (твердая и жидкая фазы) определяли атомно-абсорбционным методом по стандартным методикам. Анализ пространственно-временных полей загрязнения почв для каждого тяжелого металла выполнен на основе карт-схем, построенных при помощи

© Каманина И.З., Каплина С.П., Любимова А.В., 2023



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

программно-технологического комплекса ГИС INTEGRO. Дана оценка степени накопления тяжелых металлов в почвах и времени достижения критического уровня с учетом аэротехногенного поступления. В почвах г. Кольчугино выявлено превышение санитарно-гигиенических нормативов (валовых форм) для всех исследованных металлов. Анализ данных пространственно-временных полей загрязнения почв тяжелыми металлами г. Кольчугино показал, что установленный уровень загрязнения почв, превышающий ПДК, связан в первую очередь с прошлой хозяйственной деятельностью предприятий цветной металлургии и в ближайшей перспективе останется на том же уровне.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, окружающая среда, загрязнение, почва, город, экосистема, балансовый подход

**Информация о финансировании.** Работа выполнена в рамках НИР приоритетного уровня поддержки университета «Дубна» (Приказ № 21 от 22.01.2021).

**Благодарности:** С.Л. Байбаковой за помощь в сборе и анализе образцов почв и снежного покрова.

**Вклад авторов:** И.З. Каманина – концепция исследования, анализ данных, интерпретация результатов, формулирование выводов, написание текста статьи; С.П. Каплина – проведение расчетов, формулирование выводов, написание текста статьи; А.В. Любимова – проведение расчетов, обработка данных, формирование ГИС, построение картографических схем исследуемой территории.

**История статьи:** поступила в редакцию 25.01.2023; доработана после рецензирования 25.03.2023; принята к публикации 25.05.2023.

**Для цитирования:** Каманина И.З., Каплина С.П., Любимова А.В. Анализ пространственно-временной картины полей химического загрязнения почв как базового компонента городских экосистем // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 3. С. 359–367. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-359-367>


## Analysis of the spatiotemporal fields of chemical soil pollution as a basic component of urban ecosystems

Inna Z. Kamanina<sup>1,2</sup>  , Svetlana P. Kaplina<sup>1,2</sup> , Anna V. Lyubimova<sup>1,3</sup> 

<sup>1</sup> Dubna State University, Moscow region, Dubna, Russian Federation

<sup>2</sup> Joint Institute for Nuclear Research, Moscow region, Dubna, Russian Federation

<sup>3</sup> All-Russian Research Geological Petroleum Institute, Moscow, Russian Federation

 kamanima@uni-dubna.ru

**Abstract.** The soil is a depositing medium and an indicator of geochemical load. The fulfillment of important ecosystem functions by urban soils ensures the ecological safety of urban ecosystems as a whole. The purpose of the work is to forecast soil pollution as a basic component of the urban ecosystem with a high level of technogenic load. The calculation of the spatio-temporal fields of chemical pollution of soils in the city of Kolchugino, Vladimir region, was carried out using a balance model based on ecological and analytical data utilizing the results of area surveys of soils and snow cover. The content of heavy metals of hazard classes 1 and 2 in soil and snow samples (solid and liquid phases) was determined by atomic absorption method according to standard methods. The analysis of spatio-temporal fields of soil

contamination for each heavy metal is performed on the basis of map diagrams constructed using the INTEGRO GIS software-technological complex. Taking into account aerotechnogenic intake, an assessment of the degree of accumulation of heavy metals in soils and their time to reach the critical level is given. In the soils of Kolchugino, an excess of sanitary and hygienic standards (gross forms) is revealed for all the metals studied. Analysis of the data of spatio-temporal fields of soil pollution with heavy metals in the city of Kolchugino showed that the established level of soil pollution exceeding the MPC is primarily associated with the past economic activity of non-ferrous metallurgy enterprises and will remain at the same level in the near future.

**Keywords:** heavy metals, environment, pollution, soil, city, ecosystem, balance approach

**Information on financing.** The work was carried out as part of the research work of the priority level of support for the University “Dubna” (Order No. 21 of 01/22/2021).

**Acknowledgments:** S.L. Baybakova for assistance in the collection and analysis of soil and sample of snow cover.

**Authors’ contributions:** I.Z. Kamanina – the concept of the study, data analysis, interpretation of the results, formulation of conclusions, writing the text of the article; S.P. Kaplina – carrying out calculations, formulating conclusions, writing the text article; A.V. Lyubimova – carrying out calculations, data processing, the formation of GIS, the construction of cartographic schemes of the study area.

**Article history:** received 25.01.2023; revised 25.03.2023; accepted 25.05.2023.

**For citation:** Kamanina IZ, Kaplina SP, Lyubimova AV. Analysis of the spatiotemporal fields of chemical soil pollution as a basic component of urban ecosystems. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(3):359–367. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-359-367>

Процесс урбанизации – одна из ключевых проблем современности, сопровождается неизменным увеличением нагрузки на компоненты природной среды [1–3]. В системе городов особая роль принадлежит малым и средним городам, именно они составляют 85 % современных российских городов. Такие города отличаются индивидуальностью и степенью изученности уровня антропогенной нагрузки и ее влияния на различные компоненты окружающей среды. Среди них есть моногорода, в которых сосредоточены промышленные объекты черной и цветной металлургии, химической отрасли с высоким уровнем локализации загрязнения [4]. В настоящее время все больше выходит на первый план задача устойчивого развития городов с учетом обеспечения экологической безопасности. В связи с этим необходимость изучения современных процессов, происходящих на урбанизированных территориях, неуклонно возрастает. Прогноз экологического состояния городских экосистем позволит более эффективно решать экологические проблемы малых и средних городов.

Городские почвы выполняют важные экосистемные функции, которые часто остаются недооцененными. При этом почва является депонирующей

средой и индикатором геохимической нагрузки. Основным источником поступления загрязняющих веществ в городские почвы – это атмосферные выпадения как от «местных» стационарных источников промышленных предприятий и автотранспорта, вторичного загрязнения в результате денудационных процессов на урбанизированных ландшафтах, так и за счет переноса на значительные расстояния с «внешних» объектов техногенного воздействия. Анализ пространственно-временной картины полей химического загрязнения почв позволяет оценить степень накопления тяжелых металлов в городских почвах и время достижения критического уровня.

**Цель исследования** – прогноз загрязнения почв как базового компонента городской экосистемы г. Кольчугино Владимирской области с использованием балансового подхода.

### **Объект и методы исследования**

Город Кольчугино расположен в северо-западной части Владимирской области ( $56^{\circ}17'$ ;  $39^{\circ}22'$  на правом берегу р. Пекша, являющейся притоком р. Клязьма. Город находится в 74 км от Владимира и в 131 км от Москвы. Площадь города составляет  $31 \text{ км}^2$ , численность населения – 41 953 (малый город). Город относится к моногородам. В городе функционируют 19 крупных, средних и малых промышленных предприятий. Основными градообразующими предприятиями являются предприятия по обработке цветных металлов: АО «Электрокабель кольчугинский завод», ООО «Кольчугинский мельхиор», АО «Интерсильверлайн», ООО «МТК «ЗиО-Мет», «Кольчугинский завод цветных металлов» (в 2017 г. вошел в состав АО «Электрокабель кольчугинский завод»). На Кольчугинском заводе цветных металлов выпускалось около 30 % общего объема проката цветных металлов в России. Часть селитебной застройки находится в пределах санитарно-защитной зоны предприятий и испытывает высокий уровень загрязнения.

Расчет пространственно-временных полей химического загрязнения городских почв был выполнен с использованием балансовой модели Т.Н. Лубковой [5] на основе эколого-аналитических данных, полученных авторами в результате многолетнего изучения различных компонентов окружающей среды малых и средних городов Центральной России. Были использованы данные площадных съемок почв и снежного покрова города Кольчугино с учетом его функционального зонирования. Пробы почв и снежного покрова отбирали в соответствии с общепринятыми требованиями<sup>1</sup> по случайно упорядоченной сетке с учетом функционального зонирования из расчета 1 проба на  $1 \text{ кв. км}^2$ . Всего было отобрано 20 проб почвы и 20 проб снега. В пробах

<sup>1</sup> МУ 2.1.7.730-99. Методические указания «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест». М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. 38 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Изд-во стандартов, 1985. 12 с.



почв и снега (раздельно твердая и жидкая фазы) по стандартным методикам определено содержание тяжелых металлов 1 и 2 классов опасности с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра «КВАНТ-2А» фирмы НПО «Кортек». Данные, полученные в результате количественного химического анализа исследованных проб, были обработаны методами математической статистики с использованием программных пакетов *Statistica 6.0* и *Microsoft Excel*. Далее на основе полученных расчетных данных были построены карты-схемы пространственно-временных полей загрязнения почв для каждого тяжелого металла с использованием программно-технологического комплекса ГИС INTEGR0 (включен в Единый реестр российского программного обеспечения Минкомсвязи под номером 4302), разработанного в лаборатории геоинформатики научно-исследовательского института ВНИИ гео-систем (1998–2015). В качестве алгоритма интерполяции использована функция «Многоуровневый базисный сплайн».

### Результаты и их обсуждение

На основе данных о содержании тяжелых металлов в почвах города Кольчугино проведено ранжирование территории по уровню загрязнения почв химическими веществами<sup>3</sup>, где первый уровень загрязнения относится к «допустимому», а содержание ТМ не превышает предельно допустимые значения. Превышение санитарно-гигиенических нормативов (валовых форм) отмечаются для всех исследованных металлов. Среднее содержание свинца, кадмия, цинка и меди превышает ОДК от 1,5 до 2,8 раза. На территории города выявлены районы со «средним» уровнем загрязнения, площадь таких территорий составила по свинцу 13 % территории города (3,9 кв. км), по меди – 17 % (5,2 кв. км). Такой уровень загрязнения фиксируется сразу по двум металлам (свинцу и меди), ареолы загрязнения находятся на территории селитебной части города. «Низкий» уровень загрязнения выявлен по содержанию всех изученных металлов. Площадь таких территорий составила: по кадмию на 75 % территории города (23,4 кв. км), по цинку – 71 % (22,1 кв. км), по меди – 69 % (13 кв. км), по свинцу – 34 % (6,5 кв. км).

В оценке и прогнозировании загрязнения локальных экосистем химическими элементами возможно применение балансовой модели, позволяющей описать динамику отдельных геохимических показателей в некотором объеме природной среды, определяя связь между скоростями изменения миграционных потоков в пространстве и скоростями изменения состояния системы во времени [6].

Для расчета нагрузки тяжелых металлов с атмосферными выпадениями были использованы результаты по содержанию взвешенных и растворенных

<sup>3</sup> Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. М.: ИМГРЭ, 1990. 16 с.; Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. М.: Роскомзем, Минприроды России, 1993. 29 с.

форм тяжелых металлов в пробах снега. Поступление тяжелых металлов в почвы с пылевыми выпадениями за расчетный период характеризует аккумуляцию загрязнителей в верхнем горизонте почв, непосредственно контактирующем с приземным слоем атмосферы в этот период. Расчеты проводились в соответствии с МУ 2.1.7.730-99<sup>4</sup> по следующей формуле:

$$\Delta Q_{\text{TM}} = \left[ (1 - f^{\text{ВЗВ}}) \left( 1 - \frac{\tau^{\text{П}} P C_{\Phi}}{\tau^{\text{TM}} P_3^{\text{TMВЗВ}}} \right) + (1 - f^{\text{P}}) \frac{1}{K_P} \right] \times \tau^{\text{TM}} P_3^{\text{TMВЗВ}} S T. \quad (1)$$

Статистические характеристики нагрузки тяжелых металлов с атмосферными выпадениями по данным снеговой съемки представлены в таблице.

**Статистические характеристики нагрузки тяжелых металлов с атмосферными выпадениями по данным снеговой съемки**

Характеристика	$\Delta Q_{\text{TM}}$ , г/кв. км в год			
	1 класс опасности			2 класс опасности
	Свинец	Цинк	Кадмий	Медь
Минимальное	525	3 089	41	178
Максимальное	4 099	30 421	440	2 833
Среднее	1 227	12 011	182	1 302
Медиана	751	11 374	175	1 252
Стандартное отклонение	984	7 264	126	785
Ошибка среднего	220	1 624	28	176
Дисперсия	968 173	52 761 825	15 924	616 092

Анализ полученных данных показал, что поступление тяжелых металлов с атмосферными выпадениями в г. Кольчугино неравномерно и характеризуется крайне выраженной пространственной неоднородностью. Более высокая нагрузка поступления тяжелых металлов характерна для восточной и юго-восточной части города. Интенсивность выпадения меди и цинка убывает при удалении от территории промплощадки, где сосредоточены основные градообразующие предприятия цветной металлургии. Для свинца и кадмия зависимость имеет менее выраженный характер.

На основе данных о содержании тяжелых металлов в почве и рассчитанной нагрузке с атмосферными выпадениями был выполнен расчет пространственно-временных полей загрязнения городских почв на среднесрочный и долгосрочный период. Расчет прогнозируемых (на конец расчетного периода  $n$ ) концентраций тяжелых металлов в почвах осуществлялся по формуле

$$C(n) = C(0) + \frac{1}{hd} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_{\text{TM}}}{S}, \quad (2)$$

где  $C(n)$  и  $C(0)$  – прогнозируемые и текущие концентрации тяжелых металлов в почвах ( $C(0) = C_{\Phi}$ );  $d$  – плотность почв;  $h$  – высота почвенного слоя.

<sup>4</sup> МУ 2.1.7.730-99. Методические указания «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест». М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. 38 с.

По результатам прогнозных расчетов построена серия карт-схем пространственного распределения тяжелых металлов по территории г. Кольчугино.

Анализ данных пространственно-временных полей загрязнения почв тяжелыми металлами г. Кольчугино показал, что содержание свинца в почвах в течение 100 лет остается в пределах уже существующего загрязнения, а именно 66 % территории города имеет «допустимый» уровень, 21 % – «низкий» и 13 % – «средний» уровни загрязнения. Через 1000 лет при существующих темпах поступления свинца с атмосферными выпадениями площадь с «допустимым» уровнем загрязнения уменьшится на 2,6 кв. км и составит 57 % территории города. При этом увеличится площадь с «низким» уровнем загрязнения до 22 % территории. Содержание цинка в соответствии с расчетами в течение 50 лет достигнет «низкого» уровня загрязнения на 75 % территории города. Через 100 лет «низкий» уровень загрязнения цинком будет отмечаться в почвах на площади 83 % территории города. Через 1000 лет вся территория города перейдет в категорию с «низким» уровнем загрязнения почв цинком. По содержанию кадмия почвы г. Кольчугино через 50 лет остаются на том же уровне загрязнения. Через 100 лет при существующей нагрузке территории города в 2,6 кв. км с «низким» уровнем загрязнения произойдет ухудшение и будет достигнут второй «допустимый» уровень загрязнения. Через 1000 лет загрязнение кадмием в 9 % городских почв достигнет третьего «среднего» уровня загрязнения. В течение 100 лет уровни загрязнения почв по содержанию валовых форм меди не изменятся и составят: «высокий» уровень загрязнения на 4 % территории города, «средний» уровень – 17 %, «низкий» уровень – 42 % и «допустимый» уровень – 37 %. Через 1000 лет почвы на площади 3,9 кв. км перейдут из первого «допустимого» уровня во второй «низкий» уровень загрязнения.

Кроме того, на основе данных о содержании тяжелых металлов в почвах, полученных при помощи балансовой модели, был проведен прогнозный расчет достижения различных уровней загрязнения почв г. Кольчугино (нижние границы диапазонов значений, характеризующих каждый уровень загрязнения в соответствии с [6]).

Анализ данных показал, что среднее время достижения второго «низкого» уровня загрязнения почвами г. Кольчугино (в том случае, если этот уровень не достигнут) составит для свинца 3074 года, минимальное – 286 лет. Похожая картина наблюдается для меди, среднее время составит 2686 лет, минимальное на порядок меньше – 262 года. Среднее время достижения 2-го уровня загрязнения кадмием составит 228 лет, минимальное – 77. Самый неблагоприятный прогноз отмечается для цинка – минимальное время достижения 2-го уровня загрязнения 2 года, среднее время достижения – 126 лет.

Третий «средний» уровень загрязнения почв будет достигнут в среднем: для свинца через 17 131 год, для цинка – 6 392, для кадмия – 2 687,

для меди – 42 584. Время достижения четвертого «высокого» уровня загрязнения составит: для свинца – 35 001 год, для цинка – 21 621, для кадмия – 5 441, для меди – 42 799. Среднее время достижения пятого «чрезвычайно высокого» уровня загрязнения почв г. Кольчугино составит десятки тысяч лет: для свинца – 93 286, для цинка – 44 465, для кадмия – 26 095, для меди – 77 177.

Вероятно, установленный уровень загрязнения почв тяжелыми металлами, на большей части территории города превышающий ПДК, связан в первую очередь с прошлой хозяйственной деятельностью предприятий цветной металлургии, существующей в городе с 1871 г. В настоящее время предприятия прошли существенную модернизацию, в том числе систем очистки атмосферных выбросов, что привело к значительному сокращению выбросов. Тем не менее, как уже отмечалось, интенсивность выпадения меди и цинка зависит от расстояния до промплощадки, где сосредоточены предприятия цветной металлургии, и убывает при удалении от территории промплощадки. Для свинца и кадмия зависимость имеет менее выраженный характер, что указывает на поступление тяжелых металлов, в том числе от других источников, таких как городские котельные, автомобильный и железнодорожный транспорт и др.

### Заключение

Малые города – важная составляющая в структуре Российской Федерации, в них в значительной степени сосредоточены не только отечественная история и культура, но и наука и промышленность. В последнее время со стороны государства уделяется большое внимание к экономическому и социальному развитию малых городов. Вместе с тем дальнейшее развитие таких городов неизбежно приведет к возрастанию антропогенной нагрузки. Для сохранения экологической безопасности и устойчивого развития городов необходимо усиление внимания к состоянию окружающей среды. Использование балансового подхода для прогноза пространственно-временной картины загрязнения городских почв позволяет оценить тренды загрязнения урбоэкосистем. Полученные результаты представляют интерес для принятия своевременных управленческих решений, направленных на создание безопасной, комфортной среды для проживания и хозяйственной деятельности на территории г. Кольчугино.

### Список литературы

- [1] Битюкова В.Р. Интегральная оценка экологической ситуации городов России // Региональные исследования. 2014. № 4 (46). С. 49–57.
- [2] Майснер Т.В. Экологическая безопасность современного города как предмет междисциплинарных исследований // Гуманитарий Юга России. 2020. Т. 9. № 1. С. 131–140.

- [3] *Рогожина Н.Г.* Экологические риски урбанизации в странах Юго-Восточной Азии // *Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право*. 2020. Т. 13. № 1. С. 102–118. <http://doi.org/10.23932/2542-0240-2020-13-1-6>
- [4] *Битюкова В.Р.* Экологические проблемы малых городов России // *Вестник Московского университета*. Серия 5: География. 2007. № 1. С. 13–21.
- [5] *Лубкова Т.Н.* Оценка и прогноз техногенного загрязнения локальных экосистем химическими элементами на основе балансовых расчетов: автореферат дис. ... канд. геол.-минер. наук. 25.00.09. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. М., 2007. 29 с.
- [6] *Макаров О.А., Макаров А.А.* Прогнозирование химического загрязнения почв тяжелыми металлами при помощи балансового метода (на примере локальных участков города Москвы и города Подольска) // *Экология урбанизированных территорий*. 2016. № 1. С. 50–58.

### **Сведения об авторах:**

*Каманина Инна Эдиславовна*, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии и наук о Земле, факультет естественных и инженерных наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Университет «Дубна», 141982, Российская Федерация, Московская область, г. Дубна, ул. Университетская, д. 19. ORCID: 0000-0001-9186-8689. E-mail: [kamanina@uni-dubna.ru](mailto:kamanina@uni-dubna.ru)

*Каплина Светлана Петровна*, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и наук о Земле, факультет естественных и инженерных наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Университет «Дубна», 141982, Российская Федерация, Московская область, г. Дубна, ул. Университетская, д. 19. ORCID: 0000-0003-1323-6349. E-mail: [sv\\_kap@mail.ru](mailto:sv_kap@mail.ru)

*Любимова Анна Владимировна*, кандидат технических наук, заведующая отделом ГИС и цифровой картографии ФГБУ отделения геоинформатики «ВНИГНИ», 117105, Российская Федерация, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 8. ORCID: 0000-0002-8075-937X. E-mail: [anna\\_lioubimova@mail.ru](mailto:anna_lioubimova@mail.ru)

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-3-368-380

EDN: URUCWJ

УДК 574.5

Научная статья / Research article

## Эколого-химическая оценка состояния реки Десны по донным отложениям на примере Брянской области Нечерноземной зоны РФ

А.С. Плахотин✉, Л.Н. Анищенко<sup>ORCID</sup>

*Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского,  
Брянск, Российская Федерация  
✉eco\_egf@mail.ru*

**Аннотация.** Проведены исследования состояния донных грунтов городской реки Десны (Брянск) в рамках рекомендуемых исследований государственного экомониторинга. Цель исследования – выявить современное состояние городского водотока на основе эколого-аналитических показателей донных грунтов для диагностики состояния поверхностных вод реки Десна. Исследование донных отложений реки Десны на реперных участках (створах) показало, что содержание тяжелых металлов находится в пределах нормы. Исключение составляет участок реки в фоновом районе. Превышение концентраций по кобальту и хрому составляет в 8,0 и 1,1 раза от установленных нормативов. Самое высокое содержание оксида титана, хрома и кобальта было отмечено в пробах на правом берегу реки Десна фонового участка, что указывает на заиленность участка. В среднем превышение по хрому весной было отмечено в 7,5 раза, а летом – в 8 раз. По кобальту превышение показателя по сравнению с предельно допустимым составило 1,1 раза на протяжении всего весенне-летнего периода. Впервые обобщены данные трехлетних исследований по состоянию донных отложений, позволяющие разрабатывать эффективные природоохранные программы, создать постоянно обновляемую мониторинговую базу.

**Ключевые слова:** экомониторинг, городские реки, донные отложения, Нечерноземье РФ

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

**История статьи:** поступила в редакцию 26.09.2022; доработана после рецензирования 10.02.2023; принята к публикации 25.04.2023.

---

© Плахотин А.С., Анищенко Л.Н., 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:** Плахотин А.С., Анищенко Л.Н. Эколого-химическая оценка состояния реки Десны по донным отложениям на примере Брянской области Нечерноземной зоны РФ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 3. С. 368–380. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-368-380>

## Ecological and chemical assessment of the state of the Desna river by bottom sediments on the example of the Bryansk region, Non-Chernozem region of the Russian Federation

Aleksey S. Plakhotin✉, Lidia N. Anishchenko<sup>id</sup>

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

✉eco\_egf@mail.ru

**Abstract.** Studies of the state of bottom soils of the city Desna river (Bryansk) were carried out as part of the recommended studies of state environmental monitoring. The purpose of the work is to identify the current state of the urban watercourse on the basis of ecological and analytical indicators of bottom soils for diagnosing the state of the surface waters of the Desna river. The study of the bottom sediments of the Desna river in the reference areas (cross-sections) showed that the content of heavy metals is within the normal range. The exception is the section of the river in the background region. The excess of concentrations for cobalt and chromium is 8.0 and 1.1 times from the established standards. The highest content of titanium oxide, chromium and cobalt was noted in samples on the right bank of the Desna river in the background area, which indicates that the area is silty. On average, the excess of chromium in spring was 7.5 times, and in summer – 8 times. For cobalt, the excess of the indicator compared to the maximum allowable amounted to 1.1 times throughout the entire spring-summer period. For the first time, the data of three-year studies on the state of bottom sediments are summarized, allowing the development of effective environmental programs and the creation of a constantly updated monitoring base.

**Keywords:** environmental monitoring, urban rivers, bottom sediments, Non-Chernozem region of the Russian Federation

**Authors' contributions:** all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

**Article history:** received 26.09.2022; revised 10.02.2023; accepted 25.04.2023.

**For citation:** Plakhotin AS, Anishchenko LN. Ecological and chemical assessment of the state of the Desna river by bottom sediments on the example of the Bryansk region, Non-Chernozem region of the Russian Federation. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(3):368–380. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-368-380>

### Введение

К основным источникам, загрязняющим бассейн реки Десны, относятся предприятия тяжелого машиностроения, строительного комплекса, химического производства, лесной и деревообрабатывающей промышленности,

сельского и коммунального хозяйства. Развитие сети экомониторинга позволит создавать прогнозы изменений обширной речной сети в пределах Брянской области и формировать систему сведений по комплексной оценке экологического состояния реки Десны и ее притоков. Объективную информацию об интенсивности загрязнения водотоков можно получить, изучая и анализируя состояние донных сообществ и грунтов. Оценка современного экологического состояния бассейна реки Десны, находящегося под влиянием длительного, интенсивного антропогенного воздействия, – важная задача, позволяющая разработать эффективные природоохранные программы, впервые создать постоянно обновляемую мониторинговую базу. Основные сведения о содержании ионов в речных грунтах весьма актуальны, так как в современном мониторинге поверхностных вод не разработаны критерии оценки качества донных отложений, что не позволяет прогнозировать развитие процессов, изменяющих качество вод, планировать мероприятия по охране, природопользованию и экоконтролю [1; 2; 9].

**Цель исследования** – выявить современное состояние городского водотока на основе эколого-аналитических показателей донных грунтов для диагностики состояния поверхностных вод реки Десна.

Городские реки в староосвоенном регионе – продукт урбанизации как глобального процесса, увеличивающего спрос на пресноводные ресурсы: крупные города получают почти 80 % воды из поверхностных источников [1–3].

Городские поверхностные воды в качестве объекта исследований выступали в отечественных и зарубежных работах, где исследовались показатели качества поверхностных вод рек, количественный состав загрязняющих веществ и их источники, риски, а также негативные последствия для гидробионтов, здоровья человека и окружающей среды в целом. В работе Robert I. McDonald, Katherine Weber и др. провели первое глобальное исследование водных источников крупных городов, показав, что предыдущие глобальные гидрологические модели, которые игнорировали водные инфраструктуры, переоценивали городской водный «стресс» [5]. По их прогнозам, к 2050 г. число городских жителей которые будут нуждаться в воде, увеличится на 2,6 млрд человек. Общий рост спроса на качественную питьевую воду заставляет города искать новые относительно чистые источники воды, что приводит к созданию сложных систем городской водной инфраструктуры.

Обзор некоторых факторов, влияющих на качество речной воды в городах, позволил выделить достаточно новое направление работ – исследование химического состава донных отложений, субстрата с долговременной фиксацией ионов загрязняющих веществ, что позволяет проводить экодиагностику во временном разрезе [6–8]. Особенностью донных отложений, как показателя состояния водного объекта, является то, что они являются последним звеном поступления веществ в водоемы и водотоки, в силу чего интегрируют геохимические особенности водосборных



площадей, техногенных сбросов и водных объектов [9; 10].

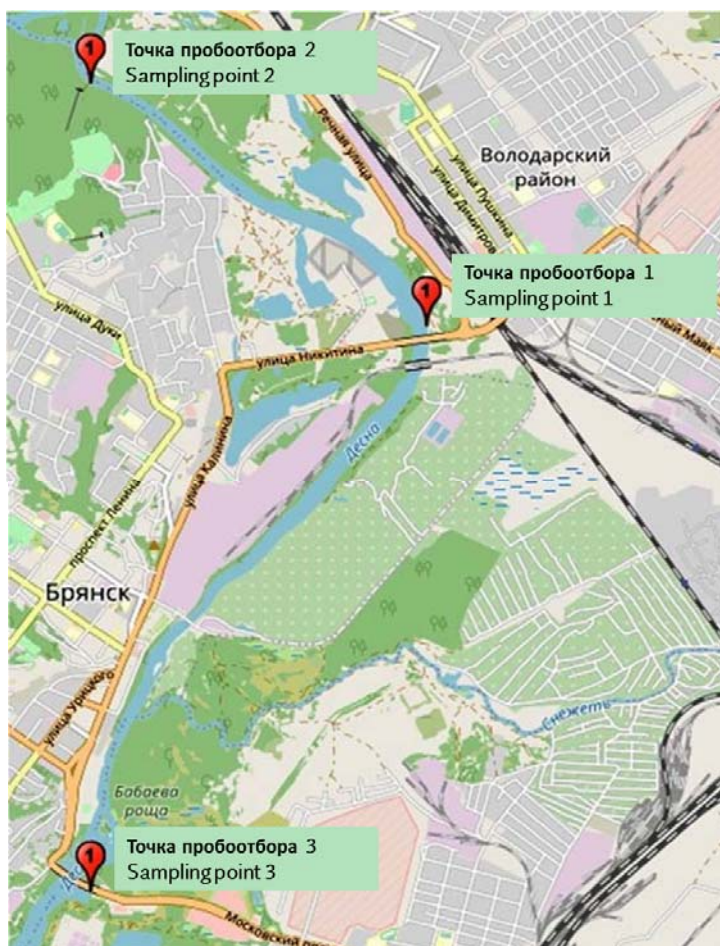
Как сложная многокомпонентная система, донные отложения в зависимости от условий, сложившихся в водном объекте, служат либо источником поступления химических соединений в толщу воды, либо их аккумулятором. К числу приоритетных загрязняющих веществ донных отложений относятся тяжелые металлы, отличающиеся максимальной аккумуляционной способностью и высокой токсичностью [11–12]. Структурный и химический состав донных отложений объединяет геохимические особенности водосборных территорий, техногенных сбросов и эколого-химические показатели поверхностных вод; эти субстраты сами играют значительную роль в формировании качества поверхностных вод, поэтому в рамках государственной системы мониторинга среды в РФ предусмотрено проведение наблюдений за состоянием грунтов, но нет четких алгоритмов оценки депонирующей способности субстратов и единого показателя для сравнения по экологическим показателям.

### Методы, методики и материалы исследований

Отбор проб донных отложений (ДО) проводили общепринятыми методами, которые характеризовали водный объект за конкретный промежуток времени<sup>1</sup>. ДО отбирали в местах с максимальным их развитием (места поступления сточных вод, зона подпора боковых притоков), в местах экстремальных значений загрязняющих веществ (ЗВ) в донных отложениях и водных массах; для оценки динамики содержания ЗВ пробы отбирали на одном и том же участке дна. Отбор проб проводили в период, который обеспечивает возможность оценки степени загрязненности ДО в характерные фазы гидрологического режима. Пробы ДО отбирали с помощью дночерпателя Петерсена D<sub>25</sub> в 10-сантиметровом слое, где наиболее активно протекают все биогеохимические процессы. Ситовым методом выделялась для исследования фракция менее 1 мм<sup>2</sup>. Тяжелые металлы (ТМ) занимают особое место среди прочих нормируемых показателей водной среды. Они способны мигрировать в различных формах и накапливаться в речных экосистемах. Большинство ТМ выступают причиной для нарушения естественных процессов самоочищения водотоков посредством замедления биохимического окисления. В весенне-летний период осуществлены исследования ДО реки Десна на предмет соответствия содержания тяжелых металлов установленным нормам.

<sup>1</sup> ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность.

<sup>2</sup> ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. РД 52.24.309-2016. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши / ФГБУ «ГХИ». Ростов-на-Дону, 2016. 137 с.



**Точки пробоотбора в створах на р. Десне в пределах г. Брянска /  
Sampling points in the alignments on the river. Desna within the city of Bryansk**

Валовое содержание тяжелых металлов в донных отложениях определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием спектрометра «Спектроскан Макс-GV»<sup>3</sup>.

Для расчета показателя удельного комбинаторного индекса загрязненности вод (УКИЗВ) были использованы 18 определенных веществ: растворенный кислород, БПК<sub>5</sub>, ХПК, Fe<sub>общ</sub>, N/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N/NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Cr<sup>6+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Mn<sup>2+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, нефтепродукты, фенол и формальдегид<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> ПНД Ф 14.1:2:4.208-04 «Методика выполнения измерений для определения массовой концентрации Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Cr, V, Bi, Cd, Se, As в питьевых, природных и сточных водах рентгенофлуоресцентным методом после концентрирования их пирролидиндитиокарбаминатных комплексов на фильтрах».

<sup>4</sup> РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям / Росгидромет. Ростов-на-Дону, 2002. 50 с.

## Результаты исследований и их обсуждение

Территория Брянской области обладает достаточно густой разветвленной и неравномерно размещенной по территории области речной сетью – 2867 рек с общей протяженностью 12,89 тыс. км. Значительная часть рек, являющихся равнинными, с продолжительным периодом весеннего паводка, расположена на востоке и в центре области, что вызвано неоднородностью рельефа, а также различной глубиной водоносных горизонтов<sup>5</sup>. Большинство рек (99 % территории области) Брянской области принадлежат бассейну реки Днепр с южным или юго-западным направлением, но верховья 1 % рек относятся к бассейну Оки. Река Десна (река второго класса) протекает через всю территорию крупного города, и эколого-химическое и гидробиологическое состояние водного объекта должно оцениваться в ходе экомониторинга в том числе и по аккумулярующей способности грунтов.

Был произведен отбор донных образцов в двухкратной повторности из створов на реперных точках (РТ) в черте г. Брянска (рисунок). В качестве фонового водного объекта был выбран створ на правом берегу реки Десна в пределах лесопарка «Роща Соловьи». В процессе исследования были определены следующие параметры: цвет, запах, тип, консистенция, включения, pH (табл. 1).

Согласно полученным данным, ДО на исследуемых участках реки представляют собой пески, причем на фоновом участке и РТ они заиленные, что свидетельствует о слабой проточности. С увеличением проточности содержание органической фракции уменьшается, при этом увеличивается доля минеральных компонентов.

Таблица 1. Физические свойства донных отложений

Наименование пробы	Время отбора	Физические параметры донных отложений					
		Цвет	Тип	Запах	Консистенция	Включения	pH
Правобережье р. Десна, лесопарк (фон)	Весна	Черно-серый	Малкий заиленный песок	Землистый	Мягкая	Мелкие палки, фрагменты ракушек моллюсков	5,92
							5,93
Пр. Московский	Весна	Беловато-серый	Мелкий песок	Землистый	Мягкая	Твердые частицы	6,48
							6,31
Ул. Речная, Общественный поиск	Весна	Желтовато-серый	Мелкий песок	Рыбный	Мягкая	Твердые частицы	6,09
							6,11
Правобережье р. Десна, лесопарк (фон)	Лето	Черно-серый	Мелкий заиленный песок	Землистый	Мягкая	Фрагменты ракушек моллюсков, травы	6,5
Пр. Московский	Лето	Беловато-серый	Мелкий песок	Землистый, рыбный	Мягкая	Мелкие твердые частицы, фрагменты травы	6,82
							6,55
Ул. Речная, общественный пляж	Лето	Желтовато-серый	Мелкий песок	Рыбный	Мягкая	Твердые частицы	6,58
							6,28

<sup>5</sup> Природные ресурсы и окружающая среда субъектов Российской Федерации. Центральный Федеральный округ: Брянская область / под ред. Н.Г. Рыбальского, Е.Д. Самотесова и А.Г. Митюкова. М.: НИА Природа, 2007. 1144 с.

Table 1. Physical properties of bottom sediments

Sample name	Selection time	Physical parameters of bottom sediments					
		color	type	smell	consistency	inclusion	pH
Right bank of the Desna river, forest park, background	Spring	Black-grey	Fine silty sand	Earthy smell	Soft	Small wood, shell fragments of mollusk shells	5.92
							5.93
Moskovsky avenue, Desna river	Spring	Whitish gray	Fine sand	Earthy smell	Soft	Solid particles	6.48
							6.31
River street, public beach	Spring	Yellowish gray	Fine sand	Fishy smell	Soft	Solid particles	6.09
							6.11
Right bank of the Desna river, forest park, background	Summer	Black-grey	Fine silty sand	Earthy smell	Soft	Shell fragments of mollusk shells, herbs	6.5
Moskovsky avenue, Desna river	Summer	Whitish gray	Fine sand	Earthy smell	Soft	Fine solid particles, grass fragments	6.82
							6.55
River street, public beach	Summer	Yellowish gray	Fine sand	Fishy smell	Soft	Solid particles	6.58
							6.28

Значение рН также не имело резких колебаний и характеризовало донные отложения как близкие к нейтральным, за исключением образцов, отобранных в лесопарке «Роща Соловьи» (фон, грунты слабокислые).

Содержание ТМ в донных отложениях представлено в табл. 2. Высокое содержание оксида титана, хрома и кобальта было отмечено в пробах на правом берегу реки Десна (фоновая РТ), что указывает на заиленность участка: причина – крупные разливы реки на пойменные луга, где в течение всего весенне-летнего периода происходил процесс гниения травяного покрова при высокой температуре воздуха. В среднем превышение по хрому весной было отмечено в 7,5 раза, а летом – в 8,0 раз. По кобальту превышение показателя по сравнению с предельно допустимым составило 1,1 раза на протяжении всего весенне-летнего периода.

У донных отложений р. Десны заметно превышение концентрации в ДО цинка, свинца весной, по сравнению с летним периодом, а концентрация меди выше в летних пробах, по сравнению с весенними. По имеющимся данным, для цинка и меди наиболее значимым является период половодья: концентрации этих ионов выше в весенний период. Для ионов меди с повышением концентрации в летний период можно предположить о существовании недостаточного разбавления вод и поступлении с поверхностным стоком этих ионов.

На основе представленных данных можно судить о том, что створ реки на данном участке характеризуется переходным типом грунтов (от песков к илам, количество органических веществ 3–10 %) [13]. Такой тип грунтов указывает на замедленный сток в водотоке. Донные отложения переходного типа содержат большое количество органических веществ разного состава и свойств, которые способны удерживать металлы в осадках. Частично это труднорастворимые вещества, которые осаждаются вместе со связанными с ними металлами, например соединение металлов с липидами.

Эти комплексы после отмирания клеток хорошо сохраняются и после попадания в илы обогащают их металлами.

Содержание валовых форм ТМ в донных отложениях р. Десна соответствует значениям, определенным для некоторых водных объектов: на малых реках притока Камы, для бассейна верхней Оби, рек Нижневартовской области, водных объектах дельты Дона, р. Уй (Урал) и др. [14–19].

Также отмечено превышение содержания кобальта, никеля и других ТМ; в некоторых объектах выявлено превышение марганца как основного загрязнителя, особенно ниже по течению для крупных городов. Для рек дельты Дона отмечены повышенные концентрации цинка и марганца в весенне-летний период. Такие данные объясняются хорошей миграцией марганца как элемента с переменной валентностью в восстановительной среде, стимулируемые низкими скоростями течения [15; 19]. Эти данные, как и полученные для реки Десны, протекающей в черте крупного города, дают возможность рассматривать их как результат возможного вторичного загрязнения. Превышение ПДК для свинца не было зарегистрировано ни в одной из исследуемых рек, так же как и для железа: эти два элемента повторяют ход сезонной динамики друг друга.

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях реки Десны в весенне-летний период

Наименование пробы	Серия проб	TiO <sub>2</sub> , %	V, мг/кг	Cr, мг/кг	MnO, %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Co, мг/кг	Ni, мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	As, мг/кг	Rb, мг/кг	Sr, мг/кг	Zr, мг/кг	Pb, мг/кг
Правобережье р. Десна, лесопарк (фон)	1-1 весна	0,55	45,76	37,51	0,20	4,60	5,48	13,73	1,04	61,91	6,30	43,62	84,85	595,71	19,27
	1-2 весна	0,43	42,29	41,52	0,22	4,97	5,86	15,40	1,47	63,69	5,80	48,93	88,28	500,08	18,05
Пр. Московский	2-1 весна	0,48	21,06	<НПКО	0,02	0,88	3,71	3,52	13,21	15,48	6,69	21,91	43,96	838,02	9,32
	2-2 весна	0,22	12,26	<НПКО	0,02	0,81	4,79	3,83	<НПКО	12,78	2,31	17,54	40,72	328,49	10,57
Ул. Речная, Общественный пляж	3-1 весна	0,07	<НПКО	<НПКО	0,01	0,59	2,86	4,64	<НПКО	10,58	2,49	20,22	40,09	55,74	8,93
	3-2 весна	0,08	1,42	<НПКО	0,01	0,62	2,78	4,47	<НПКО	9,89	0,04	18,64	38,91	81,05	15,79
Правобережье р. Десна, лесопарк (фон)	4-1 лето	0,53	46,78	53,27	0,20	4,59	5,51	15,30	18,41	56,43	3,62	43,51	81,54	493,43	16,63
	4-2 лето	0,50	51,07	35,58	0,19	4,62	7,60	15,10	5,47	56,48	10,46	43,52	82,25	777,52	13,80
Пр. Московский	5-1 лето	0,29	10,23	<НПКО	0,02	0,76	4,33	3,46	<НПКО	16,20	5,77	17,52	41,66	545,65	6,18
	5-2 лето	0,18	6,54	<НПКО	0,01	0,76	2,66	4,03	<НПКО	14,23	6,30	16,33	47,72	485,94	8,28
Ул. Речная, Общественный пляж	6-1 лето	0,08	<НПКО	<НПКО	0,01	0,58	4,60	3,56	<НПКО	9,48	3,33	19,64	43,17	134,95	8,97
	6-2 лето	0,11	5,09	<НПКО	0,01	0,59	2,95	4,47	4,50	7,78	3,62	17,21	38,85	107,89	3,94

Table 2. The content of heavy metals in the bottom sediments of the Desna river in the spring-summer period

Sample name	A series of samples	TiO <sub>2</sub> , %	V, mg/kg	Cr, mg/kg	MnO, %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Co, mg/kg	Ni, mg/kg	Cu, mg/kg	Zn, mg/kg	As, mg/kg	Rb, mg/kg	Sr, mg/kg	Zr, mg/kg	Pb, mg/kg
Right bank of the Desna river, forest park, background	1-1 spring	0.55	45.76	37.51	0.20	4.60	5.48	13.73	1.04	61.91	6.30	43.62	84.85	595.71	19.27
	1-2 spring	0.43	42.29	41.52	0.22	4.97	5.86	15.40	1.47	63.69	5.80	48.93	88.28	500.08	18.05
Moskovsky avenue, Desna river	2-1 spring	0.48	21.06	<NPKO	0.02	0.88	3.71	3.52	13.21	15.48	6.69	21.91	43.96	838.02	9.32
	2-2 spring	0.22	12.26	<NPKO	0.02	0.81	4.79	3.83	<NPKO	12.78	2.31	17.54	40.72	328.49	10.57
River street, public	3-1 spring	0.07	<NPKO	<NPKO	0.01	0.59	2.86	4.64	<NPKO	10.58	2.49	20.22	40.09	55.74	8.93
	3-2 spring	0.08	1.42	<NPKO	0.01	0.62	2.78	4.47	<NPKO	9.89	0.04	18.64	38.91	81.05	15.79
right bank of the Desna river, forest park, background	4-1 summer	0.53	46.78	53.27	0.20	4.59	5.51	15.30	18.41	56.43	3.62	43.51	81.54	493.43	16.63
	4-2 summer	0.50	51.07	35.58	0.19	4.62	7.60	15.10	5.47	56.48	10.46	43.52	82.25	777.52	13.80
Moskovsky avenue, Desna river	5-1 summer	0.29	10.23	<NPKO	0.02	0.76	4.33	3.46	<NPKO	16.20	5.77	17.52	41.66	545.65	6.18
	5-2 summer	0.18	6.54	<NPKO	0.01	0.76	2.66	4.03	<NPKO	14.23	6.30	16.33	47.72	485.94	8.28
River street, public	6-1 summer	0.08	<NPKO	<NPKO	0.01	0.58	4.60	3.56	<NPKO	9.48	3.33	19.64	43.17	134.95	8.97
	6-2 summer	0.11	5.09	<NPKO	0.01	0.59	2.95	4.47	4.50	7.78	3.62	17.21	38.85	107.89	3.94

В воде створов определяли комплексный показатель УКИЗВ, значения которого показали превышение показателей предельно допустимых концентраций (ПДК). В створе р. Десны на ул. Речной было отмечено превышение этих значений по 5 веществам из 18 определяемых. Среди них высокие показатели имели Fe<sub>общ</sub>, БПК<sub>5</sub>, ХПК, N/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N/NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Значение УКИЗВ показывает, что вода в течение исследуемого периода была грязной, что подтверждается высокими показателями загрязнения частных оценочных баллов по повторяемости ( $S_a > 4$ ). Согласно классификации вод по повторяемости случаев загрязненности, загрязненность воды – «характерная». Низкие показатели были выявлены по N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Cr<sup>6+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, нефтепродуктам, фенолам и формальдегидам. Степень загрязненности воды участка реки – грязная (4а).

Превышение значений ПДК в створе отбора проб района очистных сооружений (пр. Московский) было отмечено по 7 веществам из 18 определяемых: среди них высокие показатели имели  $Fe_{\text{общ}}$ , БПК<sub>5</sub>, ХПК,  $N/NH_4^+$ ,  $N/NO_2^-$ , фенолы и нефтепродукты. Значение УКИЗВ на участке реки также показывает, что вода исследуемого периода была грязной, что подтверждается высокими показателями загрязнения частных оценочных баллов по повторяемости ( $S_a > 4$ ). Согласно классификации вод по повторяемости случаев загрязненности, загрязненность воды – «характерная».

Превышение значений ПДК в створе отбора проб в фоновом створе лесопарка «Роща Соловьи» было отмечено по 7 веществам из 18 определяемых. Среди них высокие показатели имели  $Fe_{\text{общ}}$ , БПК<sub>5</sub>, ХПК,  $N/NH_4^+$ ,  $N/NO_2^-$ , фенолы и нефтепродукты. Значение УКИЗВ показывает, что вода в течение данного периода была грязной, что подтверждается высокими показателями загрязнения частных оценочных баллов по повторяемости ( $S_a > 4$ ). Согласно классификации вод по повторяемости случаев загрязненности, загрязненность воды – «характерная». Низкие показатели были выявлены по  $N/NO_3^-$ , F,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $PO_4^-$ , формальдегидам. Степень загрязненности воды на участке реки – грязная (4а). Таким образом, вода во всех трех обследуемых створах по индексу УКИЗВ характеризуется как «грязная», 4а группы. Вероятно, кумулирующая способность донных отложений р. Десны по отношению к спектру загрязняющих агентов средняя и низкая, что снижает самоочищающую способность водного объекта. Также нарушена способность ТМ к миграциям и, соответственно, к накоплению в грунтах реки [19; 20].

### Заключение

Исследование донных отложений реки Десны на реперных участках (створах) показало, что содержания ТМ находятся в пределах нормы. Исключение составляет участок реки в фоновом районе. Превышение концентраций по кобальту и хрому составляет в 8,0 и 1,1 раза от установленных нормативов. Самое высокое содержание оксида титана, хрома и кобальта было отмечено в пробах на правом берегу реки Десна фонового участка, что указывает на загрязненность участка. В среднем превышение по хрому весной было отмечено в 7,5 раза, а летом – в 8 раз. По кобальту превышение показателя по сравнению с предельно допустимым составило 1,1 раза на протяжении всего весенне-летнего периода.

Вода, отобранная из р. Десны, имеет показатели УКИЗВ, соответствующие классу 4а: наиболее часто встречающимися веществами, превышающими установленные нормы, были железо, ХПК, БПК<sub>5</sub>, азот аммонийный, азот нитритный и нитратный, фенолы.

### Список литературы

- [1] *Barakata A., El Baghdadia M., Raisa J., Aghezzaf B., Slassi M.* Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques // *International Soil and Water Conservation Research*. 2016. No. 4. P. 284–292.
- [2] *Olóriz-Sanjuan C., García-Becerra F., Villada-Canela M., Alfredo Ramírez-Galindo J., Aguilar-Benítez I., Barkwith A.* Assessing Socio-hydrological Resilience in Urban Metropolitan Environments: A Mexican Perspective // *Water Availability and Management in Mexico*. 2019. Vol. 88. P. 413–442.
- [3] *Mekonnen M.M., Hoekstra A. Y.* Global Gray Water Footprint and Water Pollution Levels Related to Anthropogenic Nitrogen Loads to Fresh Water // *Environ Science Technology*. 2015. No. 49. С. 12860–12868.
- [4] *Khatri N., Tyagi S.* Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas // *Frontiers in Life Science*. 2015. Vol. 8, no. 1. P. 23–29.
- [5] *McDonald R.I., Katherine Weber K., Padowski J., Florke M., Schneider Ch., Green P.A., Gleeson T., Eckman S., Lehner B., Balk D., Boucher T., Grill G., Montgomery M.* Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure // *Global Environmental Change*. 2017. No. 27. С. 96–105.
- [6] *Денисова Л.И. Нахшина Е.П.* Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды. Киев: Навукова думка, 1987. 163 с.
- [7] *Коновалова Э. Е.* Анализ зарубежных методик оценки содержания тяжелых металлов в донных отложениях рек // *Международный студенческий научный вестник*. Пенза, 2018. 220 с.
- [8] *Макаренко Т.В., Силивончик Н.М.* Содержание тяжелых металлов в донных отложениях и воде водоемов и водотоков г. Гомеля // *Экологический вестник*. 2016. № 1 (35). С. 111–118.
- [9] *Никаноров А.М., Брызгалов А.В., Решетняк О.С.* Реки России в условиях чрезвычайных экологических ситуаций. Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2012. 308 с.
- [10] *Никаноров А.М., Минина Л.И., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю., Решетняк О.С., Даниленко А.О.* Многолетняя изменчивость загрязненности воды и состояния речных экосистем различных широтных зон Европейской части России // *Водные ресурсы*. 2016. Т. 43. № 5. С. 515–527.
- [11] *Paul D.* Research on heavy metal pollution of river Ganga: A review // *Annals of Agrarian Science*. 2017. No. 15. P. 278–286.
- [12] *Singh U. K., Kumar B.* Pathways of heavy metals contamination and associated human health risk in Ajay River basin, India // *Chemosphere*. 2017. Vol. 174. С. 183–199.
- [13] *Слуковский З. И.* Геоэкологическая оценка состояния малых рек крупного промышленного города по данным о содержании тяжелых металлов в донных отложениях // *Метеорология и гидрология*. 2015. № 6. С. 81–88.
- [14] *Джамалов Р. Г., Никаноров А. М., Решетняк О. С., Сафронова Т.И.* Воды бассейна Оки: химический состав и источники загрязнения // *Вода и экология*. 2017. № 3. С. 114–132.
- [15] *Ткаченко О.В., Ткаченко А.Н., Лычагин Н.Ю.* Содержание тяжелых металлов в водных объектах дельты Дона: сезонная и пространственная динамика // *Геология, география и глобальная энергия*. 2016. № 2 (61). С. 76–79.
- [16] *Искандарова Ш.Т., Усманов И.А., Хасанова М.И.* Влияние донных отложений на качество воды малых рек // *Экология и строительство*. 2019. № 1. С. 20–24.



- [17] Галатова Е.А. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях // *Аграрный Вестник Урала*. 2008. С. 82–83.
- [18] Янин Е.П. Техногенные илы в реках Московской области (геохимические особенности и экологическая оценка). М.: ИМГРЭ, 2004. 95 с.
- [19] Закруткин В.Е., Гибков Е.В., Решетняк О.С., Решетняк В.Н. Донные отложения как индикатор первичного и источник вторичного загрязнения речных вод углепромышленных территорий восточного Донбасса // *Известия РАН. Серия географическая*. 2020. Т. 84. № 2. С. 259–271.
- [20] Решетняк О.С. Экологические последствия загрязнения речных экосистем России // *Вода*. 2016. № 4 (104). С. 28–29.

### References

- [1] Barakata A, El Baghdadia M, Raisa J, Aghezaf B, Slassi M. Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques. *International Soil and Water Conservation Research*. 2016;4:284–292.
- [2] Olóriz-Sanjuan C, García-Becerra F, Villada-Canela M, Alfredo Ramírez-Galindo J, Aguilar-Benítez I, Barkwith A. Assessing Socio-hydrological Resilience in Urban Metropolitan Environments: A Mexican Perspective. *Water Availability and Management in Mexico*. 2019;88:413–442.
- [3] Mekonnen MM, Hoekstra AY. Global Gray Water Footprint and Water Pollution Levels Related to Anthropogenic Nitrogen Loads to Fresh Water. *Environ Science Technology*. 2015;49:12860–12868.
- [4] Khatri N, Tyagi S. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Frontiers in Life Science*. 2015;8(1):23–29.
- [5] McDonald RI, Katherine Weber K, Padowski J, Florke M, Schneider Ch, Green PA, Gleeson T, Eckman S, Lehner B, Balk D, Boucher T, Grill G, Montgomery M. Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. *Global Environmental Change*. 2017;27:96–105.
- [6] Denisova LI, Nakhshina EP. *Bottom sediments of reservoirs and their impact on water quality*. Kyiv: Navukova Dumka Publ.; 1987. 163 p. (In Russ.).
- [7] Konovalova EE. Analysis of foreign methods for assessing the content of heavy metals in bottom sediments of rivers. *International Student Scientific Bulletin*. Penza Publ.; 2018. 220 p. (In Russ.).
- [8] Makarenko TV, Silivonchik NM. The content of heavy metals in bottom sediments and water of reservoirs and watercourses in the city of Gomel. *Ecological Bulletin*. 2016;1(35):111–118. (In Russ.).
- [9] Nikanorov AM, Bryzgalo AV., Reshetnyak OS. *Rivers of Russia in emergency environmental situations*. Rostov-on-Don: NOC publishing house Publ.; 2012. 308 p. (In Russ.).
- [10] Nikanorov AM, Minina LI, Bryzgalo VA, Kosmenko LS, Kondakova MYu, Reshetnyak O.S., Danilenko A.O. Long-term variability of water pollution and the state of river ecosystems in different latitudinal zones of the European part of Russia. *Water resources*. 2016;43(5):515–527. (In Russ.). (In English).
- [11] Paul D. Research on heavy metal pollution of river Ganga: A review. *Annals of Agrarian Science*. 2017;15:278–286.
- [12] Singh UK, Kumar B. Pathways of heavy metals contamination and associated human health risk in Ajay River basin, India. *Chemosphere*. 2017;174:183–199.

- [13] Slukovsky ZI. Geocological assessment of the state of small rivers of a large industrial city according to the content of heavy metals in bottom sediments. *Meteorology and Hydrology*. 2015;6:81–88. (In Russ.).
- [14] Dzhamalov RG, Nikanorov AM, Reshetnyak OS, Safronova TI. Waters of the Oka basin: chemical composition and sources of pollution. *Water and ecology*. 2017;3:114–132. (In Russ.).
- [15] Tkachenko OV, Tkachenko AN, Lychagin NYu. The content of heavy metals in water bodies of the Don Delta: seasonal and spatial dynamics. *Geology, geography and global energy*. 2016;2(61):76–79. (In Russ.).
- [16] Iskandarova ShT, Usmanov IA, Khasanova MI. Influence of bottom sediments on the water quality of small rivers. *Ecology and construction*. 2019;1:20–24. (In Russ.).
- [17] Galatova EA. The content of heavy metals in bottom sediments. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2008:82–83. (In Russ.).
- [18] Yanin EP. Technogenic silts in the rivers of the Moscow region (geochemical features and environmental assessment). Moscow: IMGRE Publ.; 2004. 95 p. (In Russ.).
- [19] Zakrutkin VE, Gibkov EV, Reshetnyak OS, Reshetnyak VN. Bottom sediments as an indicator of primary and secondary pollution of river waters in the coal mining areas of the eastern Donbas. *Izvestiya RAN. Geographic series*. 2020;84(2):259–271. (In Russ.).
- [20] Reshetnyak OS. Ecological consequences of pollution of river ecosystems in Russia. *Water Magazine*. 2016;4(104):28–29. (In Russ.).

#### **Сведения об авторах:**

*Плахотин Алексей Сергеевич*, аспирант кафедры географии, экологии и землеустройства, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Российская Федерация, 241040, Брянск, ул. Бежицкая, д. 14. E-mail: eco\_egf@mail.ru

*Анищенко Лидия Николаевна*, профессор кафедры географии, экологии и землеустройства, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Российская Федерация, 241040, Брянск, ул. Бежицкая, д. 14. ORCID: 0000-0003-4842-5174; Researcher ID in Scopus: 260617; eLIBRARY SPIN-код: 6600-6010. E-mail: eco\_egf@mail.ru

#### **Bio notes:**

*Aleksey S. Plakhotin*, Postgraduate Student, Department of Geography, Ecology and Land Management, Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky, 14 Bezhitskaya St, Bryansk, 241040, Russian Federation. E-mail: eco\_egf@mail.ru

*Lidia N. Anishchenko*, Professor of the Department of Geography, Ecology and Land Management, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky, 14 Bezhitskaya St, Bryansk, 241040, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4842-5174; Researcher ID in Scopus: 260617; eLIBRARY SPIN: 6600-6010. E-mail: eco\_egf@mail.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-3-381-389

EDN: VQUMGP

УДК 504.06

Научная статья / Research article

## Влияние зарегулирования стока на гидрохимические показатели воды малых рек на примере р. Теплая Саратовской области

А.А. Фомина✉, К.В. Шеина, О.В. Абросимова 

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,  
г. Саратов, Российская Федерация*

✉fomina-aa@mail.ru

**Аннотация.** Малые реки чрезвычайно чувствительны к любой антропогенной деятельности, в том числе зарегулированию стока, и выполняют роль своеобразных индикаторов экологического состояния природных комплексов. В основном хорошо изучены крупные реки, а малые водотоки практически не исследуются, хотя имеют важное хозяйственное значение. Для р. Теплая Саратовской области была дана эколого-географическая характеристика, выявлены источники антропогенной нагрузки на водоем, проведен анализ степени изученности и фоновых показателей рек данного бассейна. На примере р. Теплая рассмотрено влияние зарегулирования малой реки плотиной на ряд физико-химических параметров качества природной воды. Установлено, что температура воды в реке Теплая в осенний период до зарегулирования стока была постоянной величиной, а после плотины увеличивалась к последнему по течению месту отбора. Водородный показатель изменялся в пределах 7,5–8,4, общая минерализация воды последовательно повышалась на исследованном участке реки (0,66–1,08 г/дм<sup>3</sup>). Показано, что содержание ионов аммония и нитритов было значительно выше санитарно-гигиенических нормативов, что указывает на равномерный характер свежего органического загрязнения воды данного участка реки. Установлено повышение концентрации хлоридов в последнем из каскада прудов – практически в 1,5 раза по сравнению с вышерасположенными точками отбора, что, однако, не превысило нормативные значения.

**Ключевые слова:** малые реки, река Теплая, качество воды, гидрохимические показатели, антропогенная нагрузка, зарегулирование стока

© Фомина А.А., Шеина К.В., Абросимова О.В., 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:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**История статьи:** поступила в редакцию 25.05.2022; доработана после рецензирования 25.10.2022; принята к публикации 20.02.2023.

**Для цитирования:** Фомина А.А., Шеина К.В., Абросимова О.В. Влияние зарегулирования стока на гидрохимические показатели воды малых рек на примере р. Теплая Саратовской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 3. С. 381–389. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-381-389>

## Influence of runoff regulation on hydrochemical indicators of water in small rivers on the example of the Teplaya river in the Saratov region

Alla A. Fomina✉, Kristina V. Sheina, Olga V. Abrosimova<sup>ID</sup>

*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation*

✉fomina-aa@mail.ru

**Abstract.** Small rivers are extremely sensitive to any anthropogenic activity, including runoff regulation, and serve as a kind of indicator of the ecological state of natural complexes. In general, large rivers are well studied, and small water bodies are practically not studied, although they are of great economic importance. For Teplaya river of the Saratov region was given an ecological and geographical characteristic, sources of anthropogenic load on the reservoir were identified, an analysis was made of the degree of knowledge and background indicators of the rivers of this basin. On the example of Teplaya river effect of runoff regulation of a small river by a dam on a number of physical and chemical parameters of pond water quality is considered. It has been established that the water temperature in the Teplaya river in the autumn period before the runoff regulation was a constant value, and after the dam it increased to the last sampling point downstream. The hydrogen index varied within 7.5-8.4, the total mineralization of water consistently increased in the studied section of the river (0.66-1.08 g/dm<sup>3</sup>). It is shown that the content of ammonium ions and nitrites was much higher than the sanitary and hygienic standards, which indicates the uniform nature of fresh organic water pollution in this section of the river. An increase in the concentration of chlorides in the last of the cascade of ponds was established – almost 1.5 times compared to the higher sampling points, which, however, did not exceed the standard values.

**Keywords:** small rivers, Teplaya river, water quality, hydrochemical indicators, anthropogenic pressure, runoff regulation

**Authors' contributions:** all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

**Article history:** received 25.05.2022; revised 25.09.2022; accepted 20.02.2023.

**For citation:** Fomina AA, Sheina KV, Abrosimova OV. Influence of runoff regulation on hydrochemical indicators of water in small rivers on the example of the Teplaya river in the Saratov region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(3):381–389. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-381-389>

## Введение

Малые реки являются важной частью гидрографической сети и наиболее распространенным типом водных объектов. Все малые водотоки чрезвычайно чувствительны к любой антропогенной деятельности, изменяющей природные условия территории бассейна реки [1; 2]. Они в первую очередь реагируют на хозяйственную деятельность человека, такую как вырубка лесов, распашка полей, осушение и орошение земель. Протекая по территориям населенных пунктов, малые реки загрязняются стоками промышленных и коммунальных хозяйств, а также стоками с сельскохозяйственных полей, животноводческих комплексов и ферм. Высока степень загрязнения выбросами автотранспорта водотоков, пересекаемых дорогами и мостовыми переходами. В результате строительства плотин и водохранилищ зарегулирован сток большинства рыбохозяйственных рек. Плотины резко изменяют гидрологические характеристики водоема и условия миграций рыб, происходит исчезновение или резкое сокращение численности и ареалов рыб. Сложный характер имеет влияние лесных вырубок и образование гарей на водность рек и нарушение речного стока<sup>1</sup>. Малые реки формируют сток больших рек и определяют качество их воды, поэтому изменение режима малых рек приводит к изменению гидрологического режима больших рек [1].

Малые реки быстро реагируют на все изменения и, таким образом, выполняют роль своеобразных индикаторов экологического состояния природных комплексов, а также играют значительную средообразующую и хозяйственную роль.

**Целью исследования** являлось изучение влияния зарегулирования стока на гидрохимические показатели качества воды реки Теплая, являющейся притоком реки Чардым Саратовской области.

Водосбор реки Чардым находится на восточном склоне Приволжской возвышенности в Саратовской области. Протекает Чардым в Новобурасском, Саратовском и Воскресенском районах Саратовской области, впадает в Волгоградское водохранилище примерно в 40 км севернее г. Саратова. Согласно государственному водному реестру России месторасположение реки Теплая – 29 км по левому берегу реки Чардым – имеет длину 20 км и водосборную площадь – 195 км<sup>2</sup>.

Бассейн Чардыма – один из наиболее интересных в природном и рекреационном отношении в Саратовском Поволжье. Для данной местности характерны ступенчатый рельеф и богатый ландшафтный покров [3]. Почвы весьма

<sup>1</sup> Научно-прикладной справочник: основные гидрологические характеристики рек бассейна Нижней Волги / под ред. В.Ю. Георгиевского. Ливны: ГГИ, 2015. 129 с.

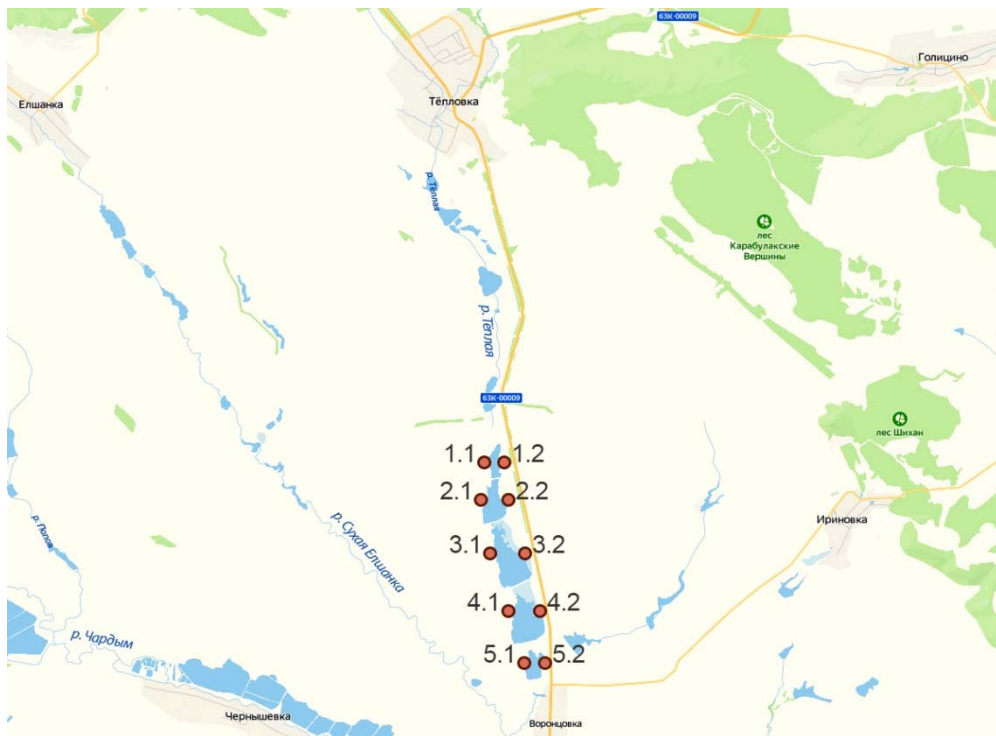
разнообразны – от серых лесных до обыкновенных черноземов, преобладают выщелоченные черноземы. Климат умеренно-континентальный.

Согласно данным докладов о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области (2015–2020 гг.), постоянные наблюдения за качеством вод малых рек осуществляют на семи гидрохимических постах. Регулярные исследования качества воды реки Чардым и ее притоков (река Теплая) не проводятся и существуют лишь отрывистые данные об экологическом состоянии водного объекта.

### Материалы и методы

Отбор проб воды проводился в октябре 2019 г. на реке Теплая (левом притоке реки Чардым) вблизи села Тепловка в Новобурасском районе Саратовской области. В настоящее время в районе реки Теплая ведут свою деятельность предприятия стройиндустрии (выпуск асфальтобетона, добыча и первичная обработка известняка и гипсового камня). В расположенном вблизи селе находятся фермерские хозяйства.

Водные пробы отбирали согласно ГОСТ 31861–2012 «Вода. Общие требования к отбору проб» в пяти точках водного объекта с двух противоположных берегов, поэтому в нумерации точек присутствуют подразделы 1 и 2, обозначающие разные берега места отбора (рис.).



Расположение точек отбора проб воды из реки Теплая  
(координаты 52.019063, 46.151770) /  
Location of water sampling points from the Teplaya river  
(coordinates 52.019063, 46.151770)

На исследуемой территории берега являлись пологими, крутых склонов не наблюдалось. На реке Теплая установлена земляная плотина для создания сети проточных прудов и разведения рыб, таких как карп, толстолобик, речной окунь. Известно, что плотины существенно влияют на водоемы и прилегающие территории: изменяются режим стока реки, температура воды, затрудняется миграция рыб, меняется микроклимат прибрежных территорий. Плотина находится между вторым и третьим пунктом отбора проб воды. В нижних точках отбора проб отмечено наибольшее зарастание искусственных прудов высшей водной растительностью.

Анализ проб воды был выполнен в лаборатории кафедры экологии и техноферной безопасности Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. В ходе исследования водного объекта определяли ряд органолептических и физико-химических параметров проб воды для оценки степени загрязнения и качества природной вод.

Температуру воды определяли исключительно в момент отбора проб ртутным термометром с ценой деления 0,1 °С, мутность воды измеряли турбидиметрическим методом, цветность фотометрически относительно хром-кобальтовой шкалы на спектрофотометре КФК-3. Водородный показатель и общую минерализацию воды анализировали на рН-метре (Hanna). Определение перманганатной окисляемости проводили согласно ГОСТ 23268.12-78. Фотометрическими методами определяли ионы аммония в реакции с реактивом Несслера, нитриты с помощью реактива Грисса, нитраты в реакции с салицилатом натрия, фосфат-ионы с молибдатом аммония. Хлориды в исследуемых пробах находили в результате аргентометрического определения по методу Мора [2; 3].

Биотестирование природной воды проводили с помощью стандартного тест-объекта – дафний (*Daphnia magna* Straus). Аспектом острой токсичности служит гибель 50 % и более дафний за 48 ч в исследуемой пробе при условии, что в контрольном эксперименте все рачки сохраняют свою жизнеспособность согласно методике ПНД Ф Т 16.1:2:3:3.9-06.

Полученные данные обрабатывались с применением стандартных статистических методов.

### Обсуждение результатов

Сравнительный анализ качества воды проводили, используя показатели качества воды из нормативных документов для вод водных объектов рыбохозяйственного значения<sup>2</sup> и вод водных объектов – источников

---

<sup>2</sup> Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 г. № 45203) URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_211155/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_211155/) (дата обращения: 21.01.2022).

питьевого и хозяйственно-питьевого водопользования и рекреационного водопользования<sup>3</sup>.

В ходе исследований установлено, что температура природной воды в реке Теплая в исследуемый период изменялась от +7 до +9 °С: до зарегулирования стока была постоянной величиной, а после плотины увеличивалась к последнему по течению месту отбора. Согласно многолетним исследованиям [8], в течение года температура воды в реках бассейна Чардым изменяется в пределах от 3,5 °С зимой до 28 °С летом.

Образование пленок нефтепродуктов, масел и жиров на поверхности воды в речной воде не обнаружено. Все исследуемые пробы воды реки Теплая обладали мутностью и цветностью на границе верхних значений нормативов, что является положительным показателем, так как мутная вода способствует стимуляции роста бактерий и эвтрофикации водоемов. Известно, что изменение таких показателей, как цветность, мутность, носит сезонный характер [7].

Выявлено, что общая минерализация воды последовательно повышалась на исследованном участке реки вниз по течению (0,66–1,08 г/дм<sup>3</sup>), и природная вода является слабоминерализованной (табл.). Известно, что речные воды системы Волги относятся почти целиком к карбонатному классу с минерализацией от 0,2 до 1 г/дм<sup>3</sup>. Минерализация воды река Теплая также могла повышаться за счет зарегулирования водного стока.

Кислотность воды в точках отбора проб воды на реке Теплая в среднем колебалась от 7,4 до 8,4, классифицирует водоток как нейтральный или слабощелочной. Согласно [7] водородный показатель должен соответствовать фоновому значению показателя для воды водного объекта рыбохозяйственного значения. По данным А.Н. Чумаченко с соавт. [3] реакция воды реки Чардым в нескольких точках от истока до устья находилась в пределах 7,7...8,1 с тенденцией к щелочному рН, что согласуется с нашими результатами.

Перманганатная окисляемость является единственным показателем химического потребления кислорода (ХПК), регламентирующим качество питьевой воды и, согласно<sup>4</sup> СанПиН 1.2.3685–21, составляет не более 5–7 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Величина окисляемости природных вод может варьироваться в широких пределах от долей миллиграммов до десятков миллиграммов О<sub>2</sub> на литр воды. Согласно результатам исследований, перманганатная окисляемость не превышала нормативные показатели во всех точках отбора проб воды.

<sup>3</sup> СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». URL: <https://base.garant.ru/400274954/> (дата обращения: 21.01.2022).

<sup>4</sup> Там же.



Установлено, что максимальные значения содержания ионов аммония в пробах воды отмечены в точках 1.1 и 1.2, отобранной из реки до зарегулирования стока, а также в точках 5.1. и 5.2, последнем месте отбора ниже по течению реки. Установлено шестикратное превышение рыбохозяйственного ПДК. Повышенное содержание аммония в воде может быть причиной неприятного запаха у последнего места отбора. Показано, что содержание нитритов значительно выше санитарно-гигиенических нормативов во всех точках отбора. Содержание нитратов в воде после плотины изменялось к третьему пруду из каскада: концентрация уменьшалась практически в 2 раза. Полученные результаты по азотсодержащим веществам свидетельствуют о накоплении отходов жизнедеятельности разводимых в сети прудов рыб либо о нерационально проведенном процессе унавоживания (или удобрения) данных прудов, а также могут являться результатом выпаса скота на близкорасположенных пастбищах или стока минеральных удобрений с полей.

#### Результаты измерения гидрохимических показателей воды реки Теплая Саратовской области

Показатель	Пробы воды										Норматив согласно*	Норматив согласно СанПиН 1.2.3685-21
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2		
pH	8.4± 0.5	8.2± 0.6	8.1± 0.8	8.1± 0.7	7.5± 0.6	8.0± 0.8	8.4± 0.3	8.2± 0.5	7.5± 0.7	7.6± 0.3	–	6.0-9.0
Минерализация, г/дм <sup>3</sup>	0.66± 0.02	0.67± 0.02	0.7± 0.01	0.78± 0.03	0.78± 0.05	0.84± 0.04	0.84± 0.03	0.9± 0.01	1.05± 0.06	1.08± 0.04	–	<1 (1.5)**
Перманганатная окисляемость, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	1.4± 0.14	0.8± 0.08	1.2± 0.12	3.1± 0.20	2.5± 0.21	1.6± 0.10	1.8± 0.07	1.6± 0.15	0.9± 0.03	1.2± 0.14	–	>5 (7)**
Аммоний-ион, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	3.2± 0.31	3.3± 2.9	2.4± 0.18	1.1± 0.16	1.4± 0.20	1.7± 0.14	2.6± 0.11	1.9± 0.15	2.3± 0.12	3.0± 0.32	<0.5	<1.5 <2.0**
Нитрат-анион, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0.52± 0.05	0.54± 0.05	0.4± 0.04	0.16± 0.02	0.22± 0.02	0.26± 0.03	0.42± 0.04	0.14± 0.01	0.32± 0.03	0.66± 0.07	<40	<45
Нитрит-анион, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	5.0± 0.5	3.8± 0.5	5.0± 0.6	2.6± 0.3	5.0± 0.6	5.2± 2.5	3.8± 0.4	4.4± 1.6	5.8± 0.6	4.2± 0.4	<0.08	<3.0
Хлорид-анион, Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	165± 6.5	135± 5.4	128± 5.4	110± 3.2	157± 6.5	154± 5.5	157± 7.1	246± 7.7	220± 5.5	231± 7.2	<300	<350
Фосфат-анион, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0.002± 0.0002	0.002± 0.0001	0.003± 0.0002	0.002± 0.0003	0.002± 0.0003	0.002± 0.0001	0.001± 0.0001	0.001± 0.0001	0.002± 0.0003	0.001± 0.0003	<0.2	<0.0001 (P)

\* Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 г. № 45203) URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_211155/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_211155/) (дата обращения: 21.01.2022).

\*\* Норматив указан для воды питьевой централизованного водоснабжения, в скобках – для воды питьевой нецентрализованного водоснабжения.

**Results of measuring hydrochemical indicators water from the Teplya river in the Saratov region**

Parameter	Water samples										Standard from*	Standard from SanPiN 1.2.3685-21
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2		
pH level	8.4± 0.5	8.2± 0.6	8.1± 0.8	8.1± 0.7	7.5± 0.6	8.0± 0.8	8.4± 0.3	8.2± 0.5	7.5± 0.7	7.6± 0.3	–	6.0-9.0
Mineralization, g/dm <sup>3</sup>	0.66± 0.02	0.67± 0.02	0.7± 0.01	0.78± 0.03	0.78± 0.05	0.84± 0.04	0.84± 0.03	0.9± 0.01	1.05± 0.06	1.08± 0.04	–	<1 (1.5)**
Permanganate oxidizability, mg O <sub>2</sub> / dm <sup>3</sup>	1.4± 0.14	0.8± 0.08	1.2± 0.12	3.1± 0.20	2.5± 0.21	1.6± 0.10	1.8± 0.07	1.6± 0.15	0.9± 0.03	1.2± 0.14	–	>5 (7)**
Ammonium ion, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	3.2± 0.31	3.3± 2.9	2.4± 0.18	1.1± 0.16	1.4± 0.20	1.7± 0.14	2.6± 0.11	1.9± 0.15	2.3± 0.12	3.0± 0.32	<0.5	<1.5 <2.0**
Nitrates, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	0.52± 0.05	0.54± 0.05	0.4± 0.04	0.16± 0.02	0.22± 0.02	0.26± 0.03	0.42± 0.04	0.14± 0.01	0.32± 0.03	0.66± 0.07	<40	<45
Nitrites, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	5.0± 0.5	3.8± 0.5	5.0± 0.6	2.6± 0.3	5.0± 0.6	5.2± 2.5	3.8± 0.4	4.4± 1.6	5.8± 0.6	4.2± 0.4	<0.08	<3.0
Chlorides, Cl <sup>-</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	165± 6.5	135± 5.4	128± 5.4	110± 3.2	157± 6.5	154± 5.5	157± 7.1	246± 7.7	220± 5.5	231± 7.2	<300	<350
Phosphates, PO <sub>4</sub> , mg/dm <sup>3</sup>	0.002± 0.0002	0.002± 0.0001	0.003± 0.0002	0.002± 0.0003	0.002± 0.0003	0.002± 0.0001	0.001± 0.0001	0.001± 0.0001	0.002± 0.0003	0.001± 0.0003	<0.2	<0.0001 (P)

\* Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated 13.12.2016 No. 552 «On approval of water quality standards of water bodies of fishery significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery significance» (registered with the Ministry of Justice of Russia on 13.01.2017 No. 45203) URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_211155/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_211155/) (accessed: 01/21/2022).

\*\* The standard is indicated for drinking water from centralized water supply, in brackets – for drinking water from non-centralized water supply.

Содержание фосфатов было постоянной величиной на всем протяжении исследуемого участка реки и значительно ниже по сравнению с рыбохозяйственным нормативом. Концентрация хлоридов после зарегулирования стока практически не менялась, однако в последнем из каскада прудов установлено значительное повышение концентрации практически в 1,5 раза по сравнению с вышерасположенными точками отбора. Значения содержания хлоридов достаточно большие (110–246 мг/дм<sup>3</sup>) по сравнению с данными других исследователей [3; 6] по реке Чардым и его притокам. Следует отметить, что данный показатель наиболее изменчивый в пространственной, сезонной и даже суточной динамике, и именно в осеннее время концентрации хлоридов максимальны для рек бассейна Чардым [6–7].

Проведенное биотестирование речной воды с использованием в качестве тест-объекта дафний магна показало, что все без исключения пробы природной воды не обладали острой токсичностью. Единичные случаи гибели дафний в опытных пробах отмечены в воде, отобранной из точки 1.1, распо-

ложенной ближе всего к селу Тепловка. В условиях постоянной антропогенной нагрузки на водные объекты важное значение имеет биотестирование воды для прогнозирования различных по природе воздействий и их комбинированного действия.

### Заключение

На малых реках пруды с земляными плотинами получали достаточно широкое распространение. Во время половодий такие плотины могут прорываться, продукты их размыва откладываются уже в руслах ниже по течению и способствуют их заилению. В межень такой сток может полностью отсутствовать, пока не происходит его восстановление за счет грунтовых вод и притоков. Зарегулирование стока разрушает функциональные связи между всеми звеньями экосистемы и приводит к нарушению саморегуляции водных экосистем. В проведенных исследованиях реки Теплая, протекающей в Новобурасском районе Саратовской области и зарегулированной плотиной ниже поселка Тепловка, показана важная роль азотсодержащих веществ и хлоридов. Изменение содержания в воде минеральных форм азота носит достаточно сложный характер и свидетельствует о затрудненном процессе нитрификации. Чрезмерное накопление биогенных соединений связано как с зарегулированием стока, так и с их поступлением в результате хозяйственной деятельности на реке и указывает на недавнее загрязнение воды органическими веществами. Высокая степень насыщенности воды биогенными элементами может привести к качественной деградации водного объекта.

### Список литературы

- [1] *Ткачев Б.П., Булатов В.И.* Малые реки: современное состояние и экологические проблемы: аналит. обзор. ГПНТБ СО РАН: Новосибирск, 2002. 114 с.
- [2] *Смирнова М.В., Батанина А.И.* Исследование роли природных и антропогенных факторов в формировании качества воды малых рек на примере р. Велетьмы Нижегородской области // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2021. Т. 29. № 2. С. 162–173. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-2-162-173>
- [3] *Чумаченко А.В., Гусев В.А., Данилов В.З., Макаров В.А., Затонский В.А., Пичугина Н.В. и др.* Геоэкологическая оценка качества поверхностных вод бассейна реки Чардым Саратовской области // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия науки о Земле*. 2016. № 16 (2). С. 93–98. <http://doi.org/10.18500/1819-7663-2016-16-2-93-97>
- [4] *Никаноров А.М.* Гидрохимия: учебник. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 444 с.
- [5] *Пименова Е.В.* Химические методы анализа в мониторинге водных объектов. Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. 138 с.
- [6] *Бочкарева Е.А., Беляченко А.А.* Пространственная изменчивость химического состава воды реки Чардым // *Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова*. 2013. № 3. С. 12–17.
- [7] *Абдюкова Э.А., Хаббибулин Р.Р.* Информативность гидрохимических показателей в системе мониторинга малых рек // *Башкирский химический журнал*. 2009. Т. 16. № 2. С. 173–177.

## References

- [1] Tkachev BP, Bulatov VI. *Small rivers: state-of-the act and ecological problems: analytical review*. Novosibirsk: SPSTL SB RAS; 2002. 144 p.
- [2] Smirnova MV, Batanina AI. Study of the role of natural and anthropogenic factors in the formation of water quality in small rivers on the example of the Veletma river in the Nizhny Novgorod region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2021;29(2):162–173. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-2-162-173>
- [3] Chumachenko AV, Gusev VA, Danilov VZ, Makarov VA, Zatonsky VA, Pichugina NV, et al. Geocological Assessment of Quality of a Surface Water of a River Basin Chardym in the Saratov Region. *Series: Earth Sciences*, 2016;16(2):93–97. <http://doi.org/10.18500/1819-7663-2016-16-2-93-97>
- [4] Nikanorov AM. *Hydrochemistry*: textbook. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat; 2001. 444 p.
- [5] Pimenova EV. *Chemical methods of analysis in the monitoring of water objects* Perm: Publishing House of PSAA; 2011. 138 p.
- [6] Bochkareva EA, Belyachenko AA. Territorial heterogeneity of chemical compound of water of the Chardym river. *Saratov State Vavilov Agrarian University*. 2013;(03):12–17.
- [7] Abdyukova EA, Khabibullin RR. Informity of hydrochemical parameters in system of monitoring of the small rivers. *Bashkir chemistry journal*. 2009;16(2):173–177.

### Сведения об авторах:

Фомина Алла Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии и техносферной безопасности, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Российская Федерация, 410054, Саратов, Политехническая ул., 77. eLibrary SPIN-код 5743-9628; AuthorID: 671316. E-mail: fomina-aa@mail.ru

Шейна Кристина Витальевна, студент 4-го курса направления «Экология и природопользование», Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Российская Федерация, 410054, Саратов, Политехническая ул., 77. E-mail: kristina\_sheina0.2@bk.ru

Абросимова Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии и техносферной безопасности, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Российская Федерация, 410054, Саратов, Политехническая ул., 77. ORCID: 0000-0002-0754-8373; eLibrary SPIN-код 8758-7875; AuthorID: 234295. E-mail: ecology.saratov@gmail.com

### Bio notes:

Alla A. Fomina, Cand. Biol. Sci., Associate Professor of the Department of Ecology and Technosphere Safety, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. 77 Politechnicheskaya St, Saratov, 410054, Russian Federation. eLibrary SPIN-код 5743-9628; AuthorID: 671316. E-mail: fomina-aa@mail.ru

Kristina V. Sheina, 4rd year student of the «Ecology and Nature Management» course, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politechnicheskaya St, Saratov, 410054, Russian Federation. E-mail: kristina\_sheina0.2@bk.ru

Olga V. Abrosimova, Cand. Biol. Sci., Associate Professor of the Department of Ecology and Technosphere Safety, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politechnicheskaya St, Saratov, 410054, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0754-8373; eLibrary SPIN-код 8758-7875; AuthorID: 234295. E-mail: ecology.saratov@gmail.com

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

## BIOLOGICAL RESOURCES

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-3-390-406

EDN: WELYBC

UDC 504.05


Research article / Научная статья

### Decomposition of individual components of bio-organic waste: volatile organic compounds and the impact on health and psycho-emotional state

Marianna D. Kharlamova<sup>1</sup>  , Mikhailo Adamovich<sup>1</sup>,  
Kseniya S. Romanovskaya<sup>1</sup>, Mikhail A. Spirin<sup>1</sup>,  
Lana R. Mustaeva<sup>1</sup>, Nikolay Adamovich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>RUDN University, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Serbian Oil Industry Company (Naftna industrija Srbije), Serbia

kharlamova-md@rudn.ru

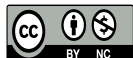
**Abstract.** The study considers the impact on the person's health and psycho-emotional state of unpleasant odors arising from the storage and accumulation of bioorganic waste, including food waste (meat, poultry, fruits and vegetables) and bird droppings. The survey data of poultry and livestock farms' employees in Serbia are given. The impact of unpleasant odors on the Waste sorting complex (Moscow region) employees' vital signs is assessed. The impact of high-intensity odor groups for individual components of food waste (pork meat, poultry meat, vegetables and fruits) and bird droppings was studied by interviewing volunteers and measuring their vital signs.

**Keywords:** bioorganic waste, odorants, volatile organic compounds, VOC, bio-organic waste components, odor groups, health effects

**Acknowledgements and Funding.** The authors are grateful to the students of the RUDN University Institute of Environmental Engineering for their active support and assistance in organizing research. Research was carried out without any additional funding

---

© Kharlamova M.D., Adamovich M., Romanovskaya K.S., Spirin M.A., Mustaeva L.R., Adamovich N., 2023




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

**Authors' contributions.** All studies were organized and conducted under the guidance of Ph.D., Associate Professor *M.D. Kharlamova*, Direct measurements were carried out at private agricultural enterprises in Serbia and in the laboratories of Serbian Oil Industry Company (NIS). Graduate students *M. Adamovich*, *M.A. Spirin*, *K.S. Romanovskaya* and student *L.R. Mustaeva* took direct part in the surveys. Consulting services and partial processing of the results were performed by *N. Adamovich*.

**Article history:** received 15.01.2023; revised 15.03.2023; accepted 15.07.2023


**For citation:** Kharlamova MD, Adamovich M, Romanovskaya KS, Spirin MA, Mustaeva LR, Adamovich N. Decomposition of individual components of bio-organic waste: volatile organic compounds and the impact on health and psycho-emotional state. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(3):390–406. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-390-406>

## Разложение отдельных компонентов биоорганических отходов: летучие органические соединения и их влияние на здоровье и психоэмоциональное состояние

М.Д. Харламова<sup>1</sup>  , М. Адамович<sup>1</sup>, К.С. Романовская<sup>1</sup>,  
М.А. Спири<sup>1</sup>, Л.Р. Мустаева<sup>1</sup>, Н. Адамович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Сербская нефтяная промышленная компания (НИС), Республика Сербия

kharlamova-md@rudn.ru

**Аннотация.** Рассмотрено влияние на здоровье и психоэмоциональное состояние человека неприятных запахов, возникающих при хранении и накоплении биоорганических отходов, в том числе пищевых отходов (мяса, птицы, фруктов и овощей) и птичьего помета. Приведены данные опроса работников птицеводческих и животноводческих ферм Сербии. Оценено влияние неприятных запахов на показатели жизнедеятельности работников Комплекса по сортировке отходов (КПО) (Московская область). Влияние групп запахов высокой интенсивности на отдельные компоненты пищевых отходов (мяса свинины, мяса птицы, овощей и фруктов) и птичьего помета изучали путем опроса добровольцев и измерения их показателей жизнедеятельности.

**Ключевые слова:** биоорганические отходы, одоранты, летучие органические соединения, ЛОС, компоненты биоорганических отходов, группы запахов, воздействие на здоровье

**Благодарности и финансирование.** Авторы выражают благодарность студентам Института экологии РУДН за активную поддержку и помощь в организации исследований. Исследования проводились без какого-либо дополнительного финансирования

**Вклад авторов.** Все исследования были организованы и проведены под руководством к.х.н., доцента *М.Д. Харламовой*, непосредственные измерения проводились на частных сельскохозяйственных предприятиях Сербии и в лабораториях Сербской нефтяной компании (НИС). Аспиранты *М. Адамович*, *М.А. Спири*, *К.С. Романовская* и студентка *Л.Р. Мустаева* принимали непосредственное участие в опросах. Консультационные услуги и частичная обработка результатов произведены *Н. Адамовичем*.

**История статьи:** поступила в редакцию 15.01.2023; доработана после рецензирования 15.03.2023; принята к публикации 15.07.2023.

**Для цитирования:** *Kharlamova M.D., Adamovich M., Romanovskaya K.S., Spirin M.A., Mustaeva L.R., Adamovich N.* Decomposition of individual components of bio-organic waste: volatile organic compounds and the impact on health and psycho-emotional state // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 3. С. 390–406. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-390-406>

## Introduction

Aerobic and anaerobic decomposition of bioorganic waste is accompanied by a consistent transformation of the organic mass, which is associated with the development of specific microbiocenoses. The activity of microorganisms leads to chemical transformations of biopolymer organic molecules – proteins, fats, carbohydrates, and the appearance of a wide range of volatile organic compounds (VOCs), including those that may have an unpleasant odor and are odorants<sup>1</sup>. It is reliably known that the process of anaerobic decomposition of bioorganic waste is already at the first stage accompanied by the formation of simple inorganic compounds, such as ammonia and hydrogen sulfide, which are also odorants; volatile organic compounds can be formed starting from the second – acidogenic stage of decomposition. It must be remembered that during storage and, especially, the accumulation of waste, both types of processes occur simultaneously – in the surface layer, up to 25-30 cm thick, aerobic oxidation processes can also occur, however, the products of fat hydrolysis (saturated and unsaturated organic acids, including volatile ones), proteins (amino acids and amides), as well as products of subsequent redox reactions have the most unpleasant odor. Thus, the resulting odorants can have a variety of qualitative and quantitative composition – from the simplest molecules of hydrogen sulfide, dimethyl and diethyl sulfides and methyl mercaptans, aldehydes and alcohols, to more complex aromatic compounds, terpenes and organic acids [1–3]. Many of the compounds formed are toxic, which can adversely affect the health of people working in livestock and poultry farms, MSW landfills, waste sorting plants and composting stations.

According to the authors [5; 6], the impact of unpleasant odors caused by volatile organic compounds is a real problem for the population living in settlements located in the areas affected by MSW landfills, waste sorting and agro-industrial complexes, as well as for workers of these enterprises.

The negative impact of some odorants on human health has been studied quite well. So, according to the data [7], the most dangerous components, found in emissions at all stages of MSW technological processing, are dichloroethane, trichlorethylene, as well as naphthalene and acrolein. An unpleasant odor can affect

---

<sup>1</sup> ...Isparljiva organska jedinjenja. Available from: <https://evocs.org/o-voc-u/> (accessed: 01.10.2022); Volatile Organic Compound. Available from: <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/volatile-organic-compound> (accessed: 01.10.2022).

an increase in heart rate, heart rate variability, blood pressure, respiratory rate, skin conduction reactions, sleep, as well as emotional characteristics and cognitive abilities of the subjects [8]. Thus, the authors of [9] showed that the smell of ethyl mercaptan adversely affects the performance of complex tasks that require maximum attention, but practically does not affect the solution of simple arithmetic calculations. Since the smell affects the functional state of the cerebral cortex, it also affects the entire body. Some odors lead to sleep disturbance and headaches, cause coughing, shortness of breath, indigestion, irritation of the nose and eyes [9; 10].

Unpleasant odors are complex mixtures formed by many individual odors, but a person usually reacts only to the most strongly smelling components. The authors of [11] note that the main problems in determining the degree of odor impact on health, emotional state and cognitive functions of a person are associated with the lack of a unified methodology for conducting the experiment – differences in the methods of odorant delivery, exposure time, measured response. When conducting studies of the reaction of residents living near the object of the smell, the methods of questioning the population [6] are most often used, which, however, do not give a sufficiently reliable result, since they do not take into account many factors, for example, “...the influence of individual addictions and individual past experience on the caused odor effects” [8]. Usually, researchers conduct a survey of adult residents, taking into account the gender of the respondent, the distance to the odor source, assessing the frequency of odor perception and its intensity, in some studies a dispersion model is used, taking into account the amount of emissions and meteorological conditions [6]. To determine the reaction of the subjects to a particular odorant, experiments were carried out with a reference substance – N-propyl mercaptan, the exposure of which was carried out for six weeks, while a total of 15 symptoms were recorded, for example, headache, asthma attacks, eye irritation, runny nose and nausea. The authors of the article found a correlation between the number of days when a strong smell was perceived and the total number of reported symptoms [12].

In this study, the goal was to determine the complex effect of the decaying bioorganic waste smell, including components that have the most unpleasant odor, on the psycho-emotional state and vital signs of a person, taking into account age, gender, work experience, duration of stay in the zone of odor exposure.

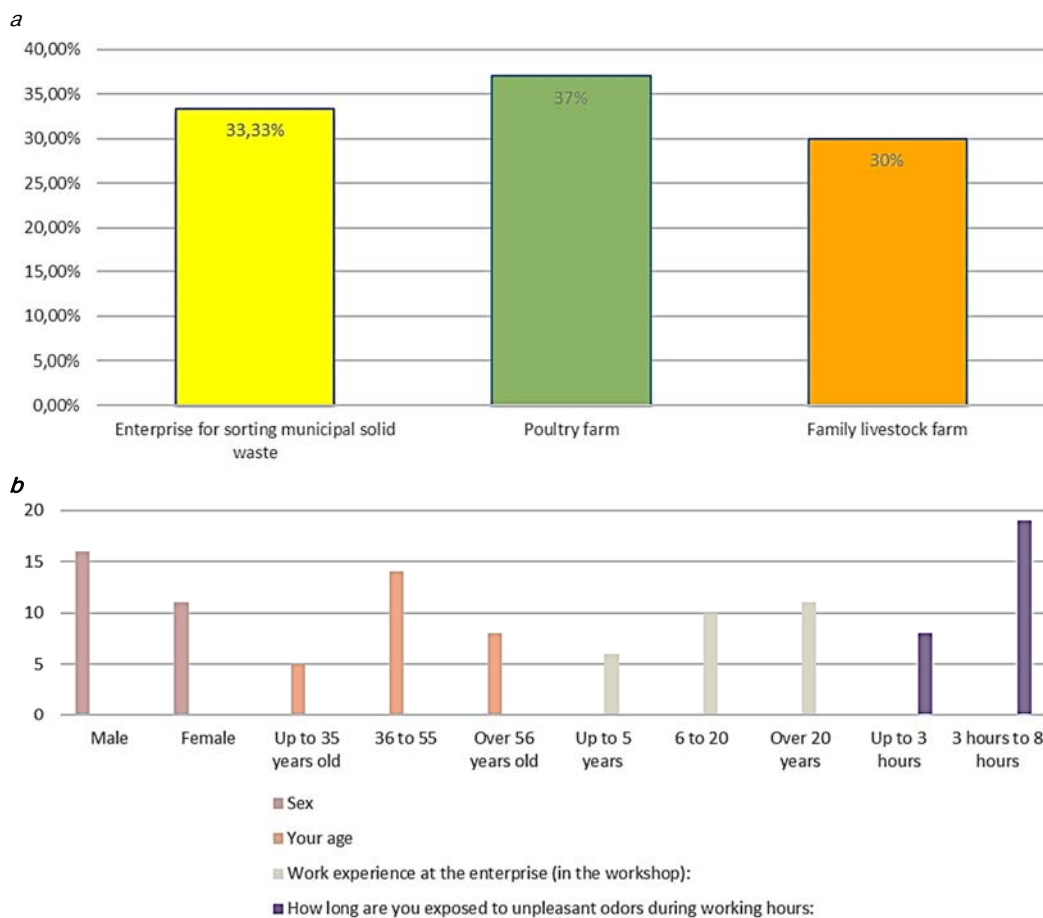
### **Research methods and results**

In the article, the authors used three methods to determine the intensity and degree of bioorganic waste odors' impact on the general physical condition (by changing the main vital signs) and on the psycho-emotional state of the test volunteers: a questionnaire, an expert assessment method, and an experimental study of the volunteers' vital signs when exposed to the unpleasant smell of meat waste.



## 1. Questionnaire

The survey was conducted at various production facilities, including a waste sorting complex (WSC) in Moscow region; a large poultry farm (there are 234 thousand in the winter, and 215 thousand birds in the summer), and a private poultry farm (there are 34 thousand birds) in Serbia, Belgrade district. A total of 27 workers who had direct contact with food waste and bird droppings took part in the survey (see Figure 1a). When analyzing data on respondents, gender, age (all employees were divided into three categories), length of service (three categories) at a given enterprise, and duration of exposure to odors during the working day (two categories) were taken into account. The data are also presented in Figure 1b.



**Figure 1. Distribution of surveyed respondents by production facilities (a) and data on respondents (b)**

The survey involved 16 men (60%) and 11 women (40%), the majority of employees were people of mature age aged 35-65 years (74%). The majority of respondents (41%) have been working at the enterprise for more than 20 years (82% of men and 18% of women) and stay at the workplace for a long time – from 5 to 8 hours.

The questionnaire included two blocks of questions: about the consequences of the impact of smell on the well-being of respondents (assessment of physical condition and health indicators) and their performance (assessment of productivity and attention). The list of questions in the questionnaire is presented in Table 1.

**Table 1. List of questions in the questionnaire**

Question	Answer options
1. How bad odors affect your productivity:	1. Does not affect 2. Partially reduces 3. Completely reduces
2. How bad odors affect your concentration?	1. Does not affect 2. Partially responsive to attention (difficulty concentrating) 3. Completely reduce attention (impossible to concentrate) 4. Other (specify)
3. Do you have any chronic or respiratory diseases at the time of the survey? (if yes, choose disease)	1. No 2. Allergic bronchitis 3. Allergic rhinitis 4. ORVI 5. Asthma 6. Other (specify)
4. How often (during the year) did you visit the doctor in connection with an exacerbation of a chronic disease?	1. Never 2. Once 3. Twice 4. Repeatedly
5. What sensations do bad odors make you feel?	1. No sensations 2. Nausea 3. Dizziness 4. Sore throat 5. Cough 6. Headache 7. Abdominal pain 8. Burning eyes and tearing 9. Increased heart rate 10. Clouding of consciousness 11. Other (specify)
6. During the past year, how often have you consulted a doctor due to the consequences of exposure to unpleasant odors:	1. Never 2. Once 3. Twice 4. Repeatedly
7. How often have you been absent from work (used sick leave) in the last year due to the consequences of exposure to unpleasant odors:	1. Never 2. Once 3. Twice 4. Repeatedly
8. Do you consider it necessary to take measures to reduce odor in the workplace?	1. Necessarily 2. Possibly 3. No need

On Figure 2 the results of these enterprise employees' survey is presented.

All subjects were expressly asked about the advisability of carrying out special measures to reduce the intensity of the smell.

From the answers to the first set of questions, it can be seen that working capacity is partially or completely reduced in 66% of respondents: 44% of men of mature age believe that working capacity is reduced partially, 36% of young women (under the age of 35) believe that working capacity is reduced completely, while the smell does not affect the working capacity of women of mature age (64%).

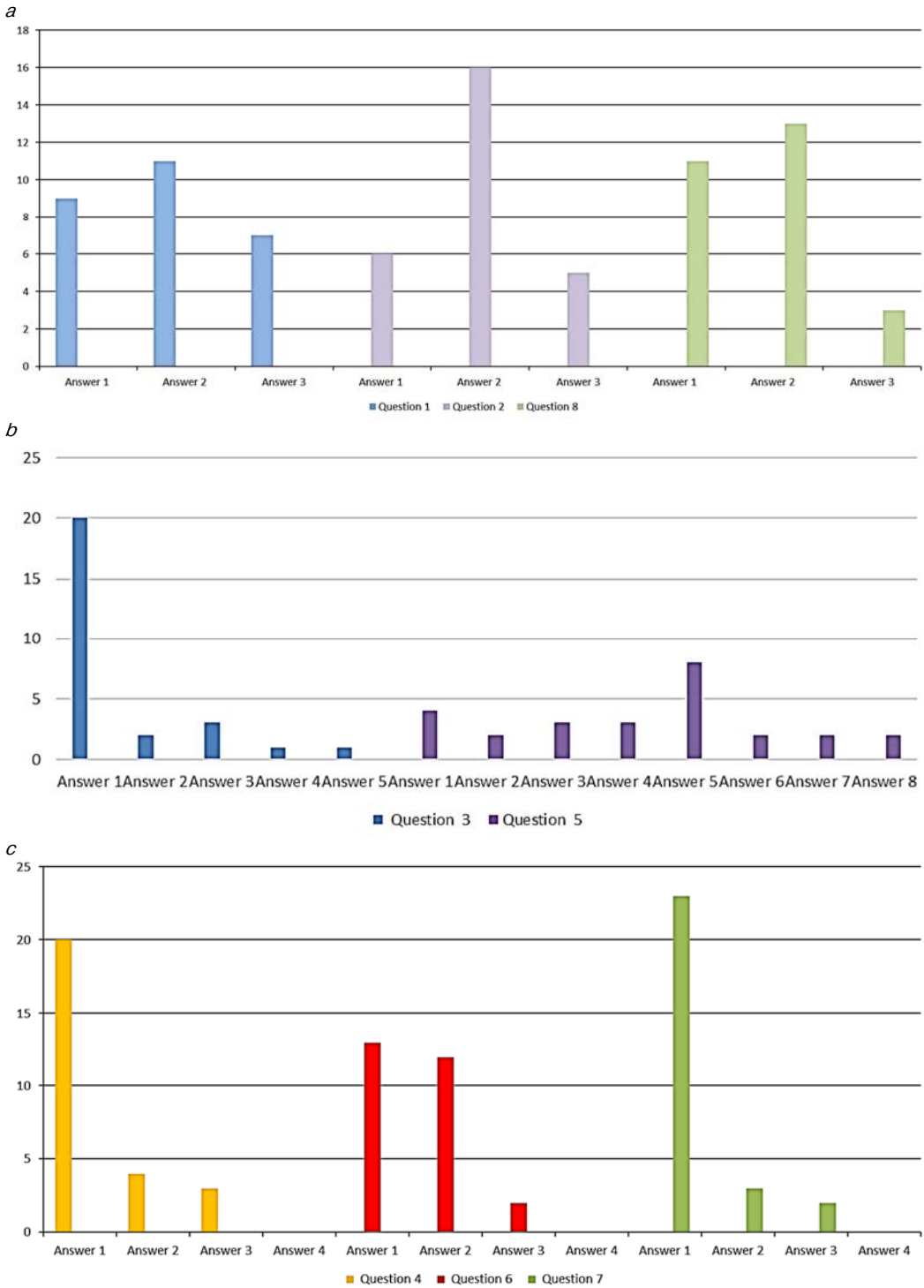


Figure 2. Results of a survey of employees of manufacturing enterprises

Odors reduce attention concentration in 77% of respondents: 50% of men believe that attention concentration is reduced partially, 27% of young women believe that attention is completely reduced, and only one woman (under 35 years of age) notes a partial decrease in attention concentration.

The study found that 75% of respondents at the time of the study did not have chronic respiratory diseases (allergic bronchitis, allergic rhinitis, asthma), and 25% of respondents suffered from allergic rhinitis. At the time of the study, none of the respondents had acute symptoms of acute respiratory viral infections (fever, cough).

According to the results of the survey, it was found that 85% of all respondents noted the appearance of some somatic symptoms: cough, nausea, dizziness, burning eyes and lacrimation, sore throat, headache. The main symptom in 30% of the total number of respondents was a cough, the rest of the discomfort accounts for about 10%.

Cough appeared in 31% of men and 37% of women suffering from allergic diseases. Sore throat was experienced by 12.4% of respondents, of which 67% of men and 33% of women who do not have chronic diseases.

Dizziness was experienced by 9.92% of them, 33% of men and 67% of women who did not suffer from diseases, headache appeared in 7.44% of respondents, of which 50% of men and 50% of women did not have chronic diseases.

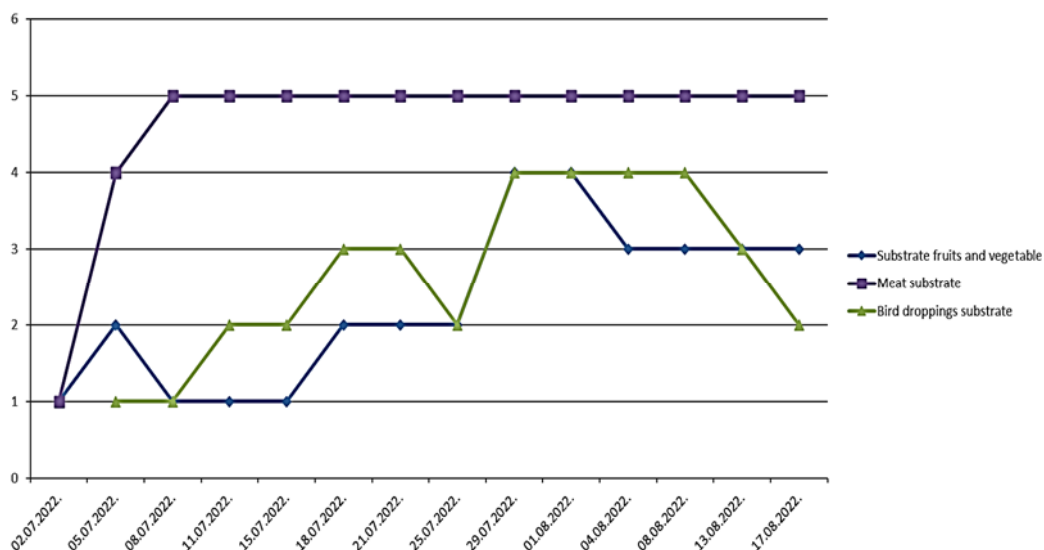
Abdominal pain and nausea began to be experienced by 8.26% of female respondents; men did not experience these symptoms. All women did not suffer from chronic diseases.

Burning in the eyes and watery eyes were experienced by 7.44% of the respondents, of which 30% were men and 70% were women. Of these, 80% of men suffered from allergic rhinitis, and 20% did not have chronic diseases of the upper respiratory tract. At the same time, 75% of women experiencing lacrimation had chronic diseases, and 25% did not.

None of the respondents went to the doctor after the onset of unpleasant symptoms, the discomfort from the unpleasant odor was not critical for them and did not require medical attention. But 24 out of 27 people (89%) consider odor reduction measures to be mandatory or possible.

## ***2. Peer review method***

The odor intensity was assessed by expert volunteers on a 5-point odor intensity scale – by analogy and in accordance with the method for determining the odor intensity of water (GOST 3351-74): 0 points – no smell; 1 point – the smell is very weak, indefinite; 2 points – the smell is weak, but definite; 3 points – the smell is moderate; 4 points – the smell is strong; 5 points – the smell is very strong. The degree of odorization was considered sufficient when at least three testers gave an intensity rating of at least three points. The experiment was carried out in the laboratory of the Serbian Oil Industry Company (NIS), Lubricants Production and Logistics Plant (Republic of Serbia). The results of the study are presented in Figure 3.



**Figure 3. Results of determining the odor intensity of food waste fractions and bird droppings**

For seven weeks, every three days, experts (3 people) measured the odor intensity of the meat substrate, the fruit and vegetable substrate, and the bird droppings substrate. According to experts, the meat substrate has the most unpleasant and persistent odor, as shown in the graph. Experts noted the appearance of negative symptoms – dizziness and nausea. The substrate from fruits and vegetables, according to experts, has a pronounced moderately sweet, but unpleasant odor that caused coughing from the 20th day of the experiment. The smell of bird droppings substrate caused burning in the eyes and watery eyes of the experts, starting from the 6th day, which is associated with the release of large concentrations of ammonia. On the 33rd day of the experiment, a pronounced decrease in the intensity of the odor of the bird droppings substrate was found.

Thus, the results of the study show that the smell of food waste fractions and bird droppings causes some psychosomatic symptoms and negatively affects the functional state of the human body.

### ***3. Study of vital signs***

The purpose of this experimental study was to determine the impact on the main vital signs of a person (temperature **T**, heart rate **HR**, blood pressure **BP**, saturation level **SL**) of odorants formed during the decomposition of MSW components. The studies (measurements of vital signs) were carried out in two stages with the involvement of volunteers.

At the first stage, vital indicators were measured in workers at the MSW sorting enterprise, where 9 people took part in the experiment. In this study, the complex impact of MSW was determined, without division into fractions.

At the second stage, the study of indicators was carried out in a laboratory, where 20 people participated in the experiment, while determining the impact on vital signs of the smell of decomposition of meat components of MSW.

The work was carried out in accordance with the Declaration of Helsinki on the ethical principles of medical research [17] and in compliance with the principle of confidentiality of the information received, ensuring the right of a person to refuse to participate in the work, informing about the use of the information received. Before starting work, each volunteer signed an informed consent to participate in the work. All volunteers received an explanation regarding the work schedule.

The temperature of the subjects was measured remotely using a non-contact infrared thermometer, pulse and blood oxygen concentration were measured using the Armed YX200 portable pulse oximeter, and blood pressure was measured using an Omron M2 Basic tonometer.

At the enterprise of MSW sorting, the authors measured the vital signs of workers before and after the shift (Table 2). A total of 9 people were examined – 5 women aged 22 to 61 years, and 4 men aged 38 to 46 years. One of the women had abnormal blood pressure before the start of the experiment (150/100). Changes in the main vital signs (temperature, pulse, blood pressure) are presented in Table 2.

Table 2. Vital indicators of employees

№	Sex	Age	T		HR		BP	
			Before work	After work	Before work	After work	Before work	After work
1	W	28	36.9	36.8	68	65	120/80	100/70
2	W	22	36.7	36.8	70	68	120/80	100/60
3	W	48	36.4	36.5	71	70	120/80	120/80
4	W	50	36.7	36.9	78	79	150/100	170/110
5	W	61	35.0	34.5	74	72	130/80	120/80
Average value			36.34	36.30	72.2	70.8	122.5/80	110.0/72.5
6	M	38	36.5	36.2	73	74	100/60	100/80
7	M	46	36.5	36.2	74	76	140/90	120/80
8	M	40	36.5	36.5	75	74	120/80	100/60
9	M	44	36.2	36.4	76	78	150/90	140/80
Average value			36.32	36.42	74.5	75.5	127.5/80	115.0/75

Before the start of the shift, the temperature indicators of all employees, regardless of age and gender, corresponded to the norm. After the end of the work shift (8 hours of work), the temperature in women decreased by an average of 0.04 °C, which is below the measurement error limits. In men, the temperature increased by 0.1 °C, which is also within the measurement error of the thermometer.

It should be noted that the thermoregulation of the human body depends, first of all, on the establishment of a balance between heat production and heat loss and is associated with the functioning of thermosensitive nerve cells of the hypothalamus. Therefore, the temperature of the subjects, as a vital indicator, cannot be used as a reliable criterion for assessing the impact of odor on the state of the human body, which was proved by the studies.

The development of a state of non-adaptive stress may be associated with the negative effect of odor, which, in turn, can cause changes in vital signs, and, with prolonged exposure, cause various diseases [18; 19]. Toxic effects on the body can be one of the reasons for the change in the normal functioning of the heart and heart rate (HR), moreover, cause both bradycardia and tachycardia. In any case, it is necessary to fix the initial deviations from the state of the norm for a particular person.

Before the start of the work shift, all subjects had heart rate values within the age norm. After a work shift, 80% of women experienced a decrease in heart rate by 2–3 beats / min, which averages 1.4 beats / min. Unlike women, in 75% of men, the pulse increased by 1–2 beats / min, which averages 1.0 beats / min. However, such low deviations in a small number of subjects require further testing.

Some scientific studies note that the frequency and intensity of unpleasant odors are strongly associated with the growth of diseases of the endocrine system<sup>2</sup>, which in turn can lead to changes in blood pressure.

As can be seen from Table 2, blood pressure (BP) studies revealed small changes in BP in both women and men with long-term (8-hour) exposure to an unpleasant odor. The numerical values of blood pressure in all subjects are significantly reduced: in women, systolic blood pressure  $\Delta av.$  = –12.5 units, diastolic blood pressure  $\Delta av.$  = –7.5 units; in men – systolic blood pressure  $\Delta av.$  = –12 units, diastolic blood pressure  $\Delta av.$  = –5 units. The exception is the blood pressure indicators in one woman with signs of arterial hypertension and an initial deviation of blood pressure from the norm (150/100), in which the indicator increased even more after the work shift (170/110). These data were excluded from the calculation of averages.

In a few experimental studies of the effect of odor on the state of the human body, volunteers, as a rule, are exposed to a single odorant with an unpleasant odor (the smell of hydrogen sulfide, mercaptan, pyridine, butyric or valeric acids, etc.), but under real conditions, odors are complex multicomponent mixtures [10].

In this laboratory study, the goal was to study the impact on the main vital signs (temperature T, heart rate HR, blood pressure BP, saturation level SL) of volatile products that have the most unpleasant odor, namely, the smell of decomposition of the meat substrate, on the 18th day (second stage decomposition) when the smell is most intense (see Figure 3).

In this case, volatile products (odorants) are decomposition products of amino acids and fats. It is this group of odorants that contains the most unpleasant-smelling products of decarboxylation, oxidative, reductive and hydrolytic deamination – volatile amines or diamines, as well as other foul-smelling VOCs – indole, skatol (tryptophan decomposition products), phenol, cresol (tyrosine decomposition

---

<sup>2</sup> WMA Declaration of Helsinki with amendments and additions made from 1964 to 2008 “Ethical problems of the principles of conducting medical research with part of people as subjects.” Adopted at the 18th General Assembly of the World Medical Association. Helsinki; 1964. <https://www.psychepravo.ru/law/int/helsinkskaya-deklaraciya.htm> (accessed: 07.12.2022).

products), mercaptans (decomposition products of cysteine and methionine) [16]. The degradation products of lipids are various fatty acids, which also have an unpleasant odor.

In experimental studies of odors, olfactometers are usually used, which provide a very short exposure during one breath – during 5-10 seconds [10]. In this experiment, examinations of 20 volunteers aged 19 to 23 years (16 women, 4 men) were performed, who were in the zone of odor exposure (at a distance of 1.5 m from the source in a closed room) for 1 minute.

As can be seen from Table. 3, studies of blood pressure (BP) did not reveal significant deviations during short-term exposure to an unpleasant odor: in women – systolic blood pressure  $\Delta av.$  = +0.6 units; diastolic blood pressure  $\Delta av.$  = -1.4 units; in men – systolic blood pressure  $\Delta av.$  = +4.3 units; diastolic blood pressure  $\Delta av.$  = +0.3 units. This is consistent with the results of other researchers, for example [15].

When examining volunteers, the heart rate (HR) indicator changed most significantly in women – it increased by an average of 4 beats/min, in men this indicator remained practically unchanged,  $\Delta av.$  = -0.5 beats/min (see Table 3).

The most indicative are the results of measuring the level of saturation in the subjects, since it is this indicator that is associated, first of all, with the direct participation of the respiratory organs. As can be seen from Table. 3, saturation in men and women significantly decreases: in women  $\Delta av.$  = -2.1 units, in men  $\Delta av.$  = -1.5 units, although none of the subjects revealed indicators exceed the norm for a healthy person (95–100%).

Table 3. Vital signs of volunteers

№	Sex	Age	T		HR		BP		SL	
			before	after	before	after	before	after	before	after
1	W	22	36.7	36.5	62	78	97/58	96/60	100	97
2	W	22	36.6	36.6	91	70	89/54	92/50	100	98
3	W	20	36	36	66	82	116/72	115/65	99	97
4	W	20	36.1	36.1	80	95	108/80	104/64	100	99
5	W	20	36.4	36.7	89	84	81/63	90/55	99	97
6	W	22	35.8	35.7	84	92	95/67	119/89	100	98
7	W	20	35.9	35.8	95	104	112/70	103/74	99	97
8	W	20	36.7	36.7	59	64	109/63	106/64	100	99
9	W	20	36.7	36.5	84	95	108/62	112/70	100	97
10	W	21	35.8	35.8	80	78	91/63	76/46	99	96
11	W	21	35.7	35.8	87	80	118/82	105/88	99	98
12	W	19	35.5	36	81	80	104/62	105/67	100	97
13	W	20	35.9	36	73	76	92/55	86/60	99	97
14	W	20	35.5	35.8	72	81	111/65	110/71	100	98
15	W	18	35.7	35.7	93	100	100/56	100/64	98	97
16	W	18	36	35.7	72	74	92/60	94/67	100	97
Average value, women			36.06	36.09	79.3	83.3	101.4/64.5	100.8/65.9	99.5	97.4
17	M	23	36.4	36.2	70	72	109/64	115/68	98	96
18	M	21	35.5	36.1	67	58	107/64	96/58	100	99
19	M	20	35.9	35.8	80	84	112/52	114/56	99	98
20	M	23	35.7	35.7	113	114	133/76	119/75	99	97
Average value, men			35.88	35.95	82.5	82.00	115.3/64	111.0/64.3	99.0	97.5



## Conclusion

Volatile organic compounds (VOCs) can have a variety of structures and have complex effects on humans. Some VOCs that are odorants can be toxic and have high MPC values. Hence, it becomes necessary to control the process of VOCs release into the environment.

During the study, it was shown that an unpleasant odor interferes with the majority of respondents working at agribusiness enterprises or at enterprises in the field of waste management during work – it reduces efficiency, concentration and productivity. Almost 90% of respondents believe that it is necessary to eliminate unpleasant odors in the workplace, but do not consider it necessary to consult a doctor, that is, they do not attach much importance to the negative effects of odor, although an unpleasant odor leads to the manifestation of somatic disorders in them – coughing, dizziness, nausea, while respondents suffering from allergic diseases show symptoms more often (in 100% of cases).

As a result of the research, it was found that odorants formed during the decomposition of bioorganic waste components have a complex negative effect on some human vital signs. With prolonged exposure (8 hours), blood pressure changes most significantly in both men and women, while systolic blood pressure significantly decreases by an average of 12 units, diastolic – by 6.5 units. It should be noted that with prolonged exposure, the heart rate (HR) changes not so clearly and not so significantly – in 80% of women, a decrease in heart rate by an average of 1.4 beats / min is observed; unlike women, in 75% of men, the pulse increases by an average of 1.0 beats / min.

The study showed that body temperature cannot be used as a criterion for controlling the state of the body under the influence of unpleasant odors, since it primarily depends on the establishment of a balance between heat production and heat loss and is associated with the functioning of thermosensitive nerve cells and weakly depends on other external factors.

The study also found that even with a short-term exposure (within 1 minute) to the most unpleasant odor formed during the decomposition of the protein components of the waste (meat and poultry waste), heart rate and saturation levels change significantly. Significantly decrease in indicators of the level of saturation in both men and women: on average, in women – by 2.1 units, in men – by 1.5 units. Heart rate indicators significantly increase in women by an average of 4 bpm, in men, the heart rate does not change significantly.

## References

- [1] Yan Zhaoa. Wenjing Lub. Hongtao Wangb Volatile trace compounds released from municipal solid waste at the transfer stage: Evaluation of environmental impacts and odour pollution. *J. of Hazardous Materials*. 2015;300:695–701 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26292056/> (accessed: 01.10.2022).
- [2] Jing-Jing Fang, Na Yang, Dan-Yan Cen, Li-Ming Shao, Pin-Jing He. Odor compounds from different sources of landfill: Characterization and source identification. *Waste*

- Management* 2012;32(7):401–1410. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X12000736> (accessed: 11.11.2022).
- [3] Lu Wenjinga, Duan Zhenhanab, Li Donga, Luis Miguel, Caicedo Jimeneza, Liu Yanjuna, Guo Hanwena, Wang Hongtaoa. Characterization of odor emission on the working face of landfill and establishing of odorous compounds index. *Waste Management*. 2015;42:74–81. [https://www.researchgate.net/publication/277016134\\_Characterization\\_of\\_odor\\_emission\\_on\\_the\\_working\\_face\\_of\\_landfill\\_and\\_establishing\\_of\\_odorous\\_compounds\\_index](https://www.researchgate.net/publication/277016134_Characterization_of_odor_emission_on_the_working_face_of_landfill_and_establishing_of_odorous_compounds_index) (accessed: 13.11.2022).
- [4] Hobbs PJ, Webb J, Mottram TT, Grant B, Misselbrook T.H. Emissions of volatile organic compounds originating from UK livestock agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture – jsfa*. 2004;84(11):1414–1420. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1810> (accessed: 16.11.2022).
- [5] Goshin ME, Budarina OV, Ingel FI. The odours in the ambient air: analysis of the relationship with the state of health and quality of life in adults residing in the town with food industries. *Hygiene and Sanitation*. 2020;99(12):1339–1345. (In Russ.) <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-12-1339-1345> (accessed: 16.11.2022).
- [6] Goshin ME, Budarina OV, Demina NN. Analysis of the health status of the population living in conditions of air pollution with odorous substances (literature review). *Hygiene and Sanitation*. 2020;99(9):930–938. (In Russ.) <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-930-9> (accessed: 20.11.2022).
- [7] Xing-Zhi Yao, Ruo-Chan Ma, Hua-Jun Li, Chen Wang, Chi Zhang, et al. Assessment of the major odor contributors and health risks of volatile compounds in three disposal technologies for municipal solid waste. *Waste Management*. 2019;91:28–138. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X19303010> (accessed: 20.11.2022).
- [8] Ivanova SV, Skovronskaya SA, Goshin ME, Budarina OV, Kulikova AZ. The study of the odour impact on physiological, emotional, and cognitive aspects of human health under experimental conditions (literature review). *Hygiene and Sanitation*. 2020;99(12):1370–1375. (In Russ.) <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-12-1370-1375> (accessed: 20.11.2022).
- [9] Ingel FI, Budarina OV, Akhaltseva LV. Impact of odour with high annoyance potential on human feeling, activity, and mood in odorimetric studies. *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(6):560–567. (In Russ.) <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-6-560-567> (accessed: 20.11.2022).
- [10] Goshin M, Sabirova Z., Budarina O., Ingel F., Shipulina Z., Valceva E. Assessment of the public health status under the influence of odorous emission components of food and agro-industrial enterprises *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(12):1359–1365. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47386413> (accessed: 25.11.22).
- [11] Rotton J. Affective and cognitive consequences of malodorous pollution. *Basic Appl. Soc. Psychol.* 1983;4(2):171–91. [https://doi.org/10.1207/s15324834bas0402\\_5](https://doi.org/10.1207/s15324834bas0402_5) (accessed: 25.11.2022).
- [12] Ames RG, Stratton JW. Acute health effects from community exposure to N-propyl mercaptan from an ethoprop (Mocap)-treated potato field in Sis-kiyou County, California. *Arch. Environ. Health*. 1991;46(4):213–217. <https://doi.org/10.1080/00039896.1991.9937451> (accessed: 25.11.022).
- [13] Asmus CL, Bell PA. Effects of environmental odor and coping style on negative affect, anger, arousal, and escape. *J. Appl. Soc. Psychol.* 1999;29(2):245–60. <https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.1999.tb01384.x> (accessed: 07.12.2022).

- [14] Magomedov IM, Chirkova TV, Chirkova AI. Skvalene as an antihypoxant in animal and plants organisms. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. (In Russ.) 2016;5-1:90–92 (01/05/2023). URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=9189> (accessed: 07.12.2022).
- [15] Hoenen M, Wolf OT, Pause BM. The impact of stress on odor perception. *Perception*. 2017;46(3–4):366–76. <https://doi.org/10.1177/0301006616688707> (accessed: 11.12.2022).
- [16] Goshin ME, Budarina OV, Ingel FI. The odours in the ambient air: analysis of the relationship with the state of health and quality of life in adults residing in the town with food industries (In Russ.) <https://dx.doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-12-1339-1345> (accessed: 11.12.2022).

### **Bio notes:**

*Marianna D. Kharlamova* – PhD in Chemical Sciences, Associate Professor, Deputy Director of the Department of Environmental Safety and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1032-4186, e-library SPIN-код: 9176-2134. E-mail: [kharlamova-md@rudn.ru](mailto:kharlamova-md@rudn.ru)

*Mikhailo Adamovich* – Master of Ecology, postgraduate student, assistant of the Department of Ecological Safety and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. e-library SPIN-код: 3425-2184. E-mail: [adamovich-m@rudn.ru](mailto:adamovich-m@rudn.ru)

*Kseniya S. Romanovskaya* – Master of Ecology, postgraduate student, assistant of the Department of Ecological Safety and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. e-library SPIN-код: 8979-0165. E-mail: [1142220079@rudn.ru](mailto:1142220079@rudn.ru)

*Mikhail A. Spirin* – Master of Ecology, postgraduate student of the Department of Ecological Safety and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. e-library SPIN-код: 1433-7555. E-mail: [mrnyzdel@gmail.com](mailto:mrnyzdel@gmail.com)

*Lana R. Mustaeva* – bachelor student of the Department of Ecological Safety and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: [1032201807@rudn.ru](mailto:1032201807@rudn.ru)

*Nikolay Adamovich* – specialist of Serbian Oil Industry Company (Naftna industrija Srbije), Serbia, 12 Narodny Front str., Novi Sad. E-mail: [adamovich-m@rudn.ru](mailto:adamovich-m@rudn.ru)

### **Сведения об авторах:**

*Харламова Марианна Дмитриевна* – кандидат химических наук, доцент, заместитель директора департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-1032-4186, e-library SPIN-код: 9176-2134. E-mail: [kharlamova-md@rudn.ru](mailto:kharlamova-md@rudn.ru)

*Адамович Михайло* – магистр экологии, аспирант, ассистент департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. e-library SPIN-код: 3425-2184. E-mail: [adamovich-m@rudn.ru](mailto:adamovich-m@rudn.ru)

*Романовская Ксения Сергеевна* – магистр экологии, аспирант, ассистент департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. e-library SPIN-код: 8979-0165. E-mail: 1142220079@rudn.ru

*Спирин Михаил Александрович* – магистр экологии, аспирант департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. e-library SPIN-код: 1433-7555. E-mail: mrnyzdel@gmail.com

*Мустаева Лана Робертовна* – бакалавр департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: 1032201807@rudn.ru

*Адамович Николай* – специалист Сербской нефтепромышленной компании (НИС), Сербия, ул. Народного фронта, 12, Нови-Сад. E-mail: adamovich-m@rudn.ru

## НОВОСТИ

## NEWS

### **Экспертное мнение сотрудников института экологии: какие последствия могут быть вследствие сброса сточных вод, загрязненных тритием с АЭС «Фукусима-дайити» в океан**

Институт экологии РУДН им. Патриса Лумумбы осуществляет не только образовательную деятельность, научно-исследовательскую работу, но и занимает активную позицию в сфере экологического просвещения. Сотрудники института экологии являются экспертами и дают комментарии СМИ по актуальным вопросам экологии.

Так, в связи с решением Японии осуществить сброс сточных вод, загрязненных тритием с АЭС «Фукусима-дайити» в океан, доцент департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, кандидат экологических наук Владимир Евгеньевич Пинаев прокомментировал в СМИ ряд вопросов, связанных с экологической безопасностью.

Экспертное мнение в виде часто задаваемых вопросов СМИ и ответы-комментарии В.Е. Пинаева представлены ниже. Своевременное консультирование СМИ и профессиональная оценка ситуации является неотъемлемой частью экологического просвещения.



Фрагмент из интервью В.Е. Пинаева для телеканала RT

(Подробнее информация доступна на сайте RT:

URL: <https://russian.rt.com/search?q=Пинаев&type=&df=&dt=>)

## **Сброс сточных вод, загрязненных тритием с АЭС «Фукусима-дайити» – последствия для Мирового океана, воздействие на ближайших соседей – возможное влияние на Россию и Китай.**

### ***– С точки зрения России, как Россия ответит на сбросы Японии?***

– Рассуждать о возможных ответах России на сбросы Японией сточных вод, загрязненных тритием с АЭС, могут главы государств. Заметим, что Роспотребнадзор 7 июля 2023 г. усилил радиационный контроль за продукцией, импортируемой из Японии<sup>1</sup>. Ситуация находится на особом контроле Роспотребнадзора.

Мы же как ученые можем рассмотреть сложившуюся ситуацию с АЭС «Фукусима-дайити» с точки зрения влияния на окружающую среду. Это тема актуальная и беспокоит не только жителей Китая и России, но и жителей всего мира.

Планы и сроки сброса воды с разрушенной АЭС «Фукусима-дайити» были озвучены в начале 2023 г. В СМИ периодически появляются предположения об уже реализующемся сбросе загрязненных вод с АЭС «Фукусима-дайити». Полагаем, подобные опасения и предположения возникают в силу того, что на международной арене могут приниматься решения, основанные в первую очередь на геополитических и экономических соображениях и без должных экологических обоснований.

В январе было заявлено, что уровень радиоактивности воды после обработки соответствует национальному стандарту. Однако национальные стандарты, как показывает практика, также могут иметь политические и экономические основания. Так, в России безопасной считается доза облучения 3 мЗв в год, а максимальной — 5 мЗв в год, тогда как в Японии ввели в качестве нормы 20 мЗв в год. Вероятно, данный стандарт принят для того, чтобы жители могли вернуться в дома, оставленные после аварии. Единственное – неясно, какие будут при этом отдаленные последствия.

Следует отметить, что «норма радиации» – относительное понятие. В 1950 г. скандинавский ученый Рольф Зиверт установил, что у облучения нет порогового уровня, при котором у человека гарантированно не будет наблюдаться заметных или незаметных повреждений. Любой уровень радиации способен вызывать изменения в живых организмах – соматические и генетические изменения, многие из которых имеют накопительный эффект. Радиоактивные отходы опасны для живых организмов в любом виде. Важна не только разовая, но и накопленная доза.

Впрочем, установление этих нормативов в Японии не противоречит и стандартам МАГАТЭ. Согласно документу «Радиационная защита и безопас-

---

<sup>1</sup> URL: [rosпотребнадзор.ru/about/info/news/news\\_details.php?ELEMENT\\_ID=25356](https://rosпотребнадзор.ru/about/info/news/news_details.php?ELEMENT_ID=25356)

ность источников излучения: международные основные нормы безопасности»<sup>2</sup>, установлены референтные дозы в зависимости от ситуации получения облучения. И доза 20–100 мЗв является референтной (допустимой) в ситуации установления референтных уровней для остаточной дозы после ядерной или радиационной аварии. Какой срок установлен для этой остаточной дозы — не уточняется. Вопрос отдаленных последствий также остается открытым.

По некоторым сообщениям, Япония намерена возобновить использование АЭС. И поскольку у страны нет лишних территорий, которые можно было бы закрыть на десятки лет и построить новую АЭС в другом месте — очевидно, восстанавливать будут именно «Фукусиму-дайити», в таком случае неизбежно, что от хранящейся там загрязненной воды будут избавляться. В соответствии с предложенной технологией планируется сброс воды, очищенной до фоновых значений содержания радионуклидов. Однако необходимо уточнить, что используемая технология очистки обеспечивает очистку до следовых значений от большинства видов радионуклидов, но не от всех — тритий (радиоактивный изотоп водорода) в ней остается. Япония не располагает технологией очистки воды от трития.

На сайте МАГАТЭ есть объёмный доклад о безопасности сброса сточных вод с АЭС «Фукусима-дайити» после очистки с применением технологии Advanced Liquid Processing System (ALPS) («усовершенствованная система водоочистки»). Разрешение было дано на основании того, что результаты применения выбранной технологии сочли приемлемыми. Подробнее полный отчет на английском и резюме на русском Сброс очищенной воды на АЭС «Фукусима-дайити» – Всеобъемлющий доклад | МАГАТЭ (iaea.org)

При этом «МАГАТЭ отмечает, что, когда начнутся операции по сбросу воды, многие уже проанализированные и оцененные целевой группой технические аспекты необходимо будет повторно выносить на рассмотрение МАГАТЭ в различные сроки для того, чтобы оценить, обеспечивается ли в процессе сброса очищенной с помощью системы ALPS воды соответствие применимым международным нормам безопасности». Таким образом, можно сделать вывод, что МАГАТЭ также понимает, что данное решение необходимо Японии, но оно не имеет прецедентов и разработанная технология может быть не совершенна. Есть определенные риски.

Согласно докладу МАГАТЭ, сброс будет проводиться на расстоянии 1 км от берега через специальный трубопровод периодическими сбросами в течение 30 лет. Дополнительное воздействие радиации от высвобождения хранящейся воды на жителей при этом будет крайне мало, сопоставимо с естественными уровнями. Попадание воды, очищенной от всех радионуклидов, кроме трития, в окружающую среду также незначительно, не превышает естественного (так называемого «космического») их образования в атмосфере. Воздействие радиации на живые организмы в районе сброса (камбала,

<sup>2</sup> Microsoft Word – 11-39184R\_GSR\_Part3\_Interim\_Body.doc (ilo.org)

краб, бурые водоросли) также незначительно. Исходя из этого делается вывод о безопасности сброса.

Однако основной проблемой остается тритий. Известно, что излучение при распаде трития не приносит особых проблем человеку, так как энергии бета-частиц, образующихся при распаде трития, недостаточно для преодоления слоев кожи. Поэтому основную опасность представляет поступление трития внутрь организма. В течение короткого времени после поступления в организм с воздухом, водой, пищей тритий равномерно распределяется в водной фазе организма. Он активно включается в состав биологической ткани в различных водородных соединениях и вызывает мутагенные нарушения как из-за бета-излучения, так и за счет нарушения молекулярных связей, вызванных заменой изотопа водорода гелием, образующимся в результате распада трития. После поступления в организм тритий постепенно выводится, но до 10% сохраняется в организме.

Впрочем, вопрос влияния трития на организм человека до конца еще не изучен. Этим объясняется и тот факт, что нормативы содержания трития в разных соединениях и разных объектах существуют далеко не во всех странах, а там, где они есть, – различаются на порядки. Так, норматив содержания оксида трития в питьевой воде составляет в разных странах от 100 до 7600 Бк/л. Следует отметить, что фоновое, естественное содержание трития в воде – лишь 0,12 Бк/л. Техногенный тритий, выброшенный в окружающую среду из-за ядерных испытаний и утечек с атомных станций, повысил этот уровень на разных территориях и объектах до 100 раз (отмечались временные пики содержания и до 120 Бк/л)

Как изложено в докладе МАГАТЭ, в сбрасываемой воде содержание трития не будет превышать 1500 Бк/л (вдвое больше самого «мягкого» норматива для питьевой воды). Конечно, сброшенные объемы воды будут перемешиваться с водами океана, при этом, согласно результатам моделирования рассеяния, превышение фоновых концентраций в воде будет сохраняться в радиусе до трех километров. И тут следует понимать, что в живые организмы, в том числе промысловые, если они будут находиться сколько-нибудь продолжительное время в этих условиях, будет поступать тритий из воды и накапливаться вплоть до аналогичных концентраций. Этот аспект в докладе МАГАТЭ не освещен.

Таким образом, можно заключить, что сброс воды с АЭС в океан все же окажет влияние на местные экосистемы через поступление трития в биологические ткани живых организмов и их последующую мутацию из-за его распада, а также появляется риск поступления на рынки продуктов питания, загрязненных тритием. Последний факт, пожалуй, вызывает наибольшую озабоченность.

Для более точного понимания ситуации и последствий необходимы данные о поведении, ареале обитания и миграции промысловых рыб в районе сброса.



Можно предположить реакцию стран на решение о сбросе загрязненных вод в виде запрета покупки рыбы и морепродуктов из данных районов или строгого контроля содержания в них трития. Такую реакцию мы уже видим в действиях Роспотребнадзора.

Кроме того, тритий в составе воды включается в круговорот воды, то есть может быть перенесен на значительные расстояния и выпадать с дождем на других территориях. Проводились ли оценки и моделирование этих процессов – не ясно.

***– С точки зрения российско-китайского сотрудничества, как вы считаете, на каких областях мы можем усилить сотрудничество?***

– С учетом того, что сброс запланирован в течение 30 лет, а период полураспада трития составляет 12 лет, следует ожидать постепенного увеличения уровня радиации и содержания трития в месте сброса и по мере распространения радиоактивных вод в те регионы, куда они распространятся. Каким образом это скажется на водных биоресурсах и потребителях этих ресурсов, сейчас нельзя сказать в определенно.

Страны региона, в том числе Россия и Китай, могут и должны осуществлять независимый мониторинг воздействия на окружающую среду в регионе в режиме реального времени с открытым доступом к полученным результатам наблюдений.

На данный момент, с учетом одобрения проекта МАГАТЭ, странам важно усилить контроль за вылавливаемыми в регионе водными биологическими ресурсами и усилить радиационный контроль за всеми видами товаров, поступающих с территории Японии.

Также нужно проводить исследования влияния трития при поступлении в различных количествах на живые организмы и популяции с течением времени, эти вопросы не изучены в достаточной мере.

Если говорить более широко о сотрудничестве в части оценки воздействия на окружающую среду, – это и подготовка специалистов-экологов, например на базе Института экологии РУДН, Образовательные программы Российского университета дружбы народов (rudn.ru), а также разработка и совершенствование технологий обезвреживания ядерных отходов, в частности базе Объединенного института ядерных исследований в Дубне Объединенный институт ядерных исследований | Наука сближает народы (jinr.ru).

***– С точки зрения международного сообщества, недавно генеральный директор Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) Рафаэль Гросси посетил в Японии, как вы думаете, на чем был сосредоточен этот визит и достиг ли он желаемых результатов?***

– Приезд директора Международного агентства по атомной энергии Рафаэля Гросси, как высшего должностного лица организации, может свидетельствовать о глубокой обеспокоенности МАГАТЭ данным проектом.

Радиоактивные отходы опасны для живых организмов в любом виде. Важно также понимать, что технология очистки должна неукоснительно выполняться (что не гарантировано на таком продолжительном промежутке времени из-за износа оборудования и случайных факторов).

В настоящее время надзор за работами и технологиями осуществляется представителями МАГАТЭ. Это специализированная международная организация, куда входят представители различных стран. В настоящее время оснований не доверять мнению МАГАТЭ нет. Однако, как признал Рафаэль Гросси, среди экспертов МАГАТЭ не было единства мнений по вопросу безопасности проекта.

Надо также отметить, что среди рисков проекта в докладе особо отмечены репутационные риски (что подтверждает важность экономических и геополитических аспектов при принятии решений). Целью визита является, скорее всего, не столько заявленная инспекция перед началом сброса загрязненной воды в океан, сколько попытка успокоить мировую общественность и снизить репутационные риски. Это выглядит тем более реальным, если учесть, что глава МАГАТЭ не имеет профильного образования – он политолог и дипломат. В какой мере эта цель достигнута, нам сложно судить.

Ссылки на комментарии экспертов института экологии РУДН им. Патриса Лумумбы в СМИ:

1. Глава МАГАТЭ признал беспокойство экспертов о плане Японии по сбросу воды с АЭС // Новости мира // Известия. 07.07.2023. URL: <https://iz.ru/1540748/2023-07-07/glava-magate-priznal-bespokoistvo-ekspertov-o-plane-iaponii-po-sbrosu-vody-s-aes>

2. КНР запретила ввоз продуктов из Японии в ответ на сброс воды с «Фукусимы». URL: <https://regnum.ru/news/3818074>

3. Экологи объяснили, чем опасен сброс радиоактивной воды с «Фукусимы» в океан. URL: <https://regnum.ru/news/3817732>

4. Эколог сочла логичным запрет КНР на импорт из Японии после сброса воды с АЭС // Новости мира // Известия. 07.07.2023 / комментирует к. физ.-мат. н., доц. Ледащева Т.Н. URL: <https://iz.ru/1541043/2023-07-07/ekolog-sochla-logichnym-zapret-knr-na-import-iz-iaponii-posle-sbrosa-vody-s-aes>