



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

**2024 Том 32 № 1**

**DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-1**  
**<http://journals.rudn.ru/ecology>**

**Научный журнал**  
**Издается с 1993 г.**

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

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

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

**Главный редактор**

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

**Заместители главного редактора**

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

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

**Ответственный секретарь редколлегии**

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

**Члены редакционной коллегии**

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

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

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

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

*Джан Шуньинь*, доктор наук, профессор Шаньдунского университета, Цзинань, Китай

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

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

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

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

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

*Широкова Вера Александровна*, доктор географических наук, профессор, заведующая отделом истории наук о Земле Института истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова, Российская академия наук, Москва, 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 РИИЦ, 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 К.Л. Уланова**  
**Компьютерная верстка Н.А. Ясько**

### Адрес редакции:

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

### Адрес редакционной коллегии журнала:

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

---

Подписано в печать 19.03.2024. Выход в свет 29.03.2024. Формат 70×108/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times New Roman».  
Тираж 500 экз. Заказ № 10. Цена свободная.

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

Отпечатано в типографии ИПК РУДН  
Российская Федерация, 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3  
Тел. +7 (495) 955-08-74; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)



# RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

2024 VOLUME 32 No. 1

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-1

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

Founded in 1993

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

## Editor-in-Chief

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

## Deputy Editors-in-Chief

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

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

## Executive Secretary

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

## Editorial Board

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

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

*Nailya G. Valeeva*, Cand. of Pedagogical Sciences, Docent, 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

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

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

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

*Anatoly V. Skalny*, Dr. of Science Medicine, Professor, Head of the Department of Medical Elementology, Institute of Medicine, RUDN University, Moscow, Russia

*Aleksandr P. Khaustov*, Dr. of Science in Geology, Professor, Leading Specialist at 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

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

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

**Frequency:** Quarterly

**Publication languages:** Russian, English

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

**Aims and Scope**

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

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

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

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

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

**Copy Editor** *I.L. Pankratova*  
**English text editor** *K.L. Ulanova*  
**Layout Designer** *N.A. Yasko*

**Address of the editorial office:**

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

**Address of the editorial board of the journal:**

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

---

Printing run 500 copies. Open price.

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

Printed at RUDN Publishing House  
3 Ordzhonikidze St, Moscow, 115419, Russian Federation  
Tel.: +7 (495) 955-08-74; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

© RUDN University, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭКОЛОГИЯ

- Ахмедова Н.Р., Валл Е.В., Наумов В.А. Сравнение уровней воды реки Анграпы середины XX и начала XXI века ..... 7
- Гальченко С.В., Чердакова А.С. Экспериментальная оценка протекторных свойств гуминового препарата по отношению к культурным растениям в условиях солевого стресса ..... 16

### ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Бондаренко Н.Б., Кондакова Н.В., Старовойтов С.В., Бутко Д.А. Технология снижения газовых выбросов животноводческих ферм ..... 32
- Ватлин А.А., Фролова С.Г., Беккер О.Б., Даниilenко В.Н. Изучение механизма действия новых производных хиноксалин 1,4-диоксида на модельном объекте *Mycobacterium smegmatis* ..... 41

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

- Побилат А.Е., Киричук А.А., Баранова О.В. Особенности содержания тяжелых металлов в питьевой воде юга Средней Сибири ..... 51
- Дудник С.Н., Буковский М.Е., Семенова А.В. Оценка эффективности методики краткосрочного прогноза максимального уровня половодья в верхнем и среднем течении р. Цны ..... 61

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

- Миронова О.А., Леснов А.П., Кармазин А.П. Горизонты биотехнологии в животноводстве России ..... 77

## CONTENTS

### ECOLOGY

- Akhmedova N.R., Wall E.V., Naumov V.A.** Comparison of water levels of the Angrapa river in the middle of the 20th and early 21st century ..... 7
- Galchenko S.V., Cherdakova A.S.** Experimental evaluation of the protective properties of a humic preparation in relation to cultivated plants under salt stress ..... 16

### INDUSTRIAL ECOLOGY

- Bondarenko N.B., Kondakova N.V., Starovoitov S.V., Butko D.A.** Technology for reducing gas emissions from livestock farms ..... 32
- Watlin A.A., Frolova S.G., Becker O.B., Danilenko V.N.** Studying the mechanism of action of new derivatives of quinoxalin-1,4-dioxide on the model organism *Mycobacterium smegmatis* ..... 41

### ENVIRONMENTAL MONITORING

- Pobilat A.E., Kirichuk A.A., Baranova O.V.** Particular, the content of heavy metals in drinking water in the south of Central Siberia ..... 51
- Dudnik S.N., Bukovskiy M.E., Semenova A.V.** The efficiency assessment of short-term maximum flood level forecast methodology in the upper and middle course of the Tsna river ..... 61

### BIOLOGICAL RESOURCES

- Mironova O.A., Lesnov A.P., Karmazin A.P.** Horizons of biotechnology in Russia's animal husbandry ..... 77



## ЭКОЛОГИЯ

## ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-1-7-15

EDN: GKLJBE

УДК 556.53

Научная статья / Research article

### Сравнение уровней воды реки Анграпы середины XX и начала XXI века

Н.Р. Ахмедова  , Е.В. Валл , В.А. Наумов 

*Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия*  
 [isfendi@mail.ru](mailto:isfendi@mail.ru)

**Аннотация.** Представлены результаты сравнительного анализа характерных уровней воды в реке Анграпе (гидропост Берестово, Калининградская область) в середине XX и в начале XXI в. По рекам-аналогам восстановлен ряд средних годовых расходов р. Анграпы (гидропост Берестово). Установлено, что средние многолетние уровни р. Анграпы за рассматриваемый период уменьшились. В начале XX в. внутригодовое изменение уровней воды с весенним пиком половодья, летне-осенней меженью и подъемами во время дождевых паводков на р. Анграпе отмечалось менее чем в половине случаев. В XXI в. такое изменение встречается лишь в отдельные годы, в остальные годы наблюдается несколько подъемов уровня воды, начиная с декабря и по март-апрель. Наивысший уровень в р. Анграпе (гидропост Берестово) был зафиксирован во время дождевого паводка. Гидрологический режим водного объекта имеет значительное влияние на условия существования экосистем, уровенный режим реки существенно влияет на пойменную экосистему. Полученные данные могут быть использованы при разработке природоохранных мероприятий.

**Ключевые слова:** река Анграпа, гидропост Берестово, уровни воды

**Благодарности и финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 22-27-20016.

© Ахмедова Н.Р., Валл Е.В., Наумов В.А., 2024



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 05.09.2023; доработана после рецензирования 10.11.2023; принята к публикации 23.11.2023.

**Для цитирования:** Ахмедова Н.Р., Валл Е.В., Наумов В.А. Сравнение уровней воды реки Анграпы середины XX и начала XXI века // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 1. С. 7–15. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-7-15>

## Comparison of water levels of the Angrapa river in the middle of the 20th and early 21st century

Natalia R. Akhmedova<sup>ID</sup>✉, Evgeny V. Wall<sup>ID</sup>, Vladimir A. Naumov<sup>ID</sup>

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russian Federation  
✉isfendi@mail.ru

**Abstract.** The results of a comparative analysis of the characteristic water levels in the Angrapa River (Berestovo gauging station, Kaliningrad region) in the middle of the 20th and at the beginning of the 21st century are presented. A number of average annual discharges of the Angrapa river (Berestovo gauging station) have been restored for analogue rivers. It has been established that the average long-term levels of the Angrapa river have decreased over the period under review. At the beginning of the 20th century, intra-annual changes in water levels with a spring flood peak, summer-autumn low water and rises during rain floods on the Angrapa River were noted in less than half of the cases. In the 21st century, such a change occurs only in some years, in other years there are several rises in the water level, from December to March-April. The highest level in the Angrapa river (Berestovo gauging station) was recorded during a rain flood. The hydrological regime of a water body has a significant impact on the conditions for the existence of ecosystems, the level regime of a river significantly affects the floodplain ecosystem. The data obtained can be used in the development of environmental measures.

**Keywords:** Angrapa river, Berestovo gauging station, water levels

**Acknowledgements and Funding.** The work was supported financially by the Russian Science Foundation and the Government of the Kaliningrad Region within the framework of scientific project No. 22-27-20016.

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

**Article history:** received 05.09.2023; revised 10.11.2023.; accepted 23.11.2023.

**For citation:** Akhmedova NR, Wall EV, Naumov VA. Comparison of water levels of the Angrapa river in the middle of the 20th and early 21st century. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(1):7–15. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-7-15>

### Введение

Река Анграпа играет важную роль в водном хозяйстве Калининградской области, является приемником осушительных систем и сточных вод населенных пунктов, расположенных на ее берегах, а также используется в рекреационных целях.

Для реки характерны частые изменения направления течения, большая извилистость и крутые обрывистые берега. Бассейн реки Анграпы, как и других рек Калининградской области, находится в зоне избыточного увлажнения. Низменный рельеф территории, замедленные процессы стока поверхностных вод, обилие заболоченных территорий, значительное количество осадков при малых потерях на испарение создают благоприятные условия развития гидрографической сети. Речная сеть дополняется сетью осушительных каналов и канав.

Изучению различных характеристик реки Анграпы, в первую очередь ихтиоценоза, посвящено большое количество научных публикаций [1–14]. В результате исследований [2] в р. Анграпе было обнаружено 15 видов молоди рыб. Из рек Калининградской области большее количество наблюдается только в реках Шешупе и Неман. Видовое разнообразие макрорыводорослей р. Анграпы и других рек Калининградской области изучено в [3], эколого-фаунистическая характеристика моллюсков р. Анграпы исследована в [4; 5]. Различные аспекты состояния экосистем реки Анграпы рассмотрены в [6–8].

В перечисленных публикациях отмечается, что на состояние биоценоза реки Анграпы существенное влияние оказывают гидрологические характеристики, их исследованию посвящены работы [10–14]. Однако изменение характерных уровней реки Анграпы осталось малоисследованным.

**Цель исследования** – выполнить сравнение характерных уровней реки Анграпы в середине XX и в начале XXI в.

### Материалы и методы

Исходными данными послужили результаты наблюдений за уровнями воды в р. Анграпе (гидропост Берестово) за 1954–1966 гг. из гидрологических ежегодников и за 2008–2020 гг. из онлайн-массива Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов<sup>1</sup>. По данным из последнего источника составлена табл. 1.

Таблица 1. Характерные уровни воды реки Анграпы (гидропост Берестово) в 2008–2020 гг., см от нуля поста

Год	Средний уровень	Высший уровень		Низший уровень	
		Значение	Дата	Значение	Дата
2008	138	264	27.01	108	03.08
2009	136	226	19.03	112	28.08
2010	136	270	22.03	112	12.07
2011	153	378	06.02	116	20.11
2012	148	294	26.02	114	10.09
2013	150	276	15.04	112	08.08
2014	131	252	27.03	92	27.11
2015	105	200	04.04	75	06.10
2016	125	224	12.12	90	04.10
2017	166	306	03.11	104	16.08
2018	126	254	02.02	88	10.07
2019	114	218	14.02	84	02.09
2020	104	165	03.02	82	15.08

Источник: составлено авторами.

<sup>1</sup> Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 03.03.2023).

Гидрологический пост (ГП) на реке Анграпе в деревне Берестово (прежнее название Шлаппакен, 30 км от впадения в реку Преголю) был открыт в 1984 г. и действует до настоящего времени. Площадь водосборного бассейна до поста 2460 км<sup>2</sup>, отметка нуля поста  $H_0 = 23,85$  метров Балтийской системы (мБС). В гидрологических ежегодниках доступны данные за 1901–1913, 1918–1939, 1941–1943 гг. и с 1953 г. без пропусков. Отсутствуют результаты наблюдений за некоторые годы мировых войн и после них.

В гидрологических ежегодниках уровни воды в реках приводятся относительно условного нуля ГП, при обработке данных они были переведены в мБС:

$$H = 0,01 \cdot H_c + H_0, \quad (1)$$

где  $H_c$  – уровень воды, см от нуля ГП.

### Результаты и их обсуждение

Восстановленный по рекам-аналогам ряд средних годовых расходов из [14] представлен на рис. 1. Линейный тренд показывает совсем небольшое снижение средних значений расхода за 120 лет наблюдений, иное поведение линии параболического тренда. Эта линия имеет максимум в середине XX в. и снижается в начале XXI в., поэтому представляет интерес сравнение характерных уровней реки Анграпы за указанные периоды.

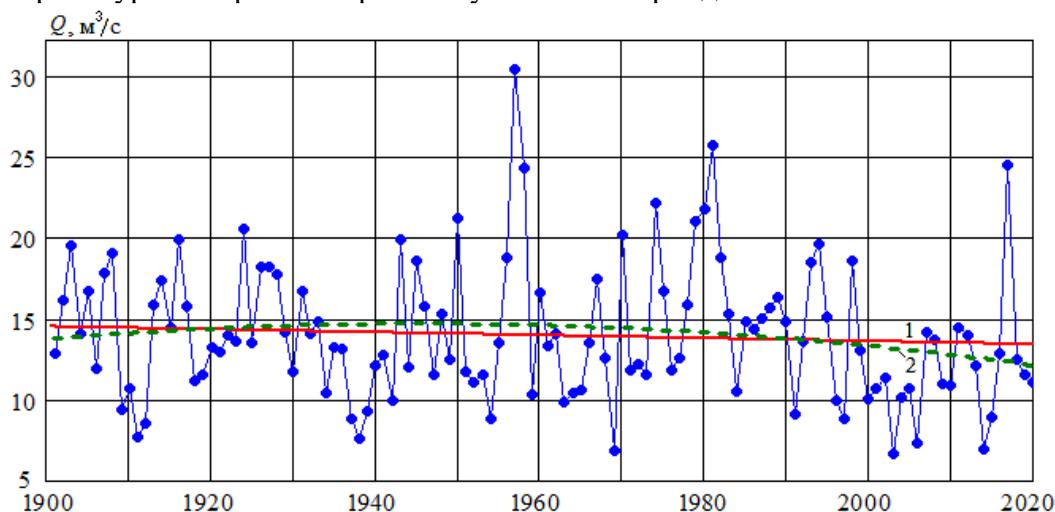


Рис. 1. Средние годовые расходы реки Анграпы (ГП Берестово) в 1900–2020 гг.: точки – результаты наблюдений; 1 – линейный тренд; 2 – параболический.  
Источник: составлено авторами.

В табл. 2 приведено сравнение характерных годовых уровней реки Анграпы середины XX и начала XXI в. Видно, что средние многолетние уровни уменьшились на 17 см, низшие – на 20 см, высшие – на 14 см. В целом такое уменьшение уровней соответствует снижению расходов воды, отмеченных на рис. 1.

Таблица 2. Сравнение характерных годовых уровней реки Анграпы, 1954–1966, 2008–2020, см от нуля поста

Характерные годовые уровни	Период					
	1954–1966			2008–2020		
	Наименьший	Средний	Наибольший	Наименьший	Средний	Наибольший
Низший	109	119	136	75	99.1	116
Средний	133	150	182	105	133	166
Высший	205	269	424	165	256	378

Источник: составлено авторами.

На рис. 2 и 3 приведены примеры ежедневных уровней воды реки Анграпы. Уже в начале XX в. внутригодовое изменение уровней воды с весенним пиком половодья, летне-осенней меженью и подъемами во время дождевых паводков (как в 1965 г. на рис. 2), отмечалось менее чем в половине случаев. В XXI в. такое изменение встречается лишь в отдельные годы, в остальные годы наблюдается несколько подъемов уровня воды, начиная с декабря и по март-апрель. Наивысший уровень 28,19 мБС был зафиксирован не в весеннее половодье, а во время дождевого паводка (19.08.1957), аналогичное явление наблюдалось 3 ноября 2017 г. (рис. 3).

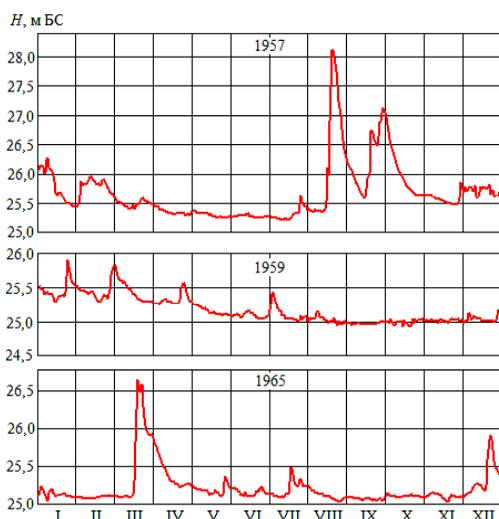


Рис. 2. Ежедневные уровни воды реки Анграпы (ГП Берестово), 1957–1965 гг.

Источник: составлено авторами.

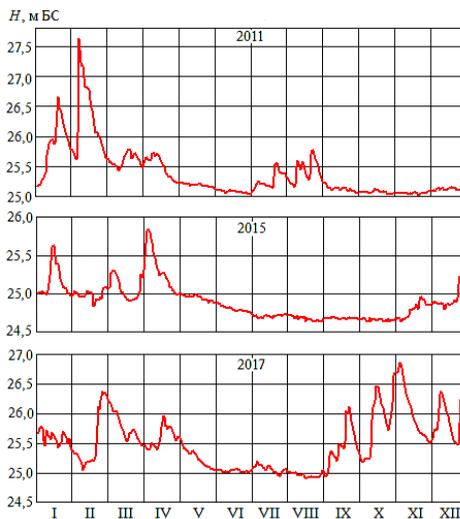


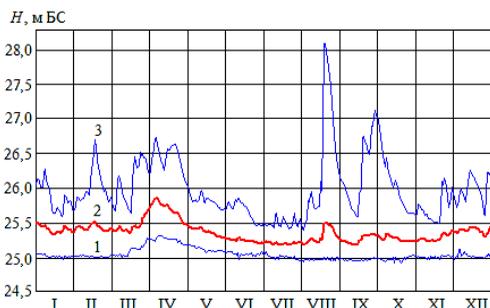
Рис. 3. Ежедневные уровни воды реки Анграпы (ГП Берестово), 2011–2017 гг.

Источник: составлено авторами.

На рис. 4 и 5 представлены результаты осреднения уровней воды в реке Анграпе по годам наблюдения:

$$Hs_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m H_{i,j}; Hm_i = \min_j (H_{i,j}); Ha_i = \max_j (H_{i,j}), \quad (2)$$

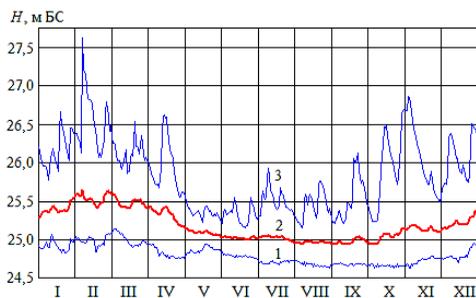
где  $m$  – количество лет;  $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $n$  – количество дней в году.



**Рис. 4. Характерные суточные уровни реки Анграпы (ГП Берестово) 1954–1966 гг.:**

1 – наименьшие  $H_m$ ; 2 – средние  $H_s$ ;  
3 – наибольшие  $H_a$

Источник: составлено авторами.

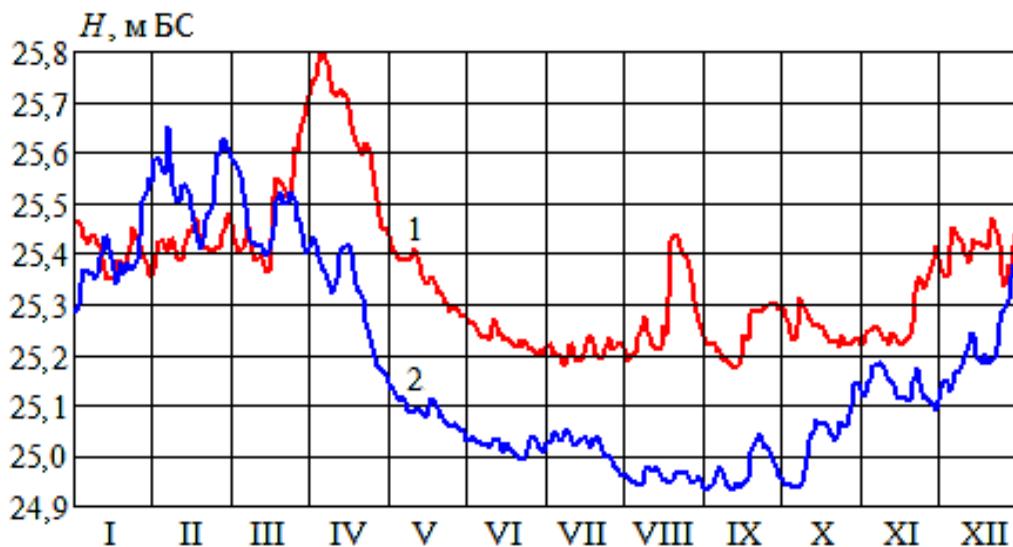


**Рис. 5. Характерные суточные уровни реки Анграпы (ГП Берестово) 2008–1920 гг.:**

1 – наименьшие  $H_m$ ; 2 – средние  $H_s$ ;  
3 – наибольшие  $H_a$

Источник: составлено авторами.

На рис. 6 представлено сравнение средних суточных уровней воды реки Анграпы за 13 лет середины XX в. (1954–1966) и начала XXI в. (2008–2020). Наибольшее снижение уровней (более 40 см) произошло в апреле, это связано со смещением весеннего половодья в XXI в. на более ранний период. Примерно на 20 см снизились уровни межени (июнь–сентябрь) по сравнению со значениями начала XX в. В холодное время года, особенно в январе–феврале, уровни XXI в. оказались даже выше, чем были в начале XX в. Причина в более частых зимних оттепелях, которые приводят к раннему таянию снега и дождевым осадкам. В отдельные годы лед на реке и снежный покров и вовсе отсутствовали.

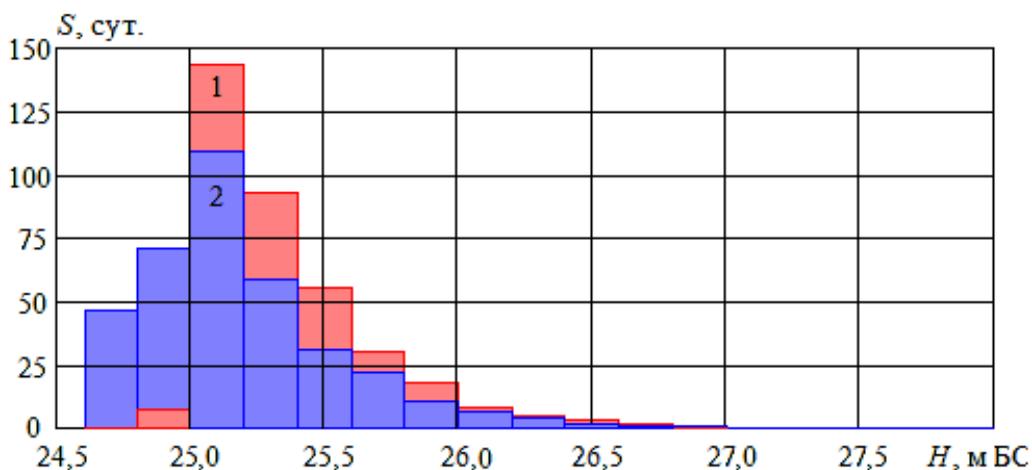


**Рис. 6. Сравнение средних суточных уровней воды реки Анграпы (ГП Берестово):**

1 – середины XX в.; 2 – начала XXI в.

Источник: составлено авторами.

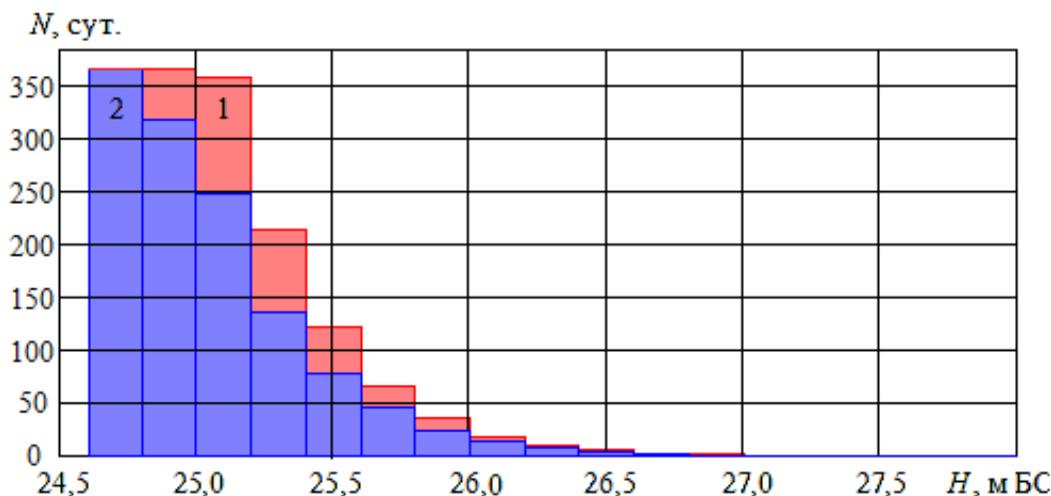
На рис. 7, 8 представлено сравнение средней за год частоты и продолжительности стояния уровней воды реки Анграпы за 13 лет середины XX в. и начала XXI в. В обоих случаях наибольшая частота уровней наблюдалась в диапазоне 25,0...25,2 мБС, но в начале XX в. таких дней в среднем в год было 143, а в XXI в. – только 111. В XX в. ежедневные уровни в диапазоне 24,8...25,0 отмечались только семь раз, а ниже их практически не наблюдались. Тогда как в начале XXI в. таких уровней было, соответственно, 70 и 46.



**Рис. 7. Средняя за год частота уровней реки Анграпы (ГП Берестово):**

1 – 1954–1966 гг.; 2 – 2008–2020 гг.

Источник: составлено авторами



**Рис. 8. Средняя за год продолжительность стояния уровней реки Анграпы (ГП Берестово):**

1 – 1954–1966 гг.; 2 – 2008–2020 гг.

Источник: составлено авторами

## Заключение

По полученным данным можно сделать вывод, что за 120 лет наблюдений отмечается небольшое снижение средних годовых значений расхода и уровней воды в реке Анграпе. Наибольшее снижение средних суточных уровней воды более чем на 40 см произошло в апреле, так как наблюдается смещение весеннего половодья в XXI в. на более ранний период. При этом наибольшая частота уровней за рассматриваемый период наблюдалась в диапазоне 25,0...25,2 мБС. Распределение стока, колебание уровней воды в реке влияют на ее температурный режим, экосистему пойменных участков и состояние биоценозов. Представленные в статье данные могут быть использованы при разработке природоохранных мероприятий.

## Список литературы

- [1] *Тылик К.В.* Рыбы трансграничных водоемов России и Литвы. Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2007. 128 с.
- [2] *Новожилов О.А.* Характеристика видовой структуры молоди рыб рек Калининградской области // *Известия КГТУ.* 2012. № 24. С. 69–76.
- [3] *Володина А.А., Герб М.А.* Видовое разнообразие макроводорослей рек бассейна Балтийского моря в Калининградской области // *Всероссийская научная конференция «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге»; Сентябрь 24–28, 2018; Санкт-Петербург. СПб.: Реноме, 2018. С. 98–102.*
- [4] *Гусев А.А., Гусева Д.О., Рудинская Л.В.* Предварительные итоги изучения зообентоса предустьевых участков некоторых рек Калининградской области // *Самарская лука: Проблемы региональной и глобальной экологии.* 2014. Т. 23. № 2. С. 61–71.
- [5] *Манаков Д.В.* Эколого-фаунистическая характеристика моллюсков (Mollusca) реки Анграпа // *Всероссийская научно-практическая конференция «Биоразнообразие и антропогенная трансформация природных экосистем»; Май 17–18, 2018; Балашов. Саратов: Саратовский источник, 2018. С. 106–111.*
- [6] *Семенова А.С.* Разработка региональной классификации для оценки качества воды водоемов и водотоков Калининградской области с использованием показателей зоопланктона // *Вода: химия и экология.* 2012. № 6 (48). С. 61–69.
- [7] *Валл Е.В., Ахмедова Н.Р.* Содержание тяжелых металлов в реках Калининградской области // *Известия КГТУ.* 2022. № 67. С. 11–20. <http://doi.org/10.46845/1997-3071-2022-67-11-20>
- [8] *Ткачев С.П.* Антропогенное воздействие сельского хозяйства на экологическое состояние водных объектов в периферийных районах Калининградской области // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки.* 2021. № 2. С. 62–72.
- [9] *Валл Е.В., Ахмедова Н.Р., Нелюбина Е.А.* Изучение состояния гидротехнических сооружений в бассейне реки Анграпы // *Вестник молодежной науки.* 2018. № 3 (15). С. 21.
- [10] *Валл Е.В., Ахмедова Н.Р.* Гранулометрический состав донных отложений локальных участков реки Анграпы // *Вестник науки и образования Северо-Запада России.* 2019. Т. 5, № 2. С. 20–27.
- [11] *Наумов В.А., Ахмедова Н.Р.* Инженерные изыскания в бассейне реки Преголи. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2017. 183 с.

- [12] *Кустикова А.А.* Результаты инженерно-гидрометеорологических изысканий в бассейне реки Анграпы: внутригодовое распределение стока // Вестник молодежной науки. 2020. № 2 (24). С. 16.
- [13] *Кустикова А.А.* Определение основных гидрологических характеристик при недостаточности данных наблюдений на примере реки Анграпы // Вестник молодежной науки. 2020. № 2 (24). С. 17.
- [14] *Наумов В.А., Нелюбина Е.А.* Межгодовая изменчивость элементов водного баланса бассейна трансграничной реки Анграпы // Природообустройство. 2022. № 3. С. 95–100. <http://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-3-95-100>

### **Сведения об авторах:**

*Ахмедова Наталья Равиловна* – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры техносферной безопасности и природообустройства, Калининградский государственный технический университет, Российская Федерация, 236022, г. Калининград, Советский проспект, д. 1. ORCID: 0000-0003-3483-3580. E-mail: [isfendi@mail.ru](mailto:isfendi@mail.ru)

*Валл Евгений Валерьевич* – преподаватель кафедры техносферной безопасности и природообустройства, Калининградский государственный технический университет, Российская Федерация, 236022, г. Калининград, Советский проспект, д. 1. ORCID: 0009-0008-3883-7128. E-mail: [wall\\_ewgen@mail.ru](mailto:wall_ewgen@mail.ru)

*Наумов Владимир Аркадьевич* – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры техносферной безопасности и природообустройства, Калининградский государственный технический университет, Российская Федерация, 236022, г. Калининград, Советский проспект, д. 1. ORCID: 0000-0003-0560-5933. E-mail: [van-old@mail.ru](mailto:van-old@mail.ru)

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-1-16-31

EDN: GSUJSG

УДК 502/504

Научная статья / Research article

## Экспериментальная оценка протекторных свойств гуминового препарата по отношению к культурным растениям в условиях солевого стресса

С.В. Гальченко<sup>id</sup>, А.С. Чердакова<sup>id</sup>✉

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,  
Рязань, Российская Федерация

✉cerdakova@yandex.ru

**Аннотация.** В связи с широким распространением проблемы засоления почв всю большую актуальность приобретает вопрос повышения солеустойчивости культурных растений. Весьма перспективны в данном аспекте гуминовые вещества и препараты на их основе. Целью исследования являлась оценка влияния гуминовых препаратов на сельскохозяйственные культуры и газонные злаки в условиях солевого стресса. В лабораторных условиях оценивались протекторные свойства гуминового препарата «Экорост» по отношению к технической сельскохозяйственной культуре *Brassica rapa* L. и газонным злакам при воздействии солевого стресса, индуцированного избыточными концентрациями хлорида натрия и антигололедного реагента. Выявлено, что гуминовый препарат «Экорост» проявляет протекторные свойства по отношению к указанным тест-культурам в условиях искусственно смоделированного солевого стресса, что выражается в заметной стимуляции их всхожести и ростовых процессов. Во всех проведенных экспериментах наиболее действенным был 0,1 % водный раствор препарата «Экорост», что позволяет рекомендовать его в указанной дозировке для повышения солеустойчивости редьки масличной (*Brassica rapa* L.) и газонных злаков.

**Ключевые слова:** гуминовые препараты, культурные растения, солевой стресс, солеустойчивость растений, противогололедные реагенты

**Вклад авторов.** С.В. Гальченко осуществлялась разработка концепции исследования, общее руководство и контроль за выполнением исследовательских работ, анализ и интерпретация полученных данных; А.С. Чердаковой проведены экспериментальные исследования и осуществлена камеральная обработка, анализ и интерпретация полученных

© Гальченко С.В., Чердакова А.С., 2024



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

данных с использованием отечественных и зарубежных научных литературных источников.

**История статьи:** поступила в редакцию 10.06.2023; доработана после рецензирования 12.11.2023; принята к публикации 15.11.2023.

**Для цитирования:** Гальченко С.В., Чердакова А.С. Экспериментальная оценка протекторных свойств гуминового препарата по отношению к культурным растениям в условиях солевого стресса // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 1. С. 16–31. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-16-31>

## Experimental evaluation of the protective properties of a humic preparation in relation to cultivated plants under salt stress

Svetlana V. Galchenko , Alina S. Cherdakova  

*Ryazan State University named for S. Yesenin, Ryazan, Russian Federation*

 [cerdakova@yandex.ru](mailto:cerdakova@yandex.ru)

**Abstract.** In connection with the widespread problem of soil salinity, the issue of increasing the salt tolerance of cultivated plants is becoming increasingly important. In this aspect, humic substances and preparations based on them are very promising. The aim of the study was to evaluate the effect of humic preparations on agricultural crops and lawn cereals under salt stress. Under laboratory conditions, the protective properties of the humic preparation «Ekorost» were evaluated in relation to the industrial crop *Brassica rapa* L. and to lawn grasses under the influence of salt stress induced by excessive concentrations of sodium chloride and anti-icing agent. It was revealed that the humic preparation «Ekorost» exhibits protective properties in relation to the indicated test cultures under conditions of artificially simulated salt stress, which is expressed in a noticeable stimulation of their germination and growth processes. In all the experiments, the most effective was a 0.1% aqueous solution of the drug «Ekorost», which allows us to recommend it in the indicated dosage to increase the salt tolerance of oil radish (*Brassica rapa* L.) and lawn cereals.

**Keywords:** humic preparations, cultivated plants, salt stress, salt tolerance of plants, anti-icing reagents

**Authors' contributions.** *S. Galchenko* the development of the research concept, general management and control over the implementation of research work, analysis and interpretation of the data obtained were carried out; *A. Cherdakova* experimental studies were carried out and desk processing, analysis and interpretation of the data obtained were carried out using domestic and foreign scientific literary sources.

**Article history:** received 10.06.2023; revised 12.11.2023; accepted 15.11.2023.

**For citation:** Galchenko SV, Cherdakova AS. Experimental evaluation of the protective properties of a humic preparation in relation to cultivated plants under salt stress. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(1):16–31. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-16-31>

## Введение

Концентрация солей в окружающей среде является для растений одним из важнейших абиотических экологических факторов. Избыточные их дозы зачастую вызывают солевой стресс у растительного организма, лимитируя тем самым многие физиологические процессы. Одной из ключевых причин развития солевого стресса у растений выступает засоление почв, которому способствуют как естественные, так и антропогенные факторы. Среди последних главную роль в агроэкосистемах играют процессы орошения, а в урбоэкосистемах – использование противогололедных смесей на основе различных солей, среди которых хлориды.

С неблагоприятными последствиями солевого стресса у культурных растений связан целый ряд как экологических, так и социально-экономических проблем, в том числе изменение структуры агро- и урбоценозов, потеря значительной части урожая и снижение экологического потенциала городских зеленых насаждений. В этой связи возникает необходимость научного поиска средств повышения устойчивости сельскохозяйственных и декоративных культур к солевому стрессу.

Устойчивость растений к повышенному содержанию солей в почве является чертой видоспецифичной, генетически детерминированной и выступает результатом их эволюционного развития. Современные средства биотехнологии позволяют в определенной степени повысить устойчивость культур к действию неблагоприятных факторов окружающей среды, но, к сожалению, на данном этапе развития их возможности ограничены и экономически затратны.

По мнению ряда исследователей, в данном аспекте весьма перспективны природные физиологически активные соединения – гуминовые вещества и промышленные препараты на их основе [1–5]. Данное обстоятельство обусловлено тем фактом, что гуминовые препараты могут выступать источником питательных веществ, обладают гормоноподобной и антиоксидантной активностью, являются модификаторами ферментов и редокс-соединениями [6–7].

Однако в настоящее время в рамках вопроса использования препаратов на основе гуминовых веществ, в качестве адаптогенов культурных растений к солевому фактору, остается еще целый ряд малоизученных аспектов, среди которых реакция отдельных культур на препараты, оптимальные дозировки препаратов, перспективы их применения в отношении декоративных и сельскохозяйственных культур.

**Цель исследования** – оценка влияния гуминовых препаратов на сельскохозяйственные культуры и газонные злаки в условиях солевого стресса.

## Материалы и методы

Исследования по реализации указанной цели включали в себя два лабораторных эксперимента, в рамках которых искусственно моделировался солевой стресс растений. В эксперименте № 1 оценивались протекторные свойства гуминового препарата по отношению к технической сельскохозяйственной культуре *Brassica rapa* L. в условиях влияния избыточных концентраций хлорида натрия, в эксперименте № 2 – протекторные свойства гуминового препарата по отношению к газонным злакам в условиях влияния избыточных концентраций хлорида натрия и антигололедного реагента.

Основным методом исследования служил метод биотестирования, а именно метод проростков, который широко используется для оценки физиологической и ростостимулирующей активности различных биологически активных веществ.

В качестве источника гуминовых веществ во всех экспериментах применялся промышленный гуминовый препарат «Экорост», полученный из низинного торфа по технологии гидродинамической кавитации, краткая характеристика которого представлена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика используемого в экспериментах гуминового препарата «Экорост»\*

Показатели	Характеристика
Агрегатное состояние	Жидкое (раствор)
Сырье	Низинный торф
Технология получения	Гидродинамическая кавитация
pH, ед. pH	7,3
Сумма гуминовых и фульвовых кислот, г/л	70,0
Азот общий, г/л	2,8
Калий общий, г/л	5,8
Фосфор общий, г/л	0,01

\*По данным производителя.

Источник: составлено авторами.

Table 1. Characteristics of the humic preparation «Ekorost» used in the experiments\*

Indicators	Characteristic
State of aggregation	Liquid (solution)
Raw material	Low-lying peat
Production technology	Hydrodynamic cavitation
pH	7.3
The sum of humic and fulvic acids, g/l	70.0
Total nitrogen, g/l	2.8
Total potassium, g/l	5.8
Total phosphorus, g/l	0.01

\*According to the manufacturer.

Source: compiled by the authors.

В лабораторном эксперименте № 1 в качестве тест-объекта использовалась техническая сельскохозяйственная культура – редька масличная (*Brassica rapa* L.). Выбор тест-объекта обусловлен высокой чувствительностью и отзывчивостью данной культуры к действию биологически активных

веществ уже на ранних этапах ее развития, ввиду чего она очень часто применяется в рамках биотестирования различных агропрепаратов<sup>1</sup>.

В рамках эксперимента семена тест-культуры проращивались в чашках Петри в условиях искусственно смоделированного солевого стресса, где в качестве субстрата для проращивания использовали 0,15-молярный водный раствор хлорида натрия. На опытных вариантах дополнительно вносили 0,01, 0,1 и 1,0 % водные растворы гуминового препарата «Экорост». Ранее проведенный литературный анализ мирового научного опыта и результаты собственных исследований показывают, что именно в этих концентрациях гуминовые препараты в наибольшей степени проявляют защитные и ростостимулирующие свойства [2; 8; 9]. Контролем в эксперименте служили варианты с чашками Петри без внесения гуминового препарата. Повторность на всех вариантах эксперимента – четырехкратная. Схема лабораторного эксперимента № 1 представлена в табл. 2.

Таблица 2. Схема лабораторного эксперимента № 1 с редькой масличной (*Brassica rapa* L.)

№ п/п	Вариант эксперимента	Краткое условное обозначение
1.	Контроль: 0,15 М водный раствор NaCl	NaCl К
2.	0,15 М водный раствор NaCl + 0,01 % водный раствор гуминового препарата «Экорост»	NaCl 0,01 ГП
3.	0,15 М водный раствор NaCl + 0,1 % водный раствор гуминового препарата «Экорост»	NaCl 0,1 ГП
4.	0,15 М водный раствор NaCl + 1,0 % водный раствор гуминового препарата «Экорост»	NaCl 1,0 ГП

Источник: составлено авторами.

Table 2. Scheme of laboratory experiment No. 1 with *Brassica rapa* L.

№	Experiment variant	Short designation
1.	Control: 0,15 molar water solution NaCl	NaCl C
2.	0,15 molar water solution NaCl + 0,01 % water solution of humic preparation «Ekorost»	NaCl 0.01 HP
3.	0,15 molar water solution NaCl + 0,1 % water solution of humic preparation «Ekorost»	NaCl 0.1 HP
4.	0,15 molar water solution NaCl + 1,0 % water solution of humic preparation «Ekorost»	NaCl 1.0 HP

Source: compiled by the authors.

Экспозиция всех вариантов эксперимента осуществлялась в течение 72 ч при постоянной температуре + 25 °С.

Интегральным показателем физиологического состояния растений и критерием благоприятности абиотических условий выступают ростовые процессы. В этой связи в качестве тест-реакции рассматривалась всхожесть семян редьки масличной (*Brassica rapa* L.), рассчитанная как число

<sup>1</sup> ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений (дата введения 2011-01-01). М.: Стандартинформ, 2011. 33 с.

проросших семян, выраженное в % от общего количества семян, взятых для проращивания, а также средняя длина зародышевого корешка<sup>2</sup>.

В лабораторном эксперименте № 2 в качестве тест-объекта использовалась газонная смесь «Евро-Универсал», состав которой представлен следующими злаками: овсяница красная (*Festuca rubra* L.) – 65 % смеси, райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.) – 25 % смеси, мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) – 10 % смеси. Перечисленные злаки наиболее часто применяются в практике озеленения как селитебных, рекреационных, так и промышленных, и транспортных функциональных зон городов. В этой связи указанные злаки в условиях урбоэкосистемы зачастую подвергаются воздействию высоких концентраций солей, входящих в состав противогололедных реагентов и накапливающихся в городских почвах за зимний период.

В рамках эксперимента семена тест-культуры проращивались в чашках Петри в условиях искусственно смоделированного солевого стресса. В качестве субстрата для проращивания на различных вариантах эксперимента применяли 10 % водные растворы хлорида натрия и антигололедного реагента «Бионорд-Универсальный», широко используемого многокомпонентного реагента для борьбы с наледью, в состав которого входят дихлорид кальция, хлорид натрия, биофильная и антикоррозионная добавки<sup>3</sup>.

Как и в первом эксперименте, на опытных вариантах дополнительно внесли 0,01, 0,1 и 1,0 % водные растворы гуминового препарата «Экорост». Контролем в эксперименте выступали варианты с чашками Петри без внесения гуминового препарата. Фоновым контролем служили чашки Петри с дистиллированной водой, без внесения солевых агентов и гуминовых препаратов. Повторность на всех вариантах эксперимента – четырехкратная. Схема лабораторного эксперимента № 2 представлена в табл. 3.

Экспозиция всех вариантов эксперимента осуществлялась в течение 10 сут. при постоянной температуре + 25 °С.

В качестве тест-реакции рассматривалась всхожесть семян газонных злаков, рассчитанная как число проросших семян, выраженное в % от общего количества семян, взятых для проращивания.

Статистическая обработка всех полученных экспериментальных данных проводилась с использованием приложения Microsoft Office Excel и программного пакета Statistica.

<sup>2</sup> ГОСТ Р ИСО 18763-2019. Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений (дата введения 2019-09-13). М.: Стандартинформ, 2019. 27 с.

<sup>3</sup> Паспорт безопасности проивогололедного материала «Бионорд-Универсальный». URL: [https://bionord.store/upload/iblock/c79/\\_-.pdf?ysclid=llfa5kgw81797037646](https://bionord.store/upload/iblock/c79/_-.pdf?ysclid=llfa5kgw81797037646) (дата обращения: 17.08.2023).

Таблица 3. Схема лабораторного эксперимента № 2 с газонными злаками

№ п/п	Вариант эксперимента	Краткое условное обозначение
<b>Экспериментальная линия с водным раствором NaCl</b>		
1.	<i>Фоновый контроль:</i> дистиллированная вода	ФК
2.	<i>Контроль:</i> 10 % водный раствор NaCl	NaCl К
3.	10 %-й водный раствор NaCl + 0,01 %-й водный раствор гуминового препарата «Экорост»	NaCl 0,01ГП
4.	10 %-й водный раствор NaCl + 0,1 %-й водный раствор гуминового препарата «Экорост»	NaCl 0,1ГП
5.	10 %-й водный раствор NaCl + 1,0 %-й водный раствор гуминового препарата «Экорост»	NaCl 1,0 ГП
6.	10 %-й водный раствор NaCl + 0,01 %-й водный раствор гуминового препарата «Экорост»	NaCl 0,01ГП
<b>Экспериментальная линия с водным раствором антигололедного реагента «Бионорд-Универсальный»</b>		
7.	<i>Фоновый контроль:</i> дистиллированная вода	ФК
8.	<i>Контроль:</i> 10 % водный раствор «Бионорд-Универсальный»	БУ К
9.	10 %-й водный раствор «Бионорд-Универсальный» + 0,01 %-й водный раствор гуминового препарата «Экорост»	БУ 0,01ГП
10.	10 %-й водный раствор «Бионорд-Универсальный» + 0,1 %-й водный раствор гуминового препарата «Экорост»	БУ 0,1ГП
11.	10 %-й водный раствор «Бионорд-Универсальный» + 1,0 %-й водный раствор гуминового препарата «Экорост»	БУ 1,0ГП

Источник: составлено авторами.

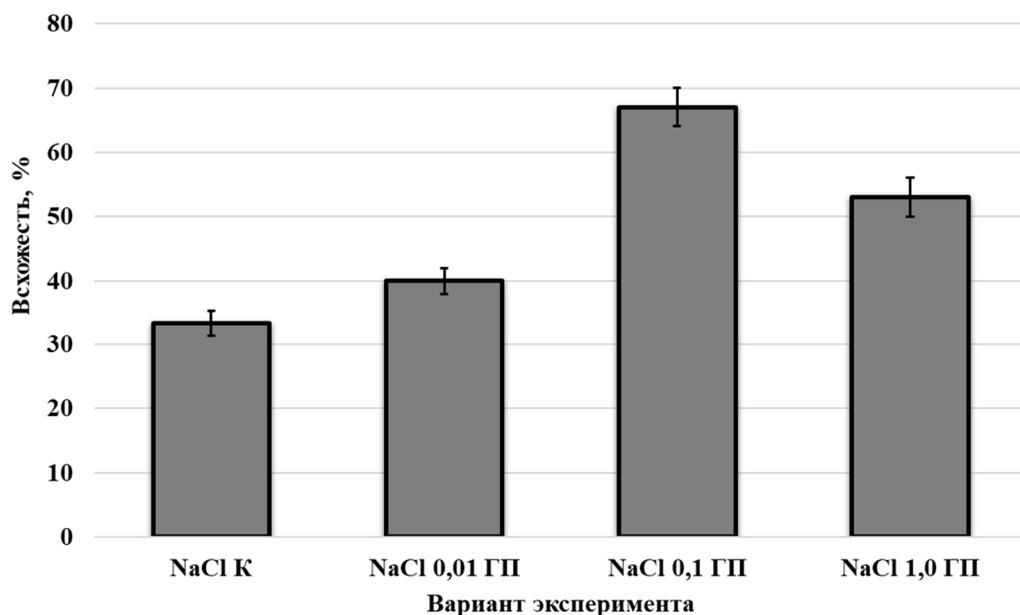
Table 3. Scheme of laboratory experiment No. 2 with lawn cereals

№	Experiment variant	Short designation
<b>Experimental line with water solution NaCl</b>		
1.	<i>Background control:</i> distilled water	BC
2.	<i>Control:</i> 10 % water solution NaCl	NaCl C
3.	10 % water solution NaCl + 0.01 % water solution of humic preparation «Ekorost»	NaCl 0.01HP
4.	10 % water solution NaCl + 0.1 % water solution of humic preparation «Ekorost»	NaCl 0.1HP
5.	10 % water solution NaCl + 1.0 % water solution of humic preparation «Ekorost»	NaCl 1,0 HP
6.	10 % water solution NaCl + 0.01 % water solution of humic preparation «Ekorost»	NaCl 0,01HP
<b>Experimental line with an water solution of anti-icing agent «Bionord Universal»</b>		
7.	<i>Background control:</i> distilled water	BC
8.	<i>Control:</i> 10 % water solution «Bionord Universal»	BU C
9.	10 % water solution «Bionord Universal» + 0.01 % water solution of humic preparation «Ekorost»	BU 0.01HP
10.	10 % water solution «Bionord Universal» + 0.1 % water solution of humic preparation «Ekorost»	BU 0.1HP
11.	10 % water solution «Bionord Universal» + 1.0 % water solution of humic preparation «Ekorost»	BU 1.0HP

Source: compiled by the authors.

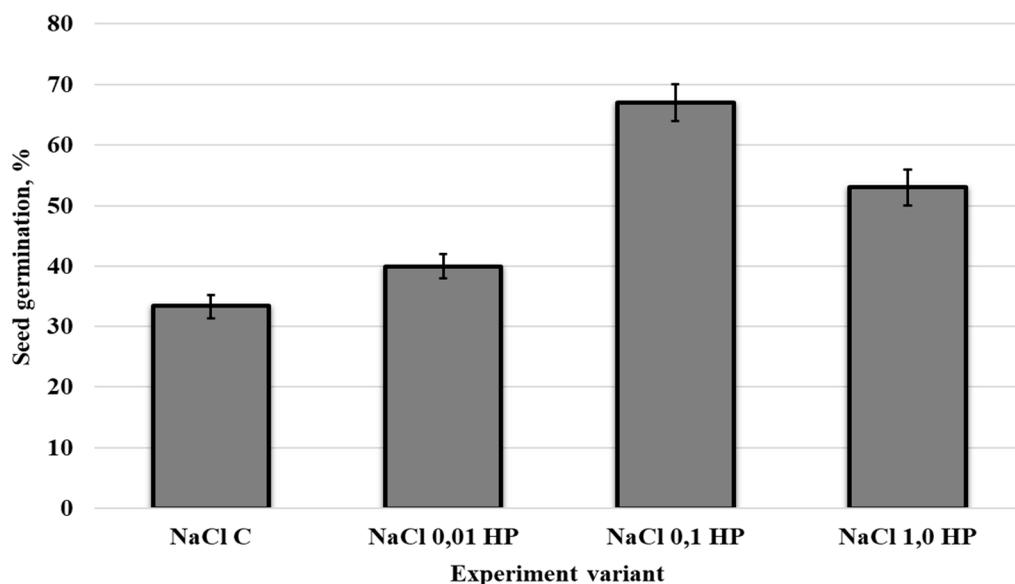
## Результаты и их обсуждение

В лабораторном эксперименте № 1 на контрольном варианте в условиях солевого стресса, вызванного влиянием 0,15-молярного водного раствора хлорида натрия, всхожесть семян тест-культуры составила чуть более 30 % (рис. 1).



**Рис. 1. Всхожесть семян редьки масличной (*Brassica rapa* L.) в условиях смоделированного солевого стресса**

Источник: составлено авторами.



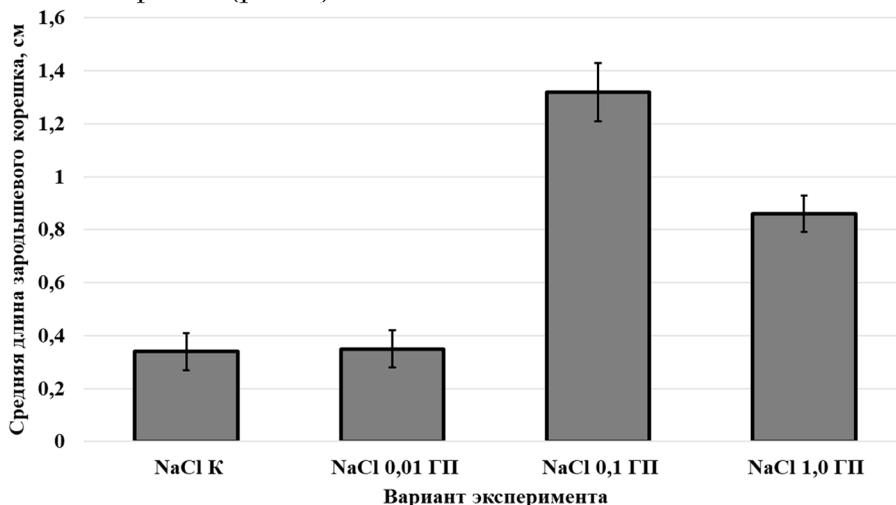
**Figure 1. Seed germination of *Brassica rapa* L. under simulated salt stress**

Source: compiled by the authors.

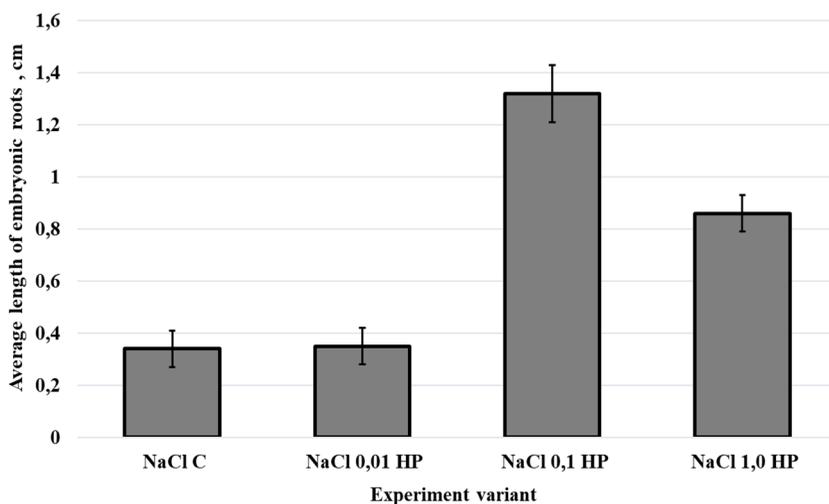
При проращивании семян редьки масличной (*Brassica rapa* L.) в присутствии гуминового препарата «Экорост» отмечалось увеличение их всхожести по сравнению с контролем от 7 до 35 % в зависимости от дозы препарата. Максимальный протекторный эффект наблюдался при использовании

0,1 % водного раствора гуминового препарата. Его применение позволило существенно нивелировать воздействие хлорида натрия и увеличить всхожесть семян практически до 70 %.

Аналогичная тенденция прослеживалась и в отношении другого анализируемого критерия ростовых процессов тест-культуры – средней длины зародышевого корешка (рис. 2).



**Рис. 2.** Изменение средней длины зародышевых корешков редьки масличной (*Brassica rapa* L.) в условиях смоделированного солевого стресса  
 Источник: составлено авторами.



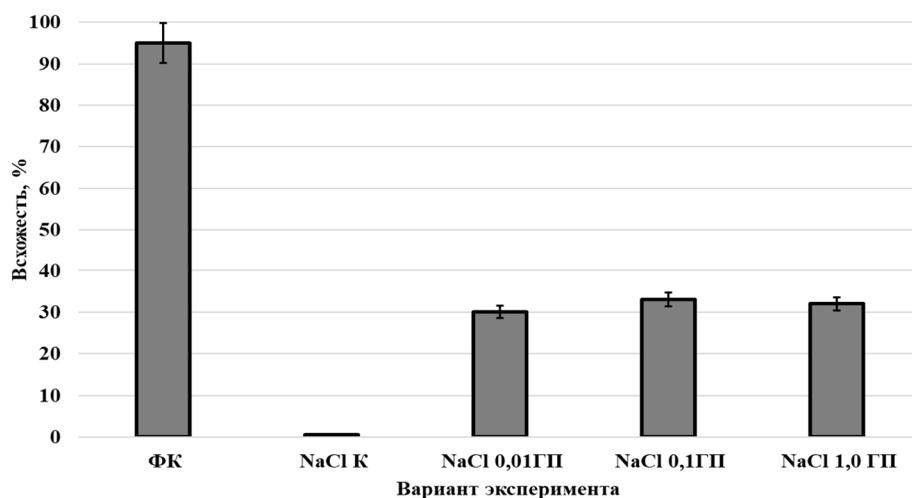
**Figure 2.** Changes in the average length of embryonic roots of *Brassica rapa* L. under simulated salt stress  
 Source: compiled by the authors.

В эксперименте отмечена стимуляция ростовых процессов семян редьки масличной (*Brassica rapa* L.) в условиях солевого стресса под влиянием гуминового препарата. Данный эффект отчетливо наблюдался на вариантах с использованием препарата «Экорост» в виде 0,1 и 1,0 % водных растворов,

где средняя длина зародышевого корешка была в 2,5...3,8 раза больше по сравнению с контролем. К тому же и по показателю всхожести наиболее действенной оказалась доза 0,1 % водного раствора гуминового препарата.

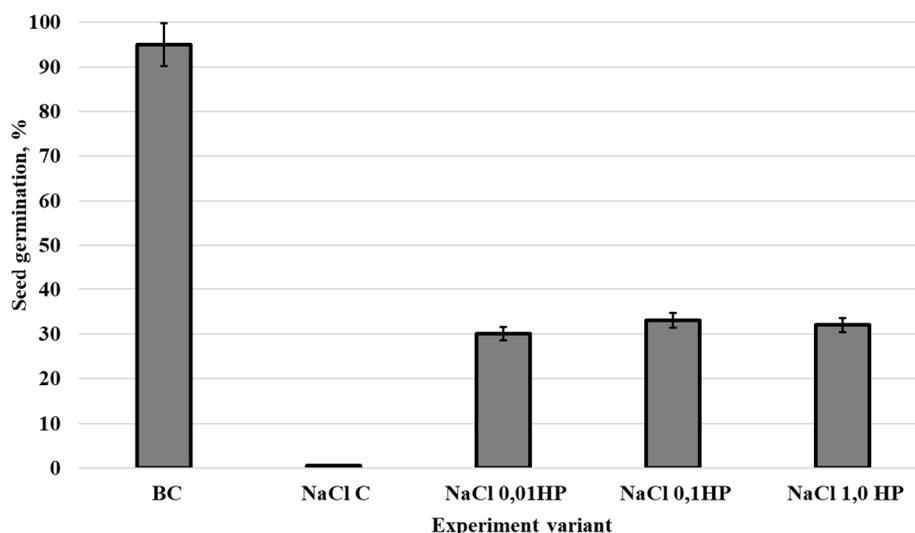
В лабораторном эксперименте № 2 гуминовый препарат «Экорост» также проявил выраженные протекторные свойства по отношению к тест-культуре – смеси газонных злаков в условиях смоделированного солевого стресса.

Установлено, что 10 % водный раствор NaCl практически полностью ингибировал процессы прорастания семян газонных злаков (рис. 3).



**Рис. 3. Всхожесть семян газонных злаков в условиях солевого стресса, индуцированного 10% водным раствором NaCl**

*Источник: составлено авторами.*

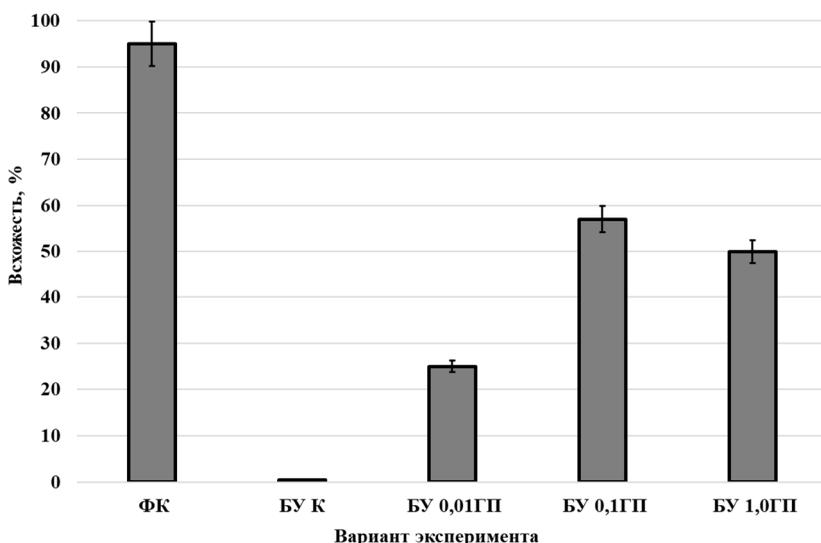


**Figure 3. Germination of seeds of lawn cereals under conditions of salt stress induced by 10% water solution NaCl**

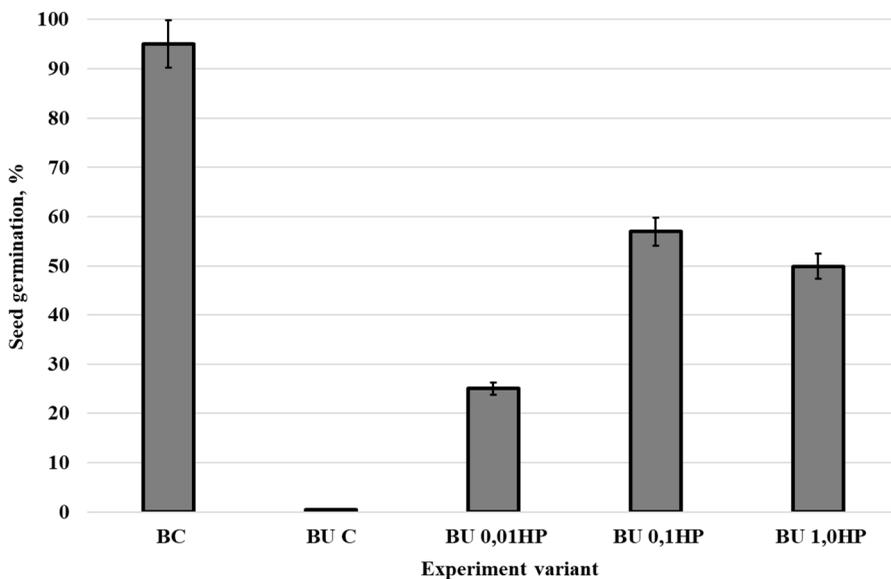
*Source: compiled by the authors.*

Однако при внесении гуминового препарата «Экорост» токсичное действие солевого стрессирующего агента удалось нивелировать и позволило повысить всхожесть семян газонных злаков до 30...33 %. При этом доза препарата существенного значения не имела.

В эксперименте отмечена и высокая чувствительность семян газонной смеси к влиянию другого рассматриваемого нами солевого стрессора – противогололедного реагента «Бионорд-Универсальный» (рис. 4).



**Рис. 4. Всхожесть семян газонных злаков в условиях солевого стресса, индуцированного 10% водным раствором противогололедного реагента «Бионорд-Универсальный»**  
 Источник: составлено авторами.



**Figure 4. Germination of seeds of lawn cereals under conditions of salt stress induced by 10% water solution of anti-icing agent «Bionord Universal»**  
 Source: compiled by the authors.

Так, в присутствии указанного реагента процессы прорастания семян газонной смеси были практически полностью подавлены. Но внесение гуминового препарата «Экорост» позволило снизить уровень солевого стресса и способствовало увеличению всхожести семян тест-культуры до 25...57 % в зависимости от дозы препарата. Как и в эксперименте № 1, максимальная стимуляция тест-реакции отмечалась при использовании препарата «Экорост» в дозе 0,1 % водного раствора.

Проведенные исследования показали, что солевой стресс оказывает выраженное ингибирующее влияние на ростовые процессы, рассматриваемые в рамках экспериментов тест-культур. При этом гуминовые препараты проявляют защитные свойства по отношению к культурным растениям в условиях такого стресса. Однако выраженность указанного эффекта существенно зависит характера и специфики стрессирующего агента, а также от дозы гуминового препарата.

Полученные нами данные подтверждают и по ряду аспектов дополняют мировой научный опыт в рамках рассматриваемых вопросов. В ходе проведенных исследований нами установлена перспективность применения гуминовых препаратов в целях повышения устойчивости культурных растений к солевому стрессу, на что указывают и результаты работ ряда зарубежных авторов [10–13]. Так, данные, полученные турецкими исследователями, что гуминовые препараты способны минимизировать токсичное действие избыточных концентраций солей в почве на посевы Сои культурной (*Glycine max* L.) [10]. Защитное действие препаратов заключалось в увеличении длины корня и стебля, площади листа и содержания хлорофилла побегов сои. В работах египетской научной группы под руководством Mohamed Abu-Ria установлено повышение солеустойчивости Риса посевного (*Oryza sativa* L.) под воздействием гуминовых препаратов при возделывании на засоленных почвах [11; 12]. По мнению авторов, адаптогенное действие препаратов связано с поддержанием ионного гомеостаза, увеличением содержания осмолитов и антиоксидантов в тканях культуры. В экспериментах, проведенных бразильскими исследователями с однодольными (*Zea mays* L.) и двудольными (*Solanum lycopersicum* L.) культурами, показано, что гуминовые кислоты активируют механизмы клеточной и молекулярной защиты от солей, снижая уровень стресса, вызванного засолением почв [13].

При этом приводимые в отечественной и зарубежной литературе данные разнятся касательно вопроса о рекомендуемых дозах гуминовых препаратов [1; 2; 5; 10–13]. Поскольку, как уже было отмечено, солеустойчивость является чертой видоспецифичной, то, вероятно, и оптимальная протекторная доза гуминовых препаратов должна подбираться для каждой культуры индивидуально.

Следует отметить, что внимание исследователей в фокусе рассматриваемой проблемы по большей части сосредоточено на сельскохозяйственных культурных растениях [1; 3; 5; 10–13]. Практически не освещенным остается

вопрос о перспективах применения гуминовых препаратов для снижения уровня солевого стресса декоративных культур [14]. Полученные нами результаты указывают на значительный потенциал гуминовых препаратов в данном аспекте и необходимость проведения дальнейших исследований в указанном направлении.

### Заключение

Таким образом, установлено, что солевой стресс, индуцированный различными агентами (водные растворы хлорида натрия различной концентрации, водный раствор антигололедного реагента «Бионорд-Универсальный»), в значительной степени ингибирует ростовые процессы редьки масличной (*Brassica rapa* L.) и газонных злаков (овсяница красная (*Festuca rubra* L.), райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) вплоть до полного их подавления.

При этом выявлено, что гуминовый препарат «Экорост» проявляет протекторные свойства по отношению к указанным тест-культурам в условиях искусственно смоделированного солевого стресса, что выражается в заметной стимуляции их всхожести и ростовых процессов. Наличие и степень проявления данного эффекта во многом зависят от дозы гуминового препарата. Во всех проведенных экспериментах наиболее действенным был 0,1 % водный раствор препарата «Экорост». Под его влиянием в данной концентрации всхожесть семян редьки масличной (*Brassica rapa* L.) в условиях солевого стресса возрастала более чем на 30 % по сравнению с контролем, а газонных злаков – практически на 60 %.

Указанное обстоятельство позволяет рекомендовать гуминовый препарат «Экорост» в дозе 0,1 % водного раствора для повышения солеустойчивости редьки масличной (*Brassica rapa* L.) и газонных злаков.

Отдельно следует отметить, что газонные злаки оказались весьма чувствительны к солевому стрессу, вызванному как водным раствором хлорида натрия, так и раствором противогололедного агента «Бионорд-Универсальный», но применение препарата «Экорост» позволило нивелировать их выраженный токсический эффект. Довольно широкое применение в практике благоустройства городов антигололедных реагентов и развития процессов засоления городских почв обуславливает необходимость проведения подобных исследований и в отношении других культурных растений, используемых для озеленения урбанизированных территорий, особенно учитывая тот факт, что подобные вопросы довольно мало освещены в зарубежной и отечественной научной литературе.

### Список литературы

- [1] Gulmezoglu N., İzci E. Ionic responses of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under salinity stress and humic acid applications // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2020. Vol. 48. N 3. P. 1317–1331. <http://doi.org/10.15835/nbha48311950>

- [2] Karimian Z., Samiei L., Nabat J. Alleviating the salt stress effects in *Salvia splendens* by humic acid application // *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2019. Vol. 18. No. 5. P. 73–82. <http://doi.org/10.24326/asphc.2019.5.7>
- [3] Matuszak-Slamani R., Bejger R., Ciesla J., Bieganowski A., Koczanska M., Gawlik A., Kulpa D., Sienkiewicz M., Włodarczyk M., Golebiowska D. Influence of humic acid molecular fractions on growth and development of soybean seedlings under salt stress // *Plant Growth Regulation*. 2017. Vol. 83. No. 3. P. 465–477. <http://doi.org/10.1007/s10725-017-0312-1>
- [4] Nigania S., Sharma Y., Kumar U. Role of humic acid and salicylic acid on growth, yield and biochemical parameters of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under salt and water stress // *Trends in Biosciences*. 2017. Vol. 10. No. 17. P. 3096–3101.
- [5] Sofi A., Ebrahimi M., Shirmohammadi E. Effect of humic acid on germination, growth, and photosynthetic pigments of *Medicago sativa* L. under salt stress // *Ecopersia*. 2018. Vol. 6. No. 1. P. 21–30.
- [6] Куликова Н.А. Защитное действие гуминовых веществ по отношению к растениям в водной и почвенной средах в условиях абиотических стрессов: дис. ... д-ра биол. наук. Москва, 2008. 302 с.
- [7] Поволоцкая Ю.С. Адаптогенные свойства гуминовых препаратов (обзор) // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019. № 3-1. С. 128–130. <http://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-10635>
- [8] Чердакова А.С., Гальченко С.В. Изменение фитотоксичности почв, загрязненных нефтепродуктами, в процессе их микробиологической ремедиации при внесении гуминовых препаратов // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2020. Т. 28. № 4. С. 336–348. <http://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-10635>
- [9] Чердакова А.С., Гальченко С.В., Воробьева Е.В. Экспериментальная оценка влияния гуминовых препаратов на процессы микробиологической ремедиации почв, загрязненных нефтепродуктами // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25. № 3. С. 30–35. <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-3-30-35>
- [10] Bahjat N.M., Tuncturk M., Tuncturk R. Effect of humic acid applications on physiological and biochemical properties of soybean (*Glycine max* L.) grown under salt stress conditions // *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 2023. Vol. 33. No. 1. P. 1–9. <http://doi.org/10.29133/yyutbd.1057288>
- [11] Abu-Ria M., Shukry W., Abo-Hamed S., Albaqami M., Almuqadam L., Ibraheem F. Humic acid modulates ionic homeostasis, osmolytes content, and antioxidant defense to improve salt tolerance in rice // *Plants*. 2023. Vol. 12. No. 9. P. 1834. <http://doi.org/10.3390/plants12091834>
- [12] Shukry W.M., Abu-Ria M.E., Abo-Hamed S.A., Anis G.B., Ibraheem F. The efficiency of humic acid for improving salinity tolerance in salt sensitive rice (*Oryza sativa*): growth responses and physiological mechanisms // *Gesunde Pflanzen*. 2023. Vol. 75. No. 2. P. 525–540. <http://doi.org/10.1007/s10343-023-00885-6>
- [13] Souza A.C., Zandonadi D.B., Santos M.P., Aguiar Canellas N.O., Soares C.P., Souza da Silva Irineu L.E., Rezende C.E., Spaccini R., Piccolo A., Olivares F.L., Canellas L.P. Acclimation with humic acids enhances maize and tomato tolerance to salinity // *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2021. Vol. 8. No. 1. P. 40. <http://doi.org/10.1186/s40538-021-00239-2>
- [14] Аминева Е.Ю., Табацкая Т.М., Машикина О.С. Оценка солеустойчивости *Populus* L. в условиях моделируемого стресса *in vitro* // *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2021. № 79. С. 60–66. <http://doi.org/10.31360/2225-3068-2021-79-60-66>

## References

- [1] Gulmezoglu N, İzci E. Ionic responses of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under salinity stress and humic acid applications. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2020;48(3):1317–1331. <http://doi.org/10.15835/nbha48311950>
- [2] Karimian Z, Samiei L, Nabat J. Alleviating the salt stress effects in *Salvia splendens* by humic acid application. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2019;18(5):73–82. <http://doi.org/10.24326/asphc.2019.5.7>
- [3] Matuszak-Slamani R, Bejger R, Ciesla J, Bieganowski A, Koczanska M, Gawlik A, Kulpa D, Sienkiewicz M, Włodarczyk M, Golebiowska D. Influence of humic acid molecular fractions on growth and development of soybean seedlings under salt stress. *Plant Growth Regulation*. 2017;83(3):465–477. <http://doi.org/10.1007/s10725-017-0312-1>
- [4] Nigania S, Sharma Y, Kumar U. Role of humic acid and salicylic acid on growth, yield and biochemical parameters of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under salt and water stress. *Trends in Biosciences*. 2017;10(17):3096–3101.
- [5] Sofi A, Ebrahimi M, Shirmohammadi E. Effect of humic acid on germination, growth, and photosynthetic pigments of *Medicago sativa* L. under salt stress. *Ecopersia*. 2018;6(1):21–30.
- [6] Kulikova NA. *The protective effect of humic substances in relation to plants in aquatic and soil environments under conditions of abiotic stress* (dissertation). Moscow, 2008. 302 p. (In Russ.).
- [7] Povolotskaya YuS. Adaptogenic properties of gum preparations (review). *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019;3–1:128–130. <http://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-10635> (In Russ.).
- [8] Cherdakova AS, Galchenko SV. Change of phytotoxicity of soils contaminated with oil products in the process of their microbiological remediation during the application of humic preparations. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4):336–348. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-336-348> (In Russ.).
- [9] Cherdakova AS, Galchenko SV, Vorob'eva EV. Experimental assessment of the effect of humic preparations on the processes of microbiological remediation of soils contaminated with oil products. *Ecology and Industry of Russia*. 2021;25(3):30–35. <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-3-30-35> (In Russ.).
- [10] Bahjat NM, Tuncurk M, Tuncurk R. Effect of humic acid applications on physiological and biochemical properties of soybean (*Glycine max* L.) grown under salt stress conditions. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 2023;33(1):1–9. <http://doi.org/10.29133/yyutbd.1057288>
- [11] Abu-Ria M, Shukry W, Abo-Hamed S, Albaqami M, Almuqadam L, Ibraheem F. Humic acid modulates ionic homeostasis, osmolytes content, and antioxidant defense to improve salt tolerance in rice. *Plants*. 2023;12(9):1834. <http://doi.org/10.3390/plants12091834>
- [12] Shukry WM, Abu-Ria ME, Abo-Hamed SA, Anis GB, Ibraheem F. The efficiency of humic acid for improving salinity tolerance in salt sensitive rice (*Oryza sativa*): growth responses and physiological mechanisms. *Gesunde Pflanzen*. 2023;75(2):525–540. <http://doi.org/10.1007/s10343-023-00885-6>
- [13] Souza AC, Zandonadi DB, Santos MP, Aguiar Canellas NO, Soares CP, Souza da Silva Irineu LE, Rezende CE, Spaccini R, Piccolo A, Olivares FL, Canellas LP. Acclimation with humic acids enhances maize and tomato tolerance to salinity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2021;8(1):40. <http://doi.org/10.1186/s40538-021-00239-2>

- [14] Amineva YeYu, Tabatskaya TM, Mashkina OS. Assessment of *Populus L.* salt resistance under simulated stress conditions *in vitro*. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2021;79:60–66. <http://doi.org/10.31360/2225-3068-2021-79-60-66> (In Russ.).

### **Сведения об авторах:**

*Гальченко Светлана Васильевна*, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биологии и методики ее преподавания, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Российская Федерация, 390000, Рязань, ул. Свободы, д. 46. ORCID: 0009-0005-2510-7802, eLIBRARY SPIN-код: 1524-2513. E-mail: s.galchenko2017@yandex.ru

*Чердакова Алина Сергеевна*, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры географии, экологии и природопользования, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Российская Федерация, 390000, Рязань, ул. Свободы, д. 46. ORCID: 0009-0001-7281-8675, eLIBRARY SPIN-код: 5372-7424. E-mail: cerdakova@yandex.ru

### **Bio notes:**

*Svetlana V. Galchenko*, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biology and Methods of its Teaching, Ryazan State University named for S. Yesenin, 46 Svobody St, Ryazan 390000, Russian Federation. ORCID: 0009-0005-2510-7802, eLIBRARY SPIN-code: 1524-2513. E-mail: s.galchenko2017@yandex.ru

*Alina S. Cherdakova*, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geography, Ecology and Nature Management, Ryazan State University named for S. Yesenin, 46 Svobody St, Ryazan 390000, Russian Federation. ORCID: 0009-0001-7281-8675, eLIBRARY SPIN-code: 5372-7424. E-mail: cerdakova@yandex.ru



## ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

### INDUSTRIAL ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-1-32-40

EDN: GUMLVG

УДК 628.5

Научная статья / Research article

#### Технология снижения газовых выбросов животноводческих ферм

Н.Б. Бондаренко<sup>1</sup>✉, Н.В. Кондакова<sup>2</sup>,  
С.В. Старовойтов<sup>3</sup>, Д.А. Бутко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Донской государственный технический университет,  
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

<sup>2</sup>Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
им. М.И. Платова, Ростовская область, г. Новочеркасск, Российская Федерация

<sup>3</sup>Ростовский государственный университет путей сообщения,  
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉nikbond@mail.ru

**Аннотация.** В исследовании представлен обзор методов обезвреживания загрязняющих веществ в выбросах от объектов животноводческих хозяйств. Представлена принципиальная возможность очистки газов с применением сорбентов на основе природных материалов. Опытные испытания проводились на территории действующей животноводческой фермы в Республике Калмыкия. В ходе эксперимента варьировался тип сорбционной загрузки биофильтра, что позволило оценить основные требования, инженерные основы, принципы работы, применимость, экономическую эффективность и потенциальные отказы предложенного метода.

**Ключевые слова:** воздушные поллютанты, дурнопахнущие вещества, выбросы животноводческих ферм, биосорбер

**Вклад авторов.** Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

© Бондаренко Н.Б., Кондакова Н.В., Старовойтов С.В., Бутко Д.А., 2024



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

**История статьи:** поступила в редакцию 15.09.2023; доработана после рецензирования 20.11.2023; принята к публикации 29.11.2023.

**Для цитирования:** *Бондаренко Н.Б., Кондакова Н.В., Старовойтов С.В., Бутко Д.А.* Технология снижения газовых выбросов животноводческих ферм // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 1. С. 32–40. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-32-40>

## Technology for reducing gas emissions from livestock farms

Nikita B. Bondarenko<sup>1</sup>✉, Nadezda V. Kondakova<sup>2</sup>,  
Sergey V. Starovoytov<sup>3</sup>, Denis A. Butko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

<sup>2</sup>Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),  
Novocherkassk, Russian Federation

<sup>3</sup>Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation  
✉nikbond@mail.ru

**Abstract.** The study provides an overview of methods for neutralizing pollutants from emissions from livestock facilities. The principal possibility of gas purification with the use of sorbents based on natural materials is presented. Pilot tests were conducted on the territory of an operating livestock farm in the Republic of Kalmykia. During the experiment, the type of sorption loading of the biofilter varied, which made it possible to assess the basic requirements, engineering fundamentals, principles of operation, applicability, economic efficiency and potential failures of the proposed method.

**Keywords:** air pollutants, foul-smelling substances, emissions from livestock farms, biosorbent

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

**Article history:** received 15.09.2023; revised 20.11.2023.; accepted 29.11.2023.

**For citation:** Bondarenko NB, Kondakova NV, Starovoytov SV, Butko DA. Technology for reducing gas emissions from livestock farms. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(1):32–40. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-32-40>

В последнее десятилетие на территории России наблюдается довольно динамичное развитие сельскохозяйственной деятельности, производство продуктов из растительного и животного сырья. Появление широкого ряда крупных АПК и высокопроизводительных перерабатывающих предприятий подразумевает, прежде всего, источники повышенной техносферной опасности, где главным негативным фактором, влияющим на состояние ОС и здоровье населения [1; 2], выступают воздушные и водные загрязнители.

Наиболее вредными воздушными загрязнителями, поступающими в атмосферу в процессе производственных циклов предприятий сельско-

хозяйственной направленности являются парниковые газы<sup>1</sup> с основным составом в виде диоксида углерода (CO<sub>2</sub>), метана (CH<sub>4</sub>), оксида азота (NO), диоксида азота (NO<sub>2</sub>), аммиака (NH<sub>3</sub>), сернистых соединений и значительного количества пыли (биоаэрозолей)<sup>2</sup>. Немаловажным фактором является наличие дурнопахнущих веществ, образующихся на животноводческих и птицеводческих комплексах при содержании животных, уборке и хранении птичьего помета и навоза<sup>3</sup>.

Особое внимание следует обратить на то, что в подавляющем большинстве современных производственных процессов в сельском хозяйстве и при переработке продуктов из животного сырья до сих пор используются открытые технологические циклы, не исключая выброса воздушных загрязнителей в окружающую среду. Данная тенденция наблюдается даже в экономически развитых странах, где большое внимание уделяется разработке безотходных технологий с комплексной переработкой или удалением побочных продуктов в замкнутых производственных циклах<sup>4</sup>.

Обозревая основные методы очистки и обезвреживания отходящих газов сельскохозяйственной деятельности, в первую очередь следует обратить внимание на их химический и дисперсный состав. Наиболее распространенными видами оборудования для улавливания частиц пыли и капельной жидкости являются циклонные или тканевые (рукавные) фильтры, где удаление частиц загрязнителей происходит под действием центробежной силы и посредством дальнейшей бункеровки или удаления накопившейся массы обратной продувкой. Данный метод фильтрации довольно эффективен и прост в обслуживании, однако не позволяет снизить ПДК некоторых воздушных загрязнителей до приемлемых показателей из-за возможности улавливания только крупных частиц (40...1000 мкм).

Аппараты для мокрой очистки газов получили широкое применение, так как они характеризуются эффективной очисткой и улавливанием пожароопасных пылей и в тех случаях, когда параллельно требуется доочистить воздух от токсичных примесей и паров. Один из распространенных аппаратов этого типа – ротоциклон, где смесь загрязненного воздуха под давлением, создаваемым вихревым потоком, проходит через слой воды, в котором осаждаются тяжелые частицы, откуда затем удаляются. Однако аппараты подобного технологического принципа имеют ряд существенных недостатков,

---

<sup>1</sup> Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. Guidance document on control techniques for emissions of sulphur, NO<sub>x</sub>, VOCs, dust (including PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and black carbon) from stationary sources. Informal document No. 2. Provisional Agenda Item 5. Draft guidance documents to the revised 1999 Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone. Working Group on Strategies and Review, Fiftieth session, 10-14 September 2012. P. 268.

<sup>2</sup> Охрана окружающей среды в России. 2020: стат. сб. / Росстат. М., 2020. С. 34–38.

<sup>3</sup> Доклад о кадастре антропогенных выбросов парниковых газов Республики Хакасия за 2019 год. 2020: стат. сб. / Минприроды России. М., 2020. С. 34–37.

<sup>4</sup> European Commission. Reference Document on Best Available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs. 2013. P. 32–39, 183–197.

ограничивающих область их применения: образование значительной массы шлама с последующим удалением и переносом, образование конденсированных отложений в газовадах и необходимость в подаче оборотной воды в уловитель.

Альтернативными решениями по очистке воздуха являются системы адсорбционного и абсорбционного поглощения, где поглощение загрязняющего вещества осуществляется объемом другого тела. Данные методы являются наиболее распространенными и применяются для удаления нерастворимых (или слабо растворимых) поллютантов в воде или поглощения веществ загрязнителей поверхностным слоем твердого тела (активированный уголь, алюмогели, силикагели, глиноземы и т.д.). Технологические узлы подобного типа позволяют селективно удалять довольно широкий спектр загрязнителей, таких как диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ), сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ), оксид азота ( $\text{NO}$ ), диоксид азота ( $\text{NO}_2$ ), аммиак ( $\text{NH}_3$ ), а также различные соединения углеводорода ( $\text{CH}_4$ ). Более того, вышеописанные методы позволяют достигнуть не только высокого экологического значения, но и экономического, поскольку позволяют возвращать в воздухообменную систему повышенный объем паров летучих растворителей, что в особой степени актуально при использовании в сельскохозяйственном производстве закрытого типа (на птицефабриках, в коровниках и т.д.). К недостаткам подобных систем относится финансовая невыгодность в покупке дорогостоящих адсорбентов и логистические трудности доставки в удаленные сельские районы.

Анализируя профильные данные тематических литературных источников, применение органических загрузок для абсорбционной очистки воздуха является перспективным направлением, подразумевающим не только экономическую выгоду, но и повышение экологичности технологических процессов очистки [4; 5].

Газофазные биофильтры представляют собой биологические реакторы, в которых используются микроорганизмы, колонизирующие пористую среду, для разложения загрязняющих веществ из воздушного потока. Биофильтры обладают потенциалом очистки больших объемов загрязнителей воздуха при низких концентрациях, что часто встречается при эмиссии газов отходов сельского хозяйства. Аммиак удаляется из воздушного потока путем адсорбции на твердой среде биофильтра (также при орошении загрузки, абсорбции жидкостью), а затем окисляется посредством микробной нитрификации, которая представляет собой аэробное превращение  $\text{NH}_3$  в нитриты ( $\text{NO}_2^-$ ) и нитраты ( $\text{NO}_3^-$ ) [5]. Плохое проникновение кислорода в среду биофильтра приводит к потенциальным бескислородным/анаэробным микробным метаболическим условиям, которые будут подавлять нитрификацию и повышать вероятность денитрификации. Использование соломы в основе загрузки сорбента позволяет минимизировать данные риски.

Рассматривая отдельный объект техноферной опасности, коллективом авторов данной статьи было проведено исследование по очистке газовых выбросов животноводческой фермы, расположенной в полупустынной зоне в

Республике Калмыкия. Экспериментальная часть основывалась на применении разработанной ранее экспериментальной установки [6], где в качестве загрузки абсорберов применялись кремнийсодержащие породы (бентонит и диатомит), а также предварительно подготовленная пшеничная солома местного происхождения. Применение данных материалов объясняется эффективностью удаления ЗВ, низкой стоимостью и высокой сорбционной емкостью [7].

Модель установки представляет собой емкость, моделирующую приемную камеру-лагуну для хранения отходов жизнедеятельности КРС. Внутри модельной емкости установлен регулируемый воздушный нагнетатель, позволяющий осуществлять выброс направленного потока воздуха со скоростью больше или равно 1,5...2 м/с, что практически идентично соответствует показателям из камер-лагун по результатам, полученным непосредственно на месте. Параллельный опыт подразумевал прохождение загрязненного потока воздуха через три модели абсорберов с сорбирующей загрузкой из различных материалов. Общий вид параллельного опыта и установок изображен на рис. 1.



**Рис. 1. Установки в момент проведения измерения**  
Источник: фотография автора.

Используемые модели биосорберов с органической сорбирующей загрузкой представляют собой емкость объемом 200 мл, куда помещена подготовленная солома, объем которой равен примерно  $55 \text{ см}^3$ . Для выбора наиболее эффективной загрузки проводился параллельный опыт на трех моделях с различными вариантами рабочего сырья, где исходная пшеничная солома смешивалась с термически модифицированной кремнийсодержащей породой одного из месторождений Ростовской области ( $D \approx 1 \text{ мм}$ ,  $V = 16 \text{ см}^3$ ), а также золой этой же соломы, карбонизированной при температуре около  $250 \dots 300 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $V = 16 \text{ см}^3$ ):

1. Подготовленная пшеничная солома ( $V = 55 \text{ см}^3$ ).
2. Подготовленная пшеничная солома + термически модифицированная кремнийсодержащая порода ( $V = 55 + 16 = 71,5 \text{ см}^3$ ).
3. Подготовленная пшеничная солома + карбонизат соломы ( $V = 55 + 16 = 71,5 \text{ см}^3$ )

Биосорберы герметично присоединялись к установкам, где объем воздушного потока с ЗВ проходил через адсорбирующую загрузку. Далее, на выходе из проводящих камер в крайних точках установок, были установлены силиконовые шланги для прямого подсоединения к СИ (газоанализаторам). Общий вид биосорберов с органической загрузкой в момент проведения измерения представлен на рис. 2.



**Рис. 2.** Общий вид биосорберов с органической загрузкой  
Источник: фотография автора.

В качестве раствора, имитирующего выброс воздушных загрязнителей, из приемной камеры-лагуны были отобраны отходы жизнедеятельности КРС и МРС, смешанные с дождевой водой ( $V = 2,5$  л).

Для измерения концентрации ЗВ в выбросах из модельных емкостей применялись газоанализаторы Эко-Интех ЭЛАН и Колион 1-В, имеющие действующие свидетельства о поверке средств измерения.

В табл. 1 представлены исходные концентрации газовых выбросов от модельного раствора, сравниваемые с нормативами СанПин 1.2.3685-21 в мг/м<sup>3</sup> (как средние результаты трех параллельных измерений)<sup>5</sup>.

Таблица 1. Сравнительные показатели состава газовых выбросов модельного раствора и ПДК по СанПин 1.2.3685-21

№ п/п	Определяемый показатель (газ)	Ед. изм.	Результат измерений	ПДК м.р.
1	СО (оксид углерода)	мг/м <sup>3</sup>	7,03	5
2	NO (оксид азота)	мг/м <sup>3</sup>	0,005	0,4
3	NO <sub>2</sub> (диоксид азота)	мг/м <sup>3</sup>	0,553	0,2
4	H <sub>2</sub> S (сероводород)	мг/м <sup>3</sup>	0,35	0,008
5	SO <sub>2</sub> (диоксид серы)	мг/м <sup>3</sup>	0,49	0,5
6	NH <sub>3</sub> (аммиак)	мг/м <sup>3</sup>	11,0	0,2

Источник: составлено авторами.

Согласно полученным данным измерения исходной концентрации ЗВ (табл. 1), очевидно, что некоторые показатели значительно превышают нормы ПДК (согласно требованиям СанПин 1.2.3685-21), поэтому коллективом авторов данного исследования было принято решение по поиску наиболее оптимизированного состава абсорбционной загрузки в трех различных вариантах.

В основу данного эксперимента входили три параллельных измерения обрабатываемых газовых выбросов, где измерение концентрации ЗВ производилось в 5 контрольных временных отрезках с интервалами в 30 минут. Данная методика позволила установить наиболее эффективный органический состав загрузки, применяемых в биосорберах. Из результатов контрольных измерений в 5-й контрольной временной точке (табл. 2) удалось выявить динамику (удаление ЗВ выражено в %) по существенному снижению концентрации почти по всем показателям, где исключением выступает лишь незначительное увеличение эмиссии воздушных загрязнителей только одной группы.

Исходя из окончательных данных параллельных измерений, представленных в табл. 2, очевидна рациональность использования смеси из подобранных органических материалов. Процентное соотношение значений удаленных веществ (см. табл. 1) указывает на практически полную очистку всего

<sup>5</sup> Постановление Главного государственного санитарного врача РФ «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (вместе с СанПиН 1.2.3685-21) от 28.01.2021 № 2 // Собрание законодательства Российской Федерации.

объема загрязненного воздуха, проходящего через абсорберы, установленные на модели, имитирующей выброс загрязнителей из приемных камер-лагунов. Незначительное увеличение эмиссии монооксида азота (NO) и оксида углерода (CO) может быть связано с возможным заполнением адсорбционных пор (энергоемкостью сорбента), поскольку использование подобных материалов в агрессивных средах ведет к довольно быстрому снижению адсорбционных характеристик [8].

Таблица 2. Результаты трех сравнительных измерений газовых выбросов (с % удаления), полученные с использованием биосорберов со смешанными наполнителями

№ п/п	Определяемый показатель (газ)	Ед.изм.	Результат измерений			ПДК м.р.
			Солома + бентонит + уголь	Солома + бентонит	Солома + уголь	
1	CO (оксид углерода)	мг/м <sup>3</sup>	4,98 <b>+29,2%</b>	4,01 <b>42,9%</b>	4,92 <b>30%</b>	5
2	NO (монооксид азота)	мг/м <sup>3</sup>	0,041 <b>+4,1%</b>	0,016 <b>+1,6%</b>	0,015 <b>+1,5%</b>	0,4
3	NO <sub>2</sub> (диоксид азота)	мг/м <sup>3</sup>	0,000 <b>100%</b>	0,091 <b>83,5%</b>	0,000 <b>100%</b>	0,2
4	H <sub>2</sub> S (сернистый водород)	мг/м <sup>3</sup>	0,00 <b>100%</b>	0,08 <b>77,1%</b>	0,00 <b>100%</b>	0,008
5	SO <sub>2</sub> (диоксид серы)	мг/м <sup>3</sup>	0,31 <b>36,7%</b>	0,39 <b>20,4%</b>	0,24 <b>51%</b>	0,5
6	NH <sub>3</sub> (аммиак)	мг/м <sup>3</sup>	0 <b>100%</b>	7,0 <b>63,6%</b>	0 <b>100%</b>	0,2

Источник: составлено авторами.

Результаты, полученные в ходе вышеописанного экспериментального параллельного опыта, позволяют сделать вывод об успешности и правильности подбора смешанных органических наполнителей для биосорберов. Дополнительным аддитивным фактором выступает эффективность подобного типа загрузок (исходя из данных табл. 2), практически приближенная к отметке полного удаления указанных групп воздушных загрязнителей, что позволяет выявить дальнейшую перспективу в разработке сорбирующих материалов из отходов сельскохозяйственной деятельности и кремнийсодержащих пород. Тематика использования подобных типов сорбентов в условиях реальных объектов промышленности и сельского хозяйства требует проведения дальнейших исследований по технологической эффективности.

### Список литературы

- [1] *Игнатъева Л.П., Чирцова М.В., Потапова М.О.* Гигиена атмосферного воздуха: учебное пособие / ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава России, кафедра коммунальной гигиены и гигиены детей и подростков. Иркутск: ИГМУ, 2015. 12–27 с.
- [2] *Онищенко Г.Г., Рахманина Ю.А.* Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. 408 с.
- [3] *Баженов В.И., Королева Е. А.* Варианты технических решений по удалению запаха сточных вод // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 5. С. 104–107.

- [4] Гаврилова Н.Н., Назаров В.В. Анализ пористой структуры на основе адсорбционных данных: учеб. пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. 132 с.
- [5] Maia G.D.N. Ammonia biofiltration and nitrous oxide generation during the start-up of gas-phase compost biofilters // *Atmospheric Environment*. 2012. Vol. 46. P. 659–664.
- [6] Кондакова Н.В., Бондаренко Н.Б., Серпокрылов Н.С. Пат. 214418 Российская Федерация, МПК В01D 53/34 (2006.01) В01D 53/84 (2006.01), СПК В01D 53/34 (2022.08) В01D 53/84 (2022.08). Сорбционный биофильтр для очистки газовой среды от загрязняющих и неприятно пахнущих летучих веществ / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет». № 2022117635; заявл. 29.06.2022; опубл. 26.10.2022, Бюл. № 30.
- [7] Xiaohua Q., Mingzhu L., Zhenbin C. Preparation and Properties of Diatomite Composite Super Absorbent // *Polymers for Advanced Technologies*. 2007. 18(3). 184–193 с.
- [8] Simon W. Absorbent regeneration with flashed lean solution and heat integration. URL: <https://patents.google.com/patent/WO2008063079A2/en> (дата обращения: 24.03.2023).

### Сведения об авторах:

*Бондаренко Никита Борисович*, аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения, Донской государственный технический университет, Российская Федерация, 344010, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1. E-mail: [nikbond@mail.ru](mailto:nikbond@mail.ru)

*Кондакова Надежда Валерьевна*, аспирант кафедры водного хозяйства, инженерных сетей и защиты окружающей среды, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132. E-mail: [kondakova.nadya.v@yandex.ru](mailto:kondakova.nadya.v@yandex.ru)

*Старовойтов Сергей Вадимович*, кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики на железнодорожном транспорте, Ростовский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2. E-mail: [se.starovoytov@yandex.ru](mailto:se.starovoytov@yandex.ru)

*Бутко Денис Александрович*, кандидат технических наук, заведующий кафедрой водоснабжение и водоотведение, Донской государственный технический университет, Российская Федерация, 344010, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1. E-mail: [den\\_111@mail.ru](mailto:den_111@mail.ru)

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-1-41-50

EDN: GWENSS

УДК 504.7

Научная статья / Research article

## Изучение механизма действия новых производных хиноксалин 1,4-диоксида на модельном объекте *Mycobacterium smegmatis*

А.А. Ватлин<sup>1,2</sup>  , С.Г. Фролова<sup>1</sup>, О.Б. Беккер<sup>1</sup>, В.Н. Даниленко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИОГен РАН, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация  
 [vatlin\\_alexey123@mail.ru](mailto:vatlin_alexey123@mail.ru)

**Аннотация.** По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) устойчивость к антибиотикам является сегодня одной из наиболее серьезных угроз для здоровья человечества, продовольственной безопасности и развития, при этом одним из наиболее смертоносных бактериальных заболеваний остается туберкулез (ТБ). Основной проблемой лечения туберкулезной инфекции является возникновение штаммов с лекарственной устойчивостью (ЛУ) к 4–9 препаратам. Возникновение бактериальных штаммов с ЛУ является следствием недостаточной приверженности лечению пациентов, прерванного лечения, неправильно подобранного курса химиотерапии, а также, по последним данным, накопления антибиотиков в окружающей среде, которые могут приводить к активации природной системы лекарственной устойчивости у бактерий. Следствием ЛУ к антибиотикам являются продолжительные госпитализации, рост медицинских расходов и смертности в связи с чем стоит задача разрабатывать новые эффективные антибактериальные препараты, которые бы обладали новыми механизмами для снижения возникновения бактериальной устойчивости. В данной работе нами были изучены механизмы действия новых перспективных антимикобактериальных производных хиноксалин 1,4-диоксида на модельном объекте *Mycobacterium smegmatis*.

**Ключевые слова:** антибиотики, бактериальная устойчивость, микобактерии, туберкулез

**Благодарности и финансирование.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-45-00018).

© Ватлин А.А., Фролова С.Г., Беккер О.Б., Даниленко В.Н., 2024



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

**Вклад авторов.** А.А. Ватлин – написание статьи, получение, анализ и интерпретация данных, написание статьи; С.Г. Фролова – получение, анализ и интерпретация данных, написание статьи, отбор проб; О.Б. Беккер – анализ и интерпретация данных; В.Н. Даниленко – окончательное утверждение присланной в редакцию рукописи.

**История статьи:** поступила в редакцию 19.06.2023; доработана после рецензирования 12.11.2023; принята к публикации 15.11.2023

**Для цитирования:** Ватлин А.А., Фролова С.Г., Беккер О.Б., Даниленко В.Н. Изучение механизма действия новых производных хиноксалин 1,4-диоксида на модельном объекте *Mycobacterium smegmatis* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 1. С. 41–50. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-41-50>

## Studying the mechanism of action of new derivatives of quinoxalin-1,4-dioxide on the model organism *Mycobacterium smegmatis*

Aleksey A. Vatlin<sup>1,2</sup>  , Svetlana G. Frolova<sup>1</sup>, Olga B. Bekker<sup>1</sup>, Valeriy N. Danilenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>RUDN University, Moscow, Russian Federation  
vatlin\_alexey123@mail.ru

**Abstract.** According to the World Health Organization (WHO), antibiotic resistance is currently one of the most serious threats to human health, food security, and development. Tuberculosis (TB) remains one of the deadliest bacterial diseases. The primary challenge in treating tuberculosis infection is the emergence of strains with multidrug resistance (MDR) to 4–9 drugs. The emergence of bacterial strains with MDR is a consequence of patients' insufficient adherence to treatment, interrupted therapy, improperly prescribed courses of chemotherapy, and, according to recent data, the accumulation of antibiotics in the environment, which can activate the natural drug resistance system in bacteria. The consequences of MDR to antibiotics include prolonged hospitalizations, increased medical expenses, and mortality. Therefore, the task is to develop new effective antibacterial agents with novel mechanisms to reduce the emergence of bacterial resistance. In this study, we investigated the mechanisms of action of new promising antimycobacterial derivatives of quinoxalin-1,4-dioxide on the model organism *Mycobacterium smegmatis*.

**Keywords:** antibiotics, bacterial resistance, mycobacteria, tuberculosis

**Acknowledgements and Funding.** This work was supported by the Russian Science Foundation (grant 21-45-00018).

**Authors' contributions.** А.А. Ватлин – writing the article, obtaining, analyzing, and interpreting data, writing the article; С.Г. Фролова – obtaining, analyzing, and interpreting data, writing the article, sample selection; О.Б. Беккер – analysis and interpretation of data; В.Н. Даниленко – final approval of the manuscript submitted to the editorial office.

**Article history:** received 19.06.2023; revised 12.11.2023; accepted 15.11.2023.

**For citation:** Vatlin AA, Frolova SG, Bekker OB, Danilenko VN. Studying the mechanism of action of new derivatives of quinoxalin-1,4-dioxide on the model organism *Mycobacterium smegmatis*. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(1):41–50. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-41-50>

## Введение

Туберкулез с множественной лекарственной устойчивостью (МЛУ) по-прежнему остается одной из основных угроз современной медицины – с 2018 по 2021 г. произошло 649 000 новых случаев туберкулеза с устойчивостью к рифампицину (RR-TB) – самому эффективному препарату первой линии, из которых в 78 % случаев возникла МЛУ (устойчивость к рифампицину и изониазиду) [1]. Возникновение штаммов с МЛУ может в том числе являться следствием недостаточной приверженности курсу лечения пациентов, прерванной терапии или неправильно подобранного курса химиотерапии. Россия, наряду с Индией и Китаем, входит в число стран с наибольшим распространением МЛУ-туберкулеза (WHO Global Tuberculosis Report 2022). Наибольшую опасность среди штаммов с МЛУ представляют штаммы ТБ с широкой лекарственной устойчивостью (ШЛУ), устойчивые к 4–9 препаратам [2]. Увеличение уровня устойчивости также связывают с накоплением антибиотиков в природе и активацией систем природной лекарственной устойчивости у бактерий. По последним данным, одним из факторов, ускоряющим возникновение ЛУ, является наличие в окружающей среде минимальных селективных концентраций (minimal selective concentrations, MSC) антибиотиков, которые могут приводить к увеличению устойчивых штаммов в популяции и активации механизмов защиты клетки от антибиотиков (выброс или инактивация антибиотиков) [3–5]. Таким образом, одной из основных сегодняшних задач является поиск новых противотуберкулезных препаратов (ПТП), которые будут обладать принципиально новыми механизмами действия, что позволит преодолеть феномен лекарственной устойчивости.

Целью данного исследования являлось изучение механизма действия перспективных кандидатов в ПТП – нового производного хиноксалин 1,4-диоксида, синтезированного нами ранее **4** [6]. Данные соединения были отобраны благодаря высокой активности в отношении микобактерий – показано, что соединения данного класса вносят одно- и двухнитевые разрывы в ДНК, приводя к гибели клеток, что делает их перспективными для дальнейшего изучения и модификации [7]. Методами обратной генетики мы показали, что мутации в генах *MSMEG\_4646*, *MSMEG\_5122* и *MSMEG\_1380* обеспечивают устойчивость к соединению **4** [6]. В данной работе с использованием генетических конструкций с повышенным уровнем экспрессии генов мы изучили механизмы перекрестной устойчивости к производным хиноксалин 1,4-диоксида на модельном объекте *Mycobacterium smegmatis*.

## Материалы и методы

### Штаммы бактерий и условия инкубации

Клетки штаммов *Mycolicibacterium (Mycobacterium) smegmatis* (табл. 1). выращивали в жидкой среде Middlebrook 7H9 (HiMedia) с добавлением OADC (олеиновая кислота, альбумин, декстроза, каталаза), 0,05 % Tween 80, 0,4 % глицерина и в жидкой среде Lemco-Tween. Состав среды Lemco-Tween (на 1 литр): 5 г пептона (Oxoid), 5 г Lab Lemco (Oxoid), 5 г NaCl, 0,05 % Tween 80. Для выращивания *M. smegmatis* на агаризованной среде использовалась среда M290 (HiMedia Laboratories Pvt. Ltd). *M. smegmatis* инкубировали при  $t = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 1. Бактериальные штаммы, использованные в этой работе

Бактериальные штаммы		
Название	Описание	Ссылка
<i>M. smegmatis</i> mc <sup>2</sup> 155	Штамм дикого типа ( <i>w.t.</i> )	[8]
<i>M. smegmatis</i> <i>qdr</i>	Спонтанные мутанты <i>M. smegmatis</i> <i>qdr</i> 1, <i>qdr</i> 4 и <i>qdr</i> 5, устойчивые к соединению <b>1</b>	[9]
<i>M. smegmatis</i>	Штаммы <i>M. smegmatis</i> , несущие <i>pMind</i> , содержащую мутантные гены: <i>pM4646w</i> , <i>pM4646q314</i> , <i>pM4648w</i> , <i>pM4648q1</i> , <i>pM5122</i>	Настоящая работа

Источник: составлено авторами.

### Клонирование генов, содержащих мутации в генах *MSMEG\_4646*, *MSMEG\_4648*, *MSMEG\_5122* в плазмидный вектор *pMind*

Гены *MSMEG\_4646*, *MSMEG\_4648*, *MSMEG\_5122* *M. smegmatis* были амплифицированы с геномной ДНК мутантных штаммов, устойчивых к производному хиноксалин 1,4-диоксида – **4**, и штамма WT *M. smegmatis* mc<sup>2</sup> 155 по праймерам, подобранным с помощью primer BLAST NCBI (табл. 2). Оптимальная температура отжига праймеров была подобрана с помощью градиентной ПЦР на приборе Bio-Rad T100 (США). Для амплификации использовали набор Tersus Plus PCR kit (Евроген). Амплифицированный фрагмент был клонирован в челночный репликативный вектор *pMind* по сайтам рестрикции *NdeI* и *SpeI* (Fast digest, Thermo Scientific, США). Для лигирования использовали T4-ДНК лигазу (Thermo Scientific, США). Полученными конструкциями трансформировали компетентные клетки *E. coli* по стандартной методике [10]. Оценка наличия целевой вставки нужной длины проводилась методом ПЦР-скрининга колоний. Из клеток *E. coli* конструкции со вставками целевых генов выделяли с помощью набора для выделения плазмидной ДНК (Евроген, Россия). Полученные конструкции были трансформированы в компетентные клетки *M. smegmatis* mc<sup>2</sup> 155 методом электропорации по методике [11].

Таблица 2. Праймеры, использованные в работе

Название праймера	Праймеры для клонирования в pMind
pM_4646_f	NdeI 5' ttttCATATGggaggaaatgttATGGGTGACAACGGCAACGG 3'
pM_4646_r	SpeI 5' ttttACTAGTTCATGCGTTCGCTCCCACAG 3'
pM_4648_f	NdeI 5' ttttCATATGggaggaaatgttATGGCGCACCGGTACAAGG 3'
pM_4648_r	SpeI 5' ttttACTAGTTCACATCGGCAGGTTGTAGGG 3'
pM_5122_f	NdeI 5' ttttCATATGggaggaaatgttATGACGTACGTCATTGCCGAAC 3'
pM_5122_r	SpeI 5' ttttACTAGTTCAGTCTCACCTGAGGC 3'

Источник: составлено авторами.

### Тест на чувствительность *M. smegmatis* к производным хиноксалин 1,4-диоксида

Культуры инкубировали при 200 об./мин и 37 °С в течение ночи до OD 600 = 1,2. Затем определяли чувствительность к производным хиноксалин 1,4-диоксида методом бумажных дисков (диффузно-дисковым методом): культуру *M. smegmatis* разводили 1 : 9 : 10 (культура : вода : среда M290 (HiMedia Laboratories Pvt. Ltd)) и высевали поверх основного слоя агара на чашки Петри. Чашки Петри инкубировали в течение 2 дней при 37 °С до полного роста бактериального газона. Ореолы ингибирования роста измеряли с точностью до 1 мм. Опыты проводили троекратно; рассчитывали средний диаметр и стандартное отклонение (СО). Критерием отбора положительных результатов было наличие достоверной разницы в величине диаметра зоны ингибирования роста и отсутствие пересечения стандартных отклонений диаметров зон ингибирования роста экспериментального и контрольного образцов *M. smegmatis* [12].

## Результаты

### Исследование перекрестной устойчивости мутантов *M. smegmatis* qdR.

Для исследования перекрестной устойчивости к производным хиноксалин 1,4-диоксида нами были использованы спонтанные мутанты *M. smegmatis* mc2 155, устойчивые к 4-кратному МИК соединения 4 (табл. 3), полученные и частично охарактеризованные ранее [6]. С помощью сравнительного геномного анализа были выявлены мутации в четырех различных генах: *MSMEG\_1380*, *MSMEG\_4646*, *MSMEG\_4648*, а также в гене и его промоторной области *MSMEG\_5122*. Методами обратной генетики было показано, что мутации в генах *MSMEG\_1380*, *MSMEG\_4648* и *MSMEG\_5122* приводят к устойчивости к описанным ранее производным хиноксалина 1,4-диоксида [6].

Для исследования перекрестной устойчивости к производным хиноксалин 1,4-диоксида, а следовательно, понимания наличия общности механизма действия или устойчивости *M. smegmatis* к различным хиноксалин

1,4-диоксидам были использованы спонтанные мутанты *M. smegmatis*, устойчивые к соединению 4: *M. smegmatis* qdR1, *M. smegmatis* qdR4 и *M. smegmatis* qdR5 (см. табл. 2). Возможную перекрестную устойчивость проверяли к следующим соединениям: 4, 13с, 12с, 13а, 16с, 14а, 15с (соединения, представлены в табл. 3).

Таблица 3. Химические соединения, использованные в исследовании

№	Название	Ссылка
4	2-карбоэтокси-3-метил-6-(пиперазин-1-ил)-7-хлорхиноксалин 1,4-диоксида гидрохлорид	[6]
13с	2-ацетил-7-(пиперазин-1-ил)-3-трифторметил-6-хлорхиноксалин 1,4-диоксида гидрохлорид	[9]
12с	7-(пиперазин-1-ил)-3-трифторметил-6-хлор-2-этоксикарбонилхиноксалин 1,4-диоксида гидрохлорид	
13а	2-ацетил-7-(пиперазин-1-ил)-3-трифторметилхиноксалин 1,4-диоксида гидрохлорид	
16с	7-(пиперазин-1-ил)-3-трифторметил-2-фураноил-6-хлорхиноксалин 1,4-диоксида гидрохлорид	
14а	7-(пиперазин-1-ил)-2-пропаноил-3-трифторметилхиноксалин 1,4-диоксида гидрохлорид	
15с	2-бензоил-7-(пиперазин-1-ил)-3-трифторметил-6-хлорхиноксалин 1,4-диоксида гидрохлорид	

Источник: составлено авторами.

Исследование выявило перекрестную устойчивость ко всем испытанным соединениям практически во всех случаях. Мутанты серии qdR были устойчивы к большинству проанализированных производных хиноксалин 1,4-диоксидов (рис. 1). Штамм *M. smegmatis* qdR1 в целом был чувствительнее остальных мутантов, хотя и достоверно устойчивее штамма дикого типа ко всем соединениям.

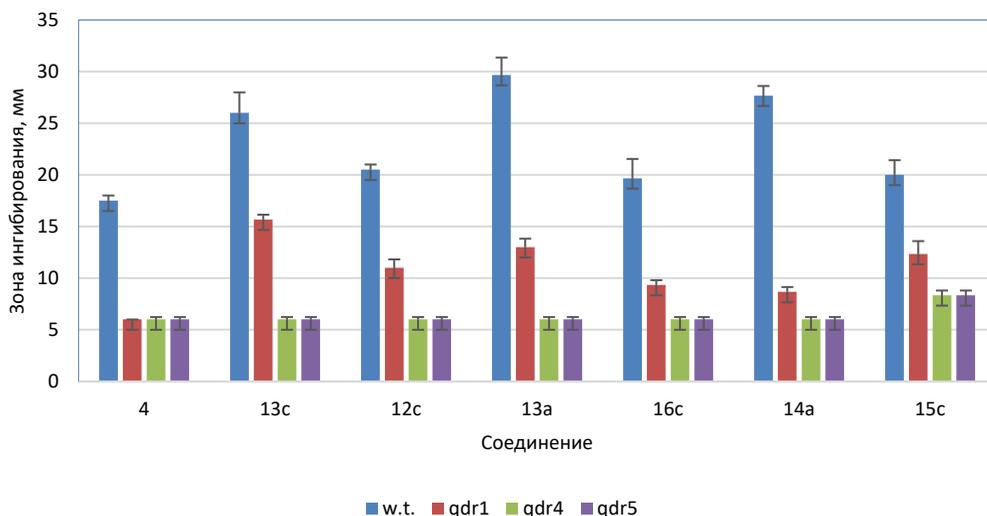


Рис. 1. Диаметры зон ингибирования роста вокруг дисков, содержащих различные хиноксалин 1,4-диоксиды, в отношении спонтанных мутантов *M. smegmatis*, устойчивых к соединению 4. Концентрация соединений – 10 нмоль/диск.

Планки погрешностей отражают стандартное отклонение

Источник: составлено авторами.

### Исследование роли отдельных генов и мутаций в формировании устойчивости к хиноксалин 1,4-диоксидам

Ранее проведенное полногеномное секвенирование показало, что мутанты *M. smegmatis*, *qdr1*, *M. smegmatis*, *qdr4* и *M. smegmatis*, *qdr5* имеют уникальные несинонимичные мутации [6], что подтверждает предыдущие сообщения о ДНК-повреждающих свойствах хиноксалин 1,4-диоксидов [7].

Количество уникальных мутаций в каждом штамме коррелировало с уровнем устойчивости, что позволяет предположить, что их комбинация имеет синергический эффект. Мы проанализировали возможную связь всех мутантных генов и выделили несколько генов, связанных с окислением пирувата до ацетил-КоА.

Таблица 4. Уникальные мутации в геномах мутантов *M. smegmatis qdr1*, *M. smegmatis qdr4* и *M. smegmatis qdr5*

Protein ID	Locus tag	Annotation	Codon	SNP	A.a.	Distance to gene
<i>M. smegmatis qdr1</i>						
YP_888911.1	MSMEG_4648	DNA-binding protein	49	CAG > CCG	Q > P	–
YP_889369.1	MSMEG_5122	Ferredoxin	–	–	–	71–72
<i>M. smegmatis qdr4</i>						
YP_888909.1	MSMEG_4646	Pyruvate synthase	95	AAC > CAC	N > H	–
<i>M. smegmatis qdr5</i>						
YP_888909.1	MSMEG_4646	Pyruvate synthase	274	CCG > CTG	P > L	–

Источник: составлено авторами.

### Сверхэкспрессия целевых генов дикого типа и их мутантных вариантов у *M. smegmatis*

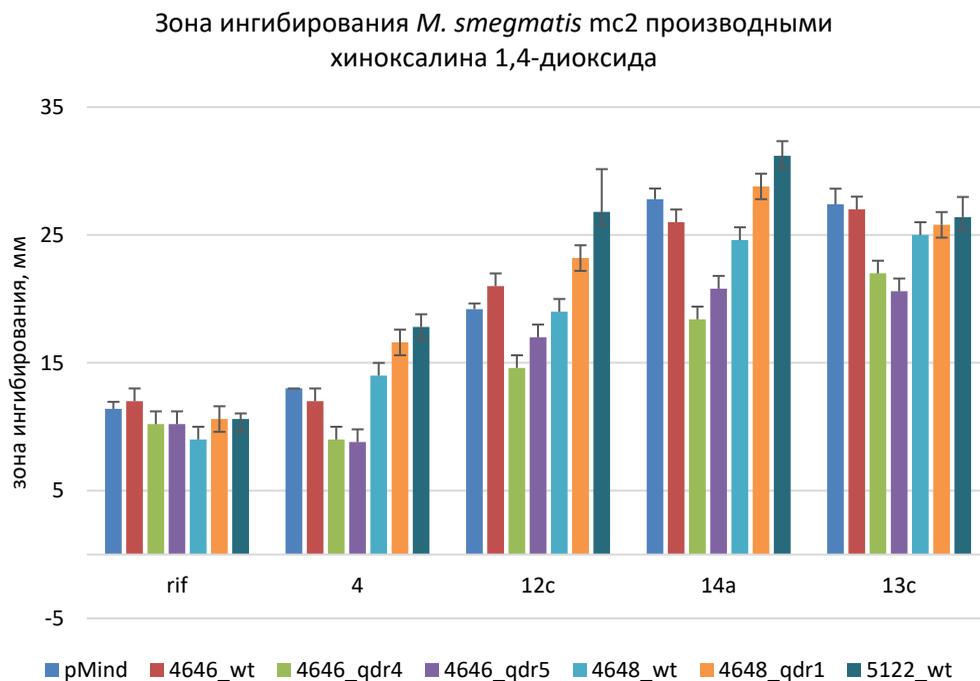
Для исследования роли отдельных генов и мутаций в них в формировании устойчивости к хиноксалин 1,4-диоксидам нами использован подход – сверхэкспрессия целевых генов дикого типа и их мутантных вариантов (табл. 4). Для этого подхода нами использован вектор pMIND [13], имеющий ориджины для репликации в клетках *E. coli* и микобактерий, а также индуцибельный тетрациклиновый промотор.

Нами были получены следующие конструкции:

- pM4646wt: pMIND, содержащая ген *MSMEG\_4646* дикого типа;
- pM4646qdr4: pMIND, содержащая ген *MSMEG\_4646* с мутацией AAC > CAC в кодоне 95 (N → H), соответствующая мутанту *M. smegmatis qdr4*;
- pM4646qdr5: pMIND, содержащая ген *MSMEG\_4646* с мутацией CCG > CTG в кодоне 274 (P → L), соответствующая мутанту *M. smegmatis qdr5*;
- pM4648wt: pMIND, содержащая ген *MSMEG\_4648* дикого типа;
- pM4648qdr1: pMIND, содержащая ген *MSMEG\_4648* с мутацией CAG > CCG в кодоне 274 (Q → P), соответствующая мутанту *M. smegmatis qdr1*;

- pM5122: pMIND, содержащая ген MSMEG\_5122 дикого типа.

Данными конструкциями был трансформирован штамм *M. smegmatis* mc2 155. Фенотип лекарственной чувствительности полученных трансформантов *M. smegmatis*, несущих сконструированные плазмиды, оценивался диско-диффузным методом, в качестве соединения-контроля использовался рифампицин (rif) (рис. 2).



**Рис. 2.** Диаметры зон ингибирования роста вокруг дисков, содержащих различные хиноксалины 1,4-диоксида, на культурах *M. smegmatis*. Концентрация соединений – 10 нмоль/диск. Планки погрешностей отражают стандартное отклонение

Источник: составлено авторами.

Результаты (рис. 2) показали достоверное повышение устойчивости к соединениям 4, 12с, 14а и 13с при сверхэкспрессии мутантных генов MSMEG\_4646. Сверхэкспрессия мутантных генов MSMEG\_4648 не привела к повышению устойчивости. Сверхэкспрессия гена дикого типа MSMEG\_5122 закономерно приводила к повышению чувствительности к соединениям 4 и 12с, вероятно, смещая равновесие окислительно-восстановительной реакции за счет присутствия большего количества донора электронов.

## Выводы

В результате проведенной работы нам удалось установить предполагаемый механизм действия производных хиноксалина 1,4-диоксида на модельном объекте *Mycobacterium smegmatis*. Можно предположить, что различия в

уровне чувствительности мутантных штаммов основаны на различных наборах мутаций у разных штаммов. Так, у мутантов, qdR4 и qdR5 есть мутации в гене *MSMEG\_4646* (см. табл. 4), кодирующем альфа-субъединицу ферредоксин-оксидоредуктазы (пируват-синтазы), участвующей в метаболизме пирувата. У мутанта qdR1 обнаружена мутация в гене *MSMEG\_4648*, аннотированным как ДНК-связывающий белок, который может выступать регулятором транскрипции находящегося рядом оперона, кодирующего альфа- и бета-субъединицы вышеуказанной пируват-синтазы и *MSMEG\_5122*. У одного из исследуемых ранее мутантов мы смогли обнаружить мутацию только в гене *MSMEG\_5122*, кодирующем непосредственно ферредоксин, а мутант qdR1 также имеет две мутации в предположительной промоторной области гена *MSMEG\_5122* (позиции – 71–72), при этом оба мутантных штамма были устойчивы к исследуемому соединению. Ферредоксин выступает акцептором электронов для пируват-синтазы в процессе окисления пирувата до ацетил-КоА. Вероятно, мутантная субъединица конкурирует с таковой дикого типа при формировании комплекса пируват-синтазы, что в сумме снижает эффективность его работы и активации хиноксалин 1,4-диоксидов, приводя к снижению чувствительности штамма к исследуемому соединению.

#### Список литературы

- [1] Salari N, Kanjoori AH, Hosseini-Far A, Hasheminezhad R, Mansouri K, Mohammadi M. Global prevalence of drug-resistant tuberculosis: a systematic review and meta-analysis. *Infectious Diseases of Poverty*. 2023 May 25;12(1):57. <http://doi.org/10.1186/s40249-023-01107-x>
- [2] Tiberi S, Utjesanovic N, Galvin J, Centis R, D'Ambrosio L, van den Boom M, et al. Drug resistant TB – latest developments in epidemiology, diagnostics and management. *Int Journal Infection Diseases*. 2022 Nov;124 Suppl 1:S20–25.
- [3] Prieto Martin Gil S, Tajuelo A, López-Siles M, McConnell MJ. Subinhibitory Concentrations of Clinically-Relevant Antimicrobials Affect Resistance-Nodulation-Division Family Promoter Activity in *Acinetobacter baumannii*. *Frontiers in Microbiology*. 2021;12.
- [4] Gullberg E, Cao S, Berg OG, Ilbäck C, Sandegren L, Hughes D, et al. Selection of resistant bacteria at very low antibiotic concentrations. *PLoS Pathogens*. 2011 Jul;7(7):e1002158.
- [5] Stanton IC, Murray AK, Zhang L, Snape J, Gaze WH. Evolution of antibiotic resistance at low antibiotic concentrations including selection below the minimal selective concentration. *Communication Biology*. 2020 Sep 3;3(1):1–11.
- [6] Frolova SG, Vatlin AA, Maslov DA, Yusuf B, Buravchenko GI, Bekker OB, et al. Novel Derivatives of Quinoxaline-2-carboxylic Acid 1,4-Dioxides as Antimycobacterial Agents: Mechanistic Studies and Therapeutic Potential. *Pharmaceuticals*. 2023 Nov;16(11):1565.
- [7] Junnotula V, Sarkar U, Sinha S, Gates KS. Initiation of DNA strand cleavage by 1,2,4-benzotriazine 1,4-dioxide antitumor agents: mechanistic insight from studies of 3-methyl-1,2,4-benzotriazine 1,4-dioxide. *Journal American Chemical Society*. 2009 Jan 28;131(3):1015–1024.
- [8] Snapper SB, Melton RE, Mustafa S, Kieser T, Jr WRJ. Isolation and characterization of efficient plasmid transformation mutants of *Mycobacterium smegmatis*. *Molecular Microbiology*. 1990;4(11):1911–1919.

- [9] Buravchenko GI, Maslov DA, Alam MS, Grammatikova NE, Frolova SG, Vatlin AA, et al. Synthesis and Characterization of Novel 2-Acyl-3-trifluoromethylquinoxaline 1,4-Dioxides as Potential Antimicrobial Agents. *Pharmaceuticals*. 2022 Feb;15(2):155.
- [10] Lázaro-Silva DN, Mattos JCPD, Castro HC, Alves GG, Amorim LMF. The Use of DNA Extraction for Molecular Biology and Biotechnology Training: A Practical and Alternative Approach. *Creative Education*. 2015 May 19;6(8):762–772.
- [11] Parish T, Brown AC (eds.). *Mycobacteria Protocols: Second Edition*. In: *Methods in Molecular Biology*. Totowa, NJ: Humana Press; 2009. Vol. 465.
- [12] Erkmen O. (ed.) *Practice 18 – Antibiotic sensitivity test technique*. In: O Erkmen Academic Press; *Laboratory Practices in Microbiology*, 2021. p. 181–186.
- [13] Blokpoel MCJ, Murphy HN, O’Toole R, Wiles S, Runn ESC, Stewart GR, et al. Tetracycline-inducible gene regulation in mycobacteria. *Nucleic Acids Researches*. 2005 Feb 1;33(2):e22.

### Сведения об авторах:

*Ватлин Алексей Александрович*, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории генетики микроорганизмов, Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Российская Федерация, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. ORCID: 0000-0002-6673-7633. E-mail: vatlin\_alexey123@mail.ru

*Фролова Светлана Григорьевна*, младший научный сотрудник лаборатории генетики микроорганизмов, Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Российская Федерация, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: sveta.frolova.1997@bk.ru

*Беккер Ольга Борисовна*, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории генетики микроорганизмов, Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Российская Федерация, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: obbekker@mail.ru

*Даниленко Валерий Николаевич*, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией генетики микроорганизмов, Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Российская Федерация, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: valerid@vigg.ru



# ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

## ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-1-51-60

EDN: GWNSVU

УДК 574

Научная статья / Research article

### Особенности содержания тяжелых металлов в питьевой воде юга Средней Сибири

А.Е. Побилат<sup>1</sup>✉, А.А. Киричук<sup>1</sup>, О.В. Баранова<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> *Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация*

✉ [apobilat@mail.ru](mailto:apobilat@mail.ru)

**Аннотация.** Одним из условий нормальной жизнедеятельности живого организма является постоянное поступление чистой и качественной питьевой воды. В ходе исследования было проведено изучение особенностей содержания тяжелых металлов в питьевой воде юга Средней Сибири. В ходе проведения работы были решены следующие задачи: определено содержание тяжелых металлов в питьевой воде; проведено сравнение полученных значений с ПДК тяжелых металлов; выявлены особенности содержания тяжелых металлов в различных районах юга Средней Сибири. При проведении исследования установлено, что вода, используемая для хозяйственно-питьевых нужд населением края, является безопасной для использования, так как не превышены показатели ПДК для тяжелых металлов. Однако можно отметить, что пробы воды, отобранные в селах, обнаруживают более высокое среднее содержание ряда металлов. Наибольшее содержание в питьевой воде характерно для цинка, однако приведенные показатели не превышают ПДК для данного элемента (5 мг/мл). Самое низкое содержание в исследуемых пробах воды характерно для ртути, ПДК для которой составляет 0,0005 мг/мл.

**Ключевые слова:** предельно допустимая концентрация, химический элемент

© Побилат А.Е., Киричук А.А., Баранова О.В., 2024



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 23.09.2023; доработана после рецензирования 23.10.2023; принята к публикации 10.12.2023.

**Для цитирования:** Побилат А.Е., Киричук А.А., Баранова О.В. Особенности содержания тяжелых металлов в питьевой воде юга Средней Сибири // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 1. С. 51–60. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-51-60>

## Particular, the content of heavy metals in drinking water in the south of Central Siberia

Anna E. Pobilat<sup>1</sup>✉, Anatoly A. Kirichuk<sup>1</sup>, Oksana V. Baranova<sup>2</sup>

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

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

✉[apobilat@mail.ru](mailto:apobilat@mail.ru)

**Abstract.** One of the conditions for the normal functioning of a living organism is a constant supply of clean and high-quality drinking water. This is also true for the population. Therefore, during the study, the characteristics of the content of heavy metals in drinking water in the south of Central Siberia were studied. During the work, the following tasks were solved: the content of heavy metals in drinking water was determined; the obtained values were compared with the maximum permissible concentrations of heavy metals; peculiarities of the content of heavy metals in various regions of the south of Central Siberia were identified. During the study, the following results were obtained. The water used for household and drinking needs by the population of the region is safe for use, since the maximum permissible concentrations for heavy metals are not exceeded. However, it can be noted that water samples taken in villages reveal a higher average content of the studied metals. The highest content in drinking water is typical for zinc, but the given values do not exceed the maximum permissible concentration for this element (5 mg/ml). The lowest content in the studied water samples is typical for mercury, the maximum permissible concentration for which is 0.0005 mg/ml.

**Key words:** maximum permissible concentration, chemical element

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

**Article history:** received 23.09.2023; revised 23.10.2023; accepted 10.12.2023.

**For citation:** Pobilat AE, Kirichuk AA, Baranova OV. Particular, the content of heavy metals in drinking water in the south of Central Siberia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(1):51–60. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-51-60>

### Введение

Содержание различных веществ в воде, которая используется населением нашей страны для питья и иных хозяйственных нужд, отличается в зависимости от регионов [1; 2]. При этом уровень минералов в воде является

одним из главных условий для их постоянного поступления в организм и поддержания нормального протекания всех биохимических реакций в нем. Исследователи полагают, что именно поступление с водой различных минеральных веществ является основным источником пополнения микроэlementного пула в организме человека и животных [3; 4]. Для того чтобы нормировать содержание различных веществ в питьевой воде, разработаны соответствующие стандарты, позволяющие относить воду к категории непригодной к употреблению или хозяйственно-питьевой (СанПиН 2.1.4.1074-01). Причем в различных регионах страны содержание химических элементов разнится, что может представлять опасность для нормальной жизнедеятельности животных и человека [5, 6]. Например, содержание ртути в воде приводит к тому, что попадание в организм человека как прямо, так и опосредованно, например через употребление в пищу рыбы, ведет к нарушениям в работе организма [7]. Ртутное отравление проявляется особенно остро для беременных женщин [8].

Актуальность исследований качества питьевой воды, определяемой содержанием химических элементов, состоит в том, что вода, которая используется для питья и приготовления пищи человеком, должна иметь полноценный состав и не иметь опасно высокого уровня тяжелых металлов. Для этого с определенной периодичностью проводят исследования воды хозяйственно-питьевого назначения. Изучение качества воды, используемой населением, позволяет установить причины, которые вызывают микроэлементозы, характерные для того или иного региона [9–11].

Таким образом, целью нашего исследования стало изучение особенностей содержания тяжелых металлов в питьевой воде юга Средней Сибири. Исходя из поставленной цели были определены следующие задачи:

- 1) определить содержание тяжелых металлов в питьевой воде;
- 2) сравнить полученные значения с ПДК тяжелых металлов;
- 3) выявить особенности содержания тяжелых металлов в различных районах юга Средней Сибири.

### **Материалы и методы**

Содержание микроэлементов в питьевой воде определялось в аккредитованных лабораториях ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» атомно-абсорбционным методом с использованием электронной базы данных по источникам хозяйственно-питьевого водоснабжения во всех административных образованиях Красноярского края. Для оценки содержания токсичных элементов в основных видах пищевых продуктов, производимых на территории Красноярского края, использованы обобщенные многолетние данные Управления Роспотребнадзора по Красноярскому краю и результаты исследований А.М. Василовского [12].

## Результаты и их обсуждение

При изучении содержания тяжелых металлов в воде, используемой для хозяйственных нужд в Красноярском крае, показано, что в зависимости от мест забора воды выявляемые уровни химических элементов разнятся. Данные по результатам исследования приведены в таблице.

Образцы воды были разделены согласно местам их забора: крупные города, средние и мелкие города, сельские населенные пункты, а также определены средние значения для Красноярского края. Для изучения риска возникновения микроэлементозов были приведены справочные данные по ПДК изучаемых элементов. Из приведенных данных можно сделать вывод, что вода, используемая для хозяйственно-питьевых нужд населением края, является безопасной для использования, так как в ней не превышены показатели ПДК для тяжелых металлов. Однако можно отметить, что пробы воды, отобранные в селах, обнаруживают более высокое среднее содержание изучаемых металлов.

**Содержание микроэлементов в питьевой воде централизованного хозяйственно-питьевого водопользования в населенных пунктах Красноярского края, мг/л\* /  
Content of trace elements in drinking water for centralized economic and drinking water use in populated areas of the Krasnoyarsk Territory, mg/l\***

Химический элемент / Trace element	ПДК / MPC	Крупные города / Big cities	Средние и мелкие города / Medium and small cities	Сельские населенные пункты / Rural localities	Среднее значение по региону / Average value by region
Марганец / Manganese	0,1	0,011	0,092	0,081	0,061
Кадмий / Cadmium	0,001	0,0001	0,0004	0,0004	0,0003
Мышьяк / Arsenic	0,01	0,002	0,0052	0,0055	0,0042
Ртуть / Mercury	0,0005	0,00012	0,00016	0,00017	0,00015
Медь / Copper	1,0	0,01	0,039	0,052	0,033
Свинец / Lead	0,01	0,0005	0,005	0,006	0,003
Хром / Chromium	0,05	0,005	0,01	0,02	0,011
Никель / Nickel	0,02	0,004	0,004	0,010	0,006
Цинк / Zinc	5,0	0,054	0,042	0,086	0,061

Примечание: \* данные Управления Роспотребнадзора по Красноярскому краю [12].

Note: \* data from the Office of Rospotrebnadzor for the Krasnoyarsk Territory [12].

Источник: составлено автором.

Source: compiled by the authors.

Наибольшее содержание в питьевой воде характерно для цинка, однако приведенные показатели не превышают ПДК для данного элемента (5 мг/мл). Самым низким содержание в исследуемых пробах воды характерно для ртути, ПДК для которой составляет 0,0005 мг/мл.

Исходя из полученных данных следует обратить внимание на те факторы, которые могут иметь влияние на содержание элементов в воде. Рассмотрим факторы, которые оказывают воздействие на процессы самоочищения от химических загрязнителей водоисточников. В Красноярском крае можно выделить северную, центральную и южную части [12], которые различны по вышеприведенным факторам. Так, на севере края эпизодически

обнаруживаются превышения ПДК по таким элементам, как марганец, мышьяк и кадмий. В центре края фиксируются превышения предельно допустимых уровней содержания бора и железа, а на юге – свинца, никеля, фтора и нитратов.

Рассмотрим источники снабжения населения водой в Красноярском крае. Больше половины объема воды хозяйственно-питьевого назначения представлено подземными источниками, которую используют более 66 % населения региона. Из поверхностных вод 18 % населения получает воду [13]. Как видно из приведенных выше данных, в изучаемом регионе на качество воды, которой снабжается население, влияют климат, антропогенные факторы, а также категория поселений (большие, малые города, села и деревни).

Известно, что в подземные воды могут просачиваться сточные воды, а также воды, загрязненные тяжелыми металлами. Так, согласно имеющимся данным, вблизи наиболее крупных городов региона именно влияние промышленности и антропогенной деятельности обуславливает изменение химического состава подземных вод [13]. Основное систематическое техногенное влияние на поверхностные и подземные водоисточники хозяйственно-питьевого водопользования оказывают предприятия цветной металлургии, гидро- и теплоэнергетики, нефтеперерабатывающей, лесной, лесоперерабатывающей, угольной, горнорудной, золотодобывающей, химической, машиностроительной, атомной и пищевой промышленности, стройиндустрии и сельского хозяйства. Особую опасность представляют места складирования отходов производств, например шламов. Они являются источником постоянного загрязнения поверхностных и подземных вод тяжелыми металлами.

Неблагополучие подземных вод по санитарно-химическим показателям обуславливается повышенным содержанием в воде железа, солей жесткости, фторидов, марганца и мышьяка. Присутствие солей нитратов характерно для сельских районов региона, специализирующихся на выращивании сельскохозяйственных культур и применении удобрений [13].

Качество воды поверхностных водоемов, используемых для централизованного хозяйственно-питьевого водопользования, в основном отвечает требованиям гигиенических норм. В водозаборах на реках Енисей, Чулым, Кан, Ангара, Красноярском и Баргинском водохранилищах содержание меди, бора, молибдена, хрома составляет до 0,1 ПДК. В отдельные периоды наблюдений отмечаются средние концентрации ртути, марганца, фтора и цинка в интервале от 0,1 до 0,5 ПДК. В Баргинском водохранилище средние концентрации большинства микроэлементов часто бывают выше, чем в Красноярском водохранилище [12]. На качество питьевой воды, ее химический состав оказывает влияние характеристика водопроводов, срок их эксплуатации.

В Красноярском крае из-за некачественного химического состава питьевой воды создаются риски для здоровья и заболеваемости населения [14]. По данным А.М. Васильевского с соавт. [12], наибольшие значения неканцерогенных рисков создаются для болезней сердечно-сосудистой системы, органов

пищеварения, эндокринной системы и почек, наименьшие для болезней иммунной, репродуктивной системы и крови. Более высокие неканцерогенные риски характерны для сельских населенных пунктов.

Если сравнивать ситуацию с качеством воды хозяйственно-питьевого назначения в Красноярском крае с данными по России, то в целом можно отметить следующие особенности. Так, край является благополучным по санитарно-химическим показателям воды. При этом наибольшая доля источников воды (свыше 80 %), свидетельствующих о неблагоприятном санитарном состоянии источников централизованного питьевого водоснабжения, была отмечена в трех субъектах РФ (Республика Дагестан – 96,65 %, Республика Карелия – 83,01 %, Чеченская Республика – 82,9 %). Это связано с тем, что в данных регионах недостаточное внимание уделяется состоянию прибрежной территории и указанию природоохранных зон. И, хотя за предыдущее десятилетие доля таких источников уменьшилась на 8 %, остается достаточно высоким количество водоемов, которые обнаруживают превышение по санитарно-химическим показателям (26 %) [15].

Наиболее высокий уровень загрязнения воды водоемов I категории химическими веществами ранее был отмечен на территории четырех субъектов РФ (более 80 % проб, не соответствующих санитарным требованиям по санитарно-химическим показателям), включая г. Москву (82,7 %), а доля проб, не соответствующих требованиям по микробиологическим показателям (более 50 %), отмечена также в четырех субъектах РФ, включая Санкт-Петербург (92 %). На качество и безопасность питьевой воды, кроме исходного состояния источников централизованного водоснабжения, существенное влияние оказывает качество технологий очистки, водоподготовки, обеззараживания и т.д., а также состояние водопроводных и распределительных сетей. Мониторинг свидетельствует, что в 2020 г. в пяти субъектах РФ 50 % водопроводов не соответствовало требованиям санитарного законодательства. В ходе мониторинга нарушения гигиенических нормативов наиболее часто регистрируются по таким веществам, как кремний, бром, железо, хром, литий, натрий, марганец, стронций, бор, сероводород и др. В структуре заболеваемости населения, вероятно обусловленной водным фактором, преобладают болезни мочеполовой системы, кожи и подкожной клетчатки, костно-мышечной системы и соединительной ткани, болезни эндокринной системы и нарушения обмена веществ. Качество питьевой воды в 2020 г. вероятно способствовало формированию 9,24 случаев смерти на 100 тыс. всего населения, а число дополнительных случаев заболеваний, как следствие воздействия этого фактора, в 2020 г. составило 938,07 случаев на 100 тыс. населения и 1898,17 случаев на 100 тыс. детского населения [15].

Следует отметить, что мониторингу качества воды, которую население использует в пищу и других нужд, следует уделять самое пристальное внимание, так как неоспоримо значение микроэлементов для нормальной жизнедеятельности организма человека (особенно детей и беременных женщин). Так,

известно, что определенным географическим областям сопутствуют такие заболевания, как эндемический зоб, флюороз, рахит, ряд которых в том числе зависят от качества питьевой воды [16]. При этом превышение ПДК ряда химических элементов в пробах воды централизованного и нецентрализованного водоснабжения ведет к возникновению стойких нарушений минерального обмена – микроэлементозов [16]. Нарушение же баланса элементов в организме может приводить к тяжелым нарушениям в работе органов живого организма, срыву регуляторных механизмов в организме человека и возникновению дезадаптивных состояний. Для предупреждения таких состояний необходимо проводить периодический мониторинг содержания микроэлементов, в том числе и тяжелых металлов в воде хозяйственно-питьевого назначения, природоохранные мероприятия по предупреждению антропогенного загрязнения источников питьевой воды.

### Заключение

При проведении исследования были получены следующие результаты. Вода, используемая для хозяйственно-питьевых нужд населением края, является безопасной для использования, так как не превышены показатели ПДК для тяжелых металлов. Однако можно отметить, что пробы воды, отобранные в селах, обнаруживают более высокое среднее содержание изучаемых металлов. Наибольшее содержание в питьевой воде характерно для цинка, однако приведенные показатели не превышают ПДК для данного элемента (5 мг/мл). Самое низкое содержание в исследуемых пробах воды характерно для ртути, ПДК для которой составляет 0,0005 мг/мл. При этом в изучаемом регионе на качество воды, которой снабжается население, влияют климат, антропогенные факторы, а также категория поселений (большие, малые города, села и деревни), а также их химическое загрязнение.

Таким образом, полученные данные могут быть использованы при экологическом мониторинге качества воды хозяйственно-питьевого значения в Красноярском крае, а также использоваться как справочные значения.

### Список литературы

- [1] Левчук А.А., Александрова А.В., Сидоркович С.А. Оценка качества подземных вод, используемых в хозяйственно-питьевых целях // Вестник евразийской науки. 2019. Т. 11. № 4. С. 1–9. <https://esj.today/PDF/09NZVN419.pdf>
- [2] Новикова Ю.А., Фридман К.Б., Федоров В.Н., Ковшов А.А., Тихонова Н.А., Мясников И.О. К вопросу оценки качества питьевой воды систем централизованного водоснабжения в современных условиях // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99. № 6. С. 563–568. <https://dx.doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-6-563-568>
- [3] Горбачев А.Л. Влияние химического состава питьевой воды на здоровье населения г. Магадана // Микроэлементы в медицине. 2021. Т. 22. № 2. С. 17–24. <http://doi.org/10.19112/2413-6174-2021-22-2-17-24>

- [4] Никанов А.Н., Гудков А.Б., Попова О.Н., Смолина В.С., Чащин В.П. Минеральный состав крови жителей арктического района с низкой минерализацией воды в системах централизованного водоснабжения // Экология человека. 2021. № 3. С. 42–47. <http://doi.org/10.33396/1728-0869-2021-3-42-47>
- [5] Харина Г.В., Алёшина Л.В. Оценка загрязнения питьевой воды Свердловской области тяжелыми металлами // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 1. С. 124–134. <http://doi.org/10.35567/1999-4508-2020-1-8>
- [6] Кику П.Ф., Кислицына Л.В., Богданова В.Д., Сабирова К.М. Гигиеническая оценка качества питьевой воды и риски для здоровья населения Приморского края // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 1. С. 94–101. <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-94-101>
- [7] Соловых Г.Н., Осинкина Т.В. Результаты исследования содержания ртути в воде, донных отложениях и двустворчатых моллюсках среднего течения р. Урал и оценка её токсического действия на лизоцимную активность и бактериальную обсемененность жабр моллюсков // Оренбургский медицинский вестник. 2019. Т. 7. № 1 (25). С. 62–68.
- [8] Саттаров М.Р. Токсичные вещества в рыбе и морепродуктах // Молодежь и наука. 2020. № 2. С. 11.
- [9] Спиваковский Ю.М., Спиваковская А.Ю. Микроэлементы и их роль в жизни человека (Сообщение 2) // Медицинская сестра. 2006. № 1. С. 39–41.
- [10] Скальный А.В., Скальная М.Г. Роль дисбаланса микроэлементов в развитии эндемического зоба у школьников нефтегазоносных районов Западного региона Республики Казахстан // Микроэлементы в медицине. 2016. Т. 17. № 2. С. 36–44. <http://doi.org/10.19112/2413-6174-2016-17-2-36-44>
- [11] Даминова Л.А., Халиков Р.А., Хасанова З.М., Хасанова Л.А. Актуальность выявления и коррекции микроэлементозов у специалистов опасных профессий // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. 2019. № 1 (49). С. 27–41.
- [12] Василовский А.М., Куркатов С.В., Михайлуц А.П., Скударнов С.Е. Гигиена среды обитания в Красноярском крае. Новосибирск: Наука, 2015. 146 с.
- [13] О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Красноярском крае в 2022 году: Государственный доклад. Красноярск: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю. 2023.
- [14] Мешков Н.А., Бобровницкий И.П., Юдин С.М., Скворонская С.А., Вальцева Е.А. Актуальные проблемы эпидемиолого-гигиенической оценки состояния окружающей среды и здоровья населения на территории Арктической зоны России // Russian journal of rehabilitation medicine. 2019. № 2. С. 40–73.
- [15] Замятина М.Ф. Эколого-климатические аспекты народосбережения регионов России // Региональная экономика и развитие территорий. 2021. Т. 1. № 15. С. 48–59. <http://doi.org/10.52897/978-5-8088-1636-7-2021-15-1-48-59>
- [16] Артеменков А.А. Проблема профилактики эндемических заболеваний и микроэлементозов у человека // Профилактическая медицина. 2019. Т. 22. № 3. С. 92–100. <https://doi.org/10.17116/profmed20192203192>

## References

- [1] Levchuk AA, Alexandrova AV, Sidorkovich SA. Assessment of the quality of groundwater used for economic and drinking purposes. *The Eurasian Scientific Journal*. 2019;11(4):7. (In Russ.) <https://esj.today/PDF/09NZVN419.pdf>

- [2] Novikova YA, Friedman KB, Fedorov VN, Tikhonova NA, Kovshov AA, Myasnikov IO. About the question of the assessment of the drinking water quality in centralized water systems in the current conditions. *Hygiene and Sanitation*. 2020;99(6):563–568. (In Russ.) <https://dx.doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-6-563-568>
- [3] Gorbachev AL. Some indicators of the chemical composition of drinking water and their impact on the health of the population of Magadan. *Mikrojelementy v medicine*. 2021;22(2):17–24. <http://doi.org/10.19112/2413-6174-2021-22-2-17-24> (In Russ.)
- [4] Nikanov AN, Gudkov AB, Popova ON, Smolina VS, Chaschin VP. Blood mineral composition in residents of the arctic region with low water mineralization rates in centralized tap water supply systems. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021;3:42–47. <http://doi.org/10.33396/1728-0869-2021-3-42-47> (In Russ.)
- [5] Kharina GV, Aleshina LV. Assessment of heavy metals contamination of drinking water in the Sverdlovsk region. *Scientific/practical journal «Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management»*. 2020;1:124–134. <http://doi.org/10.35567/1999-4508-2020-1-8> (In Russ.)
- [6] Kiku PF, Kislitsyna LV, Bogdanova VD, Sabirova KM. Hygienic assessment of the quality of drinking water and risks to the health of the population of the Primorsky Territory. *Hygiene and Sanitation*. 2019; 98 (1): 94–101. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-94-101>
- [7] Solovykh GN, Osinkina TV. The results of the study of mercury content in water, sediments and bivalve mollusks of the middle course Ural river and assessments of its toxic effect on lysozyme activity and bacterial seeding of the gills of mollusks. *Orenburg Medical Bulletin*. 2019;7(1):62–68. (In Russ.)
- [8] Sattarov MR. Toxic substances in fish and seafood. *Youth and science*. 2020;2:11–11. (In Russ.)
- [9] Spivakovskiy YM, Spivakovskaya AY. Microelements and their role in human life (Message 2). *Meditsinskaya sestra*. 2006;1:39–41. (In Russ.)
- [10] Skalny AV, Skalnaya MG. The role of microelement imbalance in the development of endemic goiter in schoolchildren of oil and gas bearing regions of the Western region of the Republic of Kazakhstan. *Mikrojelementy v medicine*. 2016;17(2):36–44. <http://doi.org/10.19112/2413-6174-2016-17-2-36-44> (In Russ.)
- [11] Daminova LA, Khalikov RA, Khasanova ZM, Khasanova LA. Relevance of identifying and correcting microelementosis among specialists in hazardous professions. *Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully*. 2019;1(49):27–41. (In Russ.)
- [12] Vasilovsky AM, Kurkatov SV, Mikhailuts AP, Skudarnov SE. *Habitat hygiene in the Krasnoyarsk Territory*. Novosibirsk: Nauka publ., 2015. 146 p. (In Russ.)
- [13] *On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Krasnoyarsk Territory in 2022: State report*. Office of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare in the Krasnoyarsk Territory, 2023. (In Russ.)
- [14] Meshkov NA, Bobrovnikskii IP, Yudin SM, Skovronskaya SA, Valtseva EA. Critical issues concerning epidemiological and environmental health assessment of the environment and public health in the Russian Arctic. *Russian journal of rehabilitation medicine*. 2019;2:40–73. (In Russ.)
- [15] Zamyatina MF. Ecological and climatic aspects of the people's conservation of the regions of Russia. *Regional economics and territorial development*. 2021;1(15):48–59. <http://doi.org/10.52897/978-5-8088-1636-7-2021-15-1-48-59>

- [16] Artemenkov AA. The problem of preventing endemic diseases and microelementosis in humans. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2019;22(3):92–100. <https://doi.org/10.17116/profimed20192203192> (In Russ.)

#### **Сведения об авторах:**

*Побилат Анна Евгеньевна*, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник кафедры медицинской элементологии, медицинский институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: apobilat@mail.ru

*Киричук Анатолий Александрович*, доктор биологических наук, доцент, руководитель департамента экологии человека и биоэлементологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0001-5125-5116, eLIBRARY SPIN-код: 9483-2011. E-mail: kirichuk-aa@rudn.ru

*Баранова Оксана Васильевна*, кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией нутрициологии, Институт биоэлементологии, Оренбургский государственный университет, Российская Федерация, 460018, Оренбург, просп. Победы, д. 13. ORCID: 0000-0002-2780-6499, eLIBRARY SPIN-код: 2310-7344. E-mail: baranovaov@yandex.ru

#### **Bio notes:**

*Anna E. Pobilat*, Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher of the Department of Medical Elementology, Medical Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: apobilat@mail.ru

*Anatoly A. Kirichuk*, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Human Ecology and Bioelementology, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, ORCID: 0000-0001-5125-5116, eLIBRARY SPIN-code: 9483-2011. E-mail: kirichuk-aa@rudn.ru

*Oksana V. Baranova*, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Nutritionology, Institute of Bioelementology, Orenburg State University, 13 prosp. Pobedy, Orenburg, 460018, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2780-6499, eLIBRARY SPIN-code: 2310-7344. E-mail: baranovaov@yandex.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-1-61-76

EDN: HCXGMM

УДК 574

Научная статья / Research article

## Оценка эффективности методики краткосрочного прогноза максимального уровня половодья в верхнем и среднем течении р. Цны

С.Н. Дудник<sup>1</sup>, М.Е. Буковский<sup>2</sup>, А.В. Семенова<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Тамбовский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», г. Тамбов, Российская Федерация

<sup>2</sup> Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация  
✉ asv273@mail.ru

**Аннотация.** Значительное поднятие уровней воды в реках во время весеннего половодья и выход рек на пойму является основной опасностью в данный период для близлежащих территорий и проживающий там людей. Это явление может приводить к затоплению обширных территорий, значительным экономическим убыткам, наносить экологический ущерб, а также угрожать здоровью и жизни местных жителей. Подобные негативные последствия высоких половодий характерны и для рек Тамбовской области, что говорит о необходимости разработки эффективной системы прогноза и предупреждения максимальных уровней половодья. Происходящие последние десятилетия климатические изменения, которые отражаются и на водном режиме рек, диктуют необходимость модернизации существующих методик прогноза. Изложены материалы оценки эффективности существующей методики краткосрочного прогноза максимального уровня половодья на примере двух гидрологических постов («Кузьмино-Гать» и «Тамбов»), расположенных на реке Цне. Были произведены расчеты по современным данным в соответствии с тестируемой методикой и проведен сравнительный анализ с расчетами прошлых лет. На основании выполненного анализа была дана оценка точности прогнозов максимальных уровней половодья по тестируемой методике. По результатам работы было установлено, что существующая методика краткосрочного прогноза максимального уровня половодья на реке Цне в большей степени не является эффективной применительно к современным условиям формирования стока весеннего

© Дудник С.Н., Буковский М.Е., Семенова А.В., 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

половодья. При анализе на гидропосту «Кузьмино-Гать» значения максимальных уровней половодья, полученные методом реанализа согласно тестируемой методики с использованием современных данных, показали значительные отклонения от реальных наблюдаемых значений. При этом для оперативного прогноза максимальных уровней воды на гидропосту «Тамбов» использование корреляционной зависимости с наблюдаемыми уровнями воды на гидропосту «Кузьмино-Гать», как и ранее, возможно. Коэффициент корреляции при использовании современных данных составил 0,96. Авторами были выделены основные недостатки существующей методики и даны предложения по совершенствованию, в частности, определены факторы, которые необходимо проанализировать, чтобы уточнить прогноз.

**Ключевые слова:** весеннее половодье, гидрологический пост, Кузьмино-Гать, Тамбов, река Цна, максимальный уровень воды, краткосрочный прогноз

**Благодарности и финансирование.** Авторы выражают благодарность Тамбовскому центру по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за предоставление климатических и гидрологических данных.

**Вклад авторов.** Каждый автор внес вклад в разработку концепции и дизайна работы. С.Н. Дудник – подача идеи статьи и предоставление первичных данных по уровням воды и температурному режиму; А.В. Семенова – сбор, обработка и анализ данных, подготовка первичного варианта текста статьи; М.Е. Буковский – проверка полученных результатов анализа, корректировка и утверждение финального текста статьи.

**История статьи:** поступила в редакцию 12.10.2023; доработана после рецензирования 12.11.2023; принята к публикации 12.12.2023

**Для цитирования:** Дудник С.Н., Буковский М.Е., Семенова А.В. Оценка эффективности методики краткосрочного прогноза максимального уровня половодья в верхнем и среднем течении р. Цны // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 1. С. 61–76. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-61-76>

## The efficiency assessment of short-term maximum flood level forecast methodology in the upper and middle course of the Tsna river

Sergey N. Dudnik<sup>1</sup>, Mikhail E. Bukovskiy<sup>2</sup>, Anna V. Semenova<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>Tambov Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring – a branch of the Federal State Budgetary Institution “Central Chernozem Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring”, Tambov, Russian Federation

<sup>2</sup>Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russian Federation

✉asv273@mail.ru

**Abstract.** A significant rise in water levels in the rivers during the spring flood and the release of rivers to the floodplain is the main danger in this period for nearby territories and people living there. This phenomenon can lead to flooding of large areas, significant economic losses, environmental damage, and threaten the health and life of local residents. Such negative consequences of high floods are typical for the Tambov region rivers, which indicates the need to develop an effective system for forecasting and preventing maximum flood levels. The

climatic changes that have taken place over the past few decades, which are also reflected in the rivers' water regime, show the need to modernize existing forecasting methodologies. In this paper, the authors have demonstrated the results of the effectiveness assessment of the existing methodology for short-term forecasting of the maximum flood level on the Tsna River at two gauging stations ("Kuzmino-Gat" and "Tambov"). Calculations were made using modern data in accordance with this methodology and a comparative analysis was carried out with the calculations of previous years. Based on this analysis, an assessment of the flood levels forecast methodology accuracy was given. According to the study results, it was found that the existing methodology for short-term forecasting of the maximum flood level on the Tsna River is largely ineffective nowadays with regard to modern conditions of spring flood runoff formation. In the analysis of the Kuzmino-Gat gauging station, the values of the maximum flood levels obtained by the reanalysis method according to the tested methodology using modern data showed significant deviations from the actual observed values. At the same time, for the operational forecast of maximum water levels at the Tambov gauging station, it is possible to use the correlation dependence with the observed water levels at the Kuzmino-Gat gauging station, as before. The correlation coefficient with modern data was 0.96. The authors have highlighted the main drawbacks of the existing methodology and made suggestions for improvement, in particular, what factors need to be analyzed in order to clarify the forecast.

**Keywords:** spring flood, gauging station, Kuzmino-Gat, Tambov, Tsna River, maximum water level, short-term forecast

**Acknowledgements and Funding.** The authors are grateful to the Tambov Center for Monitoring Hydrometeorology and Environmental Monitoring for providing weather and flood levels data.

**Authors' contributions.** Every author contributed to the study conception and design. *S.N. Dudnik* – an idea suggestion and primary data of water levels and temperature regime; *A.V. Semenova* – collection, processing and analysis of data; preparing of the first paper version; *M.E. Bukovskiy* – verification of the analysis results, correction and approval of the final text of the paper.

**Article history:** received 12.10.2023; revised 12.11.2023; accepted 12.12.2023

**For citation:** Dudnik SN, Bukovskiy ME, Semenova AV. The efficiency assessment of short-term maximum flood level forecast methodology in the upper and middle course of the Tsna river. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(1):61–76. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-61-76>

## Введение

Весеннее половодье является основной фазой водного режима равнинных рек Центральной России, которая характеризуется наивысшей водностью в году. На таких реках половодье провоцируется активным таянием снега и приходится на февраль-апрель. Данный период сопровождается выходом рек на пойму, что приводит к затоплению жилых объектов, объектов промышленности, инфраструктуры, а также угрожает жизни людей [1].

Подобные негативные последствия наблюдаются и для рек Тамбовской области [2; 3]. Рассматривая гидропосты «Кузьмино-Гать» и «Тамбов» на реке Цне, можно наблюдать частые случаи достижения уровней выхода воды на пойму, а иногда и опасных уровней, когда подтапливаются различные объекты.

С целью снизить причиняемый высокими половодьями ущерб люди издавна пытались предугадать время наступления и значения высоких уровней воды в реках. Первые серьезные шаги в изучении явления половодья и разработке методик прогноза в России были сделаны советскими учеными А.И. Воейковым, В.Н. Лебедевым, О.Т. Машкевичем и другими в 20–30-х гг. XX в. [4–6].

В результате были выведены эмпирические зависимости между высотой половодья и климатическими факторами, которые ее определяют. С помощью этих зависимостей и предполагалось осуществление прогнозирования уровней половодья, но тогда еще долгосрочного.

Позже среди математических методов стали активно использоваться для прогноза методы теории вероятностей и математической статистики, теория численных методов анализа и оптимизации, современная теория факторного анализа, дифференциальные уравнения [7].

Для построения прогностических моделей используются статистические модели (аппроксимации, экстраполяции и интерполяции, моделей оценки влияния случайных факторов процесса) [8].

В связи с активным развитием науки, а также высокой интеграцией и синергией различных отраслей науки друг с другом стали внедряться методы нейросетевого прогнозирования и нечеткой логики, разрабатываться физические и математические модели прогнозирования [9; 10].

Однако подобные модели в большинстве своем требуют значительного объема входных данных о различных гидрологических параметрах и являются достаточно сложно интерпретируемыми. Также для минимизирования ошибки и обеспечения эффективной работы модели необходима ее постоянная калибровка. Все это делает их малоэффективными в сфере краткосрочного прогнозирования [11].

Более того, для более эффективного использования физических моделей и моделей машинного обучения применяют ансамблевый метод, т.е. применяются несколько методов для построения модели одновременно. Такие модели отличаются более точными прогнозами [12].

Помимо этого, все более успешно применяются геоинформационные технологии в сфере моделирования формирования и таяния снежного покрова, разработки моделей прогноза погоды, причем в краткосрочной перспективе [13].

В связи с тем, что река Цна характеризуется высокими уровнями половодья, возникает необходимость разработки методики их прогнозирования. В ходе научных изысканий авторами была найдена методика краткосрочного прогноза максимальных уровней воды в половодье 1951 года, разработанная для гидрологических створов Тамбовского региона<sup>1</sup>. Современных методик

<sup>1</sup> Методика краткосрочного прогнозирования наивысшего уровня весеннего половодья р. Цна у г. Тамбова и с. Кузьмино-Гать. Курск: Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1951. 8 с.

прогноза половодья, адаптированных для рек Тамбовской области, обнаружено не было.

Однако в связи с происходящими климатическими изменениями, строительством различных гидротехнических сооружений и, следовательно, трансформацией водного режима возникла необходимость в оценке применимости указанной методики в настоящее время [14–16].

С целью оценки эффективности методики краткосрочного прогноза максимального уровня весеннего половодья на реке Цне у села Кузьмино-Гать и г. Тамбова авторами были проведены расчеты и построены графические зависимости по современным данным в соответствии с методикой 1951 г.

### Материалы и методы

Расчеты проводились в соответствии с «Методикой краткосрочного прогнозирования наивысшего уровня весеннего половодья на реке Цне у города Тамбова и села Кузьмино-Гать»<sup>2</sup>.

Река Цна – равнинная река Европейской территории России. Она является левым притоком реки Мокши (бассейн Волги). Это наиболее протяженная река на территории Тамбовской области длиной 446 км, из которых 300 км протекает по территории региона. Площадь бассейна составляет 21,5 тыс. км<sup>2</sup> (из них 14,2 тыс. км<sup>2</sup> в Тамбовской области) [17]. На рис. 1 представлен участок реки Цны, на котором происходило тестирование методики краткосрочного прогноза уровня воды в половодье, разработанной в 1951 г. на примере этого же участка.

Тамбовским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды были предоставлены гидрологические журналы ежедневных наблюдений за уровнем воды в реке Цне на гидропостах «Кузьмино-Гать» и «Тамбов», агрометеорологические журналы с данными ежедневных наблюдений среднесуточных температур и пентадных снегосъемок по метеостанции «Тамбов». Данные охватывают промежутки с 1970 по 2020 г.

Современные данные, необходимые для прогноза максимального уровня половодья, были оцифрованы и сведены в редакторе MS Excel в единую таблицу. Затем для каждого года были определены значения следующих параметров: максимальный уровень воды в половодье, дата достижения максимального уровня, максимальный за зиму запас воды в снежном покрове, дата достижения максимального за зиму запаса воды в снеге и дата устойчивого перехода среднесуточной температуры через 0 °C в сторону повышения.

На следующем этапе в соответствии с тестируемой методикой было необходимо установить дату накопления сумм положительных среднесуточных температур, необходимых для схода снежного покрова в зависимости от запаса воды в снежном покрове в конкретный год. При этом было принято,

<sup>2</sup> Методика краткосрочного прогнозирования наивысшего уровня весеннего половодья р. Цна у г. Тамбова и с. Кузьмино-Гать. Курск: Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1951. 8 с.

что 1 °С положительной среднесуточной температуры дает убыль запасов воды в снежном покрове в 6 мм в сутки. Данный параметр отсчитывался от даты устойчивого перехода средней суточной температуры через 0 °С в сторону повышения.

Далее определялось наибольшее среднее значение среднесуточных температур воздуха за три последовательных дня, начиная с даты устойчивого весеннего перехода до даты накопления теоретически необходимых для полного схода снежного покрова сумм положительных среднесуточных температур. Полученные значения были округлены с шагом в 0,5 °С. Однако несколько лет, а именно девять, были исключены из расчета: восемь из них (1981–1982, 1995, 1997–1998, 2001, 2013, 2019) – из-за того, что устойчивый переход среднесуточной температуры через 0 °С в сторону повышения в эти годы произошел позже, чем наступил пик половодья; 1974 г. исключен из-за отсутствия исходных гидрологических данных.



**Рис. 1. Район проведения исследований**

Источник: составлено авторами /

**Figure 1. Study area**

Source: compiled by the authors.

Затем весь массив данных был разделен в соответствии со значениями полученных ранее наибольших средних значений температур на 7 групп: 2 °С и ниже; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5 °С и выше.

Для каждой группы была построена линейная зависимость между максимальными за зиму запасами воды в снежном покрове и максимальным уровнем половодья. Следует уточнить, что при наличии в конкретном году двух пиков половодья с более высоким вторым пиком для построения линейных графических зависимостей использовался именно первый более низкий пик, что связано с особенностью тестируемой методики, которая не рассчитана на прогноз высоты второго и последующих пиков. В случае с гидропостом «Кузьмино-Гать» это – 1973, 1979, 1988, 1989, 1991 гг. Превышение второго пика половодья над первым составило в разные годы от 1 до 36 см. Линейные зависимости были получены путем аппроксимации по методу наименьших квадратов реальных кривых зависимостей максимального уровня половодья от максимальных за зиму запасов воды в снежном покрове.

Получившиеся графики были использованы для получения теоретических прогнозных значений максимальных уровней половодья на гидропосту «Кузьмино-Гать» по данным за период с 1970 по 2020 г. согласно тестируемой методике.

Для сопоставления максимальных прогнозных уровней воды, полученных с помощью тестируемой методики, с реальными максимальными уровнями воды, достигнутыми во время половодья, использовались значения реальных наблюдаемых максимальных уровней половодья вне зависимости от того, были ли они достигнуты в первый или во второй пик в случае двухвершинного половодья.

Прогноз максимального уровня воды по гидропосту «Тамбов», согласно тестируемой методике, производится на основании графика линейной зависимости максимального уровня воды на гидропосту «Тамбов» от максимального уровня воды на гидропосту «Кузьмино-Гать». На рис. 2 и 7 представлены воспроизведенные в электронном виде графики линейных зависимостей, приведенные в тестируемой методике<sup>3</sup>.

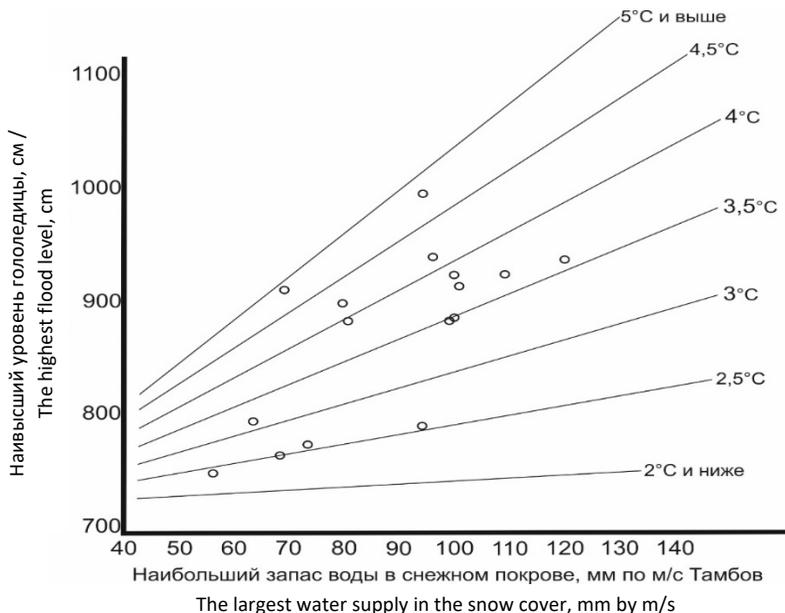
## Результаты и обсуждение

Исходя из приведенного в тестируемой методике графика зависимости максимального уровня половодья у села Кузьмино-Гать от наибольших за зиму запасов воды в снеге (рис. 2) можно наблюдать довольно четкую связь: при наличии больших запасов воды в снеге и значительном повышении среднесуточной температуры воздуха наблюдается высокое половодье, и наоборот. В ходе линейной аппроксимации зависимости максимального уровня половодья от максимальных запасов воды в снеге с учетом значений средних суточных температур воздуха по данным за период с 1970 по 2020 г. (рис. 3)

<sup>3</sup> Методика краткосрочного прогнозирования наивысшего уровня весеннего половодья р. Цна у г. Тамбова и с. Кузьмино-Гать. Курск: Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1951. 8 с.

такой четкой зависимости получено не было, что ставит под сомнение эффективность данной методики в современных условиях формирования стока половодья.

На рис. 4 линейные зависимости, полученные на рис. 3, продлены по оси  $X$  до одних и тех же пределов так же, как это сделано в тестируемой методике (рис. 2) для возможности получения прогнозных значений максимального уровня половодья с учетом наибольших средних за три последовательных дня снеготаяния значений среднесуточных температур воздуха при любых значениях запасов воды в снежном покрове в интервале от 35 до 175 мм.



**Рис. 2. Линейные зависимости максимального уровня половодья от максимальных за зиму запасов воды в снежном покрове с учетом наибольших средних за три последовательных дня снеготаяния значений среднесуточных температур воздуха по данным за 1942–1951 гг.**

*Источник:* Методика краткосрочного прогнозирования наивысшего уровня весеннего половодья р. Цна у г. Тамбова и с. Кузьмино-Гать. Курск: Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1951. 8 с.

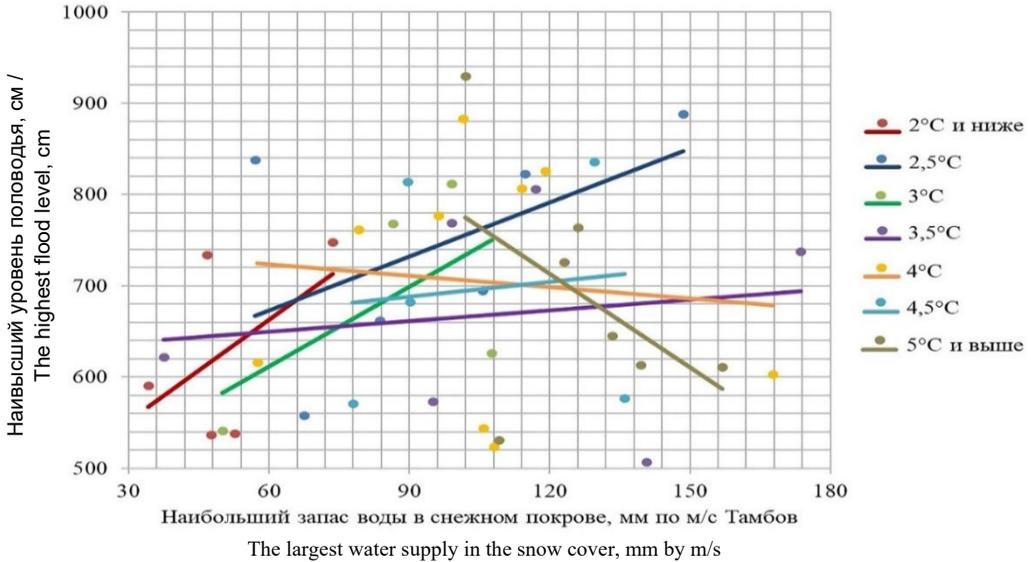
*Источник:* составлено авторами /

**Figure 2. Linear dependences of the maximum flood level on the maximum winter water reserves in the snow cover, taking into account the largest average values of average daily air temperatures for three consecutive days of snowmelt according to data for 1942–1951**

*Source:* Methodology for short-term forecasting of the highest level of spring floods on the Tsna river near the Tambov city and Kuzmino-Gat village. Kursk Central Black Earth Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, 1951. 8 p. (In Russ.).

*Source:* compiled by the authors.

Далее графическим методом были получены значения максимальных уровней воды в половодье за 1970–2020 гг. путем определения значений с использованием рис. 2 и 4. Затем рассчитана разница между значениями, полученными с помощью номограмм, и фактически наблюдаемыми значениями. Результаты представлены на рис. 5 и 6 соответственно.

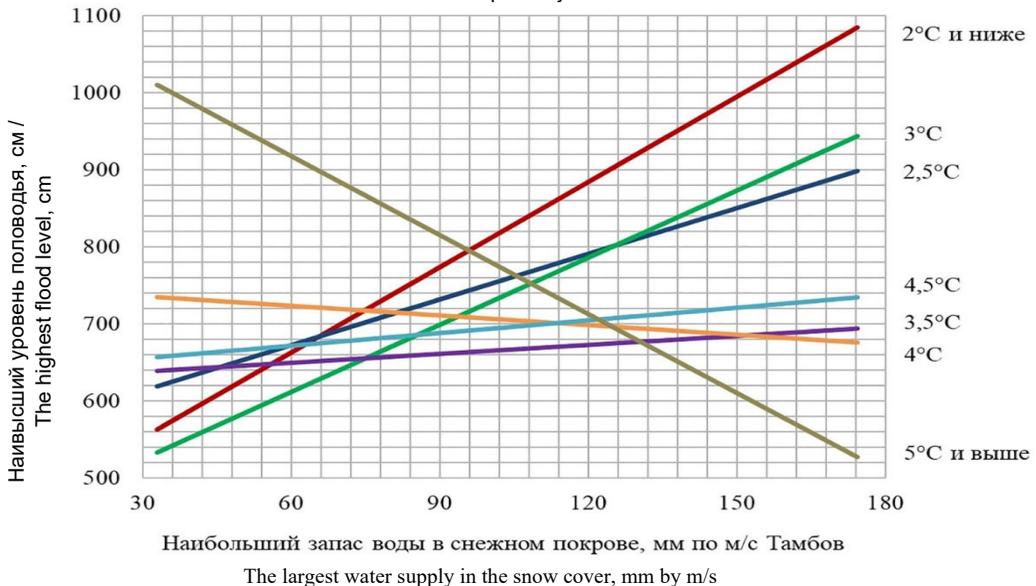


**Рис. 3.** Линейная аппроксимация зависимости максимального уровня воды в половодье от наибольших запасов воды в снежном покрове с учетом наибольших средних за три последовательных дня снеготаяния значений среднесуточных температур воздуха по современным данным, 1970–2020 гг.

*Источник:* составлено авторами /

**Figure 3.** Linear approximation of the maximum water level dependence in the flood on the largest water reserves in the snow cover, taking into account the largest average values of average daily air temperatures for three consecutive days of snowmelt according to modern data, 1970–2020

*Source:* compiled by the authors.

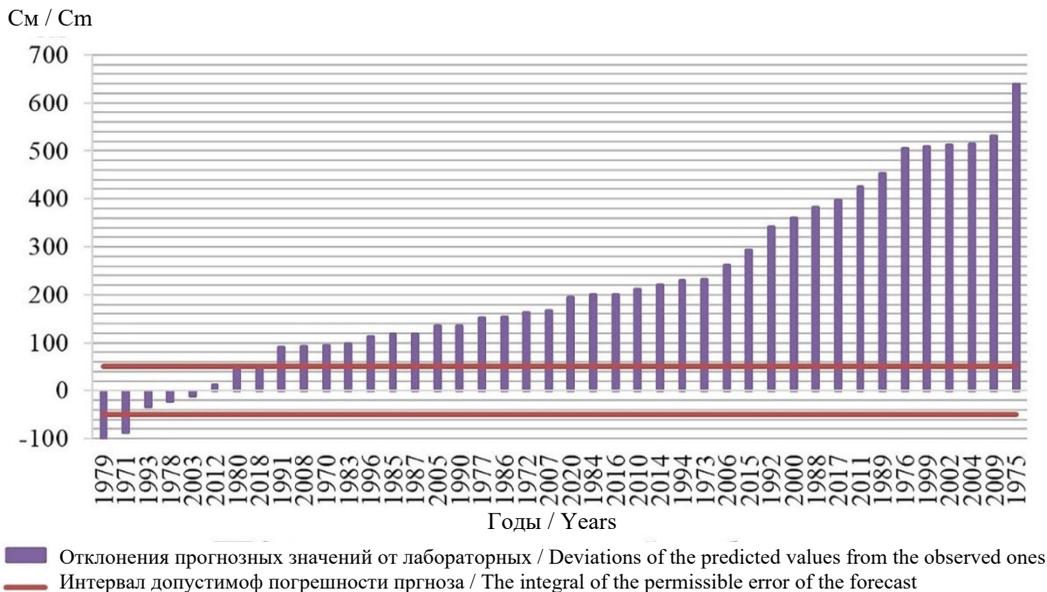


**Рис. 4.** Линейные зависимости максимального уровня половодья от максимальных за зиму запасов воды в снежном покрове с учетом наибольших средних за три последовательных дня снеготаяния значений среднесуточных температур воздуха по современным данным, 1970–2020 гг.

*Источник:* составлено авторами /

**Figure 4.** Linear dependences of the maximum flood level on the maximum winter water reserves in the snow cover, taking into account the highest average daily air temperatures for three consecutive days of snowmelt according to modern data, 1970–2020

*Source:* compiled by the authors.

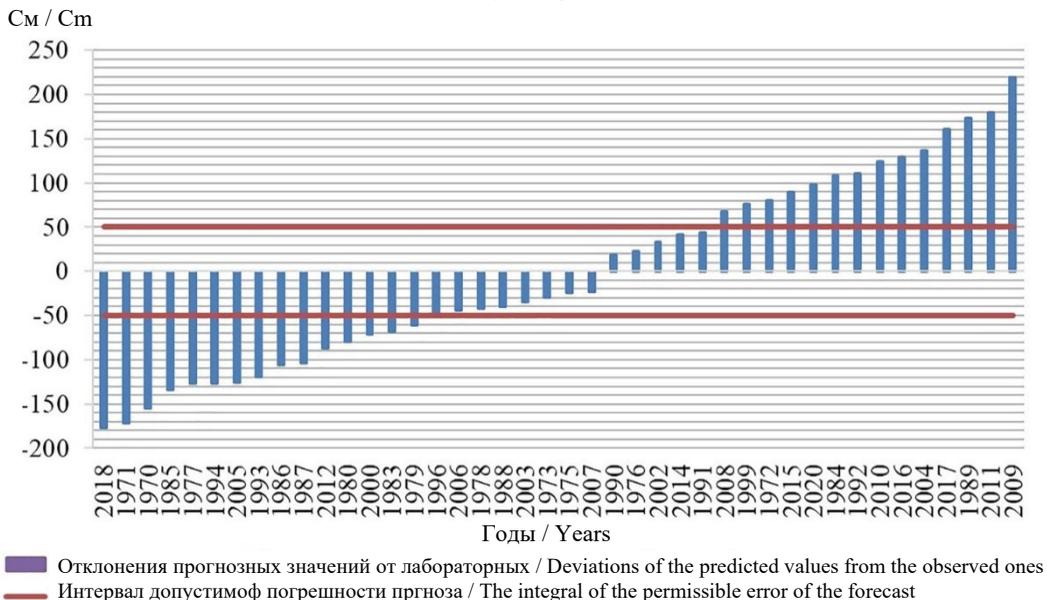


**Рис. 5. Отклонение прогнозных значений максимального уровня половодья от фактически наблюдаемых значений на гидропосту «Кузьмино-Гать» на примере современных данных, полученных графическим методом с использованием рис. 2**

Источник: составлено авторами /

**Figure 5. Deviation of the forecast values of the maximum flood level from the actually observed values at the Kuzmino-Gat gauging station, obtained by a graphical method using the Figure 2, using modern data**

Source: compiled by the authors.

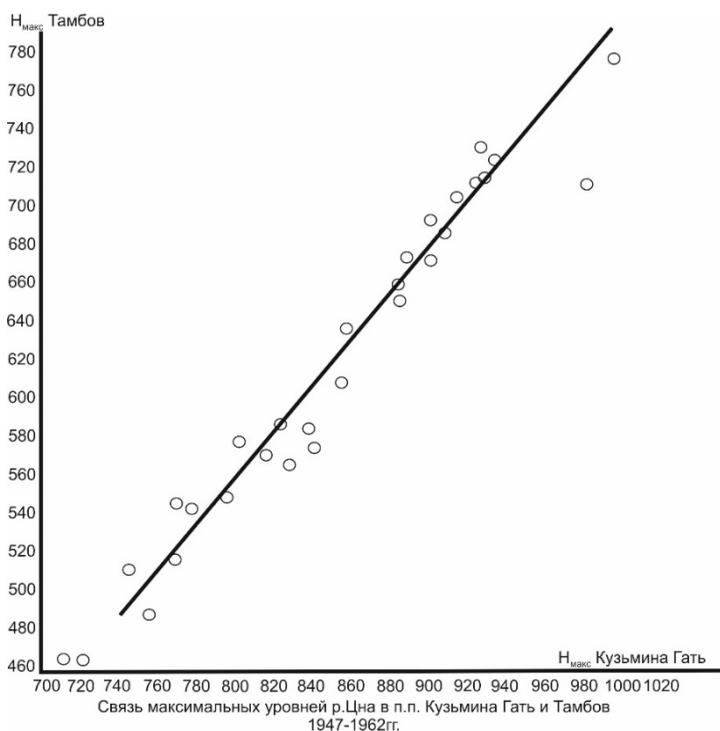


**Рис. 6. Отклонение прогнозных значений максимального уровня половодья от фактически наблюдаемых значений на гидропосту «Кузьмино-Гать» на примере современных данных, полученных графическим методом с использованием рис. 4**

Источник: составлено авторами /

**Figure 6. Deviation of the predicted values of the maximum flood level from the actually observed values at the Kuzmino-Gat gauging station, obtained by a graphical method using the Figure 4, on the modern data**

Source: compiled by the authors.



The relationship of the maximum levels of R. Cna in the village of Kuzmina Gat and Tambov 1947–1962

**Рис. 7. Связь между максимальными уровнями половодья на гидропостах «Кузьмино-Гать» и «Тамбов» по данным за 1947–1962 гг.** Источник: Методика краткосрочного прогнозирования наивысшего уровня весеннего половодья р. Цна у г. Тамбова и с. Кузьмино-Гать. Курск: Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1951. 8 с. /

**Figure 7. Relationship between maximum flood levels at the Kuzmino-Gat and Tambov gauging stations according to data for 1947–1962**

Source: Methodology for short-term forecasting of the highest level of spring floods on the Tsna river near the Tambov city and Kuzmino-Gat village. Kursk Central Black Earth Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, 1951. 8 p. (In Russ.).

Допустимая погрешность прогноза максимального уровня половодья, принятая в территориальном подразделении Росгидромета, составляет 50 см. Как видно из рис. 5 и 6, ошибки прогноза значений максимального уровня воды в половодье по гидропосту «Кузьмино-Гать», полученные при помощи тестируемой методики на современных данных, превышают допустимую ошибку в 50 см в 86 и 69 % случаев соответственно.

Следующим шагом стал сравнительный анализ графиков зависимости максимального уровня воды в половодье по гидропосту «Тамбов» от максимального уровня воды в половодье по гидропосту «Кузьмино-Гать», приведенного в более позднем приложении к тестируемой методике (рис. 7) и полученного по современным данным (рис. 8).

График зависимости максимальных уровней половодья в Тамбове от максимальных уровней половодья в Кузьмино-Гати, построенный по современным данным по-прежнему позволяет прогнозировать максимальные уровни половодья на гидропосту «Тамбов» при достижении максимального

уровня на гидропосту «Кузьмино-Гать». Коэффициент корреляции при построении линейного графика составил 0,96. Так как статистическая связь очень сильна, то определение прогнозных значений максимального уровня воды в половодье на гидропосту «Тамбов» при помощи графика на рис. 8 является обоснованным.

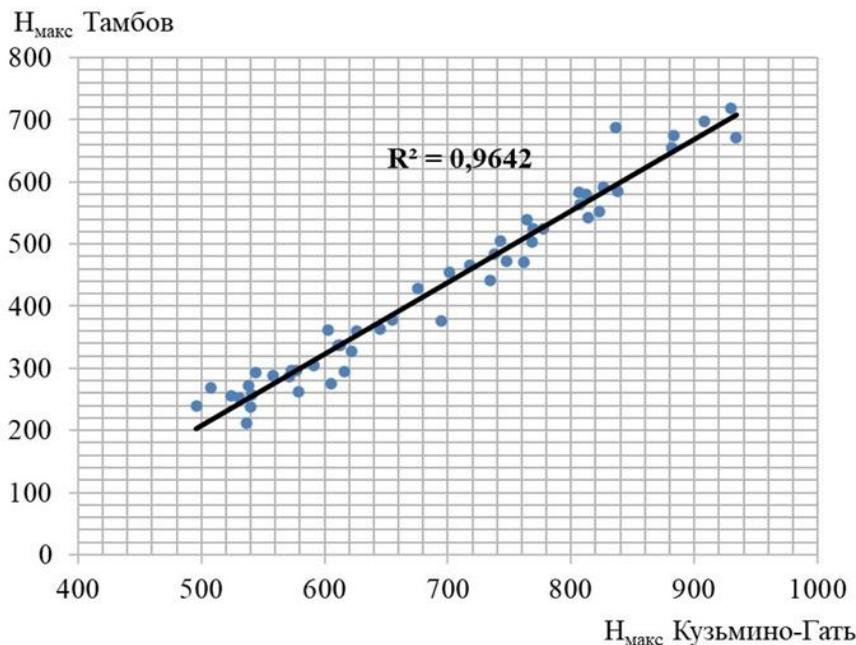


Рис. 8. Связь между максимальными уровнями половодья на гидропостах «Кузьмино-Гать» и «Тамбов» по современным данным (1970–2020 гг.)

Источник: составлено авторами /

Figure 8. Relationship between maximum flood levels at the Kuzmino-Gat and Tambov gauging stations according to modern data (1970–2020)

Source: compiled by the authors.

### Заключение

Обобщая все вышеизложенное, можно утверждать, что методика краткосрочного прогноза максимального уровня весеннего половодья на реке Цне у села Кузьмино-Гать, созданная в 1951 г., в настоящее время является неэффективной.

Во-первых, использование такого параметра, как наибольшая средняя температура воздуха за 3 последовательных дня периода снеготаяния, в качестве основного критерия для построения методики является не совсем корректным. Этот параметр считается от даты устойчивого перехода среднесуточной температуры через 0 °С в сторону повышения, однако есть случаи, когда этот переход происходит после начала, а иногда и после наступления пика половодья. В этих случаях главную роль играют уже максимальные суточные температуры.

Во-вторых, использование значений максимального за зиму запаса воды в снеге в качестве главного влияющего фактора не учитывает наличие оттепелей в феврале-марте и, следовательно, некорректно отражает количество воды, которое образуется непосредственно во время весеннего снеготаяния. В данном случае правильнее использовать значения запаса воды в снежном покрове на дату начала активного снеготаяния, которое иногда может совпадать с датой накопления максимальных запасов воды в снеге, а может и не совпадать.

В-третьих, подход, приведенный в методике не в полной мере, учитывает другие климатические факторы, например, осадки, глубину промерзания почвы, осеннее увлажнение почвогрунтов, запас влаги в метровом слое почвы перед началом снеготаяния.

В целом рис. 5 и 6 наглядно показывают, что в большинстве случаев прогноз максимального уровня половодья на гидропосту «Кузьмино-Гать», выполненный с помощью тестируемой методики с использованием современных данных, выходит далеко за рамки допустимых погрешностей.

Следует отметить, что пользоваться линейной зависимостью максимальных уровней половодья между гидропостами «Кузьмино-Гать» и «Тамбов» для оперативного прогноза максимальных уровней половодья в Тамбове по-прежнему целесообразно.

Таким образом, по итогам проведенных исследований необходимо сделать вывод о неэффективности использования для прогнозов максимальных уровней половодья у с. Кузьмино-Гать протестированной методики и необходимости разработки новой методики прогноза максимальных уровней воды в половодье.

### Список литературы

- [1] *Davies J.B.* Economic analysis of the costs of flooding // *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*. 2016. Vol. 41. P. 204–219. <http://dx.doi.org/10.1080/07011784.2015.1055804>
- [2] *Дмитриева В.А.* Аномалии весеннего половодья в Донском бассейне и их водохозяйственные и гидроэкологические последствия // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2018. Т. 42. № 2. С. 181–190. <http://doi.org/10.18413/2075-4671-2018-42-2-181-190>
- [3] *Bukovskiy M.E., Semenova A.V.* Analysis of the effects of climatic factors on flood peak formation // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 386. P. 012034. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/386/1/012034>
- [4] *Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д.* Курс гидрологических прогнозов: учебник для гидрометеорол. ин-тов и геогр. фак. ун-тов. М.: Гидрометеоиздат, 1974. 422 с.
- [5] *Воейков А.И.* К вопросу о половодье 1908 года и предсказание уровня рек // *Метеорологический вестник*. 1908. № 7. 17 с.
- [6] *Лебедев В.Н.* Методы предсказания высоты весеннего половодья рек // *Известия РГИ*. 1924. № 11.
- [7] *Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А.* Системный анализ в управлении: учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.

- [8] Анашечкин А.Д., Трофимец Е.Н. К вопросу построения краткосрочных моделей прогнозирования уровней воды на участках рек // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2019. № 1. С. 36–43.
- [9] Мотовилов Ю.Г., Гельфан А.Н. Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. М.: Российская академия наук, 2018. 300 с. <https://doi.org/10.31857/S9785907036222000001>
- [10] Mosavi A., Ozturk P., Chau K. Flood Prediction Using Machine Learning Models: Literature Review // Water. 2018. Vol. 10. P. 1536. <http://dx.doi.org/10.3390/w10111536>
- [11] Jain S.K. Mani P., Jain S.K., Prakash P., Singh V.P., Tullos D., Kumar S., Agarwal S.P., Dimri A.P. A Brief review of flood forecasting techniques and their applications // International Journal of River Basin Management. 2018. Vol. 16. P. 329–344. <http://dx.doi.org/10.1080/15715124.2017.1411920>
- [12] Wu W., Emerton R., Duan Q., Wood A.W., Wetterhall F., Robertson D.E. Ensemble flood forecasting: Current status and future opportunities // WIREs Water. 2020. Vol. 7. P. e1432. <http://dx.doi.org/10.1002/wat2.1432>
- [13] Пьянков С.В., Шихов А.Н. Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2017. 148 с.
- [14] Гельфан А.Н., Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Мотовилов Ю.Г., Гусев Е.М. Влияние изменения климата на годовой и максимальный сток рек России: оценка и прогноз // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 7. № 1. С. 36–79. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2021-1-36-79>
- [15] Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Харламов М.А., Самсонов Т.Е., Энтин А.Л., Лурье И.К. Картографирование современного состояния и трансформации водного режима рек Европейской территории России // Геодезия и картография. 2020. Т. 81. № 7. С. 14–26. <http://dx.doi.org/10.22389/0016-7126-2020-961-7-14-26>
- [16] Чернова М.А., Буковский М.Е., Дудник С.Н. Оценка изменения летнего стока рек Волжского бассейна на территории Тамбовской области за 65 лет // Климатические изменения и сезонная динамика ландшафтов: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Екатеринбург, 22–24 апреля 2021 года. Екатеринбург: [б.и.], 2021. С. 117–123. <https://doi.org/10.26170/KFG-2021-16>
- [17] Дудник Н.И. Реки Тамбовской области Каталог. Тамбов: ТГПИ, 1991. 47 с.

## References

- [1] Davies JB. Economic analysis of the costs of flooding. *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*. 2015 Jul 9;41(1–2):204–19. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/07011784.2015.1055804>
- [2] Dmitrieva VA. Of Spring Flood in Don River Basin and Their Water Management and Hydroecological Consequences. *Belgorod State University Scientific bulletin Natural Sciences*. 2018 Jun 30;37(2):181–90. Available from: <http://doi.org/10.18413/2075-4671-2018-42-2-181-190> (In Russ.).
- [3] Bukovskiy ME, Semenova AV. Analysis of the effects of climatic factors on flood peak formation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019 Nov 1;386(1):012034. Available from: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/386/1/012034>
- [4] Apollonov BA, Kalinin, GP, Komarov VD. *Course of hydrological forecasts: Textbook for hydrometeorological institutes and geographical departments of universities*. Moscow: Gidrometeoizdat Publ.; 1974. 422 p. (In Russ.).

- [5] Voeikov AI. On the question of the flood of 1908 and the prediction of the level of rivers. *Meteorological Bulletin*. 1908;7:17 p. (In Russ.).
- [6] Lebedev VN. Methods for predicting the height of the spring flood of rivers. *News of the Russian Hydrological Institute*. 1924. 11 p. (In Russ.).
- [7] Anfilatov VS, Emelyanov AA, Kukushkin AA. *System analysis in management: textbook*. Moscow: Finance and statistics Publ.; 2002. 368 p. (In Russ.).
- [8] Anashechkin AD, Trophimets EN. The question of building a short-term predictive models of water levels on stretches of the rivers. *Scientific and analytical journal "Bulletin of St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia"*. 2019;1:36–43. (In Russ.).
- [9] Motovilov YG, Gelfan AN. *Models of runoff formation in problems of hydrology of river basins*. Moscow: Russian Academy of Sciences Publ.; 2018. 300 p. Available from: <https://doi.org/10.31857/S9785907036222000001> (In Russ.).
- [10] Mosavi A, Ozturk P, Chau K. Flood Prediction Using Machine Learning Models: Literature Review. *Water*. 2018 Oct 27;10(11):1536. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/w10111536>
- [11] Jain SK, Mani P, Jain SK, Prakash P, Singh VP, Tullos D, et al. A Brief review of flood forecasting techniques and their applications. *International Journal of River Basin Management*. 2018 Jan 22;16(3):329–44. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/15715124.2017.1411920>
- [12] Wu W, Emerton R, Duan Q, Wood AW, Wetterhall F, Robertson DE. Ensemble flood forecasting: Current status and future opportunities. *WIRES Water*. 2020 Mar 29;7(3). Available from: <http://dx.doi.org/10.1002/wat2.1432>
- [13] Pyankov SV, Shikhov AN. *Geoinformation support for modeling hydrological processes and phenomena*. Perm: Perm State National Research University Publ.; 2017. 148 p. (In Russ.).
- [14] Gelfan A, Frolova N, Magritsky D, Kireeva M, Grigoriev V, Motovilov Yu, Gusev E. Climate change impact on annual and maximum runoff of Russian rivers: diagnosis and projections. *Fundamental and Applied Climatology*. 2021;7(1):36–79. Available from: <http://dx.doi.org/10.21513/2410-8758-2021-1-36-79> (In Russ.).
- [15] Frolova NL, Kireeva MB, Kharlamov MA, Samsonov TE, Entin AL, Lurie IK. Mapping the current state and transformation of the water regime of rivers in the European territory of Russia. *Geodesy and Cartography*. 2020 Aug 20;961(7):14–26. Available from: <http://dx.doi.org/10.22389/0016-7126-2020-961-7-14-26> (In Russ.).
- [16] Chernova MA, Bukovskiy ME, Dudnik VV. Assessment of changes in the summer flow of rivers in the volga basin in the tambov region over 65 years. *Climate Change and Seasonal Landscape Dynamics. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. 2021. Available from: <http://dx.doi.org/10.26170/kfg-2021-16> (In Russ.).
- [17] Dudnik NI. *Catalog "Rivers of the Tambov region"*. Tambov: Tambov State Pedagogical Institute Publ.; 1991. 47 p. (In Russ.).

### Сведения об авторах:

Дудник Сергей Николаевич, начальник Тамбовского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Российская Федерация, 392008, г. Тамбов, ул. Советская, д. 182. ORCID: 0000-0003-2661-0854, eLIBRARY SPIN-код: 583-066. E-mail: [tgmc@mail.ru](mailto:tgmc@mail.ru)

*Буковский Михаил Евгеньевич*, кандидат географических наук, доцент, заведующий лабораторией мониторинга агроклиматического и водно-ресурсного потенциалов территорий НИИ экологии и биотехнологий, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, Российская Федерация, 392036, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33. ORCID: 0000-0002-2773-3816, eLIBRARY SPIN-код: 7774-1375. E-mail: mikezzz@mail.ru

*Семенова Анна Владимировна*, аспирант 2-го года научной специальности 1.6.21. Геоэкология кафедры экологии и природопользования, младший научный сотрудник лаборатории мониторинга агроклиматического и водно-ресурсного потенциалов территорий НИИ экологии и биотехнологий, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, Российская Федерация, 392036, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33. ORCID: 0000-0002-9306-9861, eLIBRARY SPIN-код: 5544-5277. E-mail: asv273@mail.ru

### **Bio notes:**

*Sergey N. Dudnik*, Head of Tambov Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring – a Branch of the Federal State Budgetary Institution “Central Chernozem Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring”, 182 Sovetskaya St, Tambov, 392008, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-2661-0854, eLIBRARY SPIN-code: 583-066. E-mail: tgmc@mail.ru

*Mikhail E. Bukovskiy*, PhD in Geography, Assistant Professor, Head of Laboratory for Monitoring the Agroclimatic and Water-Resource Potentials of the Territories, Research Institute of Ecology and Biotechnology, Derzhavin Tambov State University, 33 Internatsional'naya St, Tambov, 392036, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2773-3816, eLIBRARY SPIN-code: 7774-1375. E-mail: mikezzz@mail.ru

*Anna V. Semenova*, 2nd year postgraduate student of scientific specialty 1.6.21. Geoecology, Department of Ecology and Environmental Management, Junior Researcher of Laboratory for Monitoring the Agroclimatic and Water-Resource Potentials of the Territories, Research Institute of Ecology and Biotechnology, Derzhavin Tambov State University, 33 Internatsional'naya St, Tambov, 392036, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-9306-9861, eLIBRARY SPIN-code: 5544-5277. E-mail: asv273@mail.ru



## БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

## BIOLOGICAL RESOURCES

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-1-77-86

EDN: HDSCXH

УДК 502/504

Научная статья / Research article

### Горизонты биотехнологии в животноводстве России

О.А. Миронова<sup>1,2</sup>, А.П. Леснов<sup>3</sup>, А.П. Кармазин<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»),  
Московская обл., Российская Федерация

<sup>3</sup>ООО ИНБИОТЕХ-К, Москва, Российская Федерация

<sup>4</sup>Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору,  
Москва, Российская Федерация

m2889888@mail.ru

**Аннотация.** Данное исследование открывает серию статей о современных тенденциях в развитии инновационных биотехнологий. В них последовательно описываются неограниченные возможности мира микроорганизмов – микромира, механизмы которого человечество может использовать в созидательных целях, контролировать имеющиеся биотехнологии и управлять ими, применяя их на благо человечества. Придерживаясь непоколебимого мнения о том, что Микромир не Воин, Микромир – рабочий...

**Ключевые слова:** биология, биотехнологии, биохимия, отходы, катализаторы, микроорганизмы

**Вклад авторов.** Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**История статьи:** поступила в редакцию 15.10.2023; доработана после рецензирования 13.11.2023; принята к публикации 15.01.2024.

© Миронова О.А., Леснов А.П., Кармазин А.П., 2024



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

Для цитирования: Миронова О.А., Леснов А.П., Кармазин А.П. Горизонты биотехнологии в животноводстве России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 1. С. 77–86. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-77-86>

## Horizons of biotechnology in Russia's animal husbandry

Olga A. Mironova<sup>1,2</sup>, Alexander P. Lesnov<sup>3</sup>, Anton P. Karmazin<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>FSBI "All-Russian Plant Quarantine Center" (FSBI "VNIKR"),  
Moscow region, Russian Federation

<sup>3</sup>LLC "INBIOTECH-K", Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup>Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance, Moscow, Russian Federation  
m2889888@mail.ru

**Abstract.** This study opens a series of articles on current trends in the development of innovative biotechnologies. They consistently describe the unlimited possibilities of the world of microorganisms – the microcosm, the mechanisms of which humanity can use for creative purposes, control and manage existing biotechnologies, applying them for the benefit of humanity. Adhering to the unshakeable opinion that the Microcosm is not a Warrior, the Microcosm is a worker...

**Keywords:** biology, biotechnology, biochemistry, waste, catalysts, microorganisms

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

**Article history:** received 15.10.2023; revised 13.11.2023; accepted 15.01.2024.

**For citation:** Mironova OA, Lesnov AP, Karmazin AP. Horizons of biotechnology in Russia's animal husbandry. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(1):77–86. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-1-77-86>

Современная биология далеко ушла от классической науки о живом, которая существовала еще в XIX в. Сейчас она не ограничивается познанием окружающего мира. Биология стала средством изменения этого мира для удовлетворения нужд и потребностей людей, которые, по мнению ученых, находятся на высшей ступени эволюции, на вершине кормовой цепочки от одноклеточных (грибы, бактерии, простейшие) до человека. Сельскохозяйственные животные, птицы, рыбы – промежуточный этап в этой цепочке [1; 7; 13].

Наиболее важное и характерное событие, которое произошло в биологии за более чем полвека, – это формирование биотехнологии как прикладного направления биологии. Если вспомнить достижения СССР, то с уверенностью можно утверждать, что Советский Союз занимал неоспоримое первое место в мире в 70–80-е гг. XX в. в этом направлении.

Стержень современной промышленной биотехнологии – это микробиология во всех ее многочисленных ответвлениях и специализациях. К достижениям микробиологов в животноводстве можно причислить производство ферментов, аминокислот, витаминов, антибиотиков, различных лекарственных средств, производимых фармакологической промышленностью и т. д.

В недалеком будущем наша страна, несомненно, отвоюет все утраченные мировые позиции в данном вопросе и не только. Сигнал четкий получен – курс на импортозамещение. Опыт в стране наработан колоссальный, примеров множество. Сырья, энергии, технологий и человеческих ресурсов достаточно для получения мощного толчка в развитии [5; 6].

Важность отрасли подчеркивает факт, что население земного шара увеличивается, при этом посевные площади сокращаются (почвенные, ветряные эрозии, изменение климата, засоление, загрязнение, использование с/х земель не по назначению). Борьба с голодом, бедностью и отсталостью – это одна из важнейших глобальных проблем, которую цивилизованное общество должно решать сообща, в рамках экономических союзов, объединений, соглашений, тем более – в новом векторе направления всесторонней помощи африканскому континенту, в рамках ШОС, АСЕАН, БРИКС, Африканского союза<sup>1</sup> [17; 18].

Как обеспечить продуктами питания почти 2/3 населения земного шара, входящие в вышеперечисленные интеграционные группировки? Один из выходов как раз и предлагает биотехнология. На помощь биотехнологии приходит биохимия. Известно, что биомасса растительного происхождения, возобновляемая природой, может являться *perpetuum mobile*, исходным сырьем для биохимических процессов, использующих биосинтез для создания важнейших для развития живого организма питательных веществ [4].

Кроме того, действие различных представителей микромира строго специфично – каждый преобразует только определенные соединения и исключительно в направлении, свойственном своему роду. Собранные в закваски, мультиэнзимные композиции и различные полиферменты, микроорганизмы вступают с биохимическую реакцию в строго определенное время и в определенных условиях, созданных Природой, Солнцем и, возможно, Высшим разумом... Такое взаимодействие сравнимо с симфоническим оркестром, где каждый музыкальный инструмент вступает в нужном такте, с нужной ноты – и создается музыка...

Необходимо отметить важность использования ферментов при эффективном решении такой задачи, как производство углеводов как основы для пищевой, кормовой, масложировой, сахарной, спиртовой, пивоваренной промышленности, в том числе используя в качестве сырья растительные отходы вышеупомянутых производств. Такая биоконверсия отходов и ее роль в кормлении сельскохозяйственных животных будет только возрастать. Правильное

---

<sup>1</sup> <https://www.rbc.ru>; <https://ria.ru>

использование отходов может существенно сократить потребление фуражного зерна при выращивании скота, птицы и рыбы, не снижая продуктивности, а высвободившиеся сотни тысяч тонн зерновых и зернобобовых культур использовать в коммерческих или благотворительных целях, в том числе для помощи дружественным народам Африканского континента, Средней Азии и Юго-Восточной Азии.

Биохимия обеспечила возможность промышленного использования ферментов – биологических катализаторов. Они превосходят по своей активности искусственные (синтезированные) [12; 13; 17]. В присутствии таких катализаторов химические реакции протекают без относительно высоких температур и давления, причем с огромной скоростью (табл. 1). Микроорганизмы вырабатывают также углеводы, липиды, витамины и минеральные вещества, их продуктивность превышает продуктивность растений и сельскохозяйственных животных во много раз.

В табл. 1 приведено время удвоения массы у различных одноклеточных микроорганизмов, плотоядных и травоядных животных, птиц и рыб [1; 3; 12].

Таблица 1. Скорость протекания химических реакций при наличии катализаторов

Организм	Время удвоения массы у различных организмов
Бактерии	20 мин
Дрожжи	2 ч
Грибы и водоросли	6 ч
Лиственные растения, травы	2 нед.
Птица	4 нед.
Свиньи	6 нед.
Телята	2 мес.

Источник: составлено авторами.

Table 1. The rate of chemical reactions in the presence of catalysts

Organism	The time of doubling of mass in various organisms
Bacteria	20 minutes
Yeasts	2 hours
Mushrooms and algae	6 hours
Deciduous plant, herbs	2 week
Bird	4 week
Pig	6 week
Calves	2 months

Source: compiled by the authors.

Из приведенных данных видно, что микроорганизмы растут в 500 раз быстрее самых урожайных сельскохозяйственных культур и в 1000...5000 раз быстрее самых быстрорастущих пород животных.

Как известно, микроорганизмы способны накапливать огромное (до 60...70 % сухой массы) количество белка. Получаемая биомасса используется в качестве прекрасного обогатителя кормов и служит для получения ферментированных белковых кормовых добавок. Для получения кормовых добавок чаще всего применяют биотехнологии, использующие дрожжи, грибы и бактерии.

Применение в промышленных целях микроорганизмов и ферментов отчетливо выделяет положительные стороны биотехнологий: возможность

использовать возобновляемое сырье, относительно щадящие условия промышленного процесса, сокращение числа его этапов и практически минимальное загрязнение окружающей среды.

Большинство ранних работ, выполненных в этом направлении, затрагивало вопросы образования целлюлозолитических ферментов или трансформации растительных белков под действием грибов, но в них практически отсутствовали сведения о физиологических и микробиологических аспектах получения белковых веществ путем ферментации твердых субстратов микрогрибами [2; 3]. Авторы отдают предпочтение культивированию микрогрибов в твердой фазе. В качестве субстратов обычно берут зерно злаковых, отходы зерноперерабатывающей промышленности и другое растительное сырье, в том числе малоценное. Из грибов предпочтение отдается представителям родов *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Penicillium*, в частности *Aspergillus niger*, *A. Oryzae*, *Mucor racemosus* и *Rhizopus oryzae*, используя их амилалитическую активность, отличающуюся быстрым ростом на субстратах.

Биомасса, полученная с помощью различных продуцентов, характеризуется неодинаковым химическим составом (табл. 2) [16; 17; 18]. Продуцируемые микроорганизмами белки концентрируются преимущественно внутри клетки, поэтому целевым продуктом производства белковых веществ является биомасса продуцента, которая может непосредственно использоваться в качестве обогатителя кормов для животноводства и птицеводства или служить сырьем для получения очищенного белкового препарата.

Выбор микроорганизмов-продуцентов белка при обогащении растительного сырья определяется, прежде всего, кормовой ценностью их биомассы. Продуценты белка должны обладать способностью накапливать до 40...70 % белка от своей массы, рационально усваивая питательные вещества среды; иметь минимальное время генерации; не выделять в среду токсичных продуктов метаболизма и не быть патогенными; предусматривать наиболее простую технологию и применение дешевых малообработанных субстратов [2; 5; 8].

Таблица 2. Химический состав клеток различных микроорганизмов, % от АСВ

Вещество	Грибы	Водоросли	Бактерии	Дрожжи
Азот	5,0–8,0	7,5–10,0	11,5–12,5	7,5–8,5
Липиды	2,0–8,0	7,0–20,0	1,5–3,0	2,0–6,0
Зола	9,0–14,0	8,0–10,0	3,0–7,0	5,0–9,5
Нуклеиновые кислоты	1,6–2,5	3,0–8,0	8,0–16,0	6,0–12,0

Источник: составлено авторами.

Table 2. Chemical composition of cells of various microorganisms, % of the ACB

Substance	Mushrooms	Algae	Bacteria	Yeasts
Nitrogen	5.0–8.0	7.5–10.0	11.5–12.5	7.5–8.5
Lipids	2.0–8.0	7.0–20.0	1.5–3.0	2.0–6.0
Ash	9.0–14.0	8.0–10.0	3.0–7.0	5.0–9.5
Nucleic acids	1.6–2.5	3.0–8.0	8.0–16.0	6.0–12.0

Source: compiled by the authors.

Для оптимального решения в рамках одного технологического процесса вопросов качества биомассы, скорости роста и возможности испытывать малообработанный субстрат – целесообразны комбинации из двух и более продуцентов, собранных в закваски, мультиэнзимные композиции и им подобные. Так, при значительном содержании клетчатки в исходном сырье, используемом в качестве питательной среды, в комбинации, можно включать целлюлозолитические, пектолитические, амилалитические микроорганизмы, бактерии, которые расщепляют субстрат до степени полимеризации, обеспечивающей быстрое накопление биомассы другими разновидностями, отличающимися благоприятным химическим составом или способными к другим полезным биохимическим превращениям.

Пока из всего богатства микромира, которым располагает природа, человек использовал лишь ничтожную долю микроорганизмов, особенно в промышленных целях. В начале 50-х гг. XX в. Уотсон и Крик сделали одно из величайших открытий в области биологии – была расшифрована молекулярная структура материального носителя наследственности – гена. Академик А.А. Баев проявлял исключительный интерес как к основе для будущих разработок, к жизнедеятельности фототрофных бактерий, преобразующих световую энергию подобно растениям, термофильным микроорганизмам, существующим при высокой температуре, иногда близкой к 100 градусам и бактерий, развивающихся в отсутствии кислорода. Он отмечал, что возможность вовлечения в процесс новых микроорганизмов станет реальной при том условии, что физиология, биохимия и генетика будут развиваться параллельно. Без этой триады немыслимо практическое применение биологии.

Сегодня успешно развиваются направления генетической, клеточной инженерии, иммунологии, паразитологии, токсикологии, энзимологии.

Генетическую инженерию можно определить как систему экспериментальных приемов, позволяющих лабораторным путем создавать искусственные генетические структуры в виде так называемых рекомбинантных (гибридных) молекул ДНК.

В сущности, живая клетка – это миниатюрная биохимическая лаборатория, где производство подчиняется наследственной программе, заложенной в одной из ее нуклеиновых кислот, а именно в ДНК. Эта программа состоит из белков-генов. Каждый из них управляет наращиванием определенных аминокислот и той функцией клетки, которая зависит от него. Поэтому, вводя в клетку новую генетическую информацию в виде гиподных молекул ДНК, исследователь получает микроорганизм, измененный соответственно поставленной цели.

Сама идея воспроизведения в лабораторных условиях генетических процессов у ученых разных уровней возникает постоянно. Но в начале никто не представлял, как выделить нужные гены из огромных молекул ДНК и как затем собрать эти гены в единую работающую структуру.

Развитие наших знаний в работе с живой клеткой дало ученым инструменты, пригодные для таких операций. Это – созданные самой природой ферменты, которые содержатся в живых клетках. Одни из них рассекают молекулы ДНК в строго определенных участках, другие, наоборот, сшивают их в единое целое. Такая химическая хирургия и осуществляется с помощью определенных ферментов – рестриктаз. После того как ферменты были выделены из клеток и очищены, создание искусственных генетических структур стало технически выполнимой задачей. Так началась эпоха генетической инженерии, как основного инструмента биотехнологии. Теперь фундаментальная биология прочно опирается на исследования биоинженерии и дает начало многим практическим исследованиям [5]. Благодаря этому микробиологическое производство в различных направлениях приобрело исключительно мощный способ создания высокопродуктивных штаммов микроорганизмов, позволяющих резко повысить выход готового продукта для начала в лабораторных условиях и после кропотливой работы вывести ту или иную биотехнологию в производство [8; 10; 11].

Область, в которой промышленное применение генетической инженерии уже имеет, бесспорно, прочный фундамент – получение физически активных веществ белковой природы для сельскохозяйственных нужд. Лабораторные исследования в этой области были начаты в 1970-х гг. и приобрели в 1980-х гг. форму научных программ, объединивших усилия академических и отраслевых институтов. Успешные примеры развития и взаимодействия науки и производства быстро приобрели громадную народнохозяйственную, практическую значимость.

В те годы ученые уже добились успеха в работе с одноклеточными организмами, им удалось изменить наследственные свойства этих организмов, которые в большинстве случаев воспроизводятся в их потомстве [14; 15].

Все высшие растения и животные – многоклеточные организмы, и это существенно меняет дело. Никакими доступными способами нельзя разом изменить генотип всех клеток сформировавшегося организма, животного или растительного. Генетическая инженерия позволяет это сделать на уровне одной исходной клетки и получить генетически измененный организм при условии, если эта клетка способна преодолеть весь путь развития до состояния зрелого организма. Такого ограничения не существует для одноклеточного организма, оно действует на высших ступенях эволюции жизни.

Клеточная инженерия в области животноводства используется для получения белка, аминокислот, витаминов, а также разных кормовых добавок, лекарственных препаратов для борьбы с болезнями животных. Нет необходимости доказывать важность этого направления и огромный потенциал его развития в будущем. Итак, мы попытались доказать постулат, что биология держится на трех китах – *ген, гормон, фермент*. И, по мнению авторов, – это аксиома...

### Список литературы

- [1] Кантере В.М. Теоретические основы технологии микробиологических производств. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.
- [2] Лобанок А.Г., Бабицкая В.Г. Мицелиальные грибы как продуценты белковых веществ. Минск: Наука и техника, 1981. 104 с.
- [3] Лобанок А.Г. Переработка целлюлозосодержащих отходов в ценные продукты с помощью микроорганизмов. М.: ОНТИТЭИ-микробиопром, 1981.
- [4] Леснов А.П. Россия или запад, за кем будущее в производстве экологически чистых продуктов питания? // Информационно-аналитический журнал. Серия: Эффективное животноводство. 2017. № 1. С. 20–23.
- [5] Рычков Р.С., Попов В.Г. Биотехнология перспективы развития. М.: Наука, 1984.
- [6] Варфоломеев С. Д., Калужный С.В. Биотехнология: Кинетические основы микробиологических процессов. М.: Высшая школа, 1990. 296 с.
- [7] Муромцев Г.С., Бутенко Р.Г., Тихоненко Т.И., Прокофьев М.И. Основы сельскохозяйственной биотехнологии. М.: Агропромиздат, 1990. 384 с.
- [8] Шантрен Ю. Биосинтез белков. М.: Иностранная литература, 1963. 315 с.
- [9] Зудин Д.В., Кантаре В.М., Угодчиков Г.М. Автоматизация биологических исследований. М.: Высшая школа, 1987.
- [10] Бирюков В.В., Кантаре В.М. Оптимизация периодических процессов культивирования микроорганизмов. М.: Наука, 1985. 215 с.
- [11] Хиггинс И., Бест Д., Джонс Дж.М. Биотехнология. Принципы и применение. М.: Мир, 1988. 480 с.
- [12] Грачева И.М., Иванова Л.А., Кантаре В.М. Технология микробных белковых препаратов, аминокислот, жиров. М.: Колос, 1992. 383 с.
- [13] Шлегель Г. Общая микробиология. М.: Мир, 1987. 566 с.
- [14] Ёрсков Э.Р. Протеиновое питание жвачных животных. М.: Агропромиздат, 1985. 182 с.
- [15] Мишустин Е.Н., Емцов В.Т. Микробиология. М.: Колос, 1978. 351 с.
- [16] Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж. Молекулярная биология клетки. Т. 1. М.: Мир, 1994.
- [17] Миронова О.А. Перспективы использования технологических отходов промышленного производства грибов вешенки после ферментирования закваской Леснова в качестве корма для крупного рогатого скота // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2023. №1 (47). С. 117–124.
- [18] Миронова О.А. Показатели безопасности грибного субстрата при ферментации закваской Леснова // Комбикорма. 2023. № 9. С. 55–58.

### References

- [1] Kantere VM. *Theoretical foundations of microbiological production technology*. Moscow: Agropromizdat publ.; 1990. 271 p. (In Russ.)
- [2] Lobanok AG, Babitskaya VG. *Filamentous fungi as producers of protein substances*. Minsk: Science and technology publ.; 1981. 104 p. (In Russ.)
- [3] Lobanok AG. *Processing cellulose-containing waste into valuable products using microorganisms*. Moscow: ONTITEI-microbioprom publ.; 1981. (In Russ.)
- [4] Lesnov AP. Russia or the West, who is the future in the production of environmentally friendly food? *Information and analytical journal. Series: Effective livestock farming*. 2017;(1):20–23. (In Russ.)

- [5] Rychkov RS, Popov VG. *Biotechnology development prospects*. Moscow: Nauka publ.; 1984. (In Russ.)
- [6] Varfolomeev SD, Kalyuzhny SV. *Biotechnology: Kinetic basis of microbiological processes*. Moscow: Higher School publ.; 1990. 296 p. (In Russ.)
- [7] Muromtsev GS, Butenko RG, Tikhonenko TI, Prokofiev M.I. *Fundamentals of agricultural biotechnology*. Moscow: Agropromizdat publ.; 1990. 384 p. (In Russ.)
- [8] Shantren Y. *Biosynthesis of proteins*. Moscow: Foreign literature publ.; 1963. 315 p. (In Russ.)
- [9] Zudin DV, Kantare VM, Ugodchikov GM. *Automation of biological research*. Moscow: Higher School publ.; 1987. (In Russ.)
- [10] Biryukov VV, Kantare VM. *Optimization of batch processes for cultivating microorganisms*. Moscow: Nauka publ.; 1985. 215 p. (In Russ.)
- [11] Higgins I, Best D, Jones JM. *Biotechnology. Principles and application*. Mir; 1988. 480 p. (In Russ.)
- [12] Gracheva IM, Ivanova LA, Kantare VM. *Technology of microbial protein preparations, amino acids, fats*. Moscow: Kolos publ.; 1992. 383 p. (In Russ.)
- [13] Schlegel G. *General microbiology*. Moscow: Mir publ.; 1987. 566 p. (In Russ.)
- [14] Yorskov ER. *Protein nutrition of ruminants*. Moscow: Agropromizdat publ.; 1985. 182 p. (In Russ.)
- [15] Mishustin EN, Emtsov VT. *Microbiology*. Moscow: Kolos publ.; 1978. 351 p. (In Russ.)
- [16] Alberts B, Bray D, Lewis J. *Molecular biology of cells* (Vol. 1). Moscow: Mir publ.; 1994. (In Russ.)
- [17] Mironova OA. Prospects for the use of technological waste from the industrial production of oyster mushrooms after fermentation with Lesnov's starter as feed for cattle. *Bulletin of the Don State Agrarian University*. 2023;147:117–124. (In Russ.)
- [18] Mironova OA. Safety indicators of mushroom substrate during fermentation with Lesnov's starter. *Mixed feed*. 2023;(9):55–58. (In Russ.)

### Сведения об авторах:

*Миронова Ольга Анатольевна*, кандидат биологических наук, заведующий базовой кафедрой фитосанитарной биологии и безопасности экосистем, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6Е; ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»), Российская Федерация, 140150, Московская обл., г. Раменское, р.п. Быково. ORCID: 0000-0002-3263-8100, eLIBRARY SPIN-код: 5108-1323, AuthorID (РИНЦ): 1162836. E-mail: m2889888@mail.ru

*Леснов Александр Петрович*, кандидат экономических наук, доцент, ООО «ИНБИОТЕХ-К», Российская Федерация, 125252, Москва, ул. Зорге, д. 15. E-mail: m2889888@mail.ru

*Кармазин Антон Павлович*, кандидат биологических наук, Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору, Российская Федерация, 107078, Москва, Орликов переулок, 1/11. ORCID: 0009-0002-7983-3912, eLIBRARY SPIN-код: 9208-7164, AuthorID (РИНЦ): 1220654. E-mail: Fumrostov@mail.ru

**Bio notes:**

*Olga A. Mironova*, Ph. D. RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow 117198, Russian Federation; FSBI «All-Russian Plant Quarantine Center» (FSBI «VNIIKR»), r.v. Bykovo, Ramenskoye, Moscow region, 140150, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-3263-8100, eLIBRARY SPIN-code: 5108-1323, AuthorID (RSCI): 1162836. E-mail: m2889888@mail.ru

*Alexander P. Lesnov*, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, LLC “INBIOTECH-K”, 15 St Sorge, Moscow, 125252, Russian Federation. E-mail: m2889888@mail.ru

*Anton P. Karmazin*, Candidate of Biological Sciences, Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance, 1/11 Orlikov lane, Moscow, 107078, Russian Federation. ORCID: 0009-0002-7983-3912, eLIBRARY SPIN-code: 9208-7164, AuthorID (RSCI): 1220654. E-mail: Fumrostov@mail.ru