



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

2025 Том 33 № 1

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-1

<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. Вишневского» Министерства обороны РФ, Красноярск, Россия

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

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

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

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

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

Садиков 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 *РИНЦ, DOAJ, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, East View, Cyberleninka, Dimensions.*

Цели и тематика

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

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

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

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

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

Редактор И.Л. Панкратова
Редактор англоязычных текстов К.Л. Уланова
Компьютерная верстка Н.А. Ясько

Адрес редакции:

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

Адрес редакционной коллегии журнала:

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

Подписано в печать 16.03.2025. Выход в свет 30.03.2025. Формат 70×108/16.

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

Усл. печ. л. 8,93. Тираж 500 экз. Заказ № 73. Цена свободная.

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

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

© Российский университет дружбы народов, 2025



RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

2025 VOLUME 33 NO. 1

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-1

<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, Docent, 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, Docent, 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, Boreskov Institute of Catalysis, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Anatoly V. Skalny, Doctor 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

Address of the editorial board of the journal:

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

Printing run 500 copies. Open price.

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ

- Булавина М.К., Абашина Т.Н., Сузина Н.Е., Поливцева В.Н., Зимин А.А. Биоаккумуляция бактериофагов T4 и RB43 пресноводными двустворчатыми моллюсками в стерильной аквариумной воде 7
- Миронова О.А., Киричук А.А., Кармазин А.П., Миронова Л.П. Утилизация шрота люпина белого методом твердофазной микробиологической ферментации ... 21

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

- Гайворонская А.А., Анищенко Л.Н. Лесные биоценозы Зелёной книги Брянской области: биомониторинг и эколого-фитоценотические характеристики 29

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

- Гупало-Осадчая К.В., Панченко С.В. Опыт изучения последствий аварии на Чернобыльской АЭС в сельском населенном пункте на примере села Новые Бобовичи Новозыбковского района Брянской области 43
- Перов С.Ю., Орлова В.С., Журов В.В. Оценка плотности индуцированных токов в органах человека, находящегося в зоне прохождения воздушных линий электропередачи 57

БИОХИМИЯ

- Тишина Е.А., Дроганова Т.С., Поликарпова Л.В., Петров А.Л. Биохимическая оценка действия антибиотика эритромицина на моллюсков живородка речная (*Viviparus viviparus* L.) 68

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Чупрова Ю.Н., Ушакова Е.М. Управление ликвидацией накопленного вреда окружающей среде в контексте новелл экологического законодательства 78
- Ikwulemenze M.N., Ezekwe I.C., Emereibeole E.I., Mgbeahuruike L.U., Nwachukwu J.I. Carcinogenic contaminants in groundwater in the Ebocha and Mgbede oil fields of Southern Nigeria (Иквулемензе М.Х., Эзекве И.С., Эмерибеоле Э.И., Мгбеахуруике Л.У., Нвачукву Дж.И. Канцерогенные загрязнения в подземных водах нефтяных месторождений Эбоча и Мгбеде на юге Нигерии) 87

CONTENTS

ECOLOGY

- Bulavina M.K., Abashina T.N., Suzina N.E., Polivtseva V.N., Zimin A.A.** Bioaccumulation of bacteriophages T4 and RB43 by freshwater bivalves in sterile aquarium water 7
- Mironova O.A., Kirichuk A.A., Karmazin A.P., Mironova L.P.** Recycling of white lupine meal using solid-phase microbiological fermentation 21

ENVIRONMENTAL MONITORING

- Gaivoronskaya A.A., Anishchenko L.N.** On the forest biocenoses of the Green Book of the Bryansk region: biomonitoring and ecological-phytocenotic characteristics 29

HUMAN ECOLOGY

- Gupalo-Osadchaia K.V., Panchenko S.V.** Experience in studying the consequences of the Chernobyl accident in a rural settlement: case study of the village of Novye Bobovichy, Novozybkovsky district, the Bryansk region 43
- Perov S.Yu., Orlova V.S., Zhurov V.V.** Induced current density evaluation in organs of a human, located in the overhead power lines passage zone 57

BIOCHEMISTRY

- Tishina E.A., Droганova T.S., Polikarpova L.V., Petrov A.L.** Biochemical assessment of the effect of the antibiotic erythromycin on the river snail (*Viviparus viviparus* L.) 68

SHORT MESSAGE

- Chuprova Yu.N., Ushakova E.M.** Management of liquidation of accumulated environmental damage in the context of legislative environmental innovations 78
- Ikwulemenze M.H., Ezekwe I.C., Emereibeole E.I., Mgbeahuruike L.U., Nwachukwu J.I.** Carcinogenic contaminants in groundwater in the Ebocha and Mgbede oil fields of Southern Nigeria 87

ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-1-7-20

EDN: AEMDOT

УДК 578.4:639.44

Научная статья / Research article

Биоаккумуляция бактериофагов T4 и RB43 пресноводными двустворчатыми моллюсками в стерильной аквариумной воде

М.К. Булавина✉, Т.Н. Абашина^{ID}, Н.Е. Сузина^{ID},
В.Н. Поливцева^{ID}, А.А. Зимин^{ID}

Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, Пущино,
Российская Федерация
✉ruffusramone@yandex.ru

Аннотация. Изучена биоаккумуляция бактериофагов T4 и RB43 двустворчатыми моллюсками *U. pictorum* и *A. cygnea*. Проведены тесты на содержание *E. coli* в моллюсках и сравнение активности биоаккумуляции вирусов в зависимости от корма. Выявлено, что бактериофаги T4 и RB43, несмотря на различия условий и строение вируса, показывают сходную модель биоаккумуляции, где их титр зависит от активности моллюска и меняется циклами. Бактериофаг размножается за счет естественной микрофлоры животного и может удерживаться им благодаря фильтрационному типу питания. На активность моллюска также влияют особенности кормления.

Ключевые слова: бактериофаги, *Escherichia virus* T4, *Escherichia phage* RB43, биоаккумуляция, двустворчатые моллюски

Вклад авторов. Булавина М.К. – проведение экспериментов, написание статьи, подготовка иллюстраций; Абашина Т.Н. – проведение экспериментов; Сузина Н.Е. – редактирование текста; Поливцева В.Н. – редактирование текста; Зимин А.А. – идея исследования, разработка подхода, редактирование текста, подготовка иллюстраций, научное руководство.

© Булавина М.К., Абашина Т.Н., Сузина Н.Е., Поливцева В.Н., Зимин А.А., 2025



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

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-64-00017, <https://rscf.ru/project/24-64-00017/>.

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

История статьи: поступила в редакцию 17.09.2024; доработана после рецензирования 25.10.2024; принята к публикации 10.12.2024.

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

Для цитирования: Булавина М.К., Абашина Т.Н., Сузина Н.Е., Поливецова В.Н., Зимин А.А. Биоаккумуляция бактериофагов T4 и RB43 пресноводными двустворчатыми моллюсками в стерильной аквариумной воде // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 1. С. 7–20. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-7-20>

Bioaccumulation of bacteriophages T4 and RB43 by freshwater bivalves in sterile aquarium water

Maria K. Bulavina✉, Tatiana N. Abashina^{ID}, Nataliya E. Suzina^{ID},
Valentina N. Polivtseva^{ID}, Andrei A. Zimin^{ID}

*G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms
Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russian Federation*

✉ruffusramone@yandex.ru

Abstract. In our study, we investigated the bioaccumulation of T4 and RB43 bacteriophages by the bivalve mollusks *U. pictorum* and *A. cygnea*. Additionally, tests were conducted to determine the content of *E. coli* in the mollusks, and a comparison of the bioaccumulation activity of the viruses based on their diet was made. The results of the studies indicated that T4 and RB43 bacteriophages, despite differences in conditions and virus structure, exhibit a similar bioaccumulation model where their titers depend on the activity of the mollusk and their cyclical changes. The phage is reproduced by the natural microflora of the animal and can be retained due to its filtration feeding type. The activity of the mollusk is also influenced by its feeding characteristics.

Keywords: bacteriophages, *Escherichia virus* T4, *Escherichia phage* RB43, bioaccumulation, bivalve mollusks

Authors' contribution. Bulavina M.K. – conducting experiments, writing an article, preparation of illustrations; Abashina T.N. – conducting experiments; Suzina N.E. – editing of the test; Polivtseva V.N. – editing of the test; Zimin A.A. – idea of investigation, developing the approach, editing of the test, preparing illustrations, scientific guidance.

Funding. This study was supported by a grant from the Russian Scientific Foundation No. 24-64-00017, <https://rscf.ru/project/24-64-00017/>.

Acknowledgements. The authors express their gratitude to Yu.N. Druchkova for the preparation of microbiological media and laboratory ware; to A.N. Nikulina, N.A. Nikulin and P.V. Mashkin for providing the original strains T4 and RB43 and for clam harvesting.

Article history: received 17.09.2024; revised 25.10.2024; accepted 10.12.2024.

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

For citation: Bulavina MK, Abashina TN, Suzina NE, Polivtseva VN, Zimin AA. Bioaccumulation of bacteriophages T4 and RB43 by freshwater bivalves molluscs in sterile aquarium water. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(1):7–20. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-7-20>

Введение

Биоаккумуляция – процесс накопления живыми организмами различных веществ, при котором животное быстрее поглощает вещество, чем оно выводится из него. Особую опасность представляет аккумулялирование вирусов в живых организмах, особенно в тех, которые употребляются в пищу. Двустворчатые моллюски могут служить организмами-аккумуляторами для обнаружения вирусных патогенов, так как они уже успешно применяются при мониторинге химического и биологического загрязнения [1].

В качестве модели биоаккумуляции вирусов могут использоваться бактериофаги. Их численность коррелируется с вирусной; они являются показателем фекального загрязнения воды, и их можно применять в качестве индикатора кишечных вирусов в пище [2]. Они легко обнаруживаются в воде в больших концентрациях, а численность можно отследить с помощью посева [3].

Бактериофаги влияют на численность бактерий, их эволюцию и горизонтальный перенос генетического материала между ними [4]. Фаги могут влиять на микрофлору моллюсков, перенося различные гены между бактериями благодаря трансдукции.

Все эти факторы подтолкнули нас к подробному изучению биоаккумуляции фагов моллюсками.

Материалы и методы

Опыты проводились на *Unio pictorium* (перловица обыкновенная) (Linnaeus, 1758) и *Anodonta cygnea* (беззубка обыкновенная) (Linnaeus, 1758), принадлежащих к семейству *Unionidae*, отряду *Unionida*, классу двустворчатых или пластинчатожаберных моллюсков (*Bivalvia*) [5]. Моллюски имели размеры: *U. pictorium* 6,8–7,5 см в длину, *A. cygnea* достигали 8,3–9 см (рис. 1).

Моллюски были отобраны в р. Ока около г. Пущино в мае-августе 2023 г. и содержались в условиях, приближенных к естественным. Моллюски проживали в стеклянных аквариумах объемом 15–40 л с аэрацией в течение 1–8 мес. (рис. 2).

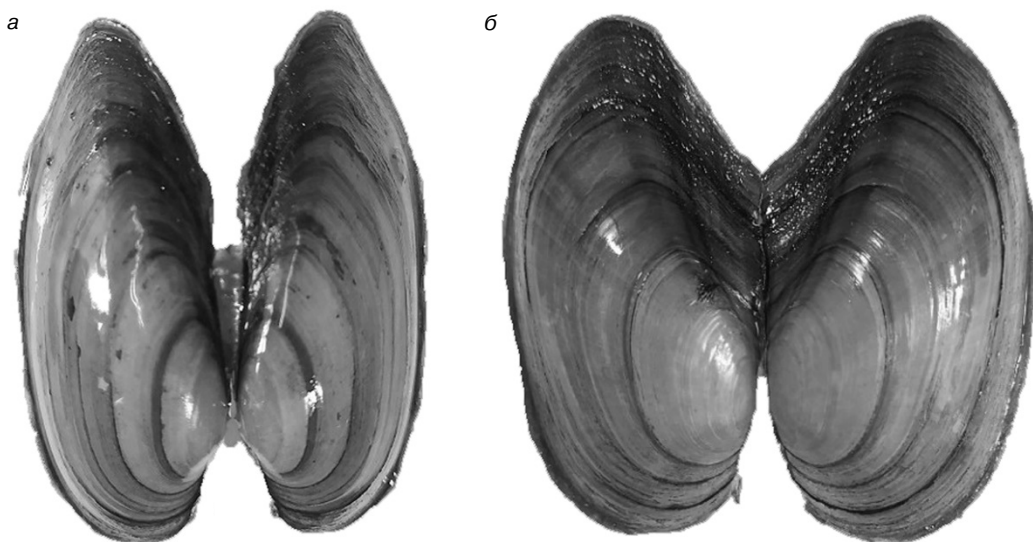


Рис. 1. Раковины моллюсков, используемых в опытах: а – *U. Pictorium*; б – *A. cygnea*
 Источник: фотографии М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Поливцевой, А.А. Зимина.
Figure 1. Shells of mollusks used in experiments: а – *U. pictorium*; б – *A. cygnea*
 Source: photo by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.



Рис. 2. Временное содержание *U. pictorium* и *A. cygnea* в аквариуме с уровнем воды 30 см:
 1 – перловицы; 2 – беззубки; 3 – фильтр аэр-лифт; 4 – дополнительная аэрация
 Источник: фотографии М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Поливцевой, А.А. Зимина.
Figure 2. Temporary holding of *U. pictorium* and *A. cygnea* in the aquarium with water level of 30 cm: 1 – *U. pictorium*; 2 – *A. cygnea*; 3 – Filter air-lift; 4 – Additional aeration
 Source: photo by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

Кормление моллюсков производили детритом или разбавленной культурой *Chlorella vulgaris*, входящий в порядок – *Chlorellales* семейство – *Chlorellaceae* род – *Chlorella* (Beijerinck, 1890) [6]. Каждый из моллюсков был

помещен в стакан с 200 мл воды из аквариума, где они ранее проживали. Среда была автоклавирована под давлением 0,05–0,2 МПа. Стерильность воды проверялась с помощью посева на среду LB. Вода аэрировалась с помощью воздушного компрессора, что воссоздавало привычные условия обитания и позволяло равномерно распределить фаги в воде (рис. 3).



Рис. 3. *U. pictorium* в экспериментальных условиях:

1 – нога моллюска; 2 – воздушный компрессор; 3 – стакан; 4 – сифон; 5 – раковина.

Открытие сифона моллюском указывает на благоприятные для него условия

Источник: фотографии М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Полищевой, А.А. Зимина.

Figure 3. *U. pictorium* in experimental conditions:

1 – clam leg; 2 – air compressor; 3 – glass; 4 – siphon; 5 – shell

Source: photo by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

После открытия раковины добавлялась суспензия фага в исходной концентрации 1×10^3 или 1×10^4 БОЕ/мл в количестве 2 мл. Пробы воды в объеме 1 мл отбирались после внесения суспензии фагов с помощью стерильной пипетки и пробирки сразу и через 1, 3, 6, 24 ч. Позже были добавлены пробы через 5, 15 и 30 мин, 48 и 72 ч. Образцы отбирались в трех повторностях.

Все образцы титровались по методу Грация, вносились на среду LB на чашки Петри и культивировались в течение ночи при 37°C , после чего производился подсчет образовавшихся бляшек и вычислялось среднее значение для каждой пробы.

Эксперименты проводились с бактериофагами *Escherichia virus* T4 и RB43. Фаг T4 дикого типа не способен осуществлять трансдукцию, однако мутанты способны к трансдукции. Природные псевдо-T-четные бактериофаги, такие как RB43, содержат цитозин, а значит, способны к трансдукции плазмид [7; 8].

Бактериофаг Т4 несет на поверхности своего капсида основной антиген, белок Нос, который играет роль в связывании фага с различными полимерными гликозидами биологического происхождения. Белок Нос Т4 имеет три иммуноглобулиноподобных домена, экспонированных на поверхности капсида и участвующих в связывании гликозидов.

Белок Нос фага RB43 короткий и не имеет иммуноглобулин подобных доменов. Нос фага Т4 имеет сходство с белком «воротничка» Wac фага RB43, вероятно также обеспечивающим адгезивность. Белок Wac RB43 имеет последовательности, сходные со вторым доменом Нос [9]. Количественно данных доменов адгезивности примерно в 23 раза меньше. В работе мы предполагали проверить, повлияет ли это на биоаккумуляцию фагов двустворчатыми моллюсками.

Фаги получали, используя штамм *Escherichia coli* В. В качестве контроля использовалась стерильная вода из аквариума, в которую вносилась суспензия фага в той же концентрации и объеме; пробы отбирались по схеме, представленной выше. Бляшки фагов, выросших при титровании проб, контролировали с помощью ПЦР-реакций, специфичных к конкретным бактериофагам.

Проведены тесты на содержание *E. coli* как в моллюсках, так и в среде. Для обнаружения *E. coli* в моллюсках *U. pictorum* и *A. cygnea* также помещались в те же условия, описанные выше. Пробы отбирались через 30 мин, 1 и 2 ч, затем вносились на среду LB в количестве 20 или 200 мкл и культивировались в течение ночи при 37 °С. Затем производился подсчет колоний.

Результаты исследований

Можно отметить наиболее часто встречающиеся особенности биоаккумуляции. Распространено повышение титра спустя час, в этот момент начинается активное размножение бактериофага. Часто формируются плато, где активность моллюска минимальна и титр фага почти не меняется. Титр часто снижается спустя сутки и далее, что может говорить об удержании моллюском фага, по большей части это встречается в опытах с перловицей, вероятно, этот вид моллюска более предрасположен к накоплению фага. Однако встречается и повышение титра спустя сутки, но гораздо реже (рис. 4, табл.).

Для нетрансдуцирующего бактериофага Т4 характерны высокие концентрации, что является показателем более активного размножения. Также можно заметить, что фаг Т4 не так активно циркулирует в воде, как трансдуцирующий фаг RB43, значения титра которого в воде заметно различаются. Однако RB43 сохраняет достаточно низкие концентрации при большом разбросе значений, что может говорить о том, что активность его размножения гораздо ниже, чем у Т4 (рис. 5). Эта тенденция сохраняется и при выращивании фага в культуре LB.

Опыты проводились в открытой системе, и можно заметить схожий механизм циркуляции фага в среде и моллюске. Титр изменяется циклически, в зависимости от активности моллюска, который попеременно всасывает и выпускает порцию воды с взвесью бактериофагов.

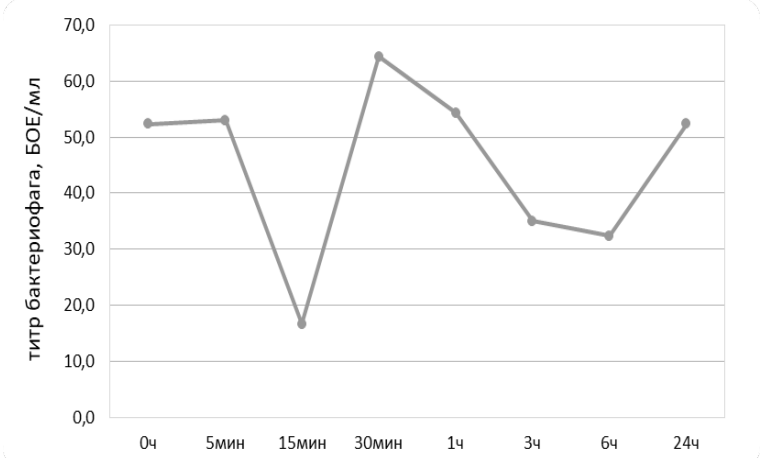


Рис. 4. Усредненные показатели изменения титра в зависимости от времени в одном из экспериментов с Т4 и *A. cygnea*

Источник: составлено М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Полищевой, А.А. Зиминим.

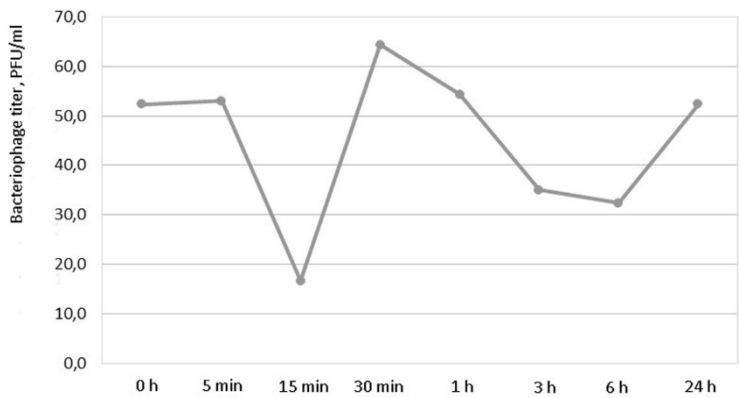


Figure 4. The average of the titer changes as a function of time in one of the experiments with T4 and *A. cygnea*

Source: compiled by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

Изменение титра Т4 в одном из экспериментов с *A. cygnea* в зависимости от времени в трех разных точках

Фаг Т4	Титр фага в пробах в разных промежутках времени от начала опыта							
	0 ч	5 мин	15 мин	30 мин	1 ч	3 ч	6 ч	24 ч
Титр в разных точках, БОЕ/мл	46	66	8	56	68	31	37	64
	47	21	34	80	53	41	21	33
	64	72	8	57	42	33	39	60
Среднее значение	$5,3 \times 10^2$	$5,3 \times 10^2$	$1,7 \times 10^2$	$6,4 \times 10^2$	$5,4 \times 10^2$	$3,5 \times 10^2$	$3,3 \times 10^2$	$5,2 \times 10^2$

Источник: составлено М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Полищевой, А.А. Зиминим.

Change in the titer of T4 over time at three different points during the experiment with *A. cygnea*

Phage T4	The titer of phage in samples at different time intervals from the beginning of the experiment							
	0 h	5 min	15 min	30 min	1 h	3 h	6 h	24 h
Titer at Different Time Points, PFU/ml	46	66	8	56	68	31	37	64
	47	21	34	80	53	41	21	33
	64	72	8	57	42	33	39	60
Expectation value	5.3×10^2	5.3×10^2	1.7×10^2	6.4×10^2	5.4×10^2	3.5×10^2	3.3×10^2	5.2×10^2

Source: compiled by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

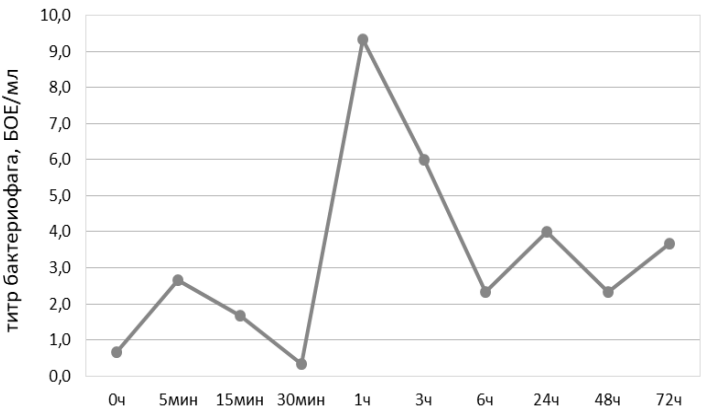


Рис. 5. Усредненные показатели изменения титра в зависимости от времени в одном из экспериментов с RB43 и *A. cygnea*

Источник: составлено М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Поливцевой, А.А. Зиминим

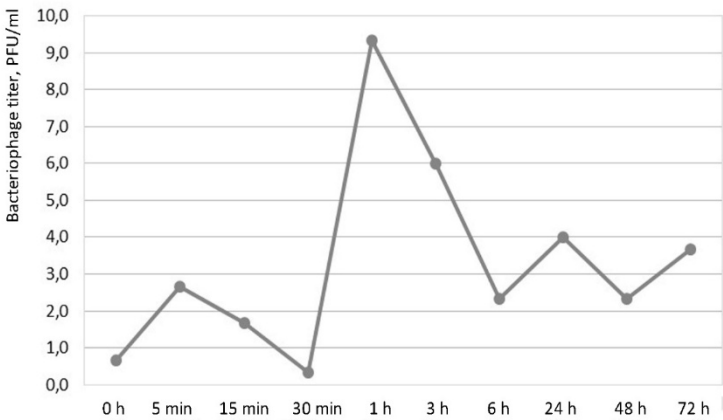


Figure 5. Mean titer changes over time in one of the RB43 and *A. cygnea* experiments

Source: compiled by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

Проведены посевы на наличие *E. coli* в среде и моллюсках, где зафиксировали не только наличие бактерий, но и корреляцию с опытами по биоаккумуляции.

При посеве проб объемом 20 мкл рост часто полностью отсутствовал, что может служить показателем того, что в среде нет бактерий; однако при посеве проб объемом 200 мкл рост наблюдался. Тем не менее в обоих случаях рост

все еще достаточно низкий. Видимо, *E. coli* находится в среде и моллюсках в небольшом количестве.

В случае пробы объемом 200 мкл можно проследить постепенное повышение титра спустя 30 мин и 1 ч от начала эксперимента. Скорее всего, именно в это время моллюск выпускает жидкость. Однако спустя 2 ч от начала опыта титр снижается в обоих случаях. Скорее всего, в это время моллюск вновь всасывает воду вместе с взвесью бактерий. Если сравнивать с экспериментами по биоаккумуляции, можно предположить, что активность фагов часто повышается где-то в промежутке 1–3 ч от начала эксперимента (рис. 6).

В естественной микрофлоре моллюска присутствуют *E. coli*, за счет которых идет размножение фагов в воде и моллюске. Содержание количества *E. coli* в среде зависит от активности самого моллюска и частоты выброса взвеси бактерий с ней в среду. Микрофлора каждого моллюска уникальна, чем можно объяснить различия в результатах.

Титр фага в контроле не сильно изменялся, но падал к концу эксперимента. Похоже фаг начинает сорбироваться на стенках стакана спустя 24 ч, что коррелирует с результатами опытов с моллюсками (рис. 7).

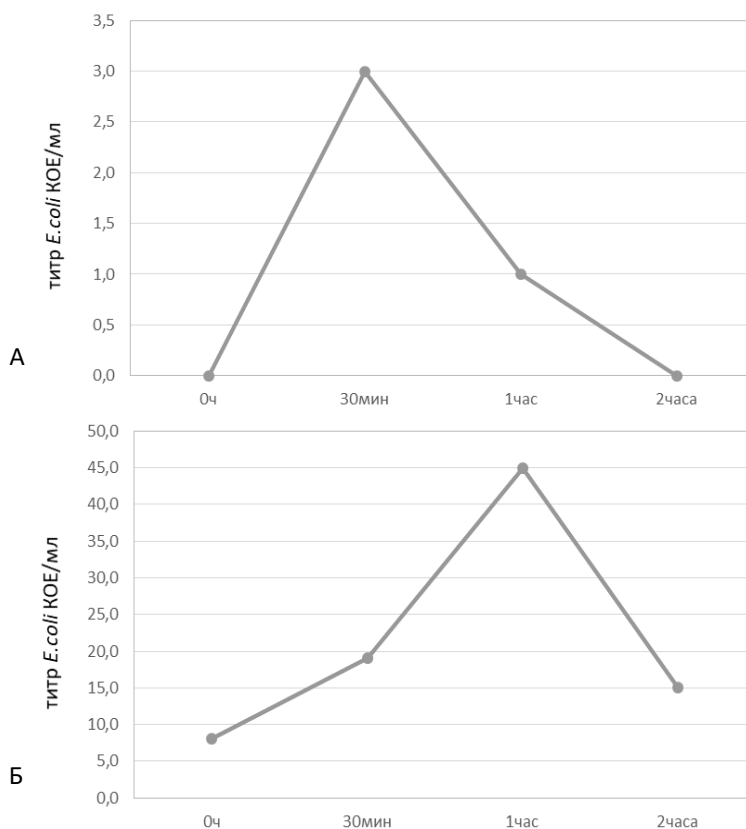


Рис. 6. Изменение титра *E. coli*, входящей в естественную микрофлору моллюска в зависимости от времени: А – проба 20 мкл; Б – проба 200 мкл

Источник: составлено М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Поливцевой, А.А. Зиминим.

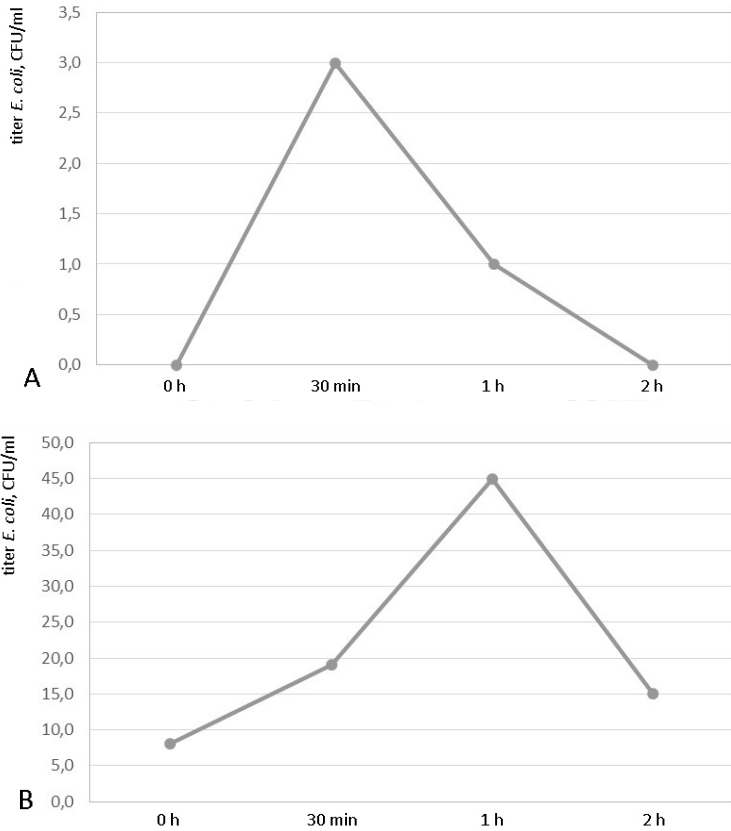


Figure 6. Changes in the titer of *E. coli* entering the natural microflora of the mollusk over time:

A – 20 mL sample; B – 200 mL sample

Source: compiled by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

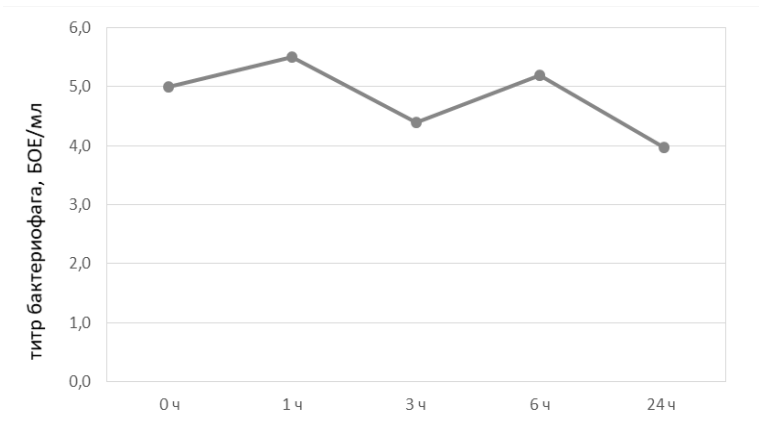


Рис. 7. Усредненные показатели изменения титра в зависимости от времени в контроле в одном из экспериментов с T4

Источник: составлено М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Поливецовой, А.А. Зиминым.

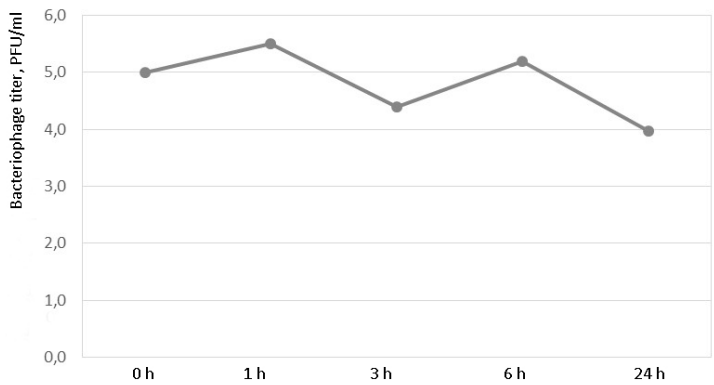


Figure 7. Mean titer changes over time in the control group during one of the T4 experiments
Source: compiled by M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

На активность моллюска могут влиять и особенности кормления (рис. 8).

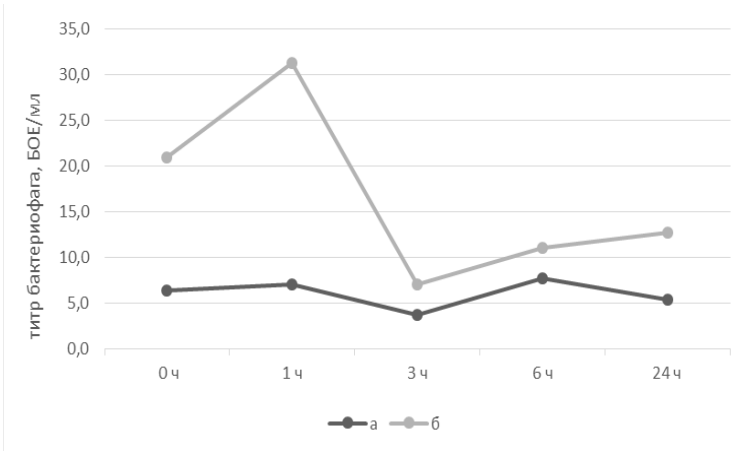


Рис. 8. Усредненные показатели изменения титра T4 в зависимости от особенностей кормления, влияющей на активность *U. pictorium*:

a – кормление разбавленной культурой *Ch. vulgaris*; *b* – кормление детритом

Источник: составлено М.К. Булавиной, Т.Н. Абашиной, Н.Е. Сузиной, В.Н. Полищевой, А.А. Зиминим.

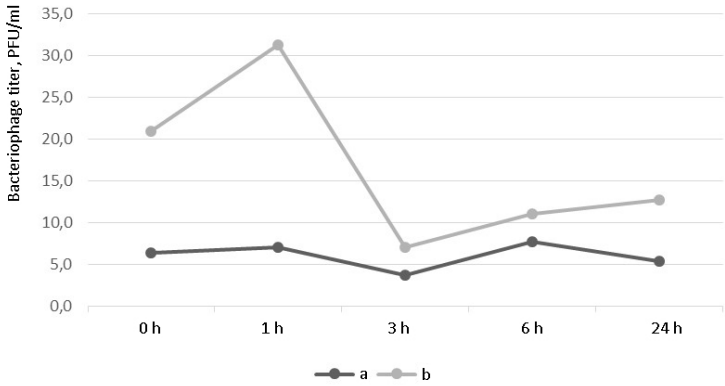


Figure 8. Average changes of the titer of T4 depending on feeding characteristics, affecting the activity of *U. pictorium*: *a* – feeding with diluted *Ch. vulgaris* culture; *b* – feeding with detritus

Source: compiled by the M.K. Bulavina, T.N. Abashina, N.E. Suzina, V.N. Polivtseva, A.A. Zimin.

На графике усредненных показателей изменения титра в зависимости от времени в одном из экспериментов с Т4 и *A. cygnea* (см. рис. 4) можно заметить выделяющиеся циклы: титр спустя час повышался, затем спустя три часа понижался, а через 6 и 24 ч сохранялась такая же динамика. На втором графике эта особенность выражена не так ярко: спустя час титр фага возрастал, затем спустя три часа падал, но далее только немного вырос к концу опыта.

В случае кормления разбавленной культурой *Ch. vulgaris* моллюски проявляли большую активность; фазы были более отчетливыми, и моллюск всасывал и выбрасывал большие количества воды.

В 2020 г. было опубликовано первое подобное исследование в данной области [10]. При сравнении можно заметить определенные сходства: благодаря естественной микрофлоре моллюска, где находилась *E. coli*, происходило размножение фага. Также наблюдались циклы, когда титр фагов попеременно возрастал и падал с течением времени. Однако между проведенными исследованиями мы также выявили определенные различия. Например, титр фагов увеличивался спустя более продолжительное время после начала эксперимента – от 3 до 24 ч. Повышение титра в первый час после начала опыта не наблюдалось. Хотя циклы прослеживались, они не были так ярко выражены, как в предыдущем исследовании.

Заключение

Эксперименты по аккумуляции фагов двустворчатыми моллюсками показали, что изменения в титре бактериофагов связаны с фильтрационным типом питания моллюска и, возможно, с наличием в его микрофлоре бактерий *E. coli*. Несмотря на сходство результатов экспериментов, циркуляция фагов в моллюске и окружающей среде может различаться в зависимости от конкретного животного из-за уникальной микрофлоры каждого моллюска. Можно наблюдать схожую цикличность изменения титра фагов во времени с чередующимися периодами снижения и увеличения титра вируса. Можно сделать вывод, что механизм биоаккумуляции фагов у различных двустворчатых моллюсков имеет сходные особенности. Хотя можно отметить более частые колебания титра фага при биоаккумуляции трансдуцирующего бактериофага RB43 *A. cygnea*, что может быть связано и с меньшим молекулярным потенциалом связывания гликозидов внутренней слизи моллюска у этого фага по сравнению с нетрансдуцирующим бактериофагом Т4. Критичного влияния расположения и копийности белков адгезинов Нос фага Т4 и Wac RB43 на их биоаккумуляцию двустворчатыми моллюсками мы не обнаружили. Возможно, шести троек иммуноглобулинподобных доменов адсорбции на поверхности частицы фага в основном достаточно для участия в процессе биоаккумуляции.

В контроле, где в стерильную воду из аквариума добавлялся фаг, титр несильно изменялся, но падал к концу эксперимента. Возможно, фаг сорбируется на стенках стакана спустя 24 ч, что коррелирует с результатами опытов

с моллюсками. На активность моллюска влияет особенность кормления: в случае кормления разбавленной культурой *Ch. vulgaris* моллюски проявляли большую активность; фазы были более отчетливыми, и моллюск всасывал и выбрасывал большие количества воды.

Список литературы / References

- [1] Bogomolni A, Gast R, Ellis J, Dennett M, Pugliares K, Lentell B, Moore MJ. Victims or vectors: a survey of marine vertebrate zoonoses from coastal waters of the Northwest Atlantic. *Diseases of Aquatic Organisms*. 2008;81:13–38. <http://dx.doi.org/10.3354/dao01936>
- [2] Colford JM, Wade TJ, Schiff KC, Wright CC, Griffith JF, Sandhu SK, Burns S, Sobsey M, Lovelace G, Weisberg S. Water Quality Indicators and the Risk of Illness at Beaches with Nonpoint Sources of Fecal Contamination. *Epidemiology*. 2007;18(1):27–35. <http://dx.doi.org/10.1097/01.ede.0000249425.32990.b9>
- [3] Magalhães R, Mena C, Ferreira V, Silva J, Almeida G, Gibbs P, Teixeira P. Bacteria: *Listeria monocytogenes*. *Encyclopedia of Food Safety*. 2014;450–461. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-378612-8.00101-3>
- [4] Fortier LC, Sekulovic O. Importance of prophages to evolution and virulence of bacterial pathogens. *Virulence*. 2013;4(5):354–65. <http://dx.doi.org/10.4161/viru.24498>
- [5] Linnæus C. *Systema naturae per regna tria naturae: secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Tomus I. Editio decima, reformata*. Salvius, Stockholm. 1758. (In Latin) <http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.542>
- [6] Geitler L. Morphologie, Entwicklungsgeschichte und Systematik neuer bemerkenswerter atmophytischer Algen aus Wien. *Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung*. 1942;136(1):1–29. [http://dx.doi.org/10.1016/s0367-1615\(17\)31209-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0367-1615(17)31209-0)
- [7] Tanyashin VI, Zimin AA, Shlyapnikov MG, Boronin AM. Transduction of plasmid antibiotic resistance determinants with pseudoT-Even bacteriophages. *Russian Journal of Genetics*. 2003;39(7):761–772. <https://doi.org/10.1023/A:1024748903232> EDN: LHQIOX
- [8] Tanyashin VI, Zimin AA, Boronin AM. The Cotransduction of pET System Plasmids by Mutants of T4 and RB43 Bacteriophages. *Microbiology*. 2003;72(6):694–700. <https://doi.org/10.1023/B:MICI.0000008372.06477.43> EDN: LHXWPL
- [9] Zimin AA, Mikoulinskaia GV, Nigmatullina LF, Nazipova NN. Comparative Analysis of Individual Domains of Hoc Proteins in Subfamily Teequatrovirinae Bacteriophages. *Mathematical Biology and Bioinformatics*. 2012. Nov 26;7(2):611–31. <http://dx.doi.org/10.17537/2012.7.611> EDN: PNBULT
- [10] Karmanova AN, Zimin AA. Experimental model for study bacteriophage bioaccumulation by a bivalve *Unio pictorium* (L.1758). *Journal of Physics: Conference Series*. 2020 Nov 1;1701(1):012012. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1701/1/012012> EDN: EHNZSR

Сведения об авторах:

Булавина Мария Константиновна, магистр, 1-ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, пр-кт Науки, д. 5. E-mail: ruffusramone@yandex.ru

Абашина Татьяна Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории цитологии микроорганизмов 1-ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Институт биохимии и физиологии микроорганизмов

им. Г.К. Скрыбина РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, пр-кт Науки, д. 5. ORCID: 0000-0003-4539-5192; eLIBRARY SPIN-код: 7256-8053. E-mail: ttabashina@gmail.com

Сузина Наталья Егоровна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории цитологии микроорганизмов 1-ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, пр-кт Науки, д. 5. ORCID: 0000-0002-4960-1910; eLIBRARY SPIN-код: 7986-9434. E-mail: Suzina_Nataliya@rambler.ru

Поливцева Валентина Николаевна, кандидат биологических наук старший научный сотрудник лаборатории цитологии микроорганизмов 1-ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, пр-кт Науки, д. 5. ORCID: 0000-0001-6960-3967; eLIBRARY SPIN-код: 9629-0020. E-mail: v.polivtseva@pbcras.ru

Зимин Андрей Антонович, кандидат биологических наук ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной микробиологии, 1-ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, пр-кт Науки, д. 5. ORCID: 0000-0003-0578-9963; eLIBRARY SPIN-код: 3598-9078. E-mail: dr.zimin8@yandex.ru

Bio notes:

Maria K. Bulavina, engineer, 1 Pushchino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences, G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms Russian Academy of Sciences (IBPM RAS), 5 Avenue Nauki, 142290, Moscow region, Pushchino, Russian Federation. E-mail: ruffusramone@yandex.ru

Tatiana N. Abashina, PhD (Biology), Senior Research Associate, 1 Pushchino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences, G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms Russian Academy of Sciences (IBPM RAS), 5 Avenue Nauki, 142290, Moscow region, Pushchino, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4539-5192; eLIBRARY SPIN-code: 7256-8053. E-mail: ttabashina@gmail.com

Nataliya E. Suzina, PhD (Biology), Leading Researcher, 1 Pushchino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences, G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms Russian Academy of Sciences (IBPM RAS), 5 Avenue Nauki, 142290, Moscow region, Pushchino, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-4960-1910; eLIBRARY SPIN-code: 7986-9434. E-mail: Suzina_Nataliya@rambler.ru

Valentina N. Polivtseva, PhD (Biology), Senior Researcher, 1 Pushchino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences, G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms Russian Academy of Sciences (IBPM RAS), 5 Avenue Nauki, 142290, Moscow region, Pushchino, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6960-3967; eLIBRARY SPIN-code: 9629-0020. E-mail: v.polivtseva@pbcras.ru

Andrei A. Zimin, PhD (Biology), Leading Researcher, 1 Pushchino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences, G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms Russian Academy of Sciences (IBPM RAS), 5 Avenue Nauki, 142290, Moscow region, Pushchino, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0578-9963; eLIBRARY SPIN-code: 3598-9078. E-mail: dr.zimin8@yandex.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-1-21-28

EDN: BALIGH

УДК 631.95

Научная статья / Research article

Утилизация шрота люпина белого методом твердофазной микробиологической ферментации

О.А. Миронова^{ID}✉, А.А. Киричук^{ID},
А.П. Кармазин^{ID}, Л.П. Миронова^{ID}

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация
✉m2889888@mail.ru

Аннотация. Содержание белка в семенах люпина белого составляет 35–38 %, поэтому он рассматривается как альтернатива сое. После отделения масла от семян люпина остается шрот. Люпиновый шрот является отходами производства люпинового масла. Предложен экологически чистый способ утилизации шрота люпина методом твердофазной микробиологической ферментации с перспективой использования ферментированного продукта для кормления животных. По результатам лабораторных исследований ферментированного с использованием закваски Леснова шрота люпина белого доказано, что независимо от времени ферментирования достоверно улучшаются физико-химические свойства полученного продукта в сравнении с нативным субстратом; полученный ферментированный продукт отвечает требованиям биологической и химической безопасности, предъявляемым к кормам для животных.

Ключевые слова: шрот люпина белого, закваска Леснова, микробиологическое ферментирование, качество утилизации, требования безопасности к кормам, утилизация

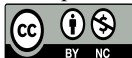
Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

История статьи: поступила в редакцию 10.11.2024; доработана после рецензирования 18.11.2024; принята к публикации 03.12.2024.

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

Для цитирования: Миронова О.А., Киричук А.А., Кармазин А.П., Миронова Л.П. Утилизация шрота люпина белого методом твердофазной микробиологической ферментации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 1. С. 21–28. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-21-28>

© Миронова О.А., Киричук А.А., Кармазин А.П., Миронова Л.П., 2025



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

Recycling of white lupine meal using solid-phase microbiological fermentation

Olga A. Mironova^{ID}✉, Anatoly A. Kirichuk^{ID},
Anton P. Karmazin^{ID}, Lyudmila P. Mironova^{ID}

RUDN University, Moscow, Russian Federation

✉m2889888@mail.ru

Abstract. The protein content in white lupine seeds is 35–38%, so it is considered as an alternative to soybeans. After separating the oil from the lupine seeds, the meal remains. Lupine meal is a waste product of lupine oil production. An environmentally friendly method of lupine meal utilization by solid-phase microbiological fermentation is proposed with the prospect of using the fermented product for animal feed. The results of laboratory studies of white lupine meal fermented using Lesnov's starter have proven that, regardless of the fermentation time, the physicochemical properties of the resulting product are significantly improved in comparison with the native substrate; the obtained fermented product meets the requirements of biological and chemical safety for animal feed.

Keywords: white lupine meal, Lesnov's starter, microbiological fermentation, quality, safety, recycling.

Authors' contribution. All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

Article history: received 10.11.2024; revised 18.11.2024; accepted 03.12.2024.

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

For citation: Mironova OA, Kirichuk AA, Karmazin AP, Mironova LP. Recycling of white lupine meal using solid-phase microbiological fermentation. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(1):21–28. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-21-28>

Введение

Дефицит протеина в комбикормах для животных решается преимущественно за счет использования сои, однако во всем мире продолжается поиск альтернативных источников растительного кормового белка. В связи с этим ведутся широкие научно-производственные исследования кормовой высокобелковой культуры люпина, содержание белка в семенах которой составляет 35–38 % [3; 11].

Многочисленными исследованиями доказано, что зерно белого люпина имеет лучшие питательные свойства, чем полножирная соя, поскольку содержит растворимые и легкоусвояемые безазотистые экстрактивные вещества — полисахариды, крахмал и сахара [9].

В зерне белого люпина до 20 % приходится на низкопитательную внешнюю оболочку, в которой преобладает клетчатка, а около 30 % составляют балластные непитательные углеводы (гемицеллюлоза и пектины) [1; 4].

Ведутся многочисленные поисковые опыты по улучшению кормовых достоинств зерна люпина, например, предложен метод гидробаротермической обработки, который способствует деструкции целлюлозолигниновых

соединений, декстринизации крахмала и инактивации антипитательных веществ [8].

Обрушивание семян люпина с образованием частиц заданного размера дает возможность получить высокобелковый корм, содержащий до 42 % сырого протеина и существенно уменьшать количество сырой клетчатки [10].

После отделения масла от семян люпина остается шрот, который может использоваться для кормления животных после его тщательного изучения.

Перспективным способом переработки целлюлозосодержащего сырья является микробиологическая ферментация, позволяющая получать высокобелковый корм, обогащенный биологически активными компонентами, образующимися микроорганизмами в процессе жизнедеятельности: витамины, аминокислоты, ферменты, бактериоцины, пребиотики [6]. Наиболее эффективно микробиологическое ферментирование специальными микроорганизмами, собранными в закваску. Закваска Леснова включающая в себя биологически активные вещества, мицелии микроскопических грибов, макро- и микроэлементы, изучена на таких субстратах, как рожь, отруби, молочная сыворотка, пивная дробина [5].

Поскольку процесс ферментации микроорганизмами закваски Леснова осуществляется при условиях, подходящих для развития плесневых грибов и дрожжей, необходимо изучить ферментированный продукт на показатели биологической опасности: микотоксины, плесневые грибы и дрожжи [2; 7].

При выращивании, хранении и переработке люпина могут применяться химические препараты: гербициды, стимуляторы роста, пестициды, удобрения, что создает угрозу химической опасности кормов. Исходя из сказанного, использование ферментированного шрота люпина белого для кормления животных можно рекомендовать, лишь убедившись в их безопасности.

В доступной нам литературе мы не нашли сведений о твердофазной микробиологической ферментации шрота люпина белого с использованием закваски Леснова.

Цель исследования – изучение показателей качества и безопасности шрота люпина белого, ферментированного с использованием закваски Леснова в течение 12 и 24 ч.

Задачи:

- 1) изучить физико-химические показатели качества;
- 2) исследовать показатели биологической безопасности;
- 3) изучить показатели химической безопасности.

Материалы и методы

Исследования ферментированных образцов шрота люпина белого проводили в 2024 г. Объектами исследований были 18 проб шрота люпина белого: шесть образцов до ферментации (нативных), шесть, подвергнутых 12-часовой ферментации, и шесть – после 20-часовой ферментации. Физико-химические показатели качества, содержание микотоксинов: афлатоксина В₁, дезоксиниваленола, зеараленона, охратоксина А, Т-2 токсина; пестицидов, нитратов

и нитритов, токсичных элементов и ГМО исследовали в Испытательной лаборатории ФГБУ «Центр оценки качества зерна» по г. Москве и Московской области согласно действующей нормативной документации (НД) с использованием методов и методик лабораторных исследований испытуемых субстратов: качественного и количественного химического анализа; высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ); газовой хроматографии (ГХ); атомно- абсорбционной спектрометрии и др. Лабораторные методы исследований качества (ГОСТ Р 54951–2012; ГОСТ 27979–88; ГОСТ 13496.4–2019 п. 8; ГОСТ 32905–14; ГОСТ 31675–2012 п. 7; ГОСТ 26226–95 п. 1; ГОСТ 26176–2019 п. 9; ГОСТ Р 54078–2010 приложение А; ГОСТ ISO 6493–2015; ГОСТ 26483), химические элементы (ГОСТ 32343–2013) и безопасности кормов: микотоксины (ГОСТ 30711–2001; ГОСТ EN 15851–2013; ГОСТ 31691–2012; ГОСТМУК 4.1 2204–07; инструкция Р43/В); пестициды (DIN EN 15662 2018); нитраты (ГОСТ 13496 19–2015), нитриты (ГОСТ 13496 19–2015); токсичные элементы (ГОСТ Р 53100–2008; ГОСТ 31 650–2012), ГМО (ГОСТ Р 53214–2008).

Результаты исследований

Мы изучили влияние метода твердофазной микробиологической ферментации разной продолжительности на физико-химические показатели шрота люпина белого (табл. 1).

Таблица 1. Динамика физико-химических показателей шрота люпина белого при разной продолжительности микробиологической ферментации

Показатели, ед. измерения	Образец (n = 6)		
	до ферментации	после ферментации	
		12 ч	24 ч
Массовая доля влаги, %	5,5 ± 1,3	6,5 ± 1,4*	6,3 ± 1,3*
Массовая доля сырого жира, в пересчете на сухое, %	6,40 ± 0,44	8,80 ± 0,48*	9,61 ± 0,49 *
Массовая доля сырого протеина в пересчете на сухое вещество, %	32,69 ± 1,25	38,78 ± 1,14*	41,88 ± 1,22*
Массовая доля сырой золы, в пересчете на сухое вещество, %	3,9 ± 0,2	4,0 ± 0,3	4,2 ± 0,2
Массовая доля сырой клетчатки в пересчете на сухое вещество, %	19,7 ± 1,8	13,9 ± 1,6*	12,6 ± 1,5*
Обменная энергия, МДж/кг	11,4	12,7 *	13,9 *
Массовая доля растворимых углеводов, %	6,5 ± 1,0	7,3 ± 0,8	10,2 ± 1,2*
Содержание крахмала в пересчете на сухое вещество, г/кг	42,0 ± 2,2	59,0 ± 2,8*	78,0 ± 3,1*
%	4,2	5,9	7,8
pH, ед. pH	5,91 ± 0,10	5,55 ± 0,10	5,53 ± 0,10

Примечание: * p < 0,05–0,001 относительно контроля.

Источник: составлено О.А. Мироновой, А.П. Кармазиным.

В зависимости от продолжительности твердофазной микробиологической ферментации шрота люпина белого с использованием ассоциации микроорганизмов, собранных в так называемую закваску Леснова, значение показателя массовой доли влаги выросло через 12 ч на 18,2 % (*), через 24 ч ферментации – на 14,6 % (*) в сравнении с нативным субстратом (табл. 2).

Массовая доля сырого жира через 12 ч ферментации выросла на 37,5 % (*), по прошествии 24 ч – на 50,2 % (*) в сравнении с исходным продуктом.

Установлено, что массовая доля сырого протеина увеличивалась в зависимости от времени ферментации. Так, после 12 ч прирост составил 18,6 % (*), по прошествии 24 ч – 28,1 % (*) по отношению к исходному количеству в нативном образце.

С продолжительностью ферментации нарастала массовая доля растворимых углеводов. Так, после 12 ч ферментации прирост составил 12,3 %, после 24 ч – 56,9 % (*) в сравнении с исходным продуктом.

Массовая доля крахмала пересчете на сухое вещество за 12 ч ферментации выросла на 40,5 % (*) по отношению к исходному субстрату, за 24 ч – на 85,7 % (*).

Показатель обменной энергии через 12 ч ферментации увеличился на 11,4 % в сравнении с нативным продуктом, через 24 ч ферментации – на 21,9 % (*).

В процессе ферментации мало изменился уровень сырой золы: через 12 ч он вырос на 2,6 %, через 24 ч – на 7,7 % в сравнении с нативным субстратом.

После 12 ч ферментации массовая доля сырого жира, показатель обменной энергии и содержание крахмала достоверно увеличились (*).

Через 12 ч ферментации шрота люпина белого уровень сырой клетчатки уменьшился на 29,5 % (*), через 24 ч ферментации – на 36,0 % (*). Произошел сдвиг pH после 24-часовой ферментации в кислую сторону на 6,4 %.

Таким образом, независимо от времени биоферментации с использованием закваски Леснова шрота люпина белого достоверно увеличились массовая доля сырого жира, сырого протеина, растворимых углеводов, крахмала, уровень обменной энергии; снизился уровень сырой клетчатки, произошел сдвиг pH в кислую сторону в сравнении с таковым уровнем в нативном продукте (см. табл. 2).

Таблица 2. Влияние продолжительности биоферментации на содержание микотоксинов в шроте люпина белого

Показатели, ед. измерения	Образец (n = 6)		
	до ферментации	после ферментации	
		12 ч	24 ч
Афлатоксин В1, мг/кг (ПДК 0,025-0,1 мг/кг)	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Дезоксиниваленол, мг/кг (ПДК 0,75–1,0 мг/кг)	< 0,058	< 0,058	< 0,058
Зеараленон, мг/кг (ПДК не более 1,0 мг/кг)	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Охратоксин А, мг/кг (ПДК не более 0,05 мг/кг)	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Т-2 токсин, мг/кг (ПДК не более 0,1 мг/кг)	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Источник: составлено О.А. Мироновой, А.П. Кармазиным.

Содержание афлатоксина В1 в исходном сырье шрота люпина белого было в 8,3 раза меньше нижнего уровня ПДК и не изменилось при разной продолжительности ферментации субстрата с использованием закваски Леснова (табл. 3).

Содержание дезоксиниваленола в исходной пробе шрота люпина белого было в 12,9 раза ниже минимально допустимого уровня ПДК и не изменилось

при разном времени воздействия на субстрат микроорганизмов закваски Леснова.

Содержание зеараленона в нативном образце шрота люпина белого было в 10,0 раз меньше в сравнении рекомендуемым ПДК; после ферментации микроорганизмами закваски Леснова в течение 12 и 24 ч его не превысило ПДК.

В нативном образце шрота люпина белого охратоксина А было обнаружено в 100 раз меньше ПДК; независимо от времени ферментации количественное содержание охратоксина А не изменилось.

Содержание Т-2 токсина в нативном сырье шрота люпина белого было в 2,0 раза ниже в сравнении с рекомендуемой ПДК; после ферментации субстрата в течение 12 и 24 ч уровень Т-2 токсина не изменился.

Таким образом, все исследуемые микотоксины в нативных (исходных) образцах шрота люпина белого содержались в количествах ниже минимального уровня ПДК: афлатоксин В1 – в 8,3 раза, дезоксиниваленол – 12,9 раза, зеараленон – в 10,0 раз, охратоксин А – в 100,0 раз, Т-2 токсин – в 2,0 раза; после ферментирования субстрата закваской Леснова в течение 12 и 24 ч уровни всех исследуемых микотоксинов не изменились (табл. 3).

Таблица 3. Влияние продолжительности биоферментации на содержание химических веществ в шроте люпина белого

Показатели, ед. измерения, ПДК, НД	Образец (n = 6)		
	до ферментации	после ферментации	
		12 ч	24 ч
Пестициды			
Малатион, мг/кг (ПДК < 0,01 мг/кг) (ВЭЖХ)	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Пиримифос-метил, мг/кг (ПДК < 0,01 мг/кг) (ГХ)	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Циперметрин, мг/кг (ПДК < 0,01 мг/кг) (ГХ)	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Дифлубензурон, мг/кг (ПДК < 0,01 мг/кг) (ВЭЖХ)	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Нитраты и нитриты			
Нитраты, мг/кг (ПДК 200,0 мг/кг) ГОСТ 13496.19-2015	223,0 ± 56,3	193,5 ± 63,4	196,0 ± 33,7
Нитриты, мг/кг (ПДК 10,0 мг/кг) ГОСТ 13496.19-2015	3,56 ± 0,12	2,05 ± 0,14	1,85 ± 0,16
Токсичные элементы			
Свинец, мг/кг (ПДК < 5,0 мг/кг) ГОСТ Р 53100-2008	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Мышьяк, мг/кг (ПДК < 0,5 мг/кг) ГОСТ Р 53100-2008	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Кадмий, мг/кг (ПДК < 0,3 мг/кг) ГОСТ Р 53100-2008	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Ртуть, мг/кг (ПДК < 0,1 мг/кг) ГОСТ 31650-2012	< 0,025	< 0,025	< 0,025

Примечания: ГХ – газовая хроматография; ВЭЖХ – высокоэффективная жидкостная хроматография.

Источник: составлено О.А. Мироновой, А.П. Кармазиным.

Исходя из данных табл. 3, содержание пестицидов: малатиона, пиримифос-метила, циперметрина, дифлубензурана, используемых при выращивании и хранении растительной продукции, как в исходном до ферментации, так и после 12- и 24-часового процесса ферментации шрота люпина белого оставалось ниже ПДК (ниже нижнего предела обнаружения методом ВЭЖХ в соответствии с действующим НД).

При исследовании нативных образцов шрота люпина белого установлено количество нитратов и нитритов ниже ПДК; при исследовании ферментированных 12 и 24 ч субстратов с использованием микроорганизмов закваски Леснова количество нитратов и нитритов осталось на уровнях, не превышающих ПДК и близких к исходному до ферментации.

При исследовании токсичных элементов в нативных и ферментированных в течение разного времени образцах шрота люпина белого различий в содержании свинца, мышьяка, кадмия и ртути не установлено (табл. 4). Так, содержание свинца было ниже уровня ПДК в 10 раз; мышьяка – в 5 раз; кадмия – в 6 раз; ртути – в 4 раза.

Таблица 4. Качественное определение наличия ГМО в нативных и ферментированных 12 и 24 ч образцах шрота люпина белого (6 образцов)

Образцы	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Промотор, терминатор	35S t-NOS p-FMV	35S t-NOS p-FMV	35S t-NOS p-FMV	35S t-NOS p-FMV	35S t-NOS p-FMV	35S t-NOS p-FMV
Результат качественного определения регуляторных последовательностей в геноме ГМ-растений (ГОСТ Р 53214-2008)	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены

Источник: составлено О.А. Мироновой, А.П. Кармазиным.

Лабораторными исследованиями ГМО скрининговым методом «Качественное определение регуляторных последовательностей в геноме ГМ-растений (p-35S; t-NOS; p-FMV)» в образцах шрота люпина белого, как до ферментации, так и после в течение 12 и 24 ч, промотор 35S, терминатор NOS, промотор FMV не обнаружены.

Выводы

По результатам лабораторных исследований шрота люпина белого доказано:

1) независимо от времени ферментирования с использованием микробиологической закваски Леснова достоверно улучшаются физико-химические свойства полученного продукта в сравнении с нативным субстратом;

2) полученный ферментированный продукт отвечает требованиям биологической и химической безопасности, предъявляемым к кормам для животных.

Список литературы

- [1] Афанасьев Г.Д., Штеле А.Л., Терехов В.А., Писарев Е.В. Использование зерна белого люпина при выращивании перепелов на мясо // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 9. С. 43–45. EDN: HDAWMF
- [2] Ахмадышин Р.А., Канарский А.В., Канарская З.А. Микотоксины – контаминанты кормов // Вестник Казанского технологического университета. 2007. Вып. 2. С. 88–103. EDN: IJVYNJ
- [3] Гатаулина Г.Г., Медведева Н.В. Белый люпин – перспективная кормовая культура // Достижения науки и техники АПК. 2008. № 10. С. 49–51. EDN: SBRKPN

- [4] *Егоров И.А., Андрианова Е.Н., Цыгуткин А.С., Штеле А.Л.* Белый люпин и другие зернобобовые культуры в кормлении птицы // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 9. С. 36–38.
- [5] *Леснов П.А.* Способ использования закваски в кормосмеси. Закваска Леснова для приготовления кормов: патент RU 2 122 330 C1 Российское агентство по патентам и товарным знакам; опубл. 27.11.1998, Бюл.
- [6] *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> EDN: HDSCXH
- [7] *Монастырский О.* Микотоксины – глобальная проблема безопасности продуктов // Агрохимия. 2016. № 6. С. 67–71. EDN: WHGKJF
- [8] *Сторчаков П., Болотчиев А., Кудашев Р.* Влияние скармливания экструдированного зерна люпина на рост и развитие телят // Молочное и мясное скотоводство. 2009. № 6. С. 20–22.
- [9] *Штеле А.Л.* Белый люпин — новый белковый корм для высокопродуктивной птицы // Птицеводство. 2013. № 10. С. 27–33. EDN: RTHKND
- [10] *Штеле А.Л., Терехов В.А.* Белковые кормовые продукты из белого люпина в питании птицы // Достижения науки и техники АПК. 2014. Т. 28. № 10. С. 48–50. EDN: TDPJXP
- [11] *Штеле А.Л.* О проблеме дефицита протеина в кормлении высокопродуктивной птицы // Птицеводство. 2016. № 1. С. 38–46. EDN: VMGFJL

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, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; Всероссийский центр карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»), Российская Федерация, 140150, р.п. Быково, г. Раменское, Московская обл. ORCID: 0000-0002-3263-8100; eLIBRARY SPIN-код: 5108-1323; AuthorID: 1162836. E-mail: m2889888@mail.ru

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

Кармазин Антон Павлович, кандидат биологических наук, доцент департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0009-0002-7983-3912; eLIBRARY SPIN-код: 9208-7164; AuthorID: 1220654. E-mail: Fumrostov@mail.ru

Миронова Людмила Павловна, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры терапии и пропедевтики, Донской государственный аграрный университет, Российская Федерация, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, д. 24. ORCID: 0000-0001-7263-3307. eLIBRARY SPIN-код: 7132-9082; AuthorID (РИНЦ): 384754; AuthorID (Scopus): 56377146600; Researcher ID (WoS): ABD-5941-2021. E-mail: m2889888@mail.ru



ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-1-29-42

EDN: BQARRL

УДК 574.47:630:502.4(470.333)

Научная статья / Research article

Лесные биоценозы Зелёной книги Брянской области: биомониторинг и эколого-фитоценотические характеристики

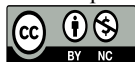
А.А. Гайворонская✉, Л.Н. Анищенко

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

✉eco_egf@mail.ru

Аннотация. Для выявления и описания лесных сообществ Зеленой книги Брянской области были обследованы местообитания 10 памятников природы. Лесные сообщества представлены формациями дубрав, ясеневников. Благодаря биомониторинговым работам с последующим анализом синтаксономического разнообразия были созданы базы наблюдений для 6 ассоциаций и одной субассоциации. Впервые приведено наличие биоценозов редкой субассоциации *Mercurialo perennis* – *Quercetum roboris carpinetosum betuli* Bulokhov et Solomeshch in Bulokhov et Semenishchenkov 2015 в памятнике природы «Любин Хутор» Новозыбковского района, редкой ассоциации *Ulmo laevis* – *Fraxinetum excelsioris* Bulokhov et Semenishchenkov 2008 – для «Старинного парка в Ляличах» Суражского района. Дифференциацией местообитаний, наличием буферной зоны, площадью охраняемых территорий, стадией демулационных восстановительных постановпогенных сукцессий определяется разнообразие эколого-фитоценотической структуры изучаемых лесных сообществ. Ценотические и структурные характеристики редких и эталонных лесных сообществ соответствуют модельным описаниям в Зелёной книге. Новая субассоциация с участием *Sanicula europaea* L. обоснована методом эколого-флористической классификации Ж. Браун-Бланке (1964). Это позволяет выявить гетерогенность биотопов и благоприятное фитоценотическое окружение регионально редкого вида. Благодаря единицам эколого-флористической классификации лесных био-

© Гайворонская А.А., Анищенко Л.Н., 2025

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

ценозов в качестве критериальных признаков установлено наличие ценных биотопов системы EUNIS-ESy (2020): категория Т – Лесные и другие лесные земли с четырьмя видами: T1B, T19, T13, T1E. Полученный опыт в ходе длительных исследований сообществ уникального природоохранного каталога Зелёной книги будет использован при подготовке и обнародованию аналогичных списков, которые поспособствуют решению проблем охраны растительных сообществ России.

Ключевые слова: лесные сообщества, Любин Хутор, Старинный парк в Ляличах, редкие и эталонные сообщества, синтаксономическое разнообразие, Нечерноземье РФ

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

История статьи: поступила в редакцию 07.09.2024; доработана после рецензирования 21.10.2024; принята к публикации 15.11.2024.

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

Для цитирования: Гайворонская А.А., Анищенко Л.Н. Лесные биоценозы Зелёной книги Брянской области: биомониторинг и эколого-фитоценотические характеристики // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 1. С. 29–42. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-29-42>

On the forest biocenoses of the Green Book of the Bryansk region: biomonitoring and ecological-phytocenotic characteristics

Angelika A. Gaivoronskaya✉, Lidiya N. Anishchenko

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

✉eco_egf@mail.ru

Abstract. To identify and describe the forest communities of the Green Book of the Bryansk region, the habitats of 10 natural monuments have been surveyed. Forest communities are represented by formations of oak forests and ash forests. Thanks to biomonitoring work followed by analysis of syntaxonomic diversity, observation bases have been created for 6 associations and one subassociation. The presence of biocenoses of the rare subassociation *Mercurialo perennis – Quercetum roboris carpinetosum betuli* Bulokhov et Solomeshch in Bulokhov et Semenishchenkov 2015 in the nature monument “Lyubin Khutor” of the Novozybkovsky district, and the rare association *Ulmo laevis – Fraxinetum excelsioris* Bulokhov et Semenishchenkov 2008 for the “Ancient Park in Lyalichi” in Surazhsky district have been cited for the first time. The differentiation of habitats, presence of buffer zone, size of protected area stage of demutation restorative post-anthropogenic successions determines the diversity of the ecological-phytocenotic structure of the studied forest communities. The cenotic and structural characteristics of rare and reference forest communities correspond to the model descriptions in the Green Book. A new subassociation involving *Sanicula europaea* L. is justified by the method of ecological-floristic classification of J. Braun-Blanquet (1964). This allows to identify the heterogeneity of biotopes and the favorable phytocenotic environment of a regionally rare species. The existence of valuable biotopes of the system EUNIS-ESy system (2020): category Т – Forest and other forest lands with four types: T1B, T19, T13, T1E is

established as criteria by means of units of ecological-floristic classification of forest biocoenoses. The experience gained during long-term community research of the unique environmental catalog of the Green Book will be used in the preparation and publication of similar lists that will contribute to solving the problems of protection of plant communities in Russia.

Keywords: forest communities, Green Book, rare and reference communities, syntaxonomic diversity, Non-Chernozem region of the Russian Federation

Authors' contribution. All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

Article history: received 07.09.2024; revised 21.10.2024; accepted 15.11.2024.

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

For citation: Gaivoronskaya AA, Anishchenko LN. On the forest biocenoses of the Green Book of the Bryansk region: biomonitoring and ecological-phytocenotic characteristics. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(1):29–42. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-29-42>

Введение

Зелёные книги регионов, которые известны для Сибири, Самарской и Брянской области, Украины, создаются на основе концептуального правила теоретической и прикладной экологии о приоритетности сохранения сообществ – биотопов для произрастания редких видов флоры и фауны. Эти фундаментальные труды, обобщающие результаты природоохранных исследований растительности биогеографических районов с детальной разработкой классификации сообществ на основе метода эколого-флористической классификации, реже – доминантного подхода, обеспечивают базовые основы биомониторинга и выявление направлений развития в ходе естественных процессов [1; 2].

Цель исследования – представить параметры лесных ООПТ Брянской области в процессе осуществления биомониторинга объектов региональной Зелёной книги.

Зелёная книга Брянской области в 2012 г. обнародовала базу растительных сообществ различных категорий природоохранной значимости, учитывая своеобразие флористического состава, участие редких видов, уникальность ценотической структуры, размеры и динамику ценоареалов, степень нарушенности [1]. Перспектива исследования в рамках ведения этого документа предусматривает описание динамических процессов, уточнение местоположений сообществ, эколого-ботанические характеристики эдификаторных, редких видов. Экспертное исследование показателей, отражающих специфику растительных сообществ региональной Зелёной книги, позволит оптимизировать и вывести на новый уровень охрану элементов флоры, подойти к решениям по инвентаризации биотопов, проводить учет изменений при деградационных сменах [6; 8]. Впоследствии на основе баз биомониторинговых

данных можно принимать решения о природоохранном статусе объектов, возрастном состоянии редких видов, эффективности охранных мер природных объектов, а также регулировании использования земель хозяйственного назначения для снижения отрицательного воздействия на биоту и биотоп сообществ.

Материалы, методы, методики исследований

Для решения вопроса о динамике состава растительных сообществ различных категорий региональной Зелёной книги заложены модельные учетные площадки на 10 особо охраняемых территориях; на некоторых из них – постоянных ключевых участках – наблюдения осуществлялись с 2015 г., на временных пробных площадках в рамках инвентаризации биоразнообразия описаны лесные сообщества, не выявленные ранее при обследованиях. Для биомониторинга отбирали природные охраняемые объекты, обеспечивающие, в первую очередь, территориальную охрану сообществ Зелёной книги: памятник природы Рёвны (Навлинский район, 18 га, ландшафтный), Рёвенские дубравы (Навлинский район, 68 га, комплексный), Добрунские склоны (Брянский район, 10 га, ландшафтный), Любин Хутор (Новозыбковский район, 164 га, лесной), Брасовская дубрава (Брасовский район, 430 га, ботанический), Севская дубрава (Севский район, 457 га, ландшафтный), Владимирская дубрава (Комаричский район, 54 га, ботанический), Дубрава Десятуха (Стародубский район, 20 га, ландшафтный), Семяцкая дубрава (Почепский район, 92 га, комплексный), Старинный парк в Ляличах (Суражский район, 63 га, комплексный)¹.

На мониторинговых маршрутах описывали элементы лесного растительного покрова, фиксировали элементы флоры, в том числе редкие и инвазивные виды, проведено геоботаническое описание растительных сообществ по методике эколого-флористической классификации Ж. Браун-Бланке (1964) [3] на ключевых пробных площадках в 400 м². При исследовании выявляли полный флористический состав, отмечены обилие видов, ярусность лесных биоценозов. При камеральной обработке данных составляли синоптические таблицы синтаксонов, проективное покрытие видов указывали в баллах и приводили по комбинированной шкале обилия-покрытия Ж. Браун-Бланке [3]. Баллы выраженности экологических факторов рассчитывали с использованием шкал Г. Элленберга (1992) [10]. Наименования синтаксонов соответствуют Кодексу фитосоциологической номенклатуры, учтены современные

¹ Постановление Администрации Брянской области от 28.07.2010 г. № 755 «Об утверждении положений и паспортов особо охраняемых природных территорий в Брянском, Гордеевском, Дятьковском, Злынковском, Карачевском, Климовском, Клиновском, Комаричском, Красногорском, Навлинском, Новозыбковском, Почепском, Рогнединском, Севском, Стародубском, Суражском, Унечском районах Брянской области». URL: <https://brn-gov.ru/doc/10996> (дата обращения 06.07.2024).

работы по синтаксономическим решениям при классификации лесных сообществ [4; 9; 12; 13]. Для анализа показателей флористического разнообразия определяли показатели α -разнообразия (флористическая насыщенность), вычислены значения индекса Шеннона – Уивера для отражения гетерогенности ценофлоры с использованием данных по процентному обилию-покрытию видов при описаниях сообщества и элементы α -разнообразия.

Результаты исследований

Биомониторинг лесных сообществ различных категорий Зелёной книги Брянской области проводится с целью оценки распространения фитоценозов различных ассоциаций на ООПТ, для выявления негативных факторов, отрицательно воздействующих на состояние макрокомплексов, для прогноза развития лесных насаждений, представляющих значительную ценность в природоохранном плане; составления карто-схемы распространения мониторируемых сообществ.

На территории памятников природы для биомониторинга охарактеризовали сообщества 6 ассоциаций и одной субассоциации, представляющей значительную ценность как средообразующая единица. К категории эталонных (показательных для лесных биоценозов средней России) отнесены сообщества ассоциации *Mercurialo perennis* – *Quercetum roboris* Bulokhov et Solomeshch in Bulokhov et Semenishchenkov 2015, сообщества ассоциации *Georivale* – *Quercetum roboris* Semenishchenkov in Bulokhov et Semenishchenkov 2008 – класс *Carpino-Fagetea* Jakus ex Passarge 1968, порядок *Fagetalia sylvaticae* Pawlowski, Sokolowski et Wallisch 1928, союз *Quercu roboris* – *Tilion cordatae* Bulokhov et Solomeshch in Bulokhov et Semenishchenkov 2015, сообщества ассоциации *Vaccinio myrtilli* – *Quercetum roboris* Bulokhov et Solomeshch 2003 – класс *Quercetea robori* – *Petratae* Br.-Bl. Et Tx. et Oberd. 1957, порядок *Quercetalia roboris* Tx. 1931, союз *Vaccinio myrtilli* – *Quercion roboris* Bulokhov et Solomeshch 2003. Редкие сообщества, характерные для местообитаний со специфическими экологическими факторами, богатые стенопными видами, принадлежат к сообществам класса *Carpino-Fagetea* – ассоциация *Lathyro nigri* – *Quercetum roboris* Bulokhov et Solomeshch 2003, порядка *Quercetalia pubescenti* – *petraeae* Klika 1933, союза *Betonico officinalis* – *Quercion roboris* Goncharenko et Semenishchenkov in Goncharenko et al. 2020 и ассоциация *Ulmo laevis* – *Fraxinetum excelsioris* Bulokhov et Semenishchenkov 2008 (союз *Quercu roboris* – *Tilion cordatae*, порядок *Fagetalia sylvaticae*). В памятниках природы изучено редкое сообщество пойменных лесов – ассоциации *Filipendulo ulmariae* – *Quercetum roboris* Polozov Solomeshch 1999 in Semenishchenkov 2015 класса *Alno glutinosae* – *Populetea albae* Fukarek et Fabijanić 1968, порядка *Alno* – *Fraxinetalia excelsioris* Passarge 1968, союза *Faxino* – *Quercion roboris* Passarge 1968 [1; 4]. Основные фитоценотические характеристики сообществ описаны ниже.

Все лесные сообщества – биоценозы в специфических местообитаниях, например, расположенные в речных долинах, на склонах балок, равнинных

участках с понижениями между балочным ландшафтом, часто в местах выхода карбонатных пород. Развитие лесных биоценозов эталонной и редкой группы определяется экологическими особенностями эдификаторов и доминантов. Также рассмотренные при анализе сообщества характеризуются уникальным положением урочищ ландшафтов и биотопическими факторами, создающими рефугиум для географически различных по происхождению видов, входящих в состав списков охраняемых элементов флоры [1].

Только в местообитаниях памятника природы «Любин Хутор» описаны сообщества субассоциации *Mercurialo perennis* – *Quercetum roboris carpinetosum betuli* Bulokhov et Solomeshch in Bulokhov et Semenishchenkov 2015, в местообитаниях «Старинного парка в Ляличах» (усадебный парк П.В. Завадовского) – сообщества ассоциации *Ulmo laevis* – *Fraxinetum excelsioris* Bulokhov et Semenishchenkov 2008. Эталонные сообщества ассоциаций *Mercurialo perennis* – *Quercetum roboris* Bulokhov et Solomeshch in Bulokhov et Semenishchenkov 2015, *Vaccinio myrtilli* – *Quercetum roboris* Bulokhov et Solomeshch 2003 и *Geo rivale* – *Quercetum roboris* Semenishchenkov in Bulokhov et Semenishchenkov 2008, территориально выявленные для ООПТ, флористически и структурно соответствуют описаниям инвентаризационных характеристик в Зелёной книге Брянской области; отмечено только их местоположение, не учтенное в документе.

В ацидофитных сосново-широколиственных лесах ассоциации *Vaccinio myrtilli* – *Quercetum roboris* ценофлора представлена 76 видами, среднее α -разнообразие – 35 видов на 400 м²; в гигро-мезофитных широколиственных лесах ассоциации *Geo rivale* – *Quercetum roboris* ценофлора из 72 видов, среднее α -разнообразие – 32 вида; в мезофитных неморальнотравных широколиственных лесных биоценозах *Mercurialo perennis* – *Quercetum roboris* ценофлора состоит из 68 видов, среднее α -разнообразие – 30 видов. В ценофлоре лесных фитоценозов на ООПТ описаны виды региональной Красной книги – *Digitalis grandiflora*, *Sanicula europaea*, *Lilium martagon*, растения мониторингового списка – *Pyrethrum corymbosum*, *Anthericum ramosum*, *Epipactis helleborine*. Фрагментированные массивы эталонных сообществ на охраняемых территориях без буферной зоны создают биотопические условия для меньшего числа редких и нуждающихся в охране видов; зарегистрированные виды представлены малочисленными ценопопуляциями пониженной жизнеспособности [6; 7].

Богатство ценофлоры и увеличение видовой насыщенности свидетельствует о протекании демулационных процессов и смене коренных сообществ.

В биотопах памятника природы «Любин Хутор» описаны фитоценозы редкой субассоциации *Mercurialo perennis* – *Quercetum roboris carpinetosum betuli* Bulokhov et Solomeshch in Bulokhov et Semenishchenkov 2015, которые сформировались при спонтанном зарастании старинного усадебного парка с редкими интродуцентами, в том числе с грабом обыкновенным. Ценофлора субассоциации включает 45 видов, среднее α -разнообразие – 21 вид на 400 м². Лесные насаждения темные, с ярко выраженной подстилкой, с незначительным возобновлением граба и дуба черешчатого. Ввиду произрастания

сообщества на территории демутиаций и обеднения биоразнообразия ввиду отсутствия диаспор видов, инвазии некоторых видов-трансформеров видовая насыщенность меньше, чем рассмотренная для модельного описания Зелёной книги. В ценофлоре не отмечены редкие виды регионального списка охраняемых видов.

Для биотопов памятника природы «Старинный парк в Ляличах» Суражского района описаны мезофитные неморальнотравные ясеневые леса редко встречающейся ассоциации *Ulmo laevis – Fraxinetum excelsioris* Bulokhov et Semenishchenkov 2008, которые также оформились при прекращении ландшафтно-парковых работ в середине XX в. Видовой состав ценофлоры ассоциации – 47 видов, среднее α -разнообразие – 17 видов на 400 м². Охраняемых по региональным спискам видов, указанных для этих фитоценозов, в материалах Зелёной книги не выявлено.

Ксеромезофитные леса сообщества *Lathyro nigri – Quercetum roboris* Bulokhov et Solomeshch 2003 описаны для местообитаний юга и центра Брянской области на ООПТ: ценофлора представлена 80 видами, среднее α -разнообразие – 57 видов на 400 м². Леса выполняют роль рефугиума для ценных в средообразующем и соэкологическом значении видов. Сообщества в меньшей степени подвергались природопреобразующей деятельности ввиду расположения на склонах балок, а также развития на относительно богатых карбонатных почвах.

Гигромезофитные пойменные дубовые леса, редко распространенные, зарегистрированные как сообщества ассоциации *Filipendulo ulmariae – Quercetum roboris* Polozov et Solomeshch 1999 in Semenishchenkov 2015 характеризуются низким числом видов в ценофлоре – 38, низким α -разнообразием – 24 вида на 400 м². От модельных описаний Зелёной книги Брянской области фитоценологические характеристики проанализированных описаний отличает отсутствие охраняемых видов, низкие показатели фиторазнообразия ввиду изменений в результате постантропогенного восстановления, рекреационных изменений и естественных сукцессионных преобразований.

Эколого-фитоценологические черты рассмотренных сообществ разнятся для местообитаний памятников природы (табл. 1).

При анализе характеристик биоразнообразия для лесных растительных сообществ отмечены различия в числе видов ценофлоры каждого местообитания и α -разнообразия: эти показатели определяются непосредственно категорией фитоценоза и совокупностью средообразующих экологических факторов. Влияние на число видов в описаниях на реперных площадках и в целом составляющих лесное сообщество при рандомных описаниях оказывает и природопреобразующая деятельность, которой затронуты все биоценозы староосвоенного региона. В наибольшей степени лесные сообщества Зелёной книги региона испытывают антропогенное воздействие в местообитаниях памятников природы «Добрунские склоны» (Брянский район), «Дубрава Десятуха» (Стародубский район), «Владимирская дубрава» (Комаричский район). Представленность элементов фиторазнообразия в сообществах

различных ассоциаций, равно как и видовая насыщенность, также определяется площадью охраняемых природных территорий, наличием буферной зоны и фитоценоотическим окружением в ней – факторами наличия диаспор видов растений, в том числе и раритетных элементов флоры. Так, относительно низкие значения показателей биоразнообразия выявлены для термофильных дубрав памятников природы «Добрунские склоны, «Дубрава Десятуха», «Рёвны», «Старинный парк в Ляличах»². В биотопах этих охраняемых территорий мониторинговые сообщества Зелёной книги подверглись наиболее значительным изменениям – структурным и функциональным. Ввиду невозможности изменения организационно-правового статуса памятников природы и крайней степени преобразованности ландшафтов в районах расположения охраняемых территорий необходимо постоянное наблюдение за динамическими процессами в эталонных и редких сообществах [8].

Таблица 1. Показатели элементов биоразнообразия лесных сообществ на охраняемых территориях

Памятники природы	Число видов ценофлоры	α-разнообразие	Индекс Шеннона	Число инвазивных видов
	Ассоциация <i>Mercurialo perennis – Quercetum roboris</i>			
1 Рёвны	59	28,2± 2,6	1,54	2
2 Рёвенские дубравы	72	34,5± 2,7	1,52	1
7 Семецкая дубрава	68	33,4± 2,9	1,46	1
10 Старинный парк в Ляличах	59	29,2± 2,5	1,41	1
	Ассоциация <i>Geo rivale – Quercetum roboris</i>			
4 Брасовская дубрава	75	38,5± 3,3	2,22	1
7 Семецкая дубрава	74	37,1± 3,0	2,14	1
8 Дубрава Десятуха	67	29,9± 2,7	1,16	3
	Ассоциация <i>Lathyro nigri – Quercetum roboris</i>			
2 Рёвенские дубравы	77	59,3± 3,5	2,21	2
4 Брасовская дубрава	72	58,2± 3,7	2,14	2
5 Севская дубрава	69	51,5± 3,1	2,10	2
6 Владимирская дубрава	65	50,8± 3,4	1,95	2
8 Дубрава Десятуха	61	45,3± 3,0	1,67	3
9 Добрунские склоны	59	44,9± 3,1	1,62	3
	Ассоциация <i>Filipendulo ulmariae – Quercetum roboris</i>			
1 Рёвны	37	29,4± 2,1	1,14	1
8 Дубрава Десятуха	32	26,5± 2,0	1,10	2
9 Добрунские склоны	30	22,8± 1,8	1,07	2
	Ассоциация <i>Vaccinio myrtilli – Quercetum roboris</i>			
4 Брасовская дубрава	79	38,2± 3,1	2,52	1
7 Семецкая дубрава	75	33,9± 3,0	2,49	1
	Ассоциация <i>Ulmo laevis – Fraxinetum excelsioris</i>			
10 Старинный парк в Ляличах	47	6,5± 1,1	1,14	2
	Субассоциация <i>Mercurialo perennis – Quercetum roboris carpinetosum betuli</i>			
3 Хутор Любин	45	20,7± 1,3	1,28	2

Источник: составлено А.А. Гайворонской, Л.Н. Анищенко.

² Постановление Администрации Брянской области от 28.07.2010 г. № 755 «Об утверждении положений и паспортов особо охраняемых природных территорий в Брянском, Гордеевском, Дятьковском, Злынковском, Карачевском, Климовском, Клинцовском, Комаричском, Красногорском, Навлинском, Новозыбковском, Почепском, Рогнединском, Севском, Стародубском, Суражском, Унечском районах Брянской области». URL: <https://brn.gov.ru/doc/10996> (дата обращения 10.08.2024)

Инвентаризация элементов фиторазнообразия на ООПТ Нечерноземья РФ, включающая сообщества различных категорий региональной Зелёной книги, выполнена на основе эколого-флористической классификации, что позволяет выявить соотношение синтаксономических единиц с категориями классификации местообитаний EUNIS. Несмотря на то что центральным понятием общеевропейской информационной системы о природе выступает ключевой биотоп, все местообитания непосредственно диагностируются по растительным сообществам, типология которых наиболее полно описывается по системе Ж. Браун-Бланке. Согласно усовершенствованной классификации местообитаний европейской экспертной системы EUNIS-ESy, созданной ведущими фитоценологами Европы под руководством М. Chytrý (2020), принадлежат к типу Т – Лесные и другие лесные земли. Эта разнообразная группа гетерогенна и в охраняемых природных территориях староосвоенного региона включает четыре класса [9; 11]. Это категории T1B – ацидофитные леса с *Quercus*: ассоциация *Vaccinio myrtilli* – *Quercetum roboris* Bulokhov et Solomeshch 2003 (эталонное сообщество); T19 – умеренные и субсредиземноморские термофильные лиственные леса: мезофитные неморальнотравные широколиственные леса – *Mercurialo perennis* – *Quercetum roboris* Bulokhov et Solomeshch in Bulokhov et Semenishchenkov 2015 (эталонное сообщество), гигро-мезофитные широколиственные леса – *Geo rivale* – *Quercetum roboris* Semenishchenkov in Bulokhov et Semenishchenkov 2008 (эталонное сообщество), ксеро-мезофитные широколиственные леса – *Lathyro nigri* – *Quercetum roboris* Bulokhov et Solomeshch 2003, мезофитные неморальнотравные ясеневые леса – *Ulmo laevis* – *Fraxinetum excelsioris* Bulokhov et Semenishchenkov 2008; T13 – умеренный лиственный прибрежный лес: сообщества гигро-мезофитных пойменных дубовых лесов ассоциации *Filipendulo ulmariae* – *Quercetum roboris* Polozov Solomeshch 1999 in Semenishchenkov 2015 (редкое сообщество). Косвенно леса с грабом обыкновенным, восстанавливающиеся в ходе демутационных смен при наличии диаспор, можно отнести к категории T1E леса с *Carpinus*: субассоциация *Mercurialo perennis* – *Quercetum roboris carpinetosum betuli* Bulokhov et Solomeshch in Bulokhov et Semenishchenkov 2015 (редкое сообщество) [11]. Так как все охарактеризованные в ходе биомониторинга сообщества в границах охраняемых природных территорий имеют небольшие площади, сформированы в ходе естественных процессов лесообразования, в том числе и биологических нарушений, антропогенного воздействия, их структурные, видовые характеристики претерпели изменения по сравнению с модельными описаниями [5]. Эти изменения и отражены в характеризующей синоптической таблице как инвентаризационном каталоге фитоценозов и характеристике биотопов: эти «срезовые» описания сообществ имеют большое прогностическое значение в проспективном мониторинге сукцессий лесной растительности.

Характеризующая таблица субассоциации *Geo rivale – Quercetum roboris saniculetosum europae* демонстрирует совокупность видов, с доминированием *Quercus robur*, которые свидетельствуют о принадлежности сообщества субассоциации к эколого-биологической группе гигро-мезофитных лесов Южного Нечерноземья РФ (табл. 2).

Таблица 2. Характеризующая таблица субассоциации *Geo rivale – Quercetum roboris saniculetosum europae* subass. nov. prov. hoc loco

Номер описания	Ярусы	1	2	3	4	5*	6	7	8	9	10	Постоянство
Высота древесного яруса, м		22	24	26	22	22	24	25	22	23	23	
Сомкнутость крон древесного яруса, %		50	50	55	50	50	55	50	60	55	50	
Сомкнутость кустарникового яруса, %		30	30	25	25	20	20	20	20	20	20	
Общее покрытие травяного яруса, %		45	50	55	60	55	60	60	60	55	55	
Число видов		25	30	26	26	23	24	28	25	28	25	
Характеристики почвы:												
влажность		6,0	5,8	5,7	5,9	5,9	6,1	6,1	5,8	5,7	5,8	
кислотность		6,8	6,7	6,4	6,4	6,4	6,5	6,2	6,4	6,4	6,5	
обеспеченность минераль- ным азотом		5,4	5,4	5,5	5,5	5,6	5,4	5,7	5,7	5,8	5,6	
Диагностические виды ассоциации Geo rivale – Quercetum roboris												
Quercus robur	A	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	V ²
Quercus robur	B	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	I ⁺
Impatiens noli-tangere	D	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	V ¹
Geum rivale	D	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	V ⁺
Диагностические виды субассоциации Geo rivale – Quercetum roboris saniculetosum europae												
Sanicula europaea	D	+	1	+	+	1	+	1	1	+	+	V ⁺
Диагностические виды союза Quercu roboris – Tilion cordatae												
Picea abies	A	.	+	+	.	+	.	.	.	.	.	II ⁺
Corylus avellana	C	1	+	1	+	+	+	+	+	+	+	V ⁺
Euonymus verrucosa	C	.	+	r	.	r	+	+	+	+	+	IV ⁺
Picea abies	C	+	.	r	.	.	.	.	.	.	.	I ^r
Диагностические виды порядка Fagetalia sylvaticae												
Pulmonaria obscura	D	1	+	+	+	+	1	1	+	1	1	V ⁺
Majanthemum bifolium	D	+	r	+	r	+	.	+	.	.	.	III ⁺
Athyrium filix-femina	D	r	.	.	r	r	.	.	r	.	r	III ^r
Scrophularia nodosa	D	.	+	.	.	r	.	.	r	r	r	III ^r
Anthriscus sylvestris	D	+	.	.	+	.	.	+	.	.	.	II ⁺
Dryopteris filix-mas	D	.	r	r	.	.	r	r	.	.	.	II ^r
Paris quadrifolia	D	r	.	r	.	.	r	.	.	.	r	II ^r
Convallaria majalis	D	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	II ⁺
Диагностические виды класса Carpino-Fagetea												
Acer platanoides	B	1	+	+	+	+	1	1	1	+	+	V ⁺
Lonicera xylosteum	C	r	.	+	r	.	.	r	.	r	.	II ^r
Viburnum opulus	C	.	r	.	.	.	r	+	.	r	r	III ^r
Mycelis muralis	D	+	+	+	+	+	+	.	+	r	r	V ⁺
Stellaria holostea	D	1	1	+	+	1	+	+	.	+	+	V ⁺
Anemona ranunculoides	D	r	r	.	r	.	r	r	+	.	+	IV ^r
Polygonatum multiflorum	D	.	r	.	.	.	.	r	r	.	.	II ^r
Carex pilosa	D	r	.	r	.	.	r	r	r	.	.	III ^r
Milium effusum	D	+	.	r	.	+	.	.	.	+	+	III ^r
Paris quadrifolia	D	r	r	.	r	r	.	r	r	.	.	III ^r
Asarum europaeum	D	.	+	.	+	.	+	.	.	.	.	II ⁺
Melica nutans	D	.	r	.	r	.	.	.	.	r	.	II ^r
Geum urbanum	D	r	.	r	.	.	.	.	.	r	r	II ^r
Corydalis cava	D	.	r	.	r	.	.	+	.	.	.	II ^r
Aegopodium podagraria	D	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	I ⁺
Lathyrus vernus	D	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	I ⁺

Окончание табл. 2

Номер описания	Ярусы	1	2	3	4	5*	6	7	8	9	10	Постоянство
<i>Lathyrus vernus</i>	D	.	.	.	.	r	.	.	r	.	.	I'
<i>Glechoma hederaceae</i>	D	.	r	.	.	r	+	.	.	.	.	I'
<i>Viola mirabilis</i>	D	.	.	.	r	.	.	.	.	r	.	I'
<i>Actaea spicata</i>	D	.	r	.	.	r	.	.	.	.	.	I'
Прочие виды												
<i>Populus tremula</i>	A	1	+	1	+	1	1	1	1	2	2	V'
<i>Frangula alnus</i>	C	.	+	.	+	+	+	+	.	+	+	IV*
<i>Sorbus aucuparia</i>	C	.	r	r	.	r	.	r	.	r	.	III'
<i>Padus avium</i>	C	.	.	.	.	.	+	.	+	+	.	II*
<i>Betula pendula</i>	B	.	.	.	.	.	+	+	.	+	.	II*
<i>Veronica chamaedrys</i>	D	+	.	.	+	.	.	.	.	+	.	II'
<i>Lysimachia nummularia</i>	D	.	.	.	.	.	r	r	r	.	.	II'
<i>Fragaria vesca</i>	D	r	.	.	.	.	.	.	.	r	r	II'
<i>Dryopteris carthusiana</i>	D	r	.	.	.	.	.	.	r	.	r	II'
<i>Rubus caesius</i>	D	.	.	r	.	.	.	r	r	.	.	II'
<i>Rubus idaeus</i>	C	.	.	.	.	.	r	r	r	.	r	II'
<i>Urtica dioica</i>	D	.	.	.	.	.	.	r	r	.	r	II'
<i>Lathyrus niger</i>	D	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	I*
<i>Lysimachia vulgaris</i>	D	.	.	r	.	.	.	.	.	r	.	I'
<i>Moehringia trinervia</i>	D	.	r	.	.	r	.	.	.	.	.	I'
<i>Viola riviniana</i>	D	.	r	r	.	.	.	.	.	.	.	I'
<i>Primula veris</i>	D	.	r	.	.	.	.	.	.	.	r	I'
<i>Solidago virgaurea</i>	D	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I'
<i>Trientalis europaea</i>	D	r	.	.	r	.	.	.	.	.	.	I'
<i>Pteridium aquilinum</i>	D	.	.	.	.	.	.	.	r	r	.	I'

Примечание. Встречены в одном описании: *Stellaria graminea* 1 (+), *Ulmus glabra* C 4 (+), *Galium odoratum* 3 (+), *Crepis paludosa* 9 (r), *Adoxa moschatellina* 7 (r).

Пункты описаний: 1-5 – памятник природы Брасовская дубрава, Брасовский район, Брянская область; 6-8 – памятник природы Семечья дубрава, Почепский район, Брянская область; 9, 10 – памятник природы Дубрава Десятуха, Стародубский район, Брянская область.

* – номенклатурный тип субассоциации.

Ярусы, h: А – первый древесный подъярус; В – второй древесный подъярус; С – подлесок (кустарниково-ый); D – травяной; Е – моховой.

Источник: составлено А.А. Гайворонской, Л.Н. Анищенко.

Первый подъярус древостоя представлен дубом черешчатым с примесью *Populus tremula*, *Picea abies*, но без *Tilia cordata*, зарегистрированной для биоценозов основной ассоциации. При разреженном древостое ясно выделяется второй подъярус из *Acer platanoides*. Хорошо развитый подлесок отсутствует, он представлен *Corylus avellana*, *Euonymus verrucosa*, *Lonicera xylosteum*, сомкнутость кустарникового яруса не превышает 30 % [12]. Следовательно, по сравнению с местообитаниями основной ассоциации ***Geo rivale*** – ***Quercetum roboris***, световой режим травяного яруса более благоприятный: сохраняющаяся мозаичность травяного яруса представлена немногочисленными видами неморального высокотравья и фитогенными мозаиками из *Sanicula europaea* – вида Красной книги Брянской области. Сообщества субассоциации распространены по микропонижениям, внешний облик-аспект характеризуется разрежением древостоя, часто «лесными окнами». Именно

абиотические экологические факторы освещенности и увлажнения в первую очередь стимулируют вегетативное разрастание и семенное увеличение численности подлесника европейского.

Видовая насыщенность в сообществах ассоциации изменяется от 23 до 30 видов; ценофлора включает 55 видов. Основа ценофлоры представлена аффинными видами класса *Carpino-Fagetea*. Сообщества субассоциации распространены по пониженным, дренированным местообитаниям со слабокислыми почвами (6,4 балла), от свежих до влажных (5,9), умеренно обеспеченных азотом (5,5). Таким образом, выделение разнообразных фитоценозов в рамках эталонных сообществ Зелёной книги Брянской области позволяет рассматривать это явление как свидетельство гетерогенности биотопических условий на охраняемых территориях, которые способствуют повышению γ -разнообразия староосвоенного региона.

Заключение

Все изученные в биомониторинге редкие и эталонные сообщества ассоциаций лесной растительности в местообитаниях памятников природы соответствуют флористически, структурно модельным описаниям Зелёной книги Брянской области. Динамика показателей ценофлоры, флористической насыщенности, видового разнообразия для каждого биоценоза в описаниях определяется экофакторами: фрагментацией территории, интенсивно протекающими демулационными сменами растительных сообществ, отсутствием буферной зоны в памятниках природы и, как следствие, диаспор некоторых «лесных» видов, природопреобразующей деятельностью в 1950–1970-е гг. и медленными восстановительными процессами. Некоторые экофитоценологические показатели – индекс Шеннона – Уивера – определяются и площадью региональных охраняемых территорий. Лесные сообщества – ксеро-мезофитные, мезофитные и гигро-мезофитные лесные биоценозы – рефугиумы стено-топных видов: лесостепных и степных, южных и северных (в зависимости от местоположения сообществ), что делает их роль в экологическом каркасе территории незаменимой. Ценофлора лесных сообществ шести ассоциаций и одной субассоциации включает 140 видов – высокое флористическое разнообразие отражает гетерогенность условий местообитаний и экологоботанического своеобразия экотонной зоны в Брянской области. Фитоценологическое окружение лесной растительности региональной Зелёной книги способствует воспроизведению популяций редких видов: подлесника европейского. Биоинвентаризационное отражение популяционной динамики диагностического вида – выделение в классификационной системе субассоциации *Geo rivale – Quercetum roboris saniculetosum europae*. В связи с этим целесообразно продолжить разработку синтаксономических решений и описание синтаксономического разнообразия, которые позволят выделить новые синтаксономические единицы, наиболее значительные для биомониторинга как редких, так и эталонных лесных сообществ Зелёной книги.

Изучение биотопической приуроченности лесных фитоценозов по европейской системе местообитаний EUNIS показало наличие ценных с природоохранной точки зрения биотопов в системе памятников природы региона – Т – «Лесные и другие лесные земли», включающих дубовые леса разных экологических режимов с огромным средообразующим значениям. Эти лесные насаждения нуждаются в дальнейшем биомониторинге. Косвенно четыре варианта категории Т отражают и ландшафтное разнообразие, каждый из них включает стенотопные виды как индикаторы экоусловий.

Представленные исследования имеют большое значение в свете разработки концепции ключевых биотопов и приуроченности растительности к редким местообитаниям, адаптации экспертной системы EUNIS-ESy (2020) к условиям значительного разнообразия экологических условий России, а также для переиздания региональной Зелёной книги с новыми биомониторинговыми базами.

Список литературы

- [1] Зелёная книга Брянской области (растительные сообщества, нуждающиеся в охране) / под ред А.Д. Булохова. Брянск : Брянское областное полиграфическое объединение, 2012. 144 с.
- [2] Зелёная книга Сибири. Редкие и нуждающиеся в охране растительные сообщества = Green Book of Siberia. Rare and Requiring Protection Plant Communities : монография / Российская академия наук [РАН]. Сибирское отделение [СО]. Центральный сибирский ботанический сад, Российский фонд фундаментальных исследований [РФФИ] ; под ред. И. Ю. Коропачинского. Новосибирск : Наука, Сиб. издат. фирма РАН, 1996. 387 с.
- [3] *Braun-Blanquet J.* Pflanzensoziologie. Grundzuge der Vegetationskunde. Wien; New York, 1964. 865 s.
- [4] *Вебер Х.Э., Моравец Я., Терийя Ж.-П.* Международный кодекс фитосоциологической номенклатуры // Растительность России. 2005. № 7. С. 3–38. EDN: KCPTKD
- [5] *Panasenko N.N., Anishchenko L.N.* Influence of Invasive Plants *Parthenocissus vitacea* and *Vinca minor* on Biodiversity Indices of Forest Communities // Contemporary Problems of Ecoogy. 2018. Vol. 11, no. 6. P. 614–623. <https://doi.org/10.1134/S1995425518060070> EDN: MLHFYD
- [6] *Мартыненко В.Б., Баишева Э.З., Миркин Б.М., Широких П.С., Мулдашев А.А.* О системе критериев оценки растительных сообществ для разработки региональной Зеленой книги // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15, № 3 (4). С. 1364–1367. EDN: SAENRR
- [7] *Мартыненко В.Б., Миркин Б.М., Баишева Э.З., Мулдашев А.А., Наумова Л.Г., Широких П.С., Ямалов С.М.* Зелёные книги: концепции, опыт, перспективы // Успехи современной биологии. 2015. Т. 135, № 1. С. 40–51. EDN: TLQSFZ
- [8] *Соколова Т.А.* Применение системы критериев оценки лесных сообществ для разработки региональной зелёной книги Ростовской области // Лесоведение. 2020. № 2. С. 135–146. <https://doi.org/10.31857/S0024114820010143> EDN: TXIQAJ
- [9] *Chytrý M., Tichý L., Knollova I. et al.* EUNIS Habitat classification: Expert system, characteristic species combinations and distribution maps of European habitats // Applied Vegetation Science. 2020. Vol. 23. Iss. 4. P. 648–675. <https://doi.org/10.1111/avsc.12519> EDN: BPZOPN

- [10] *Ellenberg H., Weber H.E., Dull R., Wirth V., Werner W., Paulssen D.* Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 2 Aufl. Göttingen : Verlag Erich Goltze GmbH & Co KG, 1992. 258 s.
- [11] *Rodwell J.S., Evans D., Schaminée J.H.J.* Phytosociological relationships in European Union policy-related habitat classifications // *Rend. Fis. Acc. Lincei*. 2018. Vol. 29. P. 237–249. <https://doi.org/10.1007/s12210-018-0690-y> EDN: YHOQWD
- [12] *Goncharenko I., Semenishchenkov Y., Tsakalos J.L., Mucina L.* Thermophilous oak forests of the steppe and forest-steppe zones of Ukraine and Western Russia // *Biologia*. 2020. Vol. 75 (3). P. 337–353. <https://doi.org/10.2478/s11756-019-00413-w>
- [13] *Mucina L., Daniëls F.J.A., Dierßen K. et al.* Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities // *Applied Vegetation Science*. 2016. Vol. 19. Issue S1. P. 3–264. <http://dx.doi.org/10.1111/avsc.12257> EDN: XLIMMN

Сведения об авторах:

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



ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

HUMAN ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-1-43-56

EDN: BXLGDI

УДК 614.876:004.942

Научная статья / Research article

**Опыт изучения последствий аварии на Чернобыльской АЭС
в сельском населенном пункте на примере села Новые
Бобовичи Новозыбковского района Брянской области****К.В. Гупало-Осадчая^{ID}, С.В. Панченко^{ID}✉***Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии
наук, Москва, Российская Федерация*

✉anch@ibrae.ac.ru

Аннотация. Представлены результаты многолетних исследований радиационной и социально-экономической обстановки в селе Новые Бобовичи, основанные на анализе данных подворных обследований и записей из домовых книг. Миграция ^{137}Cs в населенном пункте, радиоактивно загрязненном после аварии на Чернобыльской АЭС, может быть описана двумя компонентами: в первые 15 лет с периодом полураспада 7,5 года, а в последующие годы с периодом радиоактивного распада – 30 лет. Для селитебных радиоактивно загрязненных территорий на уровне 1 МБк/м² по ^{137}Cs консервативные оценки дозовых нагрузок на различные группы населения показывают, что максимальные дозы внешнего облучения за первые 35 лет после аварии не превышали 100 мЗв.

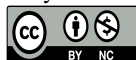
Ключевые слова: чернобыльские выпадения, подворные обследования, доза внешнего облучения, демография, производство сельхозпродукции

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

История статьи: поступила в редакцию 03.09.2024; доработана после рецензирования 10.10.2024; принята к публикации 01.12.2024.

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

© Гупало-Осадчая К.В., Панченко С.В., 2025



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

Для цитирования: Гупало-Осадчая К.В., Панченко С.В. Опыт изучения последствий аварии на Чернобыльской АЭС в сельском населенном пункте на примере села Новые Бобовичи Новозыбковского района Брянской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 1. С. 43–56. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-43-56>

Experience in studying the consequences of the Chernobyl accident in a rural settlement: case study of the village of Novye Bobovich, Novozybkovsky district, the Bryansk region

Ksenia V. Gupalo-Osadchaia^{id}, Sergey V. Panchenko^{id}✉

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
✉anch@ibrae.ac.ru

Abstract. The paper discusses the results of long-term studies of the radiation and socio-economic situation in the village of Novye Bobovich. The research is based on the analysis of homestead inspections data and records from the house registers. During the first 15 years after emergency contamination the migration of ^{137}Cs can be described as an exponent with a half-life ($T_{1/2}$) of 7,5 years and a life (T) of 30 years during the following period. For residential areas contaminated as a result of the Chernobyl accident at the level of 1 MBq/m^2 for ^{137}Cs , conservative estimates of accumulated doses on various population groups show that maximum external exposure doses for the first 35 years after the accident were no higher than 100 mSv.

Keywords: Chernobyl fallout, homestead inspections, external exposure dose, demography, agricultural production

Authors' contribution. All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

Article history: received 03.09.2024; revised 10.10.2024; accepted 01.12.2024.

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

For citation: Gupalo-Osadchaia KV, Panchenko SV. Experience in studying the consequences of the Chernobyl accident in a rural settlement: case study of the village of Novye Bobovich, Novozybkovsky district, the Bryansk region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(1):43–56. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-43-56>

Введение

Академик Р.М. Алексахин часто называл аварию на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) в 1986 г. сельскохозяйственной катастрофой, имея в виду то, что основные беды, вызванные последствиями аварии, легли на плечи сельхозпроизводителей и жителей села¹. Трудно не согласиться с мнением авторитетного ученого, наблюдая какие изменения произошли на радиоактивно загрязненных территориях после этой аварии. В первые два года сельчане

¹ Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Фесенко С.В., Спирин Е.В., Спиридонов С.И., Панов А.В. Чернобыль, сельское хозяйство, окружающая среда // Материалы к 20-й годовщине аварии на Чернобыльской атомной электростанции в 1986 г. Обнинск: ВНИИСПХРАЭ, 2006. 35 с.

мало понимали последствия случившейся катастрофы и поэтому ощущали чувство гнетущего страха. Принимаемые государством меры чаще всего вызвали дополнительную тревожность, а работавшие в отдельных селах командированные специалисты не могли снять ее и успокоить население в должной мере. Эти обстоятельства обусловили первую волну оттока молодежи и специалистов (врачи, учителя, зоотехники и др.), работавших в сельской местности. Примерно через 3 года после аварии, когда вроде бы социальная напряженность начала спадать и жизнь стала входить в привычную колею, по стране мощным валом прокатилась антикоммунистическая кампания, в которой сельские жители невольно оказались основными заложниками. Подготовленное в ходе холодной войны общественное сознание, ориентированное на то, что ядерная угроза самая мощная сила для уничтожения жизни, стало теперь использоваться где-то сознательно, а по большей части и нет, как средство борьбы против коммунистической власти. При этом произошла подмена понятий: пугающая ядерная опасность заменялась радиационной опасностью. Попытки отдельных ученых объяснить разницу между ними были смяты воинствующей группой так называемых демократов, захватившей большую часть средств массовой информации. Вся эта вакханалия вокруг развернувшейся борьбы за власть еще сильнее подорвала экономику страны и больше всего ударила по селу. В соседней Белоруссии прокатилась вторая волна массовых отселений, задевшая частично и Брянскую область.

Материалы и методы

Несмотря на государственную поддержку территорий, отнесенных к пострадавшим от радиационной аварии, общий упадок производства вкупе с демографическими проблемами подтачивал уклад сложившейся сельской жизни и постепенно разрушал ее. В Новозыбковском районе Брянской области из 120 населенных пунктов (1986 г.) через 15 лет осталось только 60, а численность сельского населения сократилась с 18 424 (1989 г.)² до 10 815 (2022 г.) человек³.

В исследовании рассмотрена ситуация на примере одного населенного пункта Новозыбковского района – село Новые Бобовичи и расположенного в нем коллективного хозяйства – совхоз «Решительный». На рис. 1 представлена динамика численности населения села в период с 01.01.1986 по 01.01.2023 г. по записям в домовых книгах.

² Всесоюзная перепись населения 1989 г. Численность населения СССР, РСФСР и ее территориальных единиц по полу. URL: https://www.demoscope.ru/weekly/ssp/rus89_reg1.php (дата обращения: 25.07.2024).

³ Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2022 года // Федеральная служба государственной статистики (Статистический бюллетень). Москва, 2022. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения: 25.07.2024).

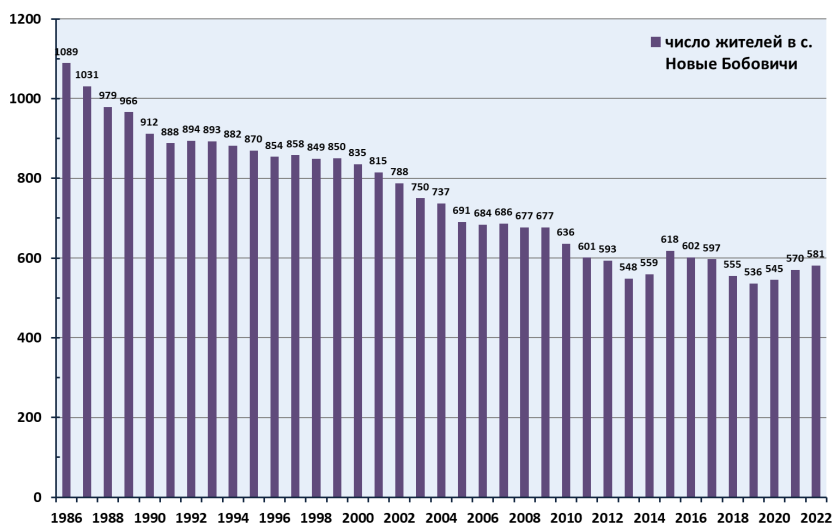


Рис. 1. Число официально зарегистрированных жителей села Новые Бобовичи в 1986–2022 гг.

Источник: составлено К.В. Гупало-Осадчей, С.В. Панченко.

Спад производства и ухудшение жизненных условий населения происходили не только в Новозыбковском районе, но и в целом по стране. Для сельчан отдельных хозяйств, расположенных на радиоактивно загрязненных территориях, на короткий период начала 90-х гг. XX в. отмечалось даже некоторое улучшение ситуации, связанное с государственной поддержкой загрязненных районов. В этот период за счет поступления удобрений и сельскохозяйственной техники выросла урожайность зерновых, увеличились надои и общее производство молока (рис. 2, 3). Однако этот всплеск был недолгим – развал СССР, общий экономический спад, пожалуй, резче всего отразились на сельскохозяйственном производителе. Начался период резкого снижения качества жизни на бедных землях Новозыбковского района, усугубленный демографическими проблемами. Сказался отток молодежи и квалифицированных кадров в период 1986–1988 гг. и в 1990 г., который из-за отсутствия значимых перспектив не завершился и по настоящее время.

Если общий надой молока в хозяйстве составлял в 1991 г. 2 209 т, то в 2000 г. он снизился до 891 т, в 2010 – до 360 т, в 2020 – до 135 т, а в 2021 – до 63 т, т.е. за 30 лет производство молока сократилось в 35 раз.

В 1986 г. в селе в частных хозяйствах было 248 дойных коров, из которых в 1990 г. осталась только одна корова. В 2022 г. только в одном частном хозяйстве было 7 коров, молочные продукты, производимые в этом хозяйстве, шли в основном на нужды отдельных сельчан. Остальные жители пользовались покупными молочными продуктами.

Опыт прошедших лет показал, что наиболее масштабные последствия аварии проявились не в радиологической, а в социально-экономической сфере. Подтверждением этому служат рекомендации, сформулированные в

докладе миссии ООН «Гуманитарные последствия аварии на Чернобыльской АЭС: стратегия реабилитации»⁴, и выводы Чернобыльского форума, представленные на заключительной конференции 6–7 сентября 2006 г. в Вене [1]. Чернобыльский форум подчеркивает необходимость поставить экономическое развитие, направленное на экономическую и социальную жизнеспособность территорий, затронутых аварией, основой стратегии преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС в среднесрочном и долгосрочном плане.

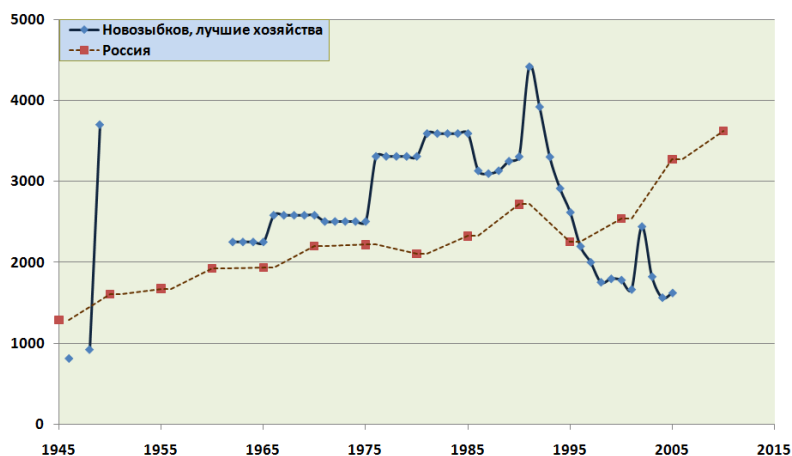


Рис. 2. Динамика надоев молока на одну корову в лучших хозяйствах Новозыбковского района: «Волна революции» (1945–1985 гг.) и Решительный» (1986–2010 гг.) в сравнении со средними данными по РФ

Источник: составлено К.В. Гупало-Осадчей, С.В. Панченко.

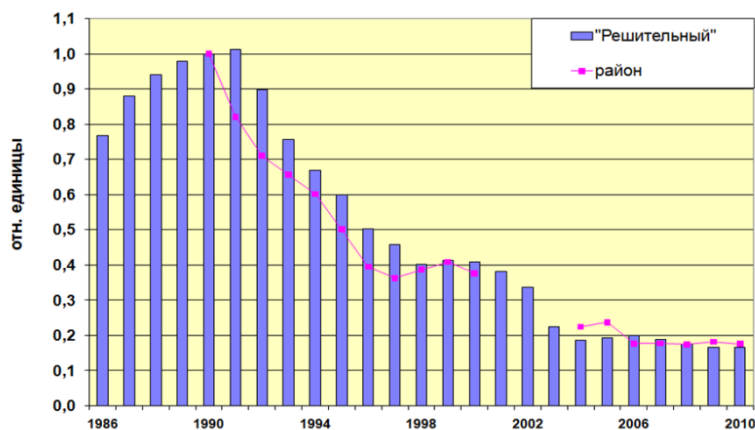


Рис. 3. Динамика производства молока в коллективном хозяйстве «Решительный» (в селе Новые Бобовичи) и в Новозыбковском районе Брянской области в 1986–2010 гг.

Источник: «Чернобыль» четверть века спустя: статистический сборник. Федер. служба гос. статистики (Росстат), Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Брянской области / ред. кол.: Н.А. Муратова (пред.) и др. Брянск : Брянскстат, 2011. 175 с.

⁴ Гуманитарные последствия аварии на Чернобыльской АЭС. Стратегия реабилитации: отчет, подготовленный по поручению ПРООН и ЮНИСЕФ при поддержке УКГД ООН и ВОЗ. Минск : Юнипак, 2002. 75 с.

Важно, что этот подход основан не только на мнении международных экспертов и правительств трех стран (Беларуси, России, Украины), наиболее затронутых аварией на ЧАЭС, он отвечал также насущным проблемам и заботам самих жителей⁵. Однако положение дел после подобных рекомендаций и отдельных предпринятых усилий кардинально не изменилось. Вопрос о перспективах и даже о дальнейшем существовании населенного пункта по-прежнему крайне актуален.

Независимо от изложенного хода событий, оценка полученных доз облучения населения, проживающего на наиболее радиоактивно загрязненных территориях и сохранивших сложившийся уклад жизни, наряду с другими показателями представляет несомненный как научный, так и социальный интерес. В настоящей работе рассматриваются итоги многолетних подворных обследований хозяйств села Новые Бобовичи в части оценок доз внешнего облучения. Основу этих исследований составили измеренные в период 1986–2022 гг. параметры радиационной обстановки, а также различные сведения о жителях села, полученные на основании записей в домовых книгах.

Радиационная обстановка и подворные обследования в селе Новые Бобовичи

Изучение радиационной обстановки, сложившейся в с. Новые Бобовичи в связи с радиоактивными выпадениями при аварии на ЧАЭС, началось с измерения уровней загрязнения обобщенного молока с совхозной фермы 12 мая 1986 г. Однако в какой-то степени благодаря случайности в районе Опытной станции (филиал Всероссийского института удобрений и агропочвоведения) в городе Новозыбкове, которые могут рассматриваться как населенные пункты «одной судьбы», были выполнены первые измерения мощности экспозиционной дозы на следующий день после радиоактивных выпадений, сформировавших загрязнение рассматриваемой территории в результате сильных осадков вечером 28 апреля 1986 г. Последующие измерения мощности дозы, выполненные до конца мая, показали быстрый спад за счет распада короткоживущих радионуклидов (рис. 4).

Расчетные значения мощности дозы в г. Новозыбкове были выполнены с использованием результатов кластерного анализа при реконструкции радионуклидного состава выпадений в Гомельской (северо-восточная часть), Могилевской (юго-восточная часть) и Брянской (западная часть) областях⁶ (табл. 1).

⁵ Герасимова Н.В., Абалкина И.Л., Марченко Т.А., Панченко С.В., Симонов А.В. Социально-экономические последствия чернобыльской аварии (на примере Брянской области). Москва : Комтехпринт, 2006. 32 с.

⁶ Панченко С.В., Савкин М.Н., Шутов В.Н. Радиационно-гигиеническая обстановка и дозы облучения населения. Препринт № IBRAE-1997-10, ИБРАЭ РАН. Москва, 1997. 19 с. URL: <https://ibrae.ac.ru/docs/109/9710.pdf> (дата обращения: 25.07.2024).

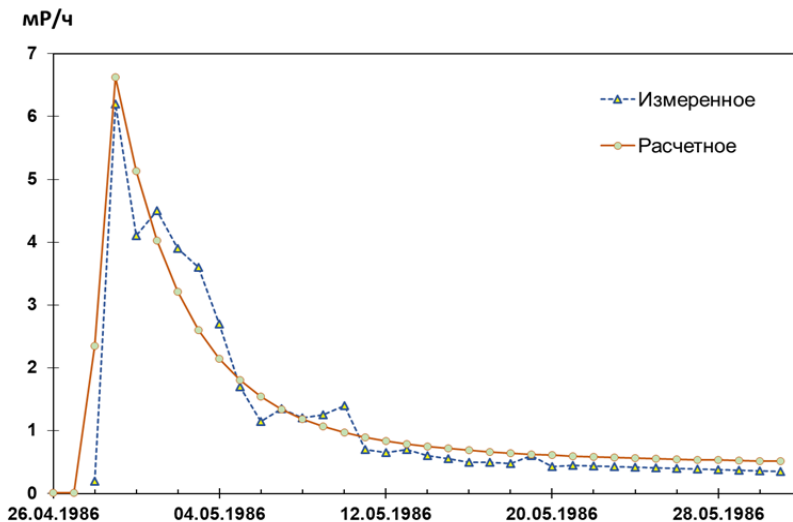


Рис. 4. Измеренные и расчетные значения мощности экспозиционной дозы в г. Новозыбкове в апреле-мае 1986 г.

Источник: составлено К.В. Гупало-Осадчей, С.В. Панченко.

Уровни выпадений ^{137}Cs в г. Новозыбкове (697 кБк/м^2) и на Опытной станции ($1\,050 \text{ кБк/м}^2$) заметно превышали 370 кБк/м^2 , исходя из этого был реконструирован радионуклидный состав выпадений, характерный для данной местности, по которому с использованием коэффициентов из работы [2] для ранних выпадений была оценена мощность экспозиционной дозы в г. Новозыбкове. Можно с большой уверенностью предполагать, что параметры радиационной обстановки в с. Новые Бобовичи были подобны ситуации в г. Новозыбкове, что позволяет оценивать мощность дозы исходя из пропорции выпадений ^{137}Cs на этих территориях.

Таблица 1. Соотношение ряда радионуклидов в выпадениях на территории Могилевской области (восточная часть) Гомельской области (северо-восточная часть) и Красногорского района Брянской области (в пересчете на 26.04.1986)

Плотность загрязнения по ^{137}Cs , кБк/м^2	Могилевская область (восточная часть)	Гомельская область (северо-восточная часть)	Красногорский район Брянской области
	$^{131}\text{I} / ^{137}\text{Cs}$	$^{95}\text{Zr} / ^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr} / ^{137}\text{Cs}$
18	38,2	0,71	0,3
115	12,8	0,16	0,05
370	10,5	0,09	0,022
1580	7,6	0,04	0,013

Источник: составлено С.В. Панченко по [7].

Ранее было показано, что начальное выпадение ^{137}Cs составило [3]:

- на территорию села Новые Бобовичи $1095 \pm 261 \text{ кБк/м}^2$;
- на сельскохозяйственные угодья вокруг $1100 \pm 378 \text{ кБк/м}^2$;
- на близлежащие леса $1920 \pm 310 \text{ кБк/м}^2$.

Таким образом, сразу после выпадения осадков средний гамма-фон в Новых Бобовичах (на открытой местности на высоте 1 м от поверхности земли) составлял около 13 мР/ч.

Более подробно различные аспекты, связанные с формированием и эволюцией параметров радиационной обстановки, были рассмотрены в работах⁷ и [2].

Материалы и методы

На данном этапе исследования оценивались индивидуальные дозы внешнего облучения для 984 жителей (432 мужчины и 552 женщины) села Новые Бобовичи Новозыбковского района Брянской области, которые проживали в селе в период аварии на ЧАЭС и не уехали в первые годы после аварии. К середине 2023 г. из числа старожилов умерло 499 человек (233 мужчины и 263 женщины). Средний возраст смерти для мужчин составил 65 лет, а для женщин – 79 лет.

В основу расчетов дозы внешнего облучения были положены результаты, полученные в предшествующих подворных обследованиях [3], а также новые измерения мощности дозы, выполненные в июле 2022 г. при подворных обследованиях. Все обследования для сохранения подобия проводили в соответствии с методическими рекомендациями по оценке радиационной обстановки в населенных пунктах 1990 г.⁸

В 2022 г. для измерения мощности дозы на местности и в помещениях использовались следующие поверенные приборы Центра научно-технической поддержки (ЦНТП) ИБРАЭ РАН⁹:

- ДКГ-02У «Арбитр» в данном исследовании использовался для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы в локальных точках;
- дозиметр индивидуальный ДКГ-PM1610 использовался как резервный для маршрутной записи мощности эквивалента дозы непрерывного γ -излучения у каждого из участников экспедиции;
- МКС-АТ6101 применялся для маршрутной гамма-съемки.

Кроме того, каждый исследователь имел прикрепленный к поясу дозиметр «Polymaster», который непрерывно записывал в файлы мощность дозы с интервалом усреднения в 180 с.

Все приборы измеряют мощность амбиентного эквивалента дозы. Наименьшие фактически фоновые значения мощности дозы в интервале от 0,08 до 0,22 мкЗв/ч регистрировались в центре асфальтовых дорог. В этом же дозовом диапазоне были результаты измерений в домах как кирпичных, так и деревянных. Наибольшие значения отмечались над участками ненарушенной

⁷ Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях : сб. материалов юбилейной X Российской научной конференции, 22–25 сентября 2015 г., Москва – Обнинск / под общ. ред. Л. А. Большова. Москва : САМ Полиграфист, 2015. 142 с. URL: <https://ibrae.ac.ru/pubtext/108/> (дата обращения: 25.07.2024).

⁸ Методические рекомендации по оценке радиационной обстановки в населенных пунктах. 1990. URL: https://www.feerc.ru/radsafety/archive/PDF_archive/radmonitdocs/histordocs/polozh_metod_ukaz/nasPointsObstan.pdf (дата обращения: 25.07.2024).

⁹ Центр научно-технической поддержки (ЦНТП) ИБРАЭ РАН URL: <https://ibrae.ac.ru/contents/89/> (дата обращения: 25.07.2024)

поверхности почвы. Результаты измерений мощности дозы в локальных точках приведены в табл. 2.

Таблица 2. Средние значения мощности дозы в характерных точках села Новые Бобовичи в июле 2022 г., мкЗв/ч

Тип поверхности	Число измерений	Средняя мощность дозы, мкЗв/ч
Невозмущенная поверхность	12	0,43±0,02
Травяной покров от дороги до участка	261	0,28±0,01
Скамейка у ворот (дома)	96	0,25±0,003
Грунт на улице и во дворах	16	0,27±0,01
Асфальт	87	0,15±0,01
Огород	67	0,31±0,01
Сад	27	0,30±0,01
Дом деревянный	33	0,12±0,01
Дом кирпичный	18	0,13±0,01

Источник: составлено К.В. Гупало-Осадчей, С.В. Панченко.

В ходе выполнения работ в рамках программы исследований по миграции ^{137}Cs в структуре населенного пункта¹⁰ был предложен параметр $M_{137}(t)$ – отношение средней мощности дозы на высоте 1 м для характерного типа поверхности $P_\gamma(137)$ к плотности интегрального содержания нуклида в почве, рассчитанного на момент измерения мощности дозы – σ_{137} :

$$M_{137}(t) = P_\gamma(137)/\sigma_{137} \left[\frac{\text{нЗв/ч}}{\text{кБк/м}^2} \right], \quad (1)$$

где σ_{137} – рассчитанная плотность загрязнения поверхности ^{137}Cs , кБк/м² в момент измерения мощности дозы; $P_\gamma(137)$ – разность между измеренной мощностью дозы в точке P_γ и фоновым значением этой мощности $P_\gamma(0)$, которое было до аварийного загрязнения: $P_\gamma(137) = P_\gamma - P_\gamma(0)$. В качестве $P_\gamma(0)$ для Новых Бобовичей принималось значение, равное 0,09 мкЗв/ч¹¹.

Для оценки эффективной дозы внешнего облучения (H_{Ex}) в конкретной точке для выбранной профессиональной и возрастной групп можно воспользоваться соотношением

$$H_{Ex} = R_k \cdot \int \dot{D}(t) \cdot dt, \quad (2)$$

где $\dot{D}(t)$ – мощность дозы за год, полученная интерполяцией между измеренными значениями $P_\gamma(137)$ в отдельные годы в период 1990–2023 гг.; R_k – фактор снижения дозы, который для различных групп населения может быть определен как

¹⁰ The French-German Initiative: Results and Their Implication for Man and Environment. CD-диск с основными результатами проектов. Украина, 2004; Панченко С.В., Аракелян А.А., Гаврилина Е.А. Динамика параметров радиационной обстановки в сельском населенном пункте, загрязненном в результате аварии на ЧАЭС в апреле 1986 г. Препринт ИБРАЭ № IBRAE-2014-06. Москва, 2014. 35 с. URL: <https://ibrae.ac.ru/docs/109/2014i06.pdf> (дата обращения: 25.07.2024).

¹¹ Константинов Ю.О. и др. Текущая и ретроспективная оценка и верификация доз внутреннего облучения и внешнего облучения для всех контингентов. Заключительный отчет. СПб., 1992.

$$R_k = \sum_j L_j \cdot p_{kj}, \quad (3)$$

где L_j – фактор места¹²; p_{kj} – фактор занятости k -й группы населения [3]. Для каждой возрастной и профессиональной групп подбираются значения параметра – p_{kj} (табл. 3).

Таблица 3. Время, проведенное различными группами населения в различных локациях, ч/год

Локализация	Группа населения					
	1	2	3	4	5	6
Невозмущенная поверхность			2053	1369		
Травяной покров	1800	1721				
Скамейка						182
Грунт перед домом	885	391	319	684	339	365
Огород			274	456	157	913
Асфальт	600	194			259	
Дом деревянный	5475	5280	6068	6205	5632	7117
Дом кирпичный		1174	46	46	2373	183
Σ часов	8760	8760	8760	8760	8760	8760

Источник: составлено К.В. Гупало-Осадчей, С.В. Панченко.

Выполненный анализ данных из домовых книг с. Новые Бобовичи, а также использование известных зависимостей значений дозовых коэффициентов от возраста жителей [2] позволили выделить шесть основных групп населения.

Группа № 1 – к ней были отнесены дети дошкольного возраста до 7 лет.

Группа № 2 – дети школьного возраста. Дети в возрасте от 7 до 17 лет.

Группа № 3 – люди старше 17 лет, постоянно работающие на улице: пастухи, трактористы, полеводы и др.

Группа № 4 – люди старше 17 лет, которые работают на улице не постоянно, а переменнo.

Группа № 5 – люди старше 17 лет, их образ жизни можно назвать «работа – дом», поскольку 9 ч они тратят на работу в помещении, 2 ч – на дорогу (включая посещения магазинов и других заведений), а остальное время занимают домашние дела.

Группа № 6 – пенсионеры, имеющие также нехарактерный для других групп образ жизни. Было принято, что до 9 ч представители группы проводят на свежем воздухе, занимаясь работами в огороде, общаясь с другими пенсионерами, а оставшееся время проводят дома.

Для референтных представителей каждой группы населения распределение времени жизни в различных локациях представлено в табл. 3.

Для оценки мощности дозы до 1990 г. воспользуемся зависимостью [4]

$$\dot{D}(t) = \sum_i \sigma_i \cdot \Gamma_i(t) \cdot \exp(-\lambda_i t), \quad (4)$$

¹² Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере : справочник. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Энергоатомиздат, 1991. 256 с.

где σ_i – начальная плотность загрязнения поверхности i -м радионуклидом (кБк/м²); $\Gamma_i(t)$ – коэффициент конверсии от σ_i к мощности дозы $\dot{D}_i$ как функция времени (нЗв/час)/(кБк/м²); λ_i – константа радиоактивного распада i -го радионуклида; t – время после загрязнения.

Коэффициенты конверсии ($\Gamma_i(t)$) для 1986 г. взяты для слоя почвы 3 мм, а для последующих лет (1987–1989) для слоя 5 см из работы [2].

Для оценки доз внешнего облучения после 1990 г. использовался параметр $M_{137}(t)$.

Результаты и их обсуждение

На рис. 5 представлена динамика величины параметра M_{137} для различных локализаций села Новые Бобовичи за весь период наблюдений с учетом данных, полученных в 2022 г. (36 лет после аварии). Точки для первых чисел мая 1986 г. (начальные точки) взяты из справочных изданий.

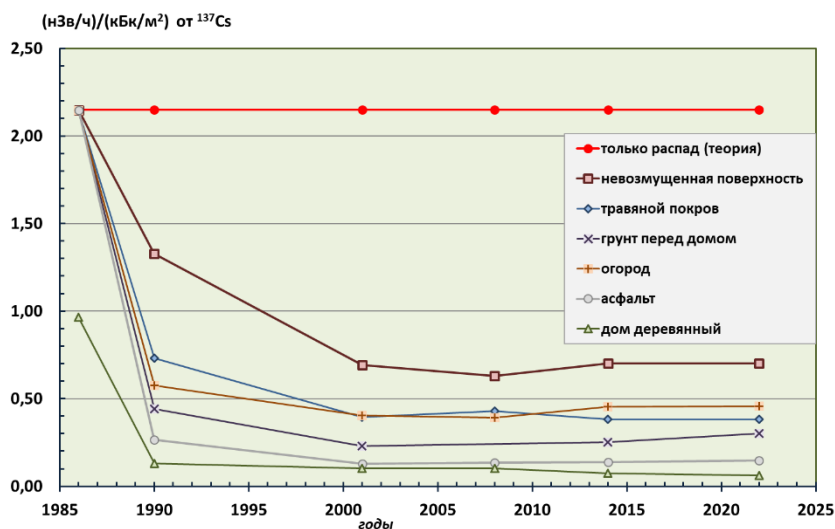


Рис. 5. Изменение величины параметра M_{137} для различных локализаций села Новые Бобовичи, обусловленное миграцией ^{137}Cs , в период 1986–2022 гг.

Источник: составлено К.В. Гупало-Осадчей, С.В. Панченко.

Как видно из графиков (рис. 5), общей характеристикой процессов является фактическое прекращение спада значений параметра M_{137} для всех локализаций после 2001 г. Иными словами, через 15 лет миграция ^{137}Cs , которая влияла на формирование мощности дозы внешнего облучения в населенном пункте в первые годы, фактически прекращается и остается только распад этого изотопа.

Для последующих этапов реконструкции накопленной дозы за счет внешнего облучения имеет значение и абсолютная величина техногенной составляющей для каждой характерной точки локализации. Поэтому динамика этих величин (см. рис. 5) является важным параметром для расчета накопленной дозы облучения жителей населенного пункта.

Для расчета средних годовых дозовых нагрузок для j -го реципиента использовано следующее выражение:

$$D_j = \sum_{i=1}^8 \dot{D}(t) \cdot t_i, \quad (5)$$

где t_i – время, проведенное j -м реципиентом в конкретной точке, в долях года.

В нашем случае определены следующие локальные точки: невозмущенная поверхность (лес), травяной покров, скамейка, грунт перед домом, огород, асфальт, дома деревянные и кирпичные. Для оценки $\dot{D}(t)$ – мощности дозы, которую реципиент может получить, находясь в конкретной точке в рассматриваемый год, будем использовать полученную ранее зависимость, для чего для каждого года расчетное значение $P_{\gamma}(137)$ умножается на $M_{137}(\tau)$, где τ – календарный год. Результаты расчетов представлены на рис. 6.

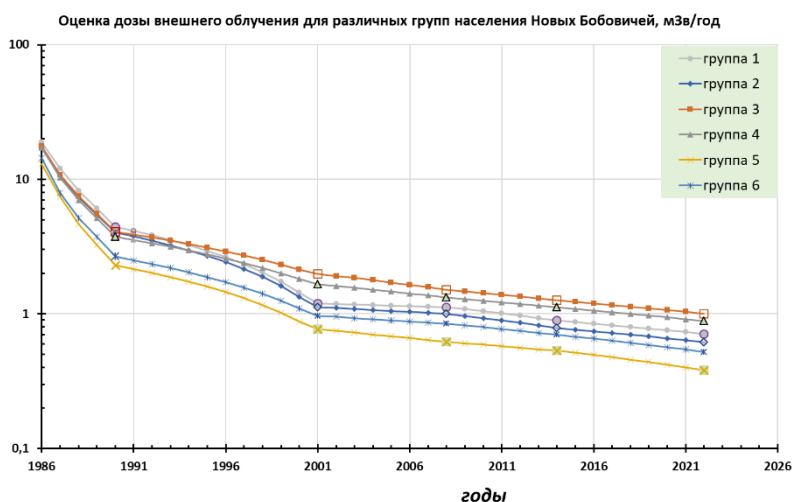


Рис. 6. Реконструкция дозы внешнего облучения, обусловленного ^{137}Cs для 6 референтных групп населения села Новые Бобовичи за период 1986–2022 гг.

Источник: составлено К.В. Гупало-Осадчей, С.В. Панченко.

Интеграл дозы за период 1986–2022 гг. оценивался с учетом того, что лица, входящие в 1986 г. в группу 1, сначала перешли в группу 2, а затем в группу 4. Лица, входящие в группу 2, затем перешли в возрастную группу 4, а лица работающие (группы 3–5) при достижении пенсионного возраста переходили в группу 6 (рис. 6). Результаты расчетов проводили для каждого жителя отдельно с учетом его возраста на момент аварии на ЧАЭС. На графиках рис. 6 приведены усредненные по группам значения годовых доз для тех жителей села, которые прожили безвыездно весь исследуемый период. Такой подход дает численные ориентиры возможных доз внешнего облучения для жителей, относящихся к разным возрастным и социальным группам. Следует отметить определенную консервативность подхода, поскольку практически все жители села в исследуемый период отлучались с рассматриваемой территории на различные промежутки времени. В принципе такой учет частично возможен, поскольку есть записи в домовых книгах, где фиксировались наиболее значимые периоды выезда (служба в армии, учеба,

работа вне села и др.). Однако такая работа была бы уместна при наличии данных медицинских наблюдений за индивидуальным здоровьем сельчан.

Таблица 4. Оценка доз внешнего облучения различных возрастных и профессиональных групп населения села Новые Бобовичи за период 1986–2022 гг. за счет «чернобыльского» ^{137}Cs

Показатель	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4	Группа 5	Группа 6
Доза за период 1986–2022 гг., мЗв	99	89	107	97	58	68

Источник: составлено К.В. Гупало-Осадчей, С.В. Панченко.

Выполненные оценки показывают, что различия по полученной дозе внешнего облучения различных групп населения села не превышают двух раз (табл. 4). Дальнейшее увеличение суммарной дозы внешнего облучения с учетом демографических факторов будет весьма незначительным.

Оценка погрешности

Погрешности в оценке индивидуальных доз внешнего облучения населения складываются главным образом не столько из погрешностей измерения радиационных параметров, сколько из неполноты нашего знания о пространственном распределении многих короткоживущих радионуклидов в первый год после загрязнения и соответствующих значений фактора места (L_j) и фактора занятости (p_{kj}). Наше предположение о стабильности радионуклидного состава мокрых выпадений опирается на достаточно убедительные доводы: сравнительно небольшая площадь селитебной зоны (около 2 км²) по сравнению с размерами грозовой тучи и радиоактивного факела; одномоментность основных выпадений (низкий вклад сухих выпадений перед дождем и после него), хорошая однородность выпадений ^{137}Cs . Однако пока оно не имеет экспериментального подтверждения. Еще сложнее ситуация с установлением погрешности для параметров L_j и p_{kj} в случае, когда мы имеем дело с индивидуальной оценкой дозы. Для первого года обосновать количественную величину погрешности можно лишь экспертным путем, и именно эта погрешность во многом будет влиять на оценку погрешности накопленной дозы.

Выводы

Многолетние наблюдения за параметрами радиационной обстановки в сельском населенном пункте показали, что миграция ^{137}Cs в населенном пункте в первые 15 лет после аварийного загрязнения шла довольно активно и может быть описана экспонентной с периодом в 7,5 года. Однако затем роль миграционной составляющей в формировании дозы внешнего облучения фактически стала незаметной на фоне распада ^{137}Cs .

Для селитебных территорий, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС на уровне 1 МБк/м² по ^{137}Cs , даже консервативные оценки дозовых нагрузок на различные группы населения показывают, что максимальные дозы внешнего облучения, трудно устранимые без серьезных затрат, за первые 35 лет после аварии не превышали примерно 100 мЗв, что заметно ниже критерия

предлагаемого отечественными учеными порога в 350 мЗв за жизнь¹³, но ниже уровня облучения за жизнь, принятого в законе о Радиационной безопасности¹⁴ – 70 мЗв за 70 лет жизни.

Оценивая ситуацию в целом, можно заключить, что принятые решения и частично реализованные усилия по снижению последствий радиоактивного загрязнения территории лишь в малой степени повлияли на величину дозы за жизнь от внешнего облучения населения рассматриваемого населенного пункта.

Список литературы

- [1] Линге И.И., Мелихова Е.М., Панфилов А.П. Последствия аварии на Чернобыльской АЭС по итогам работы Чернобыльского форума // Бюллетень по атомной энергии. 2006. № 4. С. 24–29. EDN: SCHUZY
- [2] Bellamy M.B., Dewji S.A., Leggett R.W., Hiller M., Veinot K., Manger R.P., Eckerman K.F., Ryman J.C., Easterly C.E., Hertel N.E., Stewart D.J. External exposure to radionuclides in air, water, and soil // Federal guidance report No. 15. Office of Radiation and Indoor Air U.S. EPA-402-R-19-002. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460, 2019. 335 p.
- [3] Панченко С.В., Аракелян А.А., Гаврилина Е.А., Шведов А.М. Динамика радиационной обстановки в сельском населенном пункте, загрязненном цезием-137 в результате аварии на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 г. // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2016. Т. 61. № 4. С. 5–18. EDN: WHAWJT
- [4] Merwin S.E., Balanov M.I. The Chernobyl papers. Vol. 1. Dose to the Soviet population and early health effects studies, 1993. 439 p. ISBN 978-1883021023

Сведения об авторах:

Гупало-Осадчая Ксения Владимировна, инженер лаборатории радиоэкологии, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Российская Федерация, 115191, г. Москва, ул. Большая Тульская, д. 52. ORCID: 0009-0004-0791-4638. E-mail: gupalo.kv@ibrae.ac.ru

Панченко Сергей Владимирович, заведующий лабораторией радиоэкологии, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Российская Федерация, 115191, г. Москва, ул. Большая Тульская, д. 52. ORCID: 0000-0002-2750-0940; eLIBRARY SPIN-код: 6148-6635. E-mail: panch@ibrae.ac.ru

¹³ Решение № 587 Правительственной комиссии по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС относительно 35-бэрной концепции проживания населения на загрязненных территориях, подписанное Председателем правительственной комиссии по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС В.Х. Догужиевым.

¹⁴ Федеральный закон от 09.01.1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» // Президент России : официальный сайт. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/8724> (дата обращения: 25.07.2024).

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-1-57-67

EDN: CGGMIM

УДК 504.75

Научная статья / Research article

Оценка плотности индуцированных токов в органах человека, находящегося в зоне прохождения воздушных линий электропередачи

С.Ю. Перов¹, В.С. Орлова², В.В. Журов^{1,3}¹Научно-исследовательский институт медицины труда

имени академика Н.Ф. Измерова, Москва, Российская Федерация

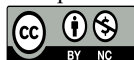
²Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация³Российский государственный социальный университет, Москва, Российская Федерацияvl.jurov@mail.ru

Аннотация. На основании результатов натурных измерений, в ходе которых были зафиксированы превышения предельно допустимых уровней напряженности электрического поля (до 11,5 кВ/м), разработаны математические модели экологической обстановки электрических и магнитных полей промышленной частоты вблизи прохождения линий электропередачи сверхвысокого напряжения. Проанализировано сочетанное влияние сверхнизкочастотных электрических и магнитных полей на организм человека в контексте плотности индуцированных токов в органах. Особое внимание уделено анализу систем органов, которые больше всего подвержены биологическому действию фактора. Моделирование с использованием фантома человека выявило превышающую нормативы (до 161,5247 мА/м²) плотность индуцированных токов в нервной, зрительной и эндокринной системах. Проведен анализ градации влияния фактора в зависимости от расположения человека относительно источника электрических и магнитных полей промышленной частоты и подтверждено, что наибольшее влияние происходит под проекцией средней фазы под максимальным провисом и уменьшается при удалении человека от провиса к самой опоре или к границам санитарно-защитной зоны.

Ключевые слова: электрические поля, магнитные поля, промышленная частота, математическое моделирование, фантом человека

Вклад авторов. Перов С.Ю. – концепция и дизайн исследования, его проведение, написание текста статьи; Орлова В.С. – концепция и дизайн исследования; Журов В.В. – проведение исследования, анализ полученных данных, написание текста статьи.

© Перов С.Ю., Орлова В.С., Журов В.В., 2025

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

История статьи: поступила в редакцию 23.09.2024; доработана после рецензирования 21.11.2024; принята к публикации 01.12.2024.

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

Для цитирования: Перов С.Ю., Орлова В.С., Журов В.В. Оценка плотности индуцированных токов в органах человека, находящегося в зоне прохождения воздушных линий электропередачи // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 1. С. 57–67. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-57-67>

Induced current density evaluation in organs of a human, located in the overhead power lines passage zone

Sergey Yu. Perov¹, Valentina S. Orlova², Vladimir V. Zhurov^{1,3}

¹*Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russian Federation*

²*RUDN University, Moscow, Russian Federation*

³*Russian State Social University, Moscow, Russian Federation*

 vl.jurov@mail.ru

Abstract. Based on the results of field measurements, during which exceedances of maximum permissible levels of electric field strength (up to 11.5 kV/m) were recorded, mathematical models of the ecological situation of electric and magnetic fields of industrial frequency near the passage of ultra-high voltage power lines have been developed. The combined effect of ultra-low-frequency electric and magnetic fields on the human body in the context of the density of induced currents in organs has been analyzed. Special attention is paid to the analysis of organ systems that are most exposed to the biological effects of the factor. Modeling with the use of human phantom revealed the density of induced currents in the nervous, visual, endocrine systems exceeding the norms (up to 161.5247 mA/m²). The analysis of gradation of the factor influence depending on the location of a person directly from the source of electric and magnetic fields of industrial frequency has been carried out and it has been confirmed that the greatest influence occurs under the projection of the middle phase under the maximum sag and decreases at removal of a person from the sag to the support itself or to the boundaries of the sanitary protection zone.

Keywords: electric fields, magnetic fields, industrial frequency, mathematical modeling, human phantom

Authors' contribution. *Perov S.Yu.* – research concept and design, research conduct, text writing; *Orlova V.S.* – research concept and design; *Zhurov V.V.* – conducting the study, data analysis, text writing.

Article history: received 23.09.2024; revised 21.11.2024; accepted 01.12.2024.

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

For citation: Perov SYu, Orlova VS, Zhurov VV. Induced current density evaluation in organs of a human, located in the overhead power lines passage zone. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(1):57–67. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-57-67>

Введение

Технологический прогресс несет за собой необходимость активного развития и внедрения новых объектов передачи и распределения электрической энергии, что приводит к увеличению общего электромагнитного уровня в диапазоне промышленной частоты (ПЧ) – 50/60 Гц. Наиболее широко встречающимся примером мест превышения предельно допустимых уровней (ПДУ) ПЧ как для производственных условий, так и для окружающей среды, являются санитарно-защитные зоны (СЗЗ) прохождения воздушных линий электропередачи (ВЛ) сверхвысокого напряжения напряжением от 330 до 1150 кВ, где одновременно присутствуют электрические и магнитные поля (ЭП и МП) ПЧ. В настоящее время имеется сравнительно мало научных данных, посвященных комплексному изучению сочетанного влияния ЭП и МП ПЧ на организм человека. В основе биологического действия ЭП и МП ПЧ лежит плотность индуцированных токов внутри органов и тканей тела человека, которая является расчетной нормируемой величиной в A/m^2 ¹. Учитывая, что как в Российской Федерации, так и во всем мире, основным контролируемым показателем (ПДУ) является напряженность ЭП или МП ПЧ, а плотность индуцированных токов – расчетным показателем за рубежом, представляется целесообразным разработка математической модели оценки плотности индуцированных токов в численном фантоме тела человека на примере условий воздействия ЭП и МП ПЧ в зоне прохождения ВЛ сверхвысокого напряжения на организм человека, а также определение их сочетанного влияния на отдельные органы и ткани тела человека. Полученные данные будут основой для сопоставления отмеченных биологических эффектов с данными из проведенных за последнее десятилетие исследований.

Цель исследования – разработка математической модели для оценки плотности индуцированных токов в органах и тканях тела человека, находящегося в зоне прохождения воздушных линий электропередачи.

Материалы и методы

Объектами исследования были выбраны воздушные линии электропередачи напряжением 500 кВ. Исследование включало проведение измерений уровней ЭП и МП ПЧ на наземных рабочих местах и в пределах границ СЗЗ ВЛ.

¹ Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection / International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) // Health Phys. 1998. Vol. 74, no. 4. P. 494–522. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9525427/> (accessed: 23.08.2024).

Измерения напряженностей ЭП и МП ПЧ проводились с использованием измерителей ПЗ-50 (НПО «Доза», Россия) и NARDA EFA-300 (Narda Safety Test Solutions, Германия) с антеннами E-FIELD и B-FIELD.

Измерения проводились на высотах 0,5, 1,5 и 1,7 м от поверхности Земли, измеренные значения напряженности ЭП и МП корректировались с учетом максимального годового рабочего напряжения и тока соответственно.

Измерения в пределах границ СЗЗ ВЛ осуществлялись по заранее разработанной ФГБНУ НИИ МТ методике. Размещение точек измерений осуществлялось как непосредственно под проекциями проводов крайних и средней фаз, так и между ними, что обеспечивало комплексную картину распределения ЭП и МП в СЗЗ прохождения ВЛ.

Для математического моделирования условий воздействия ЭП и МП ПЧ на организм человека использовалось программное обеспечение SEMCAD X Matterhorn v.20 (SPEAG AG, Швейцария). Для оценки плотности индуцированных токов в теле человека в математических моделях применялся гетерогенный численный фантом взрослого человека с заданными диэлектрическими характеристиками 73 тканей и органов для частоты 50 Гц.

Результаты и их обсуждение

Инструментальные измерения ЭП и МП ПЧ проводились в границах СЗЗ воздушных линий электропередачи 500 кВ вблизи подстанций 750 кВ Металлургическая и 750 кВ Белозерская в теплое время года, находящихся в эксплуатации.

Проведенные измерения показали наличие превышений ПДУ напряженности ЭП даже для условий производственных воздействий. Для ВЛ 500 кВ, расположенных параллельно друг другу, было проведено 900 измерений в 150 точках. Максимальные уровни ЭП не превысили 2,2 кВ/м, а МП – 4,4 мкТл на границах СЗЗ. Анализ показал, что максимальные уровни ЭП ВЛ 500 кВ превышали нормативы в определенных зонах, а именно наибольшая напряженность ЭП отмечалась до 11,5 кВ/м под проекциями крайних фаз и до 10,2 кВ/м под проекцией средней фазы в области максимального провиса, что более чем в 2 раза превышает установленный норматив для всей рабочей смены². Вблизи опоры максимальное значение не превышало ПДУ и составляло 3,5 кВ/м под проекциями крайних фаз.

Измеренные значения индукции МП достигали 12,3 мкТл под проекциями крайних фаз и 11,3 мкТл под проекцией средней фазы в точке максимального провиса линий. Во всех остальных случаях уровни МП не поднимались выше 10 мкТл. Все зарегистрированные значения значительно меньше

² СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания, утв. постановлением № 2 главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/GN_sreda%20obitaniya_compressed.pdf (дата обращения: 04.09.2024).

норматива 100 мкТл на рабочем месте, для населения уровни ЭП и МП ПЧ в таких условиях не нормируются, имеются лишь ПДУ в жилых зданиях, детских, дошкольных, школьных, общеобразовательных учреждениях, общественных зданиях и на территориях жилой застройки. Для последних ПДУ составляют ≤ 1 кВ/м и 10 мкТл, но в этих случаях подразумевается постоянное нахождение человека в зоне воздействия, что нехарактерно для зоны прохода ВЛ.

Схожие данные отмечали и другие исследователи, например, В.Н. Никитина и др. [1], измерившие уровни ЭМП, создаваемые ВЛ напряжением 35, 110 и 220 кВ. Они также зафиксировали наибольшие значения напряженности ЭП в середине пролетов под проводами ВЛ 110 кВ, превышающие ПДУ 1 кВ/м.

Также в исследовании A.Z. El Dein с соавт. [2] проходило сравнение ЭП и МП ПЧ на ВЛ 500 кВ под проекцией средней фазы при повышении и понижении высоты проводов. Максимальное МП уменьшалось с 30,852 А/м до 23,432 А/м при увеличении высоты центральной фазы с 18 м до 26 м. Максимальное значение ЭП под центральной фазой достигало 1,2 кВ/м (что идентично уровням в нашем исследовании) при высоте центральной фазы 26 м (выше внешних фаз на 4 м), а при высоте центральной фазы 18 м (ниже внешних фаз на 4 м) оно составляло 6,13 кВ/м. В нашем же случае высота центральной фазы у опоры была 27 м, а при максимальном провисе 13 м, а следовательно, разница составила 14 м. Поэтому у нас уровни ЭП под максимальным провисом были больше (8,6 кВ/м).

На основании данных измерений в основе математического моделирования использовалась ВЛ 500 кВ с двумя типовыми опорами для имитации прямого пролета с расстоянием 400 метров между ними. Высота опор – 37 м, расщепление каждой фазы на 3 провода. За расчетное пространство модели принималась вся область пролета ВЛ от опоры до следующей опоры для оценки в том числе минимального габарита провиса проводов ВЛ. Для обеспечения корректности расчета устанавливался не только класс напряжения (рабочего напряжения), но и сдвиг фаз крайних проводов для моделирования условий экспозиции на рабочих местах и в местах возможного пребывания населения.

Таким образом, была разработана математическая модель электромагнитной обстановки в СЗЗ пролета воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ, основанная на данных, полученных при проведении натурных измерений уровней ЭП ВЛ электропередачи напряжением 500 кВ.

Различия в сходимости данных натурных измерений с результатами численного моделирования составили 4 % под провисом и 20 % под опорой (рис. 1), что указывает на адекватность разработанной математической модели электромагнитной обстановки и возможности ее применения для дозиметрической оценки на организм человека.

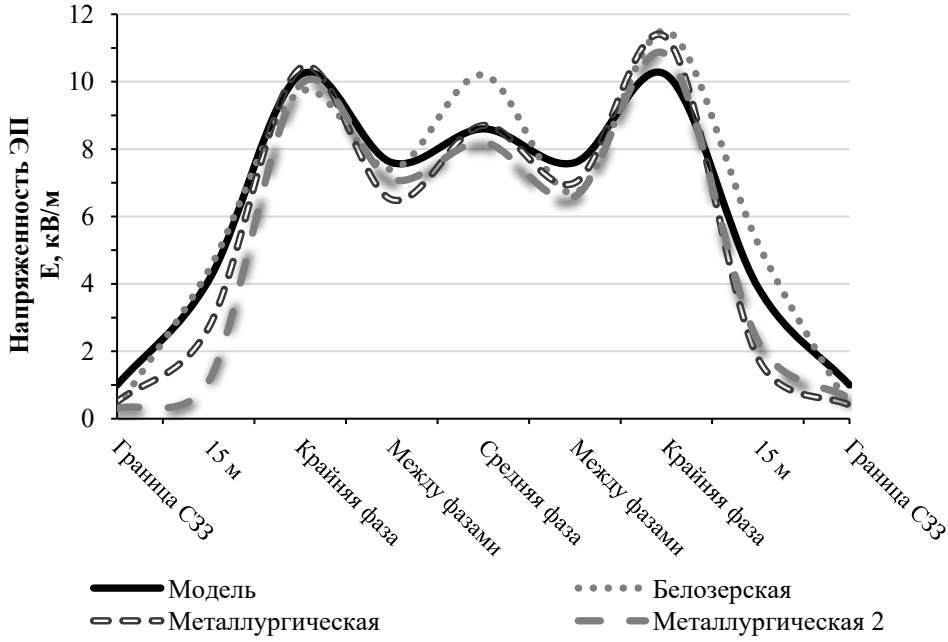


Рис. 1. Напряженность ЭП вблизи 1/2 пролета ВЛ (максимальный провис) на высоте 1,7 м
Источник: составлено С.Ю. Перовым, В.С. Орловой, В.В. Журовым.

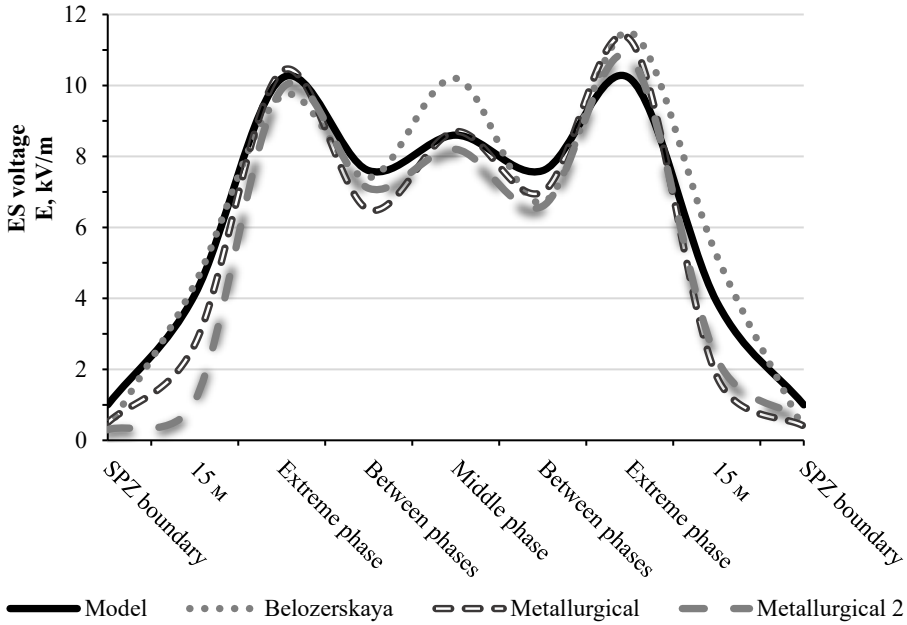


Figure 1. ES voltage near 1/2 of the overhead line span (maximum sag) at a height of 1.7 m
Source: compiled by S.Yu. Perov, V.S. Orlova, V.V. Zhurov.

Разработанная модель зоны пролета позволила провести расчеты экспозиции ЭП и МП ПЧ с фантомом человека в разных точках (вблизи опоры, под максимальным провисом и на границе СЗЗ для указанного класса напряжения ВЛ³.

Анализ данных напряженности ЭП модели ВЛ 500 кВ (табл.) показал, что наибольшие индуцированные токи отмечались в тканях и органах нервной системы под проекцией средней фазы с максимальным провисом (напряженность поля 8,6 кВ/м), где максимальный усредненный уровень плотности тока составил 161,5247 мА/м² в спинномозговой жидкости. Похожий результат получили R. Tian с соавт. [6] в вагоне поезда с пассажирами, где напряжение высоковольтных проводов было 25 кВ. Ими был сделан вывод, что максимальная напряженность индуцированного ЭП в теле пассажира возникает в области спинномозговой жидкости с максимальным значением 202,817 мВ/м. К тому же это может свидетельствовать о подтверждении исследования F. Teimori с соавт. [5], которые в своей работе после экспозиции МП интенсивностью 3 мТл в течение 4 ч в день лабораторных крыс на протяжении 10 нед., делают вывод, что воздействие МП частотой 50 Гц может изменять ультраструктуру ткани гиппокампа и усиливать апоптоз в гиппокампе крыс, ссылаясь на исследование H. Lai с соавт. [3], результаты которого показали, что влияние 24- и 48-часового воздействия МП 0,01 мТл, 60 Гц на одонитовые и двунитовые разрывы ДНК в клетках мозга крыс приводит к увеличению апоптоза и некроза в клетках мозга крыс. Также исследователи отмечали, что такое увеличение апоптоза и некроза может быть связано со свободнорадикальными процессами, образующимися под действием фактора, приводящего к разрушению ДНК и гибели нервных клеток.

Второй по уровню воздействия ЭП ПЧ (наличие высоких значений индуцированных токов) была зрительная система, где наибольшая плотность тока наблюдалась в стекловидном теле глаза. Это может свидетельствовать о возможном взаимодействии между плотностью тока и палочковидными клетками сетчатки. Также возможными последствиями могут быть мерцающие визуальные ощущения, или магнитофосфены, о чем говорится в недавнем исследовании A. Legros с соавт. [4].

Затем следует эндокринная система, где больше всего страдает гипофиз. Далее – сердечно-сосудистая система, где наибольшие уровни индуцированных токов отмечались в венах (рис. 2). Во всех этих случаях уровень плотности индуцированных токов был выше 10 мА/м² и 2 мА/м², что составляет

³ СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов, утв. постановлением № 74 главного государственного санитарного врача РФ от 25.09.2007 г. (действуют до 01.01.2025 г.). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294844/4294844925.pdf> (дата обращения: 04.09.2024).

максимальные нормируемые уровни по рекомендациям ICNIRP⁴ на рабочих местах и в местах возможного пребывания населения соответственно.

**Средняя плотность тока (мА/м²) в системах органов человека
под проекциями ВЛ 500 кВ, модель ЭП**
**Average current density (mA/m²) in human organ systems under projections
of 500 kV overhead power lines, model ES**

Системы органов человека / Human organ systems	Максимальный провис / Maximum sag			Вблизи опоры / Near the support		
	Проекция средней фазы / Projection of the middle phase	Проекция крайней фазы / Projection of the outermost phase	30 м от ВЛ (СЗЗ) / 30 m from overhead line (SPZ)	Проекция средней фазы / Projection of the middle phase	Проекция крайней фазы / Projection of the outermost phase	30 м от ВЛ (СЗЗ) / 30 m from overhead line (SPZ)
Все системы / All systems	8,7528	2,7545	0,3784	3,5903	1,7238	0,2540
Нервная система / Nervous system	51,1203*	3,6335	1,9109	22,5241*	9,2752	1,0733
Зрительная система / Visual system	5,3668	1,6959	1,3572	2,0296	23,0433*	1,0584
Эндокринная система / Endocrine system	19,2508*	3,6369	0,3241	7,3814	1,4051	0,2423
Сердечно-сосудистая система / Cardiovascular system	10,2560*	3,4732	0,3975	3,7644	0,8273	0,2632
Пищеварительная система / Digestive system	2,7497	2,3378	0,3156	0,7410	1,5305	0,2376
Опорно-двигательная система / Musculoskeletal system	2,9726	2,0003	0,2660	0,8331	0,5492	0,1738
Дыхательная система / Respiratory system	1,8391	2,1594	0,2391	0,2680	0,3365	0,1572
Кожная система / Skin system	1,6641	1,2720	0,1643	0,7544	0,3352	0,1113
Иммунная система / Immune system	2,4980	1,6431	0,2031	0,8935	0,2997	0,1349
Мочевыделительная система / Urinary system	1,0348	1,3437	0,1472	0,1289	0,1939	0,0971
Репродуктивная система / Reproductive system	0,4789	0,6653	0,0655	0,0578	0,0883	0,0428

* – превышение норматива / exceeding the standard.

Источник: составлено С.Ю. Перовым, В.С. Орловой, В.В. Журовым.

Source: compiled by S.Yu. Perov, V.S. Orlova, V.V. Zhurov.

Наибольший средний показатель по всем органам среди всех проекций проводов фаз был под проекцией средней фазы в области максимального провиса, уровень плотности индуцированных токов составлял около 9 мА/м², что может быть допустимым условием для производственных условий, но не для мест пребывания населения. То же самое можно отметить для условий нахождения человека в точках проекции средней фазы вблизи непосредственно

⁴ Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection / International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) // Health Phys. 1998. Vol. 74, no. 4. P. 494–522. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9525427/> (accessed: 23.08.2024).

самой опоры, а также проекции крайних фаз под провисом и вблизи опоры, где уровни составили 3,6; 3,4 и 2,2 мА/м² соответственно.

Во всех остальных случаях уровни редко превышали 1 мА/м². Это же касается и всех полученных данных по модели МП ВЛ 500 кВ. Максимальное значение плотности индуцированного тока МП наблюдалось также в нервной системе в спинномозговой жидкости и спинном мозгу, значения составили 0,1508 и 0,1118 мА/м² соответственно, что подтверждается результатами натурных измерений, указывающих на отсутствие превышений ПДУ МП даже для населения.

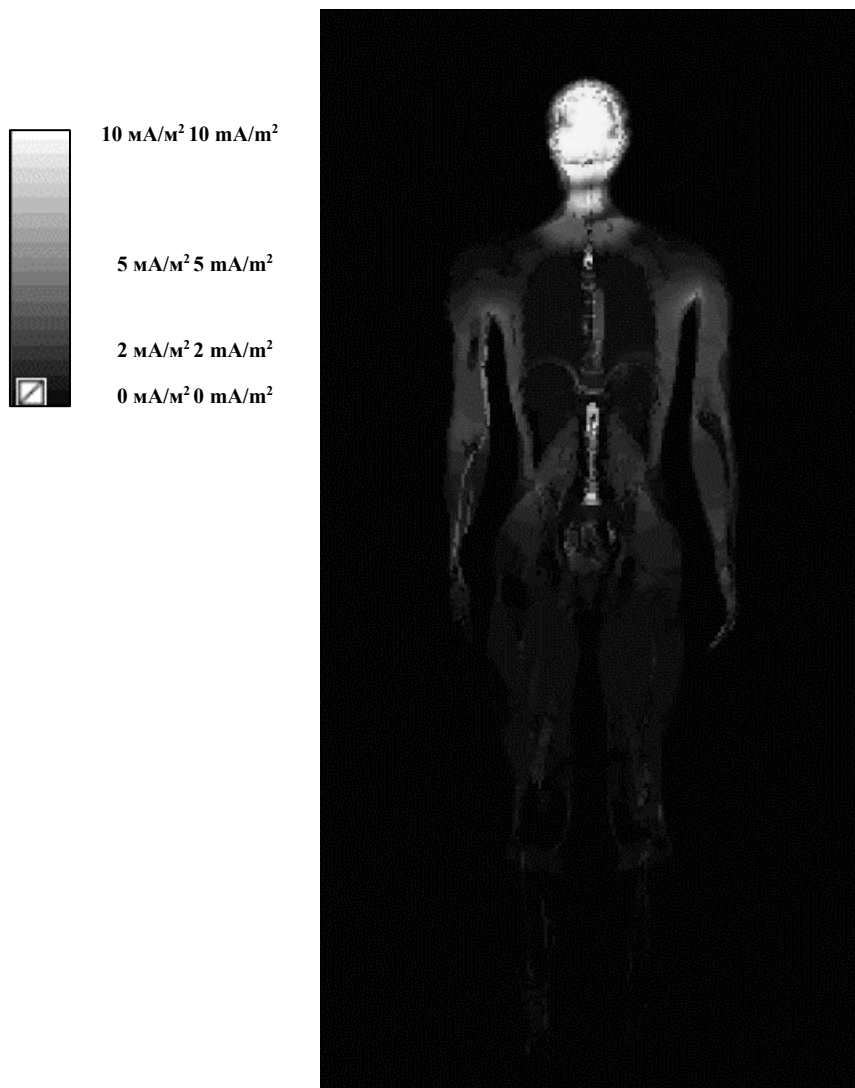


Рис. 2. Плотность индуцированных токов в разрезе органов и тканей фантома человека под проекцией средней фазы под максимальным провисом

Источник: фото С.Ю. Перова, В.С. Орловой, В.В. Журова.

Figure 2. Density of induced currents in the section of organs and tissues of the human phantom under the projection of the average phase under the maximum sag

Source: photo by S.Yu. Perov, V.S. Orlova, V.V. Zhurov.

Заключение

Разработана и апробирована математическая модель оценки плотности индуцированных токов в органах человека, находящегося в зоне воздействия воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ. Модель показала сходимость с натурными измерениями. Исследование подтвердило наличие превышений ПДУ напряженности ЭП и нормируемых уровней плотности индуцированных токов на рабочих местах и в местах возможного пребывания населения в ряде зон, особенно под проекциями проводов, что свидетельствует о потенциальных рисках для здоровья человека, в частности для нервной, зрительной и эндокринной систем. На основе полученных данных рекомендуется продолжить исследования для оценки долгосрочных эффектов электромагнитного воздействия и использовать предложенную модель для оценки экологических рисков в других зонах прохождения воздушных линий электропередачи, что позволит минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и здоровье населения.

Список литературы / References

- [1] Никитина В.Н., Калинина Н.И., Ляшко Г.Г., Плеханов В.П. Исследование электромагнитных полей частотой 50 Гц на селитебных территориях и экспертная оценка состояния здоровья населения // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 6. С. 665–670. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2019-98-6-665-670> EDN: IJEMGC
Nikitina VN, Kalinina NI, Lyashko GG, Plekhanov VP. Study of 50 hz electromagnetic fields in residential areas and expert assessment of the population health status. *Hygiene and Sanitation*. 2019;98(6):665–670. (In Russ.) <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2019-98-6-665-670> EDN: IJEMGC
- [2] El Dein AZ, Gouda OE, Lehtonen M, Darwish MMF. Mitigation of the electric and magnetic fields of 500-kV overhead transmission lines. *IEEE Access*. 2022;10:33900–33908. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3161932>
- [3] Lai H, Singh NP. Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. *Environmental Health Perspectives*. 2004;112(6):687–694. <https://doi.org/10.1289/ehp.6355>
- [4] Legros A, Nissi J, Laakso I, Duprez J, Kavet R, Modolo J. Thresholds and mechanisms of human magnetophosphene perception induced by low frequency sinusoidal magnetic fields. *Brain Stimul*. 2024;17(3):668–675. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2024.05.004>. EDN: GWYMPF
- [5] Teimori F, Khaki AA, Rajabzadeh A, Roshangar L. The effects of 30 mT electromagnetic fields on hippocampus cells of rats. *Surgical Neurology International*. 2016;7(1):70. <https://doi.org/10.4103/2152-7806.185006>
- [6] Tian R, Zhang JQ, Lu M. Research on the influence of power frequency electric field of pantograph on passengers' health in high-speed EMU. *Archives Electrical Engineering*. 2023;72(2):483–501. (In Polish) <https://doi.org/10.24425/aec.2023.145421> EDN: EUSSHA

Сведения об авторах:

Перов Сергей Юрьевич, доктор биологических наук, заведующий лабораторией электромагнитных полей, Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова, Российская Федерация, 105275, г. Москва, пр-кт Буденного, д. 31. ORCID: 0000-0002-6903-4327; eLIBRARY SPIN-код: 2297-5903. E-mail: perov@irioh.ru

Орлова Валентина Сергеевна, доктор биологических наук, профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. eLIBRARY SPIN-код: 8078-0470. E-mail: bte2005@mail.ru

Журов Владимир Владимирович, аспирант, кафедра экологии и природоохранной деятельности, Российский государственный социальный университет, Российская Федерация, 129226, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, д. 4; младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова, Российская Федерация, 105275, г. Москва, пр-кт Буденного, д. 31. ORCID: 0009-0004-9783-1616; eLIBRARY SPIN-код: 3922-5071. E-mail: vl.jurov@mail.ru

Bio notes:

Sergey Yu. Perov, Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Electromagnetic Fields, Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31 Budyonnogo Prospekt, Moscow, 105275, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6903-4327; eLIBRARY SPIN-code: 2297-5903. E-mail: perov@irioh.ru

Valentina S. Orlova, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 8078-0470. E-mail: bte2005@mail.ru

Vladimir V. Zhurov, postgraduate student, Department of Ecology and Environmental Protection Activities, Russian State Social University, 4 Wilhelma Pika St, Moscow, 129226, Russian Federation; Junior Researcher, Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31 Budyonnogo Prospekt, Moscow, 105275, Russian Federation. ORCID: 0009-0004-9783-1616; eLIBRARY SPIN-code: 3922-5071. E-mail: vl.jurov@mail.ru

БИОХИМИЯ

BIOCHEMISTRY

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-1-68-77

EDN: COGPPE

УДК 574.522

Научная статья / Research article

Биохимическая оценка действия антибиотика эритромицина на моллюсков живородка речная (*Viviparus viviparus* L.)

Е.А. Тишина¹, Т.С. Дроганова¹,
Л.В. Поликарпова¹, А.Л. Петров²

¹Государственный университет просвещения, Мытищи, Российская Федерация

²Научно-производственное объединение по медицинским иммунобиологическим препаратам «Микроген», Москва, Российская Федерация

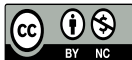
tatyanaadroganova@gmail.com

Аннотация. Исследована активность комплекса кислых дезоксирибонуклеаз (ДНКаз) и рибонуклеаз (РНКАз) гепатопанкреаса моллюска живородка речная (*Viviparus viviparus* L.) в норме и при остром воздействии эритромицина. Установлено увеличение активности кислых ДНКаз, тогда как характер изменения активности РНКАз является менее значимым. На основании полученных экспериментальных данных было установлено существенное влияние эритромицина на моллюсков живородка речная (*Viviparus viviparus* L.), проявляющееся на биохимическом уровне. Показана возможность использования изменения активности нуклеаз гепатопанкреаса живородки речной в качестве маркеров загрязнения водных экосистем.

Ключевые слова: водные объекты, эритромицин, нуклеазы, РНКаза, ДНКаз, живородка речная

Вклад авторов. Петров А.Л., Поликарпова Л.В. – сбор биологического материала, проведение эксперимента; Тишина Е.А., Дроганова Т.С. – анализ полученных результатов и написание текста статьи.

© Тишина Е.А., Дроганова Т.С., Поликарпова Л.В., Петров А.Л., 2025



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

История статьи: поступила в редакцию 31.05.2024; доработана после рецензирования 30.09.2024; принята к публикации 27.11.2024

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

Для цитирования: Тишина Е.А., Дроганова Т.С., Поликарпова Л.В., Петров А.Л. Биохимическая оценка действия антибиотика эритромицина на моллюсков живородка речная (*Viviparus viviparus* L.) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 1. С. 68–77. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-68-77>

Biochemical assessment of the effect of the antibiotic erythromycin on the river snail (*Viviparus viviparus* L.)

Ekaterina A. Tishina¹, Tatiana S. Drogonova¹✉,
Lyudmila V. Polikarpova¹, Andrew L. Petrov²

¹*Federal State University of Education, Mytishchi, Russian Federation*

²*Medical Immunobiological preparations “Microgen”, Moscow, Russian Federation*
✉tatyanadroganova@gmail.com

Abstract. The activity of the complex of acid deoxyribonucleases (DNases) and ribonucleases (RNases) of the hepatopancreas of the river snail (*Viviparus viviparus* L.) was studied under normal conditions and under acute exposure to erythromycin. An increase in the activity of acidic DNases has been established, while the nature of the change in RNase activity is less significant. Based on the experimental data obtained, a significant effect of erythromycin on the river snail (*Viviparus viviparus* L.), manifested at the biochemical level, was established. The possibility of using changes in the activity of hepatopancreas nucleases of the common river snail as markers of pollution of aquatic ecosystems has been demonstrated.

Keywords: water bodies, erythromycin, nucleases, RNase, DNAase, river snail

Authors' contribution. Petrov A.L., Polikarpova L.V. – collection of biological material, conducting the experiment; Tishina E.A., Drogonova T.S. – analysis of the results obtained and writing the text of the article.

Article history: received 31.05.2024; revised 30.09.2024; accepted 27.11.2024.

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

For citation: Tishina EA, Drogonova TS, Polikarpova LV, Petrov AL. Biochemical assessment of the effect of the antibiotic erythromycin on the river snail (*Viviparus viviparus* L.). *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(1):68–77. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-68-77>

Введение

В животноводстве субтерапевтические дозы противомикробных препаратов играют важную роль в стимуляции роста и предотвращении болезней животных [1–3]. Литературные данные свидетельствуют о загрязнении антибиотиками, например эритромицином, сточных вод животноводства, которые

вместе с паводковыми попадают в водные объекты. Эритромицин – один из антибиотиков, наиболее часто применяющихся в ветеринарии, о чем свидетельствует появление эритромицин-резистентных штаммов микроорганизмов в водоемах близ сельскохозяйственных территорий, а также в молоке коров [4–6].

Как и все антибиотики группы макролидов, эритромицин содержит лактонное кольцо, с которым через кислород соединены углеводные компоненты. В соответствии с классификацией эритромицин является 14-членным природным макролидом, продуцентом которого являются актиномицеты *Streptomyces erythreus* [7]. Литературные данные свидетельствуют о загрязнении антибиотиками, и в частности эритромицином, сельскохозяйственных предприятий и сточных вод, которые затем вместе с паводками попадают в водоемы и реки [4; 5; 8]. Появление антибиотиков в водных объектах приводит к различным негативным воздействиям на живые объекты, которое изучено в основном на рыбах [9], менее известны характер и степень воздействия антибиотиков на моллюсков. В связи с этим **цель исследования** – изучение токсического действия макролидного антибиотика эритромицина на активность кислых ДНКаз и РНКаз моллюсков живородка речная (*Viviparus viviparus* L.), которые широко распространены в водоемах Европейской части России и рассматривались в ряде исследований как биомаркеры загрязнения водной среды [10–14]. В работах [12; 13] показано, что активность ДНКазы является информативным показателем состояния гидробионтов при действии катионов тяжелых металлов.

Объекты и методы исследования

В настоящей работе для пресноводных моллюсков живородка речная исследовали изменение активности ферментов РНКазы и ДНКазы при воздействии эритромицина в течение 2, 4, 6, 12, 24, 48, 72 и 96 ч. В качестве материала для исследования были использованы гомогенаты тканей пищеварительной железы (гепатопанкреаса) пресноводных моллюсков живородка речная. В качестве токсиканта был использован эритромицин (препарат эритромицина (Синтез, Россия)) в концентрации, соответствующей 10 ПБК_{вод}. (предельно безопасная концентрация для водных объектов) (PNEC_{aq}) ПБК_{вод} – 0,0002 мг/дм³ [15]. Контрольная группа моллюсков содержалась в воде без добавления токсиканта.

По истечении установленных промежутков времени моллюсков препарировали и извлекали пищеварительную железу. Ткани гомогенизировали в фарфоровой ступке в течение 5 мин растиранием с битым кварцевым стеклом и экстрагирующей жидкостью (0,5%-й раствор Тритон X-100 на дистиллированной воде, прибавляемый в десятикратном объеме по отношению к навеске ткани). Экстракты очищали центрифугированием при 10 000 g и 4 °C в течение 30 мин на рефрижераторной центрифуге [11]. Концентрацию белка в экстрактах определяли методом Лоури [16].

Активность РНКазы определяли модифицированным методом Анфинсена по изменению оптического поглощения раствора, в котором находятся кислоторастворимые продукты гидролиза высокомолекулярной РНК, при 260 нм на спектрофотометре «Thermo Genesis 6» [17].

Активность ДНКазы измеряли флуориметрически [18], используя в качестве субстрата синтетический одноцепочечный олигодезоксирибонуклеотид Rsol-P (TTCGCCTACGAATTTCAAGCC) («BioBeagle»), меченный парой флуорофоров: сигнальным красителем 6-FAM (6-карбоксифлуоресцеин, $\lambda_{\text{макс.поглощения}} = 490$ нм, $\lambda_{\text{макс. флуоресценции}} = 520$ нм) на 5'-конце и тушителем флуоресценции BHQ-1 (Black Hole Quencher, $\lambda_{\text{макс. поглощения}} = 535$ нм, диапазон гашения 480–580 нм) на 3'-конце (аналогично зондам TaqMan-типа) на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» при длинах волн 492 нм (поглощение света) и 520 нм (флуоресценция).

За единицу активности РНКазы принимали такое количество фермента, которое вызывает увеличение поглощения раствора на единицу оптической плотности при 260 нм за 1 мин. За единицу активности ДНКазы принимали такое количество фермента, которое катализировало превращение 1 моль субстрата за 1 мин. Удельную активность ферментов рассчитывали в единицах на 1 мг белка (Е/мг белка).

Все биохимические исследования проводили в пяти биологических и трех аналитических повторностях. Изменение удельной активности нуклеаз моллюсков под действием эритромицина сравнивали с контрольными значениями в соответствующих временных интервалах.

Статистическую обработку проводили при помощи программы Microsoft Office Excel. Результаты представлены в виде «среднее значение $\pm$ стандартное отклонение». Достоверность результатов определяли по t -критерию Стьюдента. Различия между средними значениями считали достоверными, если уровень значимости был более 95 % ($p < 0,05$).

Результаты и их обсуждение

При анализе изменений активности РНКазы у моллюсков опытной группы по сравнению с моллюсками контрольной группы (рис. 1) выявлено незначительное увеличение активности между контрольной и опытной группами моллюсков в период экспозиции от 0 до 24 ч, что свидетельствует о незначительном влиянии эритромицина на активность РНКазы при непродолжительном воздействии. Необходимо отметить, что активность РНКазы увеличивается с 48 ч экспозиции и остается выше контрольных значений до конца эксперимента. В целом действие эритромицина приводит к незначительному увеличению активности РНКазы.

Исследование изменения удельной активности ДНКазы пищеварительной железы живородки речной (рис. 2) в опытной группе моллюсков выявило выраженное чередование фаз активности фермента. На протяжении всего времени экспозиции наблюдается увеличение активности ДНКазы примерно в 3–4 раза по сравнению с контрольными значениями.

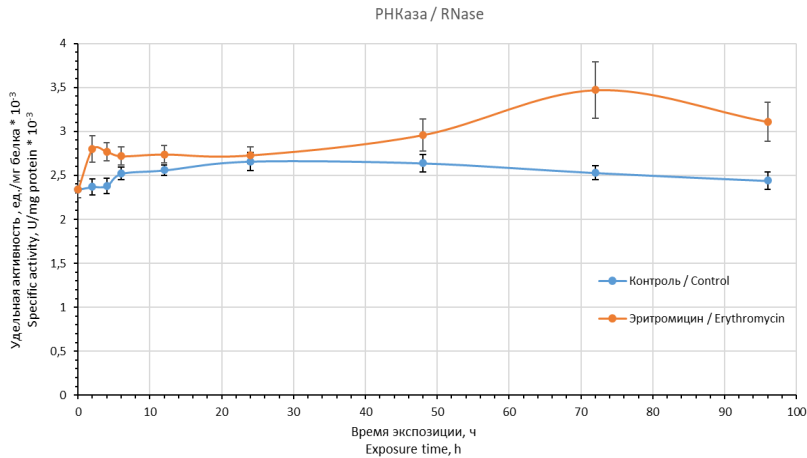


Рис. 1. Изменение удельной активности РНКазы под действием эритромицина в концентрации, соответствующей 10 ПБК_{вод}. Различия между значениями удельной активности фермента статистически значимы при $p \leq 0,05$ в экспозиции 4, 72 и 96 ч
Источник: составлено Е.А. Тишиной, Т.С., Дрогановой, Л.В. Поликарповой., А.Л. Петровым
Figure 1. Change in specific activity of RNase under the influence of erythromycin at a concentration corresponding to 10 PNEC_{aq}. The differences between the specific enzyme activity values are statistically significant at $p \leq 0.05$ at exposure of 4, 72 and 96 hours
Source: compiled by E.A. Tishina, T.S. Droganova, L.V. Polikarpova, A.L. Petrov.

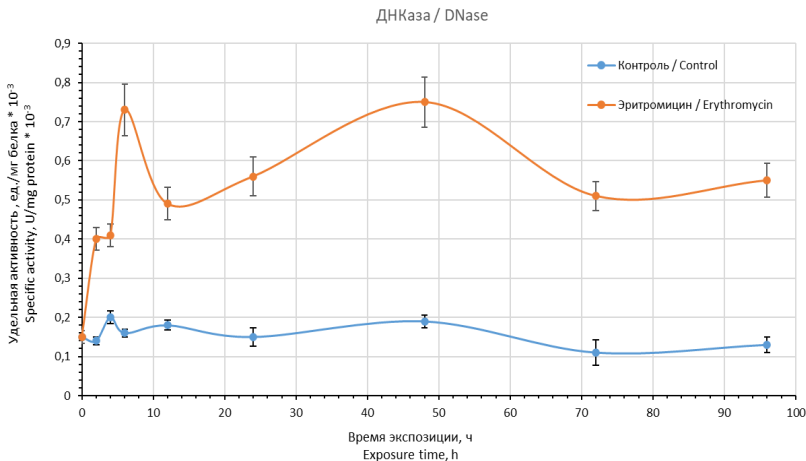


Рис. 2. Изменение удельной активности ДНКазы под действием эритромицина в концентрации, соответствующей 10 ПБК_{вод}. Различия между значениями удельной активности фермента статистически значимы при $p \leq 0,05$ во всех точках экспозиции
Источник: составлено Е.А. Тишиной, Т.С., Дрогановой Л.В., Поликарповой., А.Л. Петровым.
Figure 2. Change in specific activity of DNase under the influence of erythromycin at a concentration corresponding to 10 PNEC_{aq}. The differences between the specific enzyme activity values are statistically significant at $p \leq 0.05$ at all exposure points
Source: compiled by E.A. Tishina, T.S. Droganova, L.V. Polikarpova, A.L. Petrov.

Результаты, полученные в ходе эксперимента, согласуются с данными об острой токсичности макролидов для гидробионтов [9] и показывают изменение удельной активности обоих исследуемых ферментов, что является реакцией на воздействие эритромицина.

Полученные результаты соотносятся с данными, полученными ранее при изучении изменения активности нуклеаз под воздействием неорганических токсикантов: катионов Zn^{2+} [13] и Pb^{2+} [12] и литературными данными [19; 20].

Заключение

Изменение активности ДНКазы можно использовать в качестве маркера загрязнения водоемов макролидными антибиотиками, в частности эритромицином. При этом индикация загрязнений по изменению активности РНКазы может быть затруднительна.

На основании результатов, полученных в ходе исследования, было установлено токсическое действие эритромицина на живородку речную (*Viviparus viviparus* L.), а также показана возможность использования изменения активности нуклеаз гепатопанкреаса живородки речной в качестве маркера загрязнения водных экосистем.

Список литературы

- [1] *Cromwell G.L.* Why and how antibiotics are used in swine production // *Animal Biotechnology*. 2002. Vol. 13. No. 1. P. 7–27. <http://doi.org/10.1081/ABIO-120005767>
- [2] *Magouras I., Carmo L.P., Stärk K.D.C., Schüpbach-Regula G.* Antimicrobial usage and resistance in livestock: where should we focus? // *Frontiers in Veterinary Science*. 2017. Vol. 4. P. 148. <http://doi.org/10.3389/fvets.2017.00148>
- [3] *Ibrahim M., Ahmad F., Yaqub B., Ramzan A., Imran A., Afzaal M., Mirza S.A., Mazhar I., Younus M., Akram Q., Ali Taseer M.S., Ahmad A., Ahmed S.* Current trends of antimicrobials used in food animals and aquaculture // *Antibiotics and Antimicrobial Resistance Genes in the Environment*. 2020. Vol. 1. P. 39–69. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-818882-8.00004-8>
- [4] *Артемяева О.А., Переселкова Д.А., Виноградова И.В., Котковская Е.Н., Гладырь Е.А., Сивкин Н.В., Зиновьева Н.А.* Скрининг стада молочных коров на наличие в молоке гемолитических микроорганизмов во взаимосвязи с содержанием соматических клеток // *Сельскохозяйственная биология*. 2015. Т. 50. № 6. С. 810–816. <http://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.6.810rus>. EDN: VHRESR
- [5] *Ларцева Л.В., Истелюева А.А., Менькова А.В.* Мониторинг антибиотикорезистентности энтеробактерий, изолированных во внутренних водотоках города Астрахани // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2011. Т. 13. № 1 (6). С. 1350–1353. EDN: PFAJQT
- [6] *Тимофеева С.С., Гудилова О.С.* Антибиотики в окружающей среде: состояние и проблемы // *XXI век. Техносферная безопасность*. 2021. Т. 6. № 3 (23). С. 251–265. <http://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-3-251-265> EDN: DIORQU
- [7] *Фармакология : учебник / под ред. А.А. Свистунова, В.В. Тарасова.* 3-е изд. Москва : Лаборатория знаний, 2020. 768 с.
- [8] *Обухова О.В., Ларцева Л.В., Лисицкая И.А.* Санитарно-микробиологическая оценка гидроэкосистемы дельты Волги при антропогенном загрязнении // *Гигиена и санитария*. 2009. № 1. С. 23–25. EDN: KGEDMJ

- [9] Yan Z., Huang X., Xie Y., Song M., Zhu K., Ding S. Macrolides induce severe cardiotoxicity and developmental toxicity in zebrafish embryos // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 649. P. 1414–1421. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.432>
- [10] Тишина Е.А., Дроганова Т.С., Поликарпова Л.В. Влияние фосфорорганических соединений на изменение качественного состава белков пресноводных моллюсков // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов : материалы международной научной конференции. Киров, 16–18 апреля 2019 года. Киров : ВятГУ, 2019. С. 162–165. EDN: ZSLOTJ
- [11] Дроганова Т.С., Коничев А.С., Петренко Д.Б., Поликарпова Л.В., Цветков И.Л. Влияние фторида натрия и фторуксусной кислоты на активность кислой ДНКазы, кислой фосфатазы и спектр растворимых белков гепатопанкреаса живородки речной // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2017. № 4. С. 36–45. <http://doi.org/10.18384/2310-7189-2017-4-36-45> EDN: YNEGIQ
- [12] Дроганова Т.С., Поликарпова Л.В., Коничев А.С. Белковые спектры печени живородки речной в норме и при интоксикации ионами свинца (II) // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 109–113. <http://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-3-109-113> EDN: MPZMYS
- [13] Дроганова Т.С., Поликарпова Л.В., Тишина Е.А., Анка М., Петренко Д.Б., Васильев Н.В. Влияние ионов Zn^{2+} на активность кислых нуклеаз пресноводных моллюсков // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2022. № 2. С. 219–224. <http://doi.org/10.31857/S1026347022020056> EDN: LWJJIR
- [14] Уваева Е.И., Шимкович Е.Д. Биоиндикационное значение популяционных характеристик живородок (*Mollusca*, *Gastropoda*, *Viviparidae*) в водоемах Центрального Полесья // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2017. Т. 159. № 3. С. 521–530. EDN: ZSWNTH
- [15] Прожерина Ю.П. Фармацевтические отходы как новая экологическая проблема // Ремедиум. 2017. № 11. С. 14–19. <http://doi.org/10.21518/1561-5936-2017-11-14-19> EDN: ZWHRQH
- [16] Lowry O.H., Rosenbrought N.J., Farr A.L., Rangel R.L. Protein measurement with the Folin Phenol Reagent // *J. Biol. Chem.* 1951. Vol. 193. No. 2. P. 265–275. [http://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](http://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
- [17] Anfinsen C.B., Redfield R.R., Choate W.I., Page J., Carrol W.R. Studies of cross structure, cross-linkage and terminal sequences in ribonuclease // *Journal of Biological Chemistry*. 1954. Vol. 207. P. 201–210. [http://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)71260-X](http://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)71260-X)
- [18] Цветков И.Л., Поликарпова Л.В., Коничев А.С. Новый метод количественного определения активности дезоксирибонуклеазы с использованием флуоресцентно меченых олигонуклеотидов в качестве субстрата // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2012. № 3. С. 46–51. EDN: PJSLDX
- [19] Мензорова Н.И., Рассказов В.А. Использование различных тест-систем и биохимической индикации для мониторинга экологического состояния бухты Троицы (Японское море) // Биология моря. 2007. Т. 33. № 2. С. 144–149. EDN: IJXGKN
- [20] Kovačić I., Fafandel M., Perić L., Batel I. Effect of environmental pollutant mixtures on acid DNase activity in mussel *Mytilus galloprovincialis*: ex situ and in situ study // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2017. Vol. 99. P. 433–437. <http://doi.org/10.1007/s00128-017-2162-y>

References

- [1] Cromwell GL. Why and how antibiotics are used in swine production. *Animal Biotechnology*. 2002;13(1):7–27. <http://doi.org/10.1081/ABIO-120005767>
- [2] Magouras I, Carmo LP, Stärk KDC, Schüpbach-Regula G. Antimicrobial usage and resistance in livestock: where should we focus? *Frontiers in Veterinary Science*. 2017;4:148. <http://doi.org/10.3389/fvets.2017.00148>
- [3] Ibrahim M, Ahmad F, Yaqub B, Ramzan A, Imran A., Afzaal M, Mirza SA, Mazhar I, Younus M, Akram Q, Ali Taseer MS, Ahmad A, Ahmed S. Current trends of antimicrobials used in food animals and aquaculture. *Antibiotics and Antimicrobial Resistance Genes in the Environment*. 2020;1:39–69. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-818882-8.00004-8>
- [4] Artem'eva OA, Pereselkova DA, Vinogradova IV, Kotkovskaya EN, Gladyr' EA, Sivkin NV, Zinovieva NA. Screening of dairy cows' herd for presence in milk of hemolytic microorganisms in relation to somatic cell content. *Agricultural Biology*. 2015;50(6):810–816. (In Russ.) <http://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.6.810rus> EDN: VHRESR
- [5] Lartseva LV, Istelyueva A.A, Menkova AV. Monitoring of enterobacteria antibiotic resistance isolated in internal waterways of Astrakhan city. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2011;13(1):1350–1353. (In Russ.) EDN: PFAJQT
- [6] Timofeeva SS, Gudilova OS. Antibiotics in the environment: status and problems. *XXI century. Technosphere safety*. 2021;6(3):251–265. (In Russ.) <http://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-3-251-265> EDN: DIORQU
- [7] Svistunova AA, Tarasov VV. (eds.). *Pharmacology: textbook*. 3rd ed. Moscow: Laboratory of Knowledge Publ.; 2020. 768 p. (In Russ.).
- [8] Obukhova OV, Larceva LV, Lisitskaya IA. Sanitary and microbiological assessment of the Volga Delta hydroecosystem under anthropogenic pollution. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2009(1):23–25. (In Russ.) EDN: KGEDMJ
- [9] Yan Z, Huang X, Xie Y, Song M, Zhu K, Ding S. Macrolides induce severe cardiotoxicity and developmental toxicity in zebrafish embryos. *Science of the Total Environment*. 2019;649:1414–1421. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.432>
- [10] Tishina EA, Droganova TS, Polikarpova LV. Effect of organophosphorus compounds on changes in the qualitative composition of freshwater mollusk proteins. In: *Transformation of ecosystems under the influence of natural and anthropogenic factors. Proceedings of the International Scientific Conference. Kirov, April 16–18, 2019*. Kirov: VyatGU; 2019. p. 162–165. (In Russ.) EDN: ZSLOTJ
- [11] Droganova TS, Konichev AS, Petrenko DB, Polikarpova LV, Tsvetkov IL. Effect of sodium fluoride and fluoroacetic acid on the activity of acid DNase, acid phosphatase and soluble protein spectrum hepatopancreas river snail. *Vestnik Moscow State Region. University. Seriya: Natural Sciences*. 2017;(4):36–45. (In Russ.) <http://doi.org/10.18384/2310-7189-2017-4-36-45> EDN: YNEGIQ
- [12] Droganova TS, Polikarpova LV, Konichev AS. River snail liver protein spectrum in normal conditions and when intoxicated with lead (II) ions. *Theoretical and Applied Ecology*. 2019(3):109–113. (In Russ.) <http://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-3-109-113> EDN: MPZMYS
- [13] Droganova TS, Polikarpova LV, Tishina EA, Anka M, Petrenko DB, Vasiliev NV. Effect of Zn^{2+} ions on acidic nuclease activity of freshwater molluscs. *Izvestiia Akademii nauk. Seriya biologicheskaya*. 2022(2):219–224. (In Russ.) <http://doi.org/10.31857/S1026347022020056> EDN: LWJJIR

- [14] Uvaeva EI, Shimkovich ED. Bioindication value of the population characteristics of the river snail (*Mollusca, Gastropoda, Viviparidae*) in water bodies of Central Polesie. *Scientific notes of Kazan University. Natural Sciences Series*. 2017;159(3):521–530. (In Russ.) EDN: ZSWNTH
- [15] Prozherina JP. Pharmaceutical waste as a new environmental issue. *Remedium*. 2017;(11):14–19. (In Russ.) <http://doi.org/10.21518/1561-5936-2017-11-14-19> EDN: ZWHRQH
- [16] Lowry OH, Rosenbrought NJ, Farr AL, Rangel RL. Protein measurement with the Folin Phenol Reagent. *J. Biol. Chem.* 1951;193(2):265–275. [http://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](http://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
- [17] Anfinsen CB, Redfield RR, Choate WI, Page J, Carrol WR. Studies of cross structure, cross-linkage and terminal sequences in ribonuclease. *Journal of Biological Chemistry*. 1954;207:201–210. [http://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)71260-X](http://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)71260-X)
- [18] Tsvetkov IL, Polikarpova LV, Konichev AS. A new method for quantitative determination of deoxyribonuclease activity using fluorophore labeled oligonucleotides as a substrate. *Vestnik Moscow State Region. University. Seriya: Natural Sciences*. 2012(3):46–51. (In Russ.) EDN: PJSLDX
- [19] Menzorova NI, Rasskazov VA. Application of different test systems and biochemical indicators for environmental monitoring of the Troitsa Bay, Sea of Japan. *Biologiya Morya*. 2007;33(2):144–149. (In Russ.) EDN: IJXGKN
- [20] Kovačić I, Fafandel M, Perić L, Batel I. Effect of environmental pollutant mixtures on acid DNase activity in mussel *Mytilus galloprovincialis*: ex situ and in situ study. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2017;99:433–437. <http://doi.org/10.1007/s00128-017-2162-y>

Сведения об авторах:

Тишина Екатерина Александровна, заведующая учебной лабораторией прикладной химии, Государственный университет просвещения, Российская Федерация, 141014, Московская обл., г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24. ORCID: 0000-0001-8329-7855. E-mail: 89266182591@mail.ru

Дроганова Татьяна Сергеевна, старший преподаватель кафедры теоретической и прикладной химии, Государственный университет просвещения, Российская Федерация, 141014, Московская обл., г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24. ORCID: 0000-0002-8917-7392; eLIBRARY SPIN-код: 2250-9950. E-mail: tatyana-droganova@gmail.com

Поликарпова Людмила Викторовна, научный сотрудник учебно-научной лаборатории экологической биохимии, Государственный университет просвещения, Российская Федерация, 141014, Московская обл., г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24. ORCID: 0000-0002-5459-3054; eLIBRARY SPIN-код: 9605-2840. E-mail: judmilapolikarpova@yandex.ru

Петров Андрей Леонидович, лаборант производства бактериальных препаратов, Научно-производственное объединение по медицинским иммунобиологическим препаратам «Микроген». Российская Федерация, 127473, г. Москва, 2-й Волконский переулок, д. 10. ORCID: 0009-0002-8219-8876. E-mail: unodeldiablo@mail.ru

Bio notes:

Ekaterina A. Tishina, Head of the Educational Laboratory of Applied Chemistry, State University of Enlightenment, 24 Vera Voloshina St, Mytishchi, Moscow Region, 141014, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8329-7855. E-mail: 89266182591@mail.ru

Tatiana S. Droганova, Senior Lecturer at the Department of Theoretical and Applied Chemistry State University of Enlightenment. 24 Vera Voloshina St, Mytishchi, Moscow Region, 141014, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-8917-7392; eLIBRARY SPIN-code: 2250-9950. E-mail: tatyandroganova@gmail.com

Lyudmila V. Polikarpova, Researcher at the Educational and Scientific Laboratory of Ecological Biochemistry, State University of Enlightenment, 24 Vera Voloshina St, Mytishchi, Moscow Region, 141014, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-5459-3054; eLIBRARY SPIN-code: 9605-2840. E-mail: judmilapolikar

Andrew L. Petrov, Laboratory Assistant for the production of bacterial preparations, Scientific and Production Association for Medical Immunobiological preparations “Microgen”. 10 2nd Volkonsky lane, Moscow, 127473. Russian Federation. ORCID: 0009-0002-8219-8876. E-mail: unodeldiablo@mail.ru



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

SHORT MESSAGE

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-1-78-86

EDN: DKGTLZ

УДК 349.6

Сообщение / Short message

Управление ликвидацией накопленного вреда окружающей среде в контексте новелл экологического законодательства**Ю.Н. Чупрова¹  , Е.М. Ушакова² ***¹Московский филиал Уральского государственного научно-исследовательского института региональных экологических проблем, Москва, Российская Федерация**²Московский финансово-юридический университет МФЮА, Москва,**Российская Федерация* chuprova_ulia@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены новеллы экологического законодательства в сфере ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде. В рамках исследования проведен анализ процедур ликвидации, а также необходимости принятия подзаконных актов.

Ключевые слова: федеральный проект, новеллы законодательства, накопленный вред, ликвидация

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

История статьи: поступила в редакцию 07.09.2024; доработана после рецензирования 20.10.2024; принята к публикации 10.12.2024

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



Для цитирования: Чупрова Ю.Н., Ушакова Е.М. Управление ликвидацией накопленного вреда окружающей среде в контексте новелл экологического законодательства // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 1. С. 78–86. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-78-86>

Management of liquidation of accumulated environmental damage in the context of legislative environmental innovations

Yulia N. Chuprova¹, Ekaterina M. Ushakova²

¹*Ural State Research Institute of Regional Environmental Problems, Moscow, Russian Federation*

²*Moscow Finance and Law University MFUA, Moscow, Russian Federation*
chuprova_ulia@mail.ru

Abstract. This study considers novels of environmental legislation in the sphere of liquidation of objects of accumulated environmental damage. In the research process the liquidation procedures and as well as the need to adopt by-laws are analyzed.

Keywords: federal project, legislative innovations, accumulated damage, liquidation

Authors' contribution. All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

Article history: received 07.09.2024; revised 20.10.2024; accepted 10.12.2024

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

For citation: Chuprova YuN, Ushakova EM. Management of liquidation of accumulated environmental damage in the context of legislative environmental innovations. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(1):78–86. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-78-86>

Введение

В конце декабря 2024 г. завершается реализация федерального проекта «Чистая страна» (далее – ФП-2018/2024)¹, который был запущен 1 октября 2018 г. В ходе достижения основных показателей ФП-2018/2024, представленных на рис. 1, поэтапно формировалась на уровне подзаконных актов нормативная правовая база. Постановления Правительства Российской Федерации (далее – ПП РФ), принятые в 2017–2018 гг., например № 445 и 542², регулировали вопросы ведения реестра объектов НВос (негативное

¹ Федеральный проект «Чистая страна» // Минприроды России : официальный сайт. URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/np_ecology/fp-chistaya-strana/ (дата обращения: 05.08.2024).

² Постановление Правительства Российской Федерации от 13.07.2017 г. № 445 «Об утверждении Правил ведения государственного реестра объектов накопленного вреда окружающей среде» // Правительство России : официальный сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/111178/> (дата обращения: 17.07.2024); Постановление Правительства Российской Федерации от 04.05.2018 г. № 542 // Правительство России : официальный сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/116382/> (дата обращения: 17.07.2024).

воздействие на окружающую среду), а также организации работ по ликвидации НВОС. Указанные ПП РФ в 2023 году утратили юридическую силу в связи с изданием подзаконных актов федерального уровня³ в целях решения актуальных проблем, которые были выявлены при отработке задач по ликвидации НВОС.

Развитие системы подзаконных актов, регулирующих область исследования, основано на изменениях, поэтапно вносимых в Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (далее – Закон № 7)⁴. Введенные с 4 августа 2023 г. в действие Федеральным законом № 449-ФЗ (далее – Закон № 449) новеллы законодательства⁵ обусловили издание комплекса ПП РФ⁶, представленных в табл. 1. Обратим внимание,

³ Постановление Правительства РФ от 23.12.2023 г. № 2268 «О ведении государственного реестра объектов накопленного вреда окружающей среде» // Правительство России : официальный сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/151445/> (дата обращения: 17.07.2024); Постановление Правительства РФ от 27.12.2023 № 2323 (ред. от 28.10.2024) «Об утверждении Правил организации ликвидации накопленного вреда окружающей среде» // КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_466219/?ysclid=m60vr0gt1z726438167 (дата обращения: 17.07.2024).

⁴ Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» // Правительство России : официальный сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/97213/> (дата обращения: 17.07.2024).

⁵ Федеральный закон от 04.08.2023 г. № 449-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Правительство России : официальный сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/149096/> (дата обращения: 17.07.2024).

⁶ Постановление Правительства РФ от 23.12.2023 г. № 2268 «О ведении государственного реестра объектов накопленного вреда окружающей среде» // Правительство России : официальный сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/151445/> (дата обращения: 17.07.2024); Постановление Правительства РФ от 27.12.2023 № 2323 (ред. от 28.10.2024) «Об утверждении Правил организации ликвидации накопленного вреда окружающей среде» // КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_466219/?ysclid=m60vr0gt1z726438167 (дата обращения: 17.07.2024); Постановление Правительства Российской Федерации от 16.11.2023 г. № 1925 «Об утверждении Правил проведения проверки сметной стоимости реализации мероприятий, предусмотренных планом мероприятий по предотвращению и ликвидации загрязнения окружающей среды в результате эксплуатации отдельного производственного объекта, выдачи заключения об обоснованности или о необоснованности определения сметной стоимости реализации указанных мероприятий, а также определения размера платы за проведение проверки указанной сметной стоимости» // Правительство России : официальный сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/150502/> (дата обращения: 17.07.2024); Постановление Правительства Российской Федерации от 23.11.2023 г. № 1967 «Об утверждении Правил обследования и оценки объектов накопленного вреда окружающей среде» // Правительство России : официальный сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/150667/> (дата обращения: 17.07.2024); Постановление Правительства Российской Федерации от 21.12.2023 г. № 2239 «Об утверждении Правил выявления объектов накопленного вреда окружающей среде» // Правительство России : официальный сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/151275/> (дата обращения: 17.07.2024); Постановление Правительства Российской Федерации от 27.12.2023 г. № 2335 «Об утверждении критериев, на основании которых территории, расположенные на них объекты капитального строительства могут быть отнесены к объектам накопленного вреда окружающей среде» // Правительство России : официальный сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/151461/> (дата обращения: 17.07.2024);

что наименования многих принятых ПП РФ не отличаются от ранее действовавших, при этом указанные постановления фактически регулируют те же институты и инструменты в сфере НВоС. С учетом изложенного возникает вопрос о необходимости их принятия при наличии возможности вносить изменения сформированную систему ПП РФ.



Рис. 1. Показатели федерального проекта «Чистая страна»
Источник: составлено Ю.Н. Чупровой, Е.М. Ушаковой.

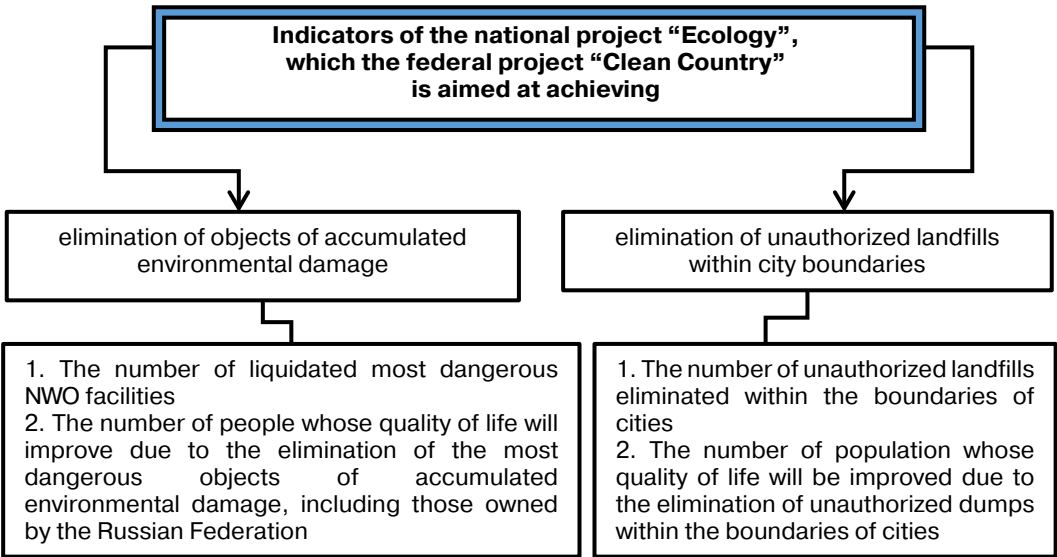


Figure 1. Indicators of the federal project "Clean Country"
Source: compiled by Yu.N. Chuprova, E.M. Ushakova.

Цель исследования состоит в детальном анализе практических проблем, которые выявлены при ликвидации НВоС, для выработки предложений по развитию системы законодательных и подзаконных актов.

Таблица 1. Постановления Правительства Российской Федерации, принятые в ходе реализации федерального проекта «Чистая страна»

Реквизиты	Наименование постановления Правительства Российской Федерации
16 ноября 2023 г. № 1925	«Об утверждении Правил проведения проверки сметной стоимости реализации мероприятий, предусмотренных планом мероприятий по предотвращению и ликвидации загрязнения окружающей среды в результате эксплуатации отдельного производственного объекта, выдачи заключения об обоснованности или о необоснованности определения сметной стоимости реализации указанных мероприятий, а также определения размера платы за проведение проверки указанной сметной стоимости»
23 ноября 2023 г. № 1967	«Об утверждении Правил обследования и оценки объектов накопленного вреда окружающей среде»
21 декабря 2023 г. № 2239	«Об утверждении Правил выявления объектов накопленного вреда окружающей среде»
23 декабря 2023 г. № 2268	«О ведении государственного реестра объектов накопленного вреда окружающей среде»
27 декабря 2023 г. № 2335	«Об утверждении критериев, на основании которых территории, расположенные на них объекты капитального строительства могут быть отнесены к объектам накопленного вреда окружающей среде»
27 декабря 2023 г. № 2323	«Об утверждении Правил организации ликвидации накопленного вреда окружающей среде»

Источник: составлено Ю.Н. Чупровой, Е.М. Ушаковой.

Table 1. Resolutions of the Government of the Russian Federation adopted during the implementation of the federal project “Clean Country”

Requisites	Name of the decree of the Government of the Russian Federation
November 16, 2023 No. 1925	“On approval of the Rules for verifying the Estimated Cost of Implementing Measures provided for in the action plan for the prevention and elimination of environmental Pollution as a result of the Operation of a Separate Production Facility, issuing an opinion on the validity or unreasonableness of determining the estimated cost of implementing these measures, as well as determining the amount of payment for verifying the specified estimated cost”
November 23, 2023 No. 1967	“On approval of the Rules for the inspection and assessment of objects of accumulated environmental damage”
December 21, 2023 No. 2239	“On the approval of the Rules of identification objects of accumulated environmental damage”
December 23, 2023 No. 2268	“On maintaining the State Register of objects of accumulated environmental damage”
December 27, 2023 No. 2268	“On approval of criteria on the basis of which territories and capital construction facilities located on them can be classified as objects of accumulated environmental damage”
December 27, 2023 No. 2323	“On approval of the Rules for the organization of the elimination of accumulated environmental damage”

Source: compiled by Yu.N. Chuprova, E.M. Ushakova.

Объекты и методы исследования

Разберем указанные ПП РФ посредством анализа конкретных норм, регулирующих процедуру ликвидации НВоС на определенных этапах работ:

- 1) проведение необходимых обследований;
- 2) разработка проекта;

- 3) утверждение проекта;
- 4) проведение ликвидации НВоС⁷.

Необходимо отметить, что ранее действовавшее ПП РФ № 542⁸ предусматривало дополнительный этап, задача которого сводилась к контролю и приемке проведенных работ. В настоящее время отмеченная задача выполняется при реализации четвертого этапа ликвидации НВоС. Однако, принимая во внимание важность контрольных мероприятий при принятии работ, целесообразно вернуться к ранее действовавшему алгоритму выделения этапов.

При проведении необходимых исследований обязательна инвентаризация объектов НВоС, которая включает следующие процедуры: выявление, исследование и оценку. Выявление осуществляют региональные и местные органы власти, деятельность которых на заданном направлении регламентирована на основании специально принятого ПП РФ⁹. С октября 2023 г. полномочия переданы на федеральный уровень, таким образом, расширены полномочия Росприроднадзора и Роспотребнадзора в части обследования и оценки объектов НВоС¹⁰ согласно табл. 2.

Роспотребнадзором разработана и размещена 17 ноября 2023 г. на Федеральном портале проектов нормативных правовых актов Методика осуществления оценки воздействия объектов НВоС на жизнь и здоровье граждан (далее – Методика)¹¹. Исходя из содержания проектного варианта Методики, данный регламентирующий документ используется Роспотребнадзором и не содержит обязательных требований для иных участников эколого-правовых отношений, а также определяет, с учетом заявленных целей, содержание основных понятий: население, риск здоровью, зона влияния объекта НВоС. В Методике предложена классификация объектов НВоС на основе комплекса показателей, отражающих степень опасности объекта НВоС на здоровье населения и особенности его влияния на среду обитания. Проект Методики был направлен на общественное обсуждение, которое проходило с 17 ноября по 2 декабря 2023 г., однако на сегодняшний день не принят.

⁷ Постановление Правительства РФ от 27.12.2023 № 2323 (ред. от 28.10.2024) «Об утверждении Правил организации ликвидации накопленного вреда окружающей среде» // КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_466219/?ysclid=m60vr0gt1z726438167 (дата обращения: 17.07.2024).

⁸ Постановление Правительства Российской Федерации от 04.05.2018 г. № 542 // Правительство России : официальный сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/116382/> (дата обращения: 17.07.2024).

⁹ Постановление Правительства Российской Федерации от 21.12.2023 г. № 2239 «Об утверждении Правил выявления объектов накопленного вреда окружающей среде» // Правительство России : официальный сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/151275/> (дата обращения: 17.07.2024).

¹⁰ Постановление Правительства Российской Федерации от 05.10.2023 г. № 1638 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» // Правительство России : официальный сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/149940/> (дата обращения: 17.07.2024).

¹¹ Федеральный портал проектов нормативных правовых актов : официальный сайт. URL: <https://regulation.gov.ru/Regulation/Npa/PublicView?npaID=143712> (дата обращения: 12.08.2024).

Таблица 2. Полномочия органов власти в соответствии с
Постановлением Правительства Российской Федерации от 5 октября 2023 г. № 1638
«О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации»

Органы исполнительной власти, уполномоченные в сфере ликвидации НВоС	Полномочия по выявлению, исследованию, оценке и ликвидации объектов НВоС
Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации	• Принятие нормативного правового акта в форме порядка проверки достоверности определения сметной стоимости проектов ликвидации накопленного вреда окружающей среде и размера платы за осуществление такой проверки • Ведение государственного реестра объектов НВоС
Федеральная служба по надзору в сфере природопользования	• Обследование и оценка объектов НВоС • Согласование осуществления органами государственной власти субъектов Российской Федерации или органами местного самоуправления обследования и оценки объектов НВоС • Проверка достоверности определения сметной стоимости проектов ликвидации НВоС, за исключением случаев проведения государственной экспертизы в соответствии с Градостроительным кодексом Российской Федерации • Наблюдение за ходом ликвидации НВоС • Уведомление органов государственной власти субъектов Российской Федерации или органов местного самоуправления о фактах отступления от утвержденного проекта ликвидации НВоС • Выдача положительного заключения, при наличии которого объект НВоС считается ликвидированным
Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека	• Утверждение методики осуществления оценки воздействия объектов НВоС на жизнь и здоровье граждан • Осуществление оценки воздействия объектов НВоС на жизнь и здоровье граждан

Источник: составлено Ю.Н. Чупровой, Е.М. Ушаковой.

Table 2. Powers of the authorities in accordance with
Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1638 of October 5, 2023
“On Amendments to Certain Acts of the Government of the Russian Federation”

Executive authorities authorized in the field of liquidation of NWOs	Powers to identify, investigate, evaluate, and eliminate NWO facilities
Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation	• Adoption of a regulatory legal act in the form of a procedure for verifying the reliability of determining the estimated cost of projects to eliminate accumulated environmental damage and the amount of payment for such verification • Maintaining the state register of NWO facilities
Federal Service for Supervision of Natural Resources Management	• Inspection and assessment of NWO facilities • Coordination of the implementation by the state authorities of the subjects of the Russian Federation or local self-government bodies of the survey and assessment of NWO facilities • Verification of the reliability of determining the estimated cost of projects for the liquidation of NWFPs, except in cases of state expertise in accordance with the Urban Planning Code of the Russian Federation • Monitoring the progress of the liquidation of NWFPs • Notification of the state authorities of the subjects of the Russian Federation or local self-government bodies on the facts of deviation from the approved draft for the liquidation of the NWF • Issuance of a positive conclusion, in the presence of which the NWO facility is considered liquidated
Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare	• Approval of the methodology for assessing the impact of NWO facilities on the lives and health of citizens • Assessment of the impact of NWO facilities on the lives and health of citizens

Source: compiled by Yu.N. Chuprova, E.M. Ushakova.

До вступления в силу ПП РФ № 2323 согласование и утверждение проекта были выделены в один этап организации работ по ликвидации НВоС, при этом согласование осуществлялось на основании приказа Росприроднадзора

от 29 марта 2021 г. № 142¹². Действующие правила не выделяют процедуру согласования, однако устанавливают, что до утверждения проект подлежит прохождению государственных экспертиз экологического и проектно-инженерного характера.

Закон № 449 дополняет список объектов, подлежащих прохождению государственной экологической экспертизы (далее – ГЭЭ) федерального уровня, проектом ликвидации НВоС. Необходимо отметить, что пояснительная записка к принятому проекту Закона № 449 предусматривает исключение повторного обсуждения объекта в целях сокращения сроков проведения ГЭЭ при повторном ее назначении. Указанная новелла носит, возможно, и рациональный, однако сомнительный характер по причине того, что материалы обсуждений с гражданами и их объединениями позволяют обеспечивать общественный контроль в сфере ликвидации НВоС.

Изменения, внесенные законом № 449, затрагивают и процедуру проведения проверки достоверности определения сметной стоимости проектов ликвидации (далее – Проверка сметы). ПП РФ № 1638 дополняет полномочия Минприроды России в части разработки и принятия порядка проведения Проверки сметы¹³, а также ведения государственного реестра объектов НВоС (далее – Реестр). Однако отметим, что в 27 редакции Закона № 219-ФЗ¹⁴ впервые упоминается Реестр, а также определяется орган, уполномоченный вести данный Реестр, таким образом, рассмотренное положение ПП РФ № 1638 нельзя отнести к новеллам.

С учетом изученного материала, ведение Реестра закреплено за Минприроды России с 24 ноября 2014 г., а не с момента издания ПП РФ № 1638, при этом сравнительный анализ ПП РФ № 445 и 2268 указывает на обновление правил ведения Реестра. Указанные правила детально определяют

¹² Приказ Росприроднадзора от 29.03.2021 № 142 «Об утверждении Административного регламента Федеральной службы по надзору в сфере природопользования предоставления государственной услуги по согласованию проектов работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде» // СПС «КонсультантПлюс». <https://rpn.gov.ru/upload/iblock/f5d/bck9c3bi93xcwaxxa7plwrvmb78kkl/Prikaz-Rosprirodnadzora-ot-29.03.2021-N-142-Ob-utverzhenii-Administrativnogo-reglamenta-Federalnoy-sluzhby-po-nadzoru-v-sfere-prirodopolzovaniya-predostanovleniya-gosudarstvennoy-uslugi-.pdf> (дата обращения: 12.08.2024).

¹³ Приказ Минприроды России от 06.12.2023 № 817 «Об утверждении Порядка проверки достоверности определения сметной стоимости проектов ликвидации накопленного вреда окружающей среде, за исключением проектов ликвидации накопленного вреда окружающей среде, подлежащих государственной экспертизе проектной документации в соответствии с Градостроительным кодексом Российской Федерации в связи с планируемым строительством, реконструкцией объектов капитального строительства, и размера платы за осуществление такой проверки» // Министерство юстиции Российской Федерации : официальный сайт. URL: <https://minjust.consultant.ru/special/documents/document/50395?ysclid=m7bzsxjci490154876> (дата обращения: 12.08.2024).

¹⁴ Федеральный закон от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Президент России : официальный сайт. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/38787> (дата обращения: 12.08.2024).

содержание Реестра, который содержит порядковый номер, наименование и описание местоположения объекта НВоС, а также иные данные об объекте и его негативном воздействии.

Заключение

Подводя итоги вышесказанному, можно сделать три основных вывода.

Во-первых, отметим, что развитие системы законодательных и подзаконных актов в сфере НВоС обусловлено необходимостью решения практических проблем, которые были выявлены при отработке задач по ликвидации НВоС. Однако, принимая во внимание, что наименования многих принятых ПП РФ идентичны ранее действовавшим и при этом указанные постановления фактически регулируют те же институты и инструменты в сфере НВоС, актуален вопрос о необходимости их принятия при наличии возможности вносить изменения в сформированную систему ПП РФ. Многие внесенные изменения нельзя отнести к категории новелл, кардинально изменяющих процессы регулирования ликвидации НВоС, поскольку они точечно позволяют решить те или иные проблемные задачи на конкретных этапах работ по ликвидации НВоС.

Во-вторых, детальный анализ процедуры ликвидации НВоС и ее определенных этапов позволяет отметить особую важность контрольных мероприятий при принятии работ и целесообразность их выделения в отдельный этап согласно ранее действовавшему алгоритму.

В-третьих, важно отразить наличие пробелов регулирования отдельных процедур, например, оценки воздействия объектов НВоС на жизнь и здоровье граждан, Роспотребнадзором на сегодняшний день соответствующая Методика не принята.

Сведения об авторах:

Чупрова Юлия Николаевна, младший научный сотрудник отдела научно-методического обеспечения деятельности Минприроды России в сфере обращения с отходами производства и потребления, Московский филиал Уральского государственного научно-исследовательского института региональных экологических проблем, Российская Федерация, 123242, г. Москва, ул. Баррикадная, д. 8, стр. 5А. ORCID: 0000-0002-5582-7457; eLIBRARY SPIN-код: 2284-2503; AuthorID: 1194591. E-mail: chuprova_ulia@mail.ru.

Ушакова Екатерина Михайловна, студент, Московский финансово-юридический университет МФЮА, Российская Федерация, 117342, г. Москва, ул. Введенского, д. 1а. ORCID: 0009-0006-5396-6943; eLIBRARY SPIN-код: 5960-5301. E-mail: deavinp75@gmail.com.

Bio notes:

Yulia N. Chuprova, junior researcher. Ural State Research Institute of Regional Environmental Problems, 8, bldg 5A, Barricadnaya St, 123242, Moscow, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-5582-7457; eLIBRARY SPIN-code: 2284-2503; AuthorID: 1194591. E-mail: chuprova_ulia@mail.ru

Ekaterina M. Ushakova, student, Moscow Finance and Law University MFUA, 1a Vvedensky St, 117342, Moscow, Russian Federation. ORCID: 0009-0006-5396-6943; SPIN-code: 5960-5301. E-mail: deavinp75@gmail.com

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-1-87-102

EDN: DMYUWM

UDC 553.98

Short message / Сообщение

Carcinogenic contaminants in groundwater in the Ebocha and Mgbede oil fields of Southern Nigeria

Mazico Henry Ikwulemenze¹, Ifeanyichukwu Clinton Ezekwe²  ,
Enos Ihediohamma Emereibeole¹, Leonard Udochi Mgbeahuruike¹,
Joseph Ikechukwu Nwachukwu¹

¹Federal University of Technology Owerri, Owerri, Nigeria

²University of Port Harcourt Nigeria, Port Harcourt, Nigeria

Clinton.ezekwe@uniport.edu.ng

Abstract. In accordance with the purpose and objectives of this study, standard methods were applied with the aim and objectives of this study, standard methods were applied in evaluating groundwater contamination from an oil waste pit in the Mgbede and Ebocha Oil Fields of South-south Nigeria. The study attempted to determine the composition of the oil waste pit and how it affected groundwater by using hydrogeochemical methods. It was discovered that the Oil waste pit contained an acidic pH, a very negative redox potential, borderline zinc concentration and above limits cadmium, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) concentration. The study discovered a widespread ubiquity of above limits concentrations of PAHs in the whole of the study area. Groundwater in the study area was characterised by unacceptable levels of acidity, oxygen reduction potential (ORP), PAHs, cadmium and borderline cases of zinc contamination which can cause serious public health problems and major health risks including exposure to cancer. Provision of an alternative water sources to the inhabitants of this oil field was among recommendations.

Keywords: oil waste pit, groundwater pollution, environmental health

Authors' contribution. All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

Article history: received 22.04.2024; revised 20.05.2024; accepted 12.07.2024.

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

For citation: Ikwulemenze MH, Ezekwe IC, Emereibeole EI, Mgbеаhuruіke LU, Nwachukwu JI. Carcinogenic contaminants in groundwater in the Ebocha and Mgbеde oil fields of Southern Nigeria. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(1):87–102. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-87-102>

Канцерогенные загрязнения в подземных водах нефтяных месторождений Эбоча и Мгбеде на юге Нигерии

**М.Г. Иквулемензе¹, И.К. Эзекве²✉, Э.И. Эмерибеоле¹,
Л.У. Мгбеахуруике¹, Дж.И. Нвачукву¹**

¹Федеральный технологический университет Оверри, Оверри, Нигерия

²Университет Порт-Харкорта, Порт-Харкорт, Нигерия

✉Clinton.ezekwe@uniport.edu.ng

Аннотация. Цель исследования – определение состава нефтяных отходов и их влияния на грунтовые воды с помощью гидрогеохимических методов. Применены стандартные методы оценки загрязнения подземных вод из ямы с нефтяными отходами на нефтяных месторождениях Мгбеде и Эбоча в южной части Нигерии. Обнаружено, что в яме с нефтяными отходами кислый pH, очень отрицательный окислительно-восстановительный потенциал, пограничная концентрация цинка и концентрация полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), кадмия выше пределов. Выявлено повсеместное распространение превышающих предельные концентрации ПАУ на всей исследуемой территории. Подземные воды в районе исследования характеризовались неприемлемыми уровнями кислотности, окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), кадмия, ПАУ и пограничными случаями загрязнения цинком, что может вызвать серьезные проблемы со здоровьем населения и риски для здоровья, включая рак. В число рекомендаций вошло предоставление альтернативных источников воды жителям этого нефтяного месторождения.

Ключевые слова: нефтяной карьер, загрязнение подземных вод, состояние окружающей среды

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

История статьи: поступила в редакцию 22.04.2024; доработана после рецензирования 20.05.2024; принята к публикации 12.07.2024.

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

Для цитирования: *Ikwulemenze M.H., Ezekwe I.C., Emereibeole E.I., Mgbuahuruike L.U., Nwachukwu J.I.* Carcinogenic contaminants in groundwater in the Ebocha and Mgbede oil fields of Southern Nigeria // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 1. С. 87–102. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-1-87-102>

Introduction

Over the years, groundwater contamination has emerged as a pressing environmental concern, threatening ecosystems and public health, especially in communities within the oil field exploration activities. Groundwater, a vital resource for drinking water source and agriculture has been compromised by various forms of pollutants, posing significant challenges for sustainable development and ecosystem integrity. Groundwater contamination emanates from various sources including industrial activities, agricultural runoff and improper waste disposal practices [1].

Increasing demand for fossil fuels, depletion of traditional oil and gas reservoirs, and decades of public and private-sector investment in methods to extract oil and gas from low-permeability formations have accelerated the development of more and more oil fields. The volume of produced wastewaters, has also increased and these liquid wastes from oil and gas production pose potential risks to water quality and the health of organisms, including humans, because produced waters contain chemical additives or naturally occurring salts, metals or radioactive elements may enter the environment from accidental or intentional releases [2].

Oil field exploration activities involve the extraction and refining of petroleum products which generates and accumulates deleterious substances that contributes to groundwater and aquifer contamination. Consequently, communities whose source of water supply depends on groundwater, face heightened risk of exposure to toxic compounds, including hydrocarbons, heavy metals and associated volatile organic compounds [3].

The production of oil and gas is often accompanied with large quantity of produced water. There is estimation that wastewater production is three times larger than oil and gas product. This ratio increases with the age of wells. In the United States, oil production generates about 21 billion barrels of produced water every day. This water can pollute surface, groundwater and soil. There are various limits in different countries for produced water for operators to achieve. In Australia produced water discharge limit is 30 mg/l. On the other hand, based on the United States Environmental Protection Agency (USEPA) regulations, daily maximum limit for oil and grease is 42 mg/l and the monthly average is 29 mg/l. In Nigeria, it is currently required that produced water should meet an oil-in-water concentration of 40 ppm, 20 ppm and 10 ppm prior to discharge in offshore, near shore and onshore locations respectively [4; 5].

Produced water or brine, is a by-product of oil and gas production. It consists of water from the geologic formation, injection water, oil and salts. Brine has a high

salt concentration the ions of the salts negatively affect the site's soil and vegetation, impairing its ability to produce crops and forage. A higher quantity of brine will need to be stored, transported and disposed of as the result of increased energy development. These larger quantities can lead to greater risks for spills and seepage and contamination of groundwater systems when they are not properly stored in waste pits. Brine has a high salt concentration that has been recorded up to four times the salinity of ocean water. Brine solutions can have electrical conductivities (EC) in excess of 200 Deci Siemens per meter (dS/m; 1 dS/m = 1 millimho per centimetre [mmho/cm]), sodium adsorption ratios (SAR) of more than 300 and total dissolved solids (TDS) concentrations of 100,000 parts per million. The high salt concentrations in brine come from salt deposits in oil-producing rock formations containing oil and are known to be highly injurious to plants when exposed to them and cause soil fragmentation thereby engendering soil erosion [6].

Oil waste may include produced water, drilling fluids, drilling muds, well cuttings, and well-treatment chemicals which contribute to pollution. Studies of well blowouts and possible development of communication between a fresh-water aquifer and oil-bearing sand have been made. However, that brines produced with oil and gas can contribute to groundwater pollution is well known but no universally satisfactory method of their disposal is available [7].

Kharaka et al. [8], has also stated that most nonexperts do not realize that for every barrel of oil produced today, oil companies also recover approximately ten barrels of produced water that is highly toxic to human health and the environment. Produced water is toxic because of high salinity and high concentrations of inorganic and organic chemicals and isotopes that far exceed the water quality criteria for drinking and irrigation water. Approximately 60 percent of produced water is currently reinjected into oil production zones for enhanced recovery and it has proven a great challenge to manage this wastewater without contaminating soil, vegetation, surface water, groundwater, and ecosystems [9], has also stated that produced water is an inextricable part of the hydrocarbon recovery process and the need to optimize water management cannot be overstated. Produced water must be adequately handled, at a considerable cost to operator, to prevent and/or minimize environmental degradation. When hydrocarbons are produced, they are brought to the surface as a produced fluid mixture. The composition of this produced fluid generally includes a mixture of either liquid or gaseous hydrocarbons, produced water. The produced water contains dissolved or suspended solids, produced solids (sand or silt), injected fluids and additives that may have been placed in the formation during exploration and production activities.

It has been reported that U.S. wells produce an average of more than 7 bbl of water for each barrel of oil whereas wells elsewhere in the world produce on average about 3 bbl of water for each barrel of oil. As at 1999, it was estimated that an average of 210 million bbl of water was produced each day worldwide [10]. The effect of produced water from oil and conventional natural gas production on the environment derive from the many chemical constituents found in produced water.

These liquid and dissolved pollutants when present individually or collectively in a high enough concentration, can present a threat to biota. The different potential impacts are dependent on concentration and discharge point. The constituents of produced water affect the environment into which it is discharged and operations. As the well ages, the volume of produced water increases and this present challenge which calls for finesse and some degree of understanding of the constituents of produced water and their effects on the environment of discharge. Because of its sheer volume and its high handling cost management of produced water is a key issue in any hydrocarbon recovery program; its potential environmental impacts if not properly managed, could be substantial [9].

The consequences of groundwater contamination extend beyond immediate health concerns, impacting ecological systems and biodiversity. Aquatic habitats and species dependant on groundwater resources are particularly vulnerable to the adverse effects of pollution with implications for ecosystem stability and resilience. Moreover, the migration of contaminants through groundwater pathways can exacerbate environmental degradation, affecting downstream water users and sensitive ecosystems beyond the confines of the oil field. Central to the challenge of groundwater contamination in the Mgbede and Ebocha oil field is the presence of an oil waste pit, serving as a repository for adverse array of hazardous substances generated by over fifty years of oil extraction activities. It is suspected that the inadequate containment and management of waste materials have facilitated the infiltration of pollutants into groundwater aquifers, exacerbating the environmental risk associated with the oil production in the region. This study therefore investigated the quality of groundwater in an oil field where decades of poor oil waste pit management is suspected to be polluting groundwater sources in Nigeria. The study adopted both in situ and laboratory methods in investigating contaminants in the waste pit and in various groundwater sources in the study area.

Study area

Description of Study Area

According to Clinton-Ezekwe [11], the Ebocha and Mgbede Oil Fields cover an area of 920 km² in the northern part of the Niger Delta region located within the Rivers Niger flood plains. It is bordered on the west by the Orashi River and on the east by the Sombreiro River. The Oil Fields fall within the Egbema district of the Ogba/Egbema/Ndoni Local Government Area of Rivers State and the Ohaji/Egbema Local Government Area of Imo State, Nigeria (Figure 1). The Area is host to the Ebocha Oil Centre, and other facilities and has been operational since around 1970. The study area is located within longitudes N05°.464546 and N05°.447248 and latitudes E006°.687214 and E006°.791868.

Geology and Climate: Rivers State lies on the recent Coastal Plain of the Eastern Niger Delta. Its surface geology consists of fluvial sediments. This includes the recent sediments transported by Niger River distributaries and other rivers, such as Andoni, Bonny and New Calabar. The studies area falls within the tropical

monsoonal climate classification [12], characterised by a short dry season and a pronounced wet season which starts from March and last till October with a break, usually around August, Temperatures are fairly constant throughout the year, ranging between a maximum of 280 and 330°C to a minimum of 21–23°C. Agriculture and oil industries are dominant and across many rural communities.

The area lies in a low-lying gently sloping deltaic plain of not more than 25 m above sea level. It is drained mainly by the North-south flowing Orashi River and the east-west flowing smaller Nkissa-Sombreiro stream system which are fed by the groundwater system. Groundwater occurs in shallow aquifers of the Coastal Plain Sands comprising of sand, gravel and clay intercalations, with water table decreasing to 1m below surface at the peak of the rainy season.

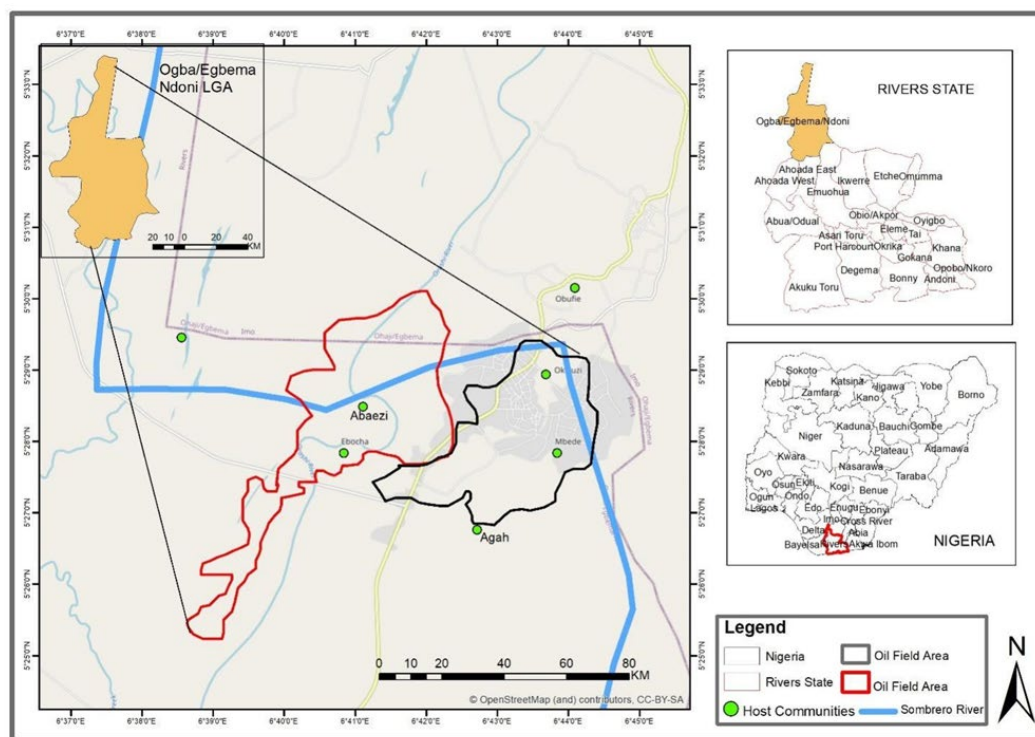


Figure 1. Location of Study Area

Source: compiled by M.H. Ikwulemenze, I.C. Ezekwe, E.I. Emereibeole, L.U. Mgbeahuruike, J.I. Nwachukwu.

Materials and methods

Sources and Method of Data Collection/Instrumentation

5 water sampling points including the oil waste pit were identified for this study. They included groundwater source upgradient from the waste pit and 3 sampling points downgradient from the point of impact or waste pit (see Figure 2, [13 in press]). were identified and used for this investigation.

The APHA (2017)¹ methods and protocols for sampling and analysis of wastewater were applied. It involved taking samples for laboratory analysis and in situ analysis of unstable water quality parameters. The complexity of water quality as a subject is reflected in the many types of measurements of water quality indicators. The most accurate measurements of water quality are made on-site because water exists in equilibrium with its surroundings [14]. Measurements of physico-chemical parameters was made on-site and in situ including temperature, pH, dissolved oxygen, conductivity, oxygen reduction potential (ORP) and turbidity with the Horiba 52 Water Checker. Other parameters including heavy metals (Pb, Cr, Cd, As, Hg) and hydrocarbons was measured in the laboratory using standard methods (APHA, 2017)¹. Water sampling for physio-chemical analysis will be collected with new 1L plastic containers pre-rinsed with dilute nitric acid and rinsed three to four times with the water sample before being filled to capacity and labelled; samples for heavy metal analysis was treated with 2 ml of nitric acid (100 %, trace metal grade, Fisher Scientific) to stabilize the oxidation states of the metals; while samples for PAHs was taken in breakable bottles and treated with hydrochloric acid to avoid contamination by hydrocarbon chelation.

The samples were then placed in ice-packed coolers and stored below 4°C prior to laboratory analysis. Heavy metals were analysed by atomic absorption (AA) spectrophotometry using a Perkin-Elmer and Analyst 100 AA spectrophotometer (detection limit 0.001 mg/L); while, two methods using headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry developed by [15] for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). All manipulations will be done in duplicates under controlled conditions to avoid contamination.

Results and discussions

The results from the field and laboratory investigations of water quality and groundwater contamination in the Mgbede and Ebocha Oil Fields following the aim and objectives of this study are presented as follows.

Physico-Chemical Properties of Water

Table 1 shows the concentrations of measured physico-chemical parameters and heavy metals found in groundwater in the study area. Table 1 shows the results for pH, Conductivity (Us/cm²), TDS (mg/l), ORP (M_v), heavy metals, anions and cations in groundwater including chloride, sodium, potassium, chromium, magnesium, zinc, cadmium, lead and manganese while Table 2 shows the concentration of PAH contaminants in the groundwater system. Concentrations indicated in RED occurred above acceptable limits while those in GREEN are considered as borderline cases.

¹ APHA (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). Washington DC American Public Health Association

pH ranged from 5.61 to 7.52, showing that the water is generally acidic and above maximum acceptable limits of the WHO apart from the water sample site upgradient to the waste pit (SWP) in site SWC which was neutral to alkaline. It has also had stated that the acidic nature of the water will make them very corrosive and cause metal ions to be leached into groundwater systems. Signs of acid water are corrosion of fixtures, blue staining (from copper pipes) or rust staining (from iron pipes) leading to pinhole leaks and pipe failure over time and sour taste in water. Also, body pH profile has been linked to many diseases.

Table 1. Physico-Chemical Parameters and Heavy Metals

S/N	PARAMETER	UNIT	TEST METHOD	SW1	SW2	SW3	SWC	SWP	WHO STANDARDS
1	pH	–	APHA 4500-H ⁺ -B	5.90	5.87	5.61	7.52	5.87	6.5–8.5
2	EC	μS/cm	APHA 2510	45	38	34	1123	64	<1500
3	Total Dissolved Solids	mg/L	APHA 2540-C	24	18	17	32	558	<600
4	Redox Potential (ORP)	Mv	APHA 2580	–41.7	–18.4	–29.0	–44.3	–42.6	200–600
5	Chloride (Cl)	mg/L	APHA 4500-Cl-B	21.9	18.9	16.9	246.9	26.9	<250
6	Sodium (Na)	mg/L	APHA 3111-B	4.265	4.174	0.049	5.316	8.375	<200
7	Potassium (K)	mg/L	APHA 3111-B	2.448	2.114	0.887	3.813	6.534	<20
8	Magnesium (Mg)	mg/L	APHA 3111-B	3.055	2.620	1.079	4.118	10.149	<50
9	Chromium (Cr)	mg/L	APHA 3111-B	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05
10	Zinc (Zn)	mg/L	APHA 3111-B	0.569	0.304	0.078	0.879	1.267	<3
11	Cadmium (Cd)	mg/L	APHA 3111-B	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.037	<0.003
12	Lead (Pb)	mg/L	APHA 3111-B	0.042	<0.001	<0.001	0.033	<0.001	<0.01
13	Manganese (Mn)	mg/L	APHA 3111-B	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.1

Source: compiled by M.H. Ikwele, I.C. Ezekwe, E.I. Emereibeole, L.U. Mgbahurike, J.I. Nwachukwu.

Most forms of diseases flourish in an acidic environment which is why drinking high acidic water in combination with our lifestyle changes and diet are a path for future health problems. The human body can only be healed of any chronic illness when blood is at normal or slightly alkaline pH [16].

An imbalanced pH affects the cellular activity in the body, leading to the progression of most degenerative diseases, including cardiovascular and heart disease, high blood pressure, high cholesterol levels, kidney stones, urinary incontinence, arthritis, osteoporosis, cancer, diabetes, systemic weight gain and obesity. A poor pH balance in the body can cause many other health problems and a general feeling of ill health. Health effects of acidosis or an elevated level of acidity in the body include insomnia, headaches, frequent sighing, water retention, low blood pressure, foul-smelling stools, difficulty swallowing, sensitivity to vinegar and acidic fruits and bumps on the tongue, fatigue, lack of energy, low body temperature, depression, frequent infections, teary eyes, sensitive teeth, gastritis, dry skin, brittle nails, hives, and leg cramps².

² Biomedx (2017). *The pH Equation & Health*. Available from: <https://biomedx.com/microscopes/rrintro/rr4.html> (accessed: 25.12.2023).

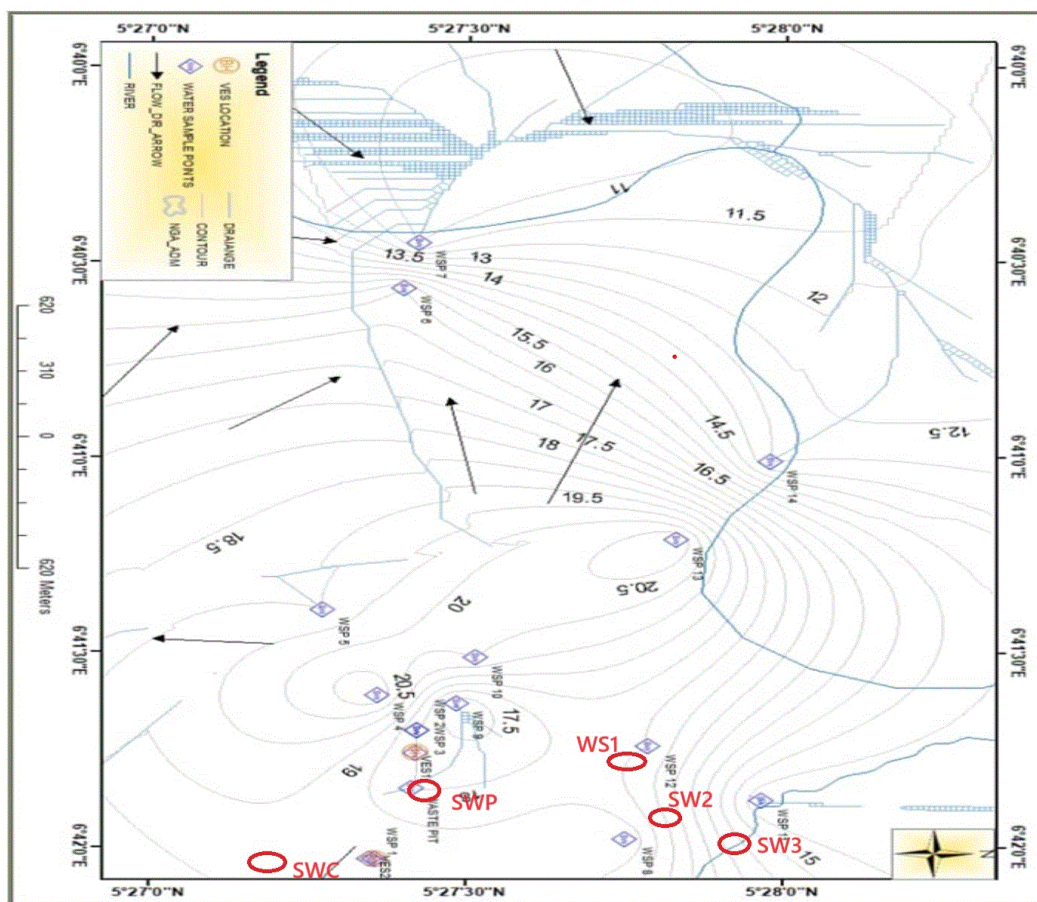


Figure 2. Groundwater Flow Patterns from elevation and coordinate data

Source: compiled by M.H. Ikwulemenze, I.C. Ezekwe, E.I. Emereibeole, L.U. Mgbearurike, J.I. Nwachukwu.

Conductivity ranged between 34 in SW3 to 1123 at the upgradient site SWC; while TDS was very low and ranged between 17 in SW3 and 558 at the waste pit. ORP which is an indicator of the true oxidation state of the water was generally low (ranging between -42.6 in the waste pit area to -18 Mv in SW2 down gradient from the waste pit. These figures are below the optimal level for inhibiting microbial growth in drinking water [17]. Oxidation-reduction potential (ORP) measures the ability of a body of water to cleanse itself or break down waste products, such as contaminants and dead plants and animals. When the ORP value is high, there is lots of oxygen present in the water. Positive values for ORP indicate oxidizing conditions, whereas negative values indicate reducing conditions. Reducing condition means a geochemical condition where dissolved oxygen is depleted (< 1 mg/L). When ORP is low, dissolved oxygen is low, toxicity of certain metals and contaminants can increase, and this may indicate the presence of lots of dead and decaying material in the water that cannot be cleared or decomposed [18].

Lead concentration was 0.03–0.42 in SW1 and SWC and cadmium (0.037) in SWP respectively had concentrations above permissible levels, while all other

heavy metals occurred either below detectable limits or within permissible limits. Zinc was 0.078 in SW3 and 1.27 in SWP was found in all the wells although within acceptable limits. Other contaminants were as follows; chloride (21.9–246.9), sodium (0.049–8.375), Magnesium (1.09 in SW3 – 10.149 in SWP), Sodium (1.680–22.206) and Potassium (0.887 in SW3 – 6.534 in SWP). Figure 3 shows the trend of heavy metal concentration in groundwater. Zinc concentration from the graph is clearly indicative of lowering concentration with distance away from the waste pit. Further graphic analysis (Figure 4) reveals that the highest concentrations of cadmium occurred in the waste pit while lead concentration were found in all the wells and high concentrations mostly found in the boreholes found closer to the waste pit.

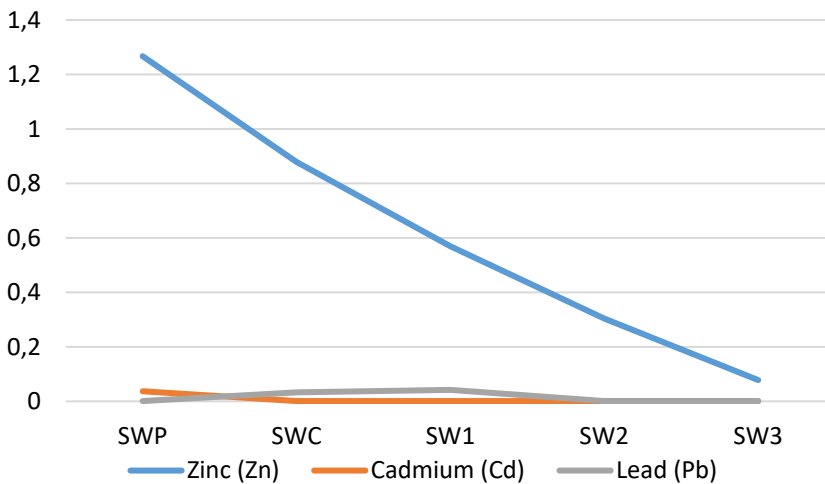


Figure 3. Heavy metal concentration

Source: compiled by M.H. Ikwulemenze, I.C. Ezekwe, E.I. Emereibeole, L.U. Mgbeahuruike, J.I. Nwachukwu.

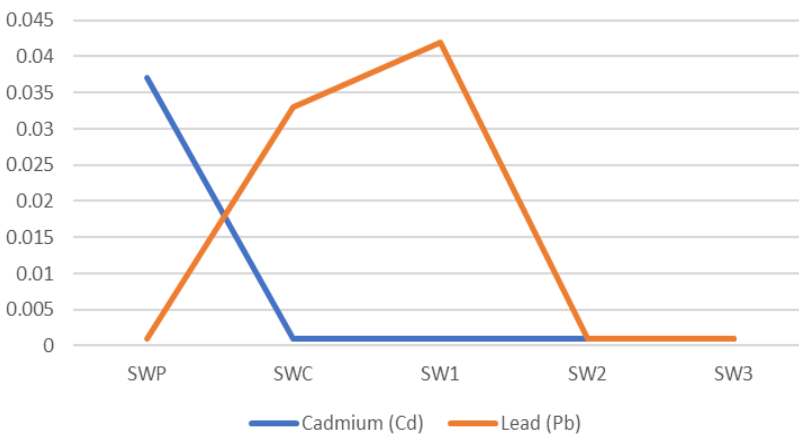


Figure 4. Plot of cadmium and lead only

Source: compiled by M.H. Ikwulemenze, I.C. Ezekwe, E.I. Emereibeole, L.U. Mgbeahuruike, J.I. Nwachukwu.

Table 2 shows the result of laboratory analysis of water samples for PAHs. Results show a widespread occurrence of PAHs in the groundwater system. It should be noted that all the sampled sites had concentrations of total PAHs above the USEPA drinking water limits of 0.2 µg/l (ASTDR, 2023)³. Benzo[a]pyrene which is a known carcinogen occurred in concentrations above acceptable limits (0.2 µg/l) in all the sampled boreholes except SWP where it occurred in borderline concentration of 0.17 µg/l.

The U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) sets a maximum contaminant level (MCL) for benzo(a)pyrene, the most carcinogenic PAH, at 0.2 µg/l. USEPA also sets MCLs for five other carcinogenic PAHs. The goal of the recommendation was a zero (nondetectable level for carcinogenic PAHs in ambient water). It set 0.1 µg/l for benz (a)anthracene, 0.2 µg/l for benzo(a)pyrene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene and chrysene, 0.3 µg/l for dibenz(a,h)anthracene and 0.4 µg/l for indeno(1,2,3-c,d)pyrene⁴. PAHs are organic compounds that have attracted global recognition because of their carcinogenic threats. PAHs are categorized into high (4–6 rings) and low-member (2–3 rings) weight groups^{17–19}. PAHs are generally classified as relatively persistent organic and environmental pollutants [19].

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Groundwater

Table 2. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Groundwater

PARAMETERS	UNIT	SW1	SW2	SW3	SWC	SWP	USEPA STANDARDS (ASTDR, 2023)
Naphthalene	µg/l	0.29	0.08	0.26	<0.01	0.30	NA
Acenaphthylene	µg/l	0.51	0.28	<0.01	<0.01	0.33	NA
Acenaphthene	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	1.0 (Minnesota Health Dept)
Fluorene	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	NA
Anthracene	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.15	NA
Phenanthrene	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	NA
Fluoranthene	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	NA
Pyrene	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	NA
Benz[a]anthracene	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.1
Chrysene	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.2
Benzo[b]fluoranthene	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.2
Benzo[k]fluoranthene	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.2
	µg/l	0.95	0.46	0.65	0.79	0.17	0.2
Dibenz(a,h)anthracene	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.3
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.4
Benzo[ghi]perylene	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	NA
TOTAL PAHs	µg/l	1.75	0.82	0.91	0.79	1.95	0.2

Source: compiled by M.H. Ikwulemenze, I.C. Ezekwe, E.I. Emereibeole, L.U. Mgbeahuruike, J.I. Nwachukwu.

³ Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/csem/polycyclic-aromatic-hydrocarbons/standards_and_regulations_for_exposure.html. (accessed: 25.12.2023).

⁴ Ibid.

Discussions and Conclusions

The Oil waste pit contained an acidic pH, a very negative redox potential, borderline zinc concentration and above limits cadmium concentration. It also had high levels of naphthalene, Acenaphthylene, anthracene and above limits of carcinogenic Benzo[a]pyrene. According to the WHO⁵, PAHs reach the hydrosphere mainly by dry and wet deposition and road runoff but additionally from industrial wastes containing PAHs and leaching from creosote-impregnated wood. PAHs are adsorbed strongly to the organic fraction of sediments and soils. Leaching of PAHs from the soil surface layer to groundwater is assumed to be negligible owing to the adsorption and to biodegradation in the aerobic soil surface layer, although their presence in groundwater has been reported, mainly at contaminated sites.

The volatility of the compounds from water phases is low, with half-lives of 500 and 1550 hours for BaA and BaP, respectively. The compounds are very slowly biodegradable under aerobic conditions in the aqueous compartment. The biodegradation rates decrease drastically with increasing number of aromatic rings. In laboratory experiments with soil samples, the calculated half-lives for the selected compounds vary widely, from about 100 days to a couple of years. PAHs are stable towards hydrolysis. For pure water, the photodegradation half-lives appear to be in the range of hours, whereas the half-lives increase drastically when sediment/water partitioning is considered.

Also, note that the inhabitants of the study area have stopped the digging and using of hand-dug wells due excessive gas occurrence from depths of 3 metres below the surface. In fact, deaths and near-death scenarios had occurred due gas poisoning in the process of digging wells.

Groundwater in the study area was characterised by unacceptable levels of acidity, ORP, PAHs, cadmium and borderline cases of zinc contamination. It has also been noted that acidity in drinking water can cause serious problems through the leaching of heavy metals from plumbing systems such as lead. Lead exposure can lead to a host of neurological and reproductive problems, such as seizures, hearing loss and miscarriages. Leaching of heavy metals like copper and zinc causes a domino effect that can impact the gastrointestinal system. High dosage exposure to zinc and copper from corroded pipes can cause nausea, vomiting or diarrhoea [20–22].

Also, eating large amounts of cadmium can severely irritate the stomach and cause vomiting and diarrhoea. Breathing high levels of cadmium damages people's lungs and can cause death. Exposure to low levels of cadmium in food, water, and

⁵ World Health Organization (2003). *Polynuclear aromatic hydrocarbons in drinking-water. Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality*. Geneva: World Health Organization; 2003

air over time may build up cadmium in the kidneys and cause kidney disease and fragile bones. Cadmium is considered a cancer-causing agent (US CDC, 2017)⁶.

A very recent (March 2024)⁷ report by The National Cancer Institute, an agency of the United States of America Government states that cadmium and its compounds are highly toxic, and exposure is known to cause cancer. It is primarily associated with human lung, prostate, and kidney cancers, and recently pancreatic cancer. It has also been associated with cancers of the breast and urinary bladder. The general population may be exposed to small amounts of cadmium daily through food, tobacco smoke, drinking water, and air, resulting in accumulation in the body. Cadmium levels are expected to be low in drinking water and ambient air, except in the vicinity of cadmium-emitting industries or incinerators.

The Illinoin Department of Public Health (2023)⁸ stated that the effects of exposure to PAHs may be short-term or long term. While short-term exposure to PAHs and other associated pollutants may produce reactions such as eye irritation, nausea, vomiting, diarrhoea, and confusion; long-term health effects of exposure to PAHs may include cataracts, kidney and liver damage, and jaundice. Repeated skin contact to the PAH naphthalene can result in redness and inflammation of the skin. Long-term exposure to low levels of some PAHs have also been found to cause cancer in laboratory animals. Also, studies of workers exposed to mixtures of PAHs and other compounds revealed an increased risk of skin, lung, bladder, and gastrointestinal cancers. It is also a fact that while inhaling or swallowing large amounts of naphthalene can lead to a breakdown of red blood cells, benzo(a)pyrene is known to commonly cause adverse reproductive and developmental effects and induce cancer in laboratory animals. It has also been established that long-term exposure causes skin, lung, and bladder cancer in humans.⁹

In conclusion, this study discovered that the Oil waste pit contained an acidic pH, a very negative redox potential, borderline zinc concentrations and above limits cadmium concentration. The study therefore concludes that the study area has a contaminated groundwater characterised by high acidity which can cause serious problems like the leaching of heavy metals from water pipes and plumbing systems and widespread occurrence of above limits concentrations of PAHs in the whole of the studied boreholes thereby posing a serious public health challenge. Potential

⁶ US Centre for Disease Control and Prevention (CDC) (2017). *Cadmium Factsheets*. Available from: https://www.cdc.gov/biomonitoring/Cadmium_FactSheet.html#: (accessed: 25.12.2023).

⁷ US National Cancer Institute. *Cadmium – Cancer Trends Progress Report*. March, 2024. Available from: https://progressreport.cancer.gov/prevention/chemical_exposures/cadmium#:~:text=Cadmium%20and%20its%20compounds%20are,the%20breast%20and%20urinary%20bladder (accessed: 25.12.2023).

⁸ Illinois Department of Public Health (2023). *Cancer in Illinois. PAHs*. Available from: <http://www.idph.state.il.us/cancer/factsheets/polycyclicaromatichydrocarbons.htm> (accessed: 30.12.2023).

⁹ Delaware Health and Social Services (2015). *Benzo(a)Pyrene*. Available from: <https://dhss.delaware.gov/dph/files/benzopyrenefaq.pdf> (accessed: 30.12.2023).

health risks include a likelihood of exposure to cancer due to the long-term consumption of carcinogenic PAHs and cadmium in the groundwater sources.

In the light of the foregoing, we therefore recommend that the Federal Government of Nigeria and the oil companies operating in the study area should provide an alternative water sources to the inhabitants of this oil field, since groundwater sources which is the main source of domestic water has become a serious health hazard. The federal and state government to improve healthcare delivery in the study area and establish a special health insurance scheme/trust fund for inhabitants to cushion the effects of long-term exposure to pollutants from oil producing activities.

References

- [1] Li P, Karunanidhi D, Subramani T, Srinivasamoorthy K. Sources and Consequences of Groundwater Contamination. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2021 Jan;80(1):1–10. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00805-z>. Epub 2021 Jan 2. PMID: 33386943; PMCID: PMC7778406. EDN: MWLCEY
- [2] Cozzarelli I M, Kent DB, Briggs M, Engle MA, Benthem A, Skalak KJ, Mumford AC, Jaeschke J, Farag A, Lane Jr JW, Akob DM. Geochemical and geophysical indicators of oil and gas wastewater can trace potential exposure pathways following releases to surface waters. *Science of The Total Environment*. 2021;755(1) <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142909>
- [3] Raimi MO, Sawyerr HO, Ezekwe IC, Salako G. Many oil wells, one evil: comprehensive assessment of toxic metals concentration, seasonal variation, and human health risk in drinking water quality in areas surrounding crude oil exploration facilities in Rivers State, Nigeria. *International Journal of Hydrology*. 2022;6(1):23–42. <http://dx.doi.org/10.15406/ijh.2022.06.00299> EDN: HITXTK
- [4] Fakhru'l-Razi A, Pendashteh A, Abdullah LC, Biak DRA, Madaeni SS, Abidin ZZ. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of Hazardous Materials*. 2009 Oct 30;170(2-3):530–551. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.044>. PMID: 19505758.
- [5] Nwosi-Anele AS, Iledare OO. Produced Water Treatment Methods and Regulations: Lessons from the Gulf of Mexico and North Sea for Nigeria. *Environmental Science*. 2016. Available from: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:212503068> (accessed: 30.12.2023).
- [6] Meehan M, Sedivec KK, DeSutter T, DeSutter T, Augustin C, Daigh ALM. *Environmental impacts of brine (produced water)*. North Dakota State University Extension Service Pub. R1850; 2016.
- [7] Dresel PE, Rose AW. Chemistry and origin of oil and gas well brines in Western Pennsylvania. *Pennsylvania Geological Survey* (4th Ser), Open-File Report OFOG 10–01.0 2010
- [8] Kharaka YK, Hitchon B, Hanor JS. *Groundwater and petroleum*. The Groundwater Project. 2023. <https://doi.org/10.21083/978-1-77470-041-9>
- [9] Onwuachi-Iheagwara NP. Environmental impact and treatment of produced water. *Continental J. Water, Air and Soil Pollution*. <https://doi.org/10.5707/cjwasp.2012.3.1.21.24>
- [10] Veil JA, Markus Puder, Elcock D., Redweik RJr (2004). A white paper describing produced water from production of crude oil natural gas and coal bed methane. *Argonne National Laboratory*, Lemont, 87. <https://doi.org/10.2172/821666>
- [11] Clinton-Ezekwe IC, Osu IC, Ezekwe IC, Raimi MO. Slow death from pollution: potential health hazards from air quality in the Mgbede oil fields of Southsouth Nigeria. *Open Access Journal of Philosophy*. 2022;5(1):61–69. <https://medcraveonline.com/OAJS/OAJS-05-00177.pdf>

- [12] Rubel F, & Kotteck M. Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*. 2010;19(2):135–141. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2010/0430>
- [13] Ikwulemenze MH, et al. Polluted groundwater recharge from an oil waste pit in the Nkissa-Orashi Basin of Rivers State Nigeria-submitted for publication
- [14] Ezekwe IC, Odubo E, Chima GN, Onwuchekwa IS. Groundwater occurrence and flow patterns in the Ishiagu mining area of Southeastern Nigeria. *Frontiers of Earth Science*. 2012;6(1):18–28.
- [15] Gebara SMS, Poppi RN, do Nascimento ALCS, Raposo JL. Methods for analysis of PAH and BTEX in groundwater from gas stations: a case study in Campo Grande, MS, Brazil. *Quimica Nova*. 2013;36(7):1030–1037. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422013000700018> EDN: RMVQCB
- [16] Ezekwe IC, Kponi BV, Derego A. Groundwater Quality and Flow Patterns in the Western Parts of Obio-Akpor Local Government Area of Rivers State, Nigeria. *Journal of Geographic Thought*, 2017;15(1):1–14. Available from: <http://www.academix.ng/journals/profile.html?id=3300010155> (accessed: 20.04.2024).
- [17] Maharjan P, Clark T, Kuenzel C, Foy MK, Watkins S. On farm monitoring of the impact of water system sanitation on microbial levels in broiler house water supplies. *Journal of Applied Poultry Research*. 2016;25(2):266–271. <http://dx.doi.org/10.3382/japr/pfw010>
- [18] Horne AJ, Goldman CR. *Limnology*. 2nd edition. McGraw-Hill, Inc.; 1994. 576 p.
- [19] Aralu CC, Okoye PA, Abugu HO, Eboagu NC, Eze VC. Characterization, sources, and risk assessment of PAHs in borehole water from the vicinity of an unlined dumpsite in Awka, Nigeria. *Sci Rep*. 2023 Jun 15;13(1):9688. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36691-3> EDN: UXOXTQ
- [20] Vanarsdale VI. *Signs of Poor pH Balance in the Body*. 2017. Available from: <https://www.livestrong.com/article/214475-health-effects-of-ph-on-drinking-water/> (accessed: 20.04.2024).
- [21] Wolfe I. *How to Drink Water with High pH*. 2017. Available from: <https://www.livestrong.com/article/214475-health-effects-of-ph-on-drinking-water/> (accessed: 20.04.2024).
- [22] Balch PA. *Prescription for Nutritional Healing*. 4th ed. Penguin, USA-869; 2006.

Bio notes:

Mazico Henry Ikwulemenze, Postgraduate research student, Department of Environmental Management, School of Environmental Sciences, Federal University of Technology Owerri, Nigeria. E-mail: lemenzemazico@gmail.com

Ifeanyichukwu Clinton Ezekwe, Associate Professor of Geography and Environmental Management, Department of Geography and Environmental Management, University of Port Harcourt, Port Harcourt, Nigeria. ORCID: 0000-0002-9573-5178. E-mail: clinton.ezekwe@uniport.edu.ng

Enos Ihediohamma Emereibeole, Department of Environmental Management, School of Environmental Sciences, Federal University of Technology Owerri, Owerri, Nigeria. E-mail: enos.emereibeole@futo.edu.ng

Leonard Udochi Mgbeahuruike, Department of Environmental Management, School of Environmental Sciences, Federal University of Technology Owerri, Owerri, Nigeria. E-mail: leonard.mgbeahuruike@futo.edu.ng

Joseph Ikechukwu Nwachukwu, Department of Environmental Management, School of Environmental Sciences, Federal University of Technology Owerri, Owerri, Nigeria. E-mail: joseph.nwachukwu@futo.edu.ng

Сведения об авторах:

Иквулемензе Мазико Генри, аспирант-исследователь, факультет экологического менеджмента, Школа наук об окружающей среде, Федеральный технологический университет Оверри, Нигерия. E-mail: lemenzemazico@gmail.com

Эзекве Ифеанийчукву Клинтон, доцент, факультет географии и экологического менеджмента, Университет Порт-Харкорта, Порт-Харкорт, Нигерия. ORCID: 0000-0002-9573-5178. E-mail: clinton.ezekwe@uniport.edu.ng

Эмерибеоле Энос Ихедиохамма, факультет экологического менеджмента Школы наук об окружающей среде, Федерального технологического университета Оверри, Оверри, Нигерия. E-mail: enos.emereibeole@futo.edu.ng

Мгбеахуруике Леонард Удочи, факультет экологического менеджмента Школы наук об окружающей среде, Федерального технологического университета Оверри, Оверри, Нигерия. E-mail: leonard.mgbeahuruike@futo.edu.ng

Нwachukwu Джозеф Икечукву, факультет экологического менеджмента Школы наук об окружающей среде, Федеральный технологический университет Оверри, Оверри, Нигерия. E-mail: joseph.nwachukwu@futo.edu.ng