



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

2023 Том 31 № 2

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2
<http://journals.rudn.ru/ecology>

Научный журнал
Издается с 1993 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-61176 от 30.03.2015 г.

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

Главный редактор

Савенкова Елена Викторовна, доктор экономических наук, профессор, директор Института экологии и Международного института стратегического развития отраслевых экономик, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Заместители главного редактора

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

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

Ответственный секретарь редколлегии

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

Джан Шунинь, доктор наук, профессор, Шаньдунский университет, Цзинань, Китай

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Периодичность: ежеквартально

Языки публикаций: русский, английский.

Журнал индексируется в РИИЦ, DOAJ, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, East View, Cyberleninka, Dimensions.

Цели и тематика

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

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

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

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

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

Редактор И.Л. Панкратова
Редактор англоязычных текстов Ю.Л. Закирова
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 20.06.2023. Выход в свет 30.06.2023. Формат 70×108/16.

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

Тираж 500 экз. Заказ № 672. Цена свободная.

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

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



RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

2023 VOLUME 31 No. 2

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2

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

Founded in 1993

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editors-in-Chief

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

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

Executive Secretary

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

Vera A. Shirokova, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of the History of Earth Sciences, S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

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

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

Deli Wang, Ph.D., Professor, Dean of the School of Life Science, Northeast Normal University, Changchun, China

Shuping Zhang, Ph.D., Professor, Shandong University, Jinan, China

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

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

Frequency: Quarterly

Publication languages: Russian, English

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

Aims and Scope

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

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

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

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

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

Copy Editor *I.L. Pankratova*
English text editor *Yu.L. Zakirova*
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) 955-08-74; e-mail: publishing@rudn.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ

- Рахимов И.И., Ибрагимова К.К.** Привлекательность спортивных объектов и зон массового отдыха и физической культуры горожан для птиц 159
- Tantsyrev N.V., Ivanova N.S., Petrova I.V.** Air temperature changes due to altitude above sea level in the Northern Ural Mountains (**Танцырев Н.В., Иванова Н.С., Петрова И.В.** Изменения температуры воздуха в зависимости от высоты над уровнем моря в горах Северного Урала) 169
- Щеглов Г.А., Маслобоев В.А.** Методы исследования эффектов электромагнитного излучения на микроорганизмы 179
- Обуздина М.В., Руш Е.А.** Особенности восстановления экосистем в районе размещения отвалов некондиционных цеолитсодержащих пород Холинского месторождения Восточного Забайкалья 191

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

- Rusakova M.A., Kolesnikov R.A., Shinkaruk E.V.** Chemical pollution in Arctic cities: public health risk assessment and solutions (**Русакова М.А., Колесников Р.А., Шинкарук Е.В.** Химическое загрязнение арктических городов: оценка рисков здоровью населения и пути решения) 201
- Яковлева Т.П., Сошенко М.В., Степанова А.И., Коверкина Е.В.** Условия труда работников торговли и их адаптация в период пандемии COVID-19 212

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

- Щеглов Г.А.** Стимулирование роста *Chlorella* в зависимости от длительности воздействия электромагнитного излучения крайне высоких частот 225

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

- Шерстобитов Д.Н., Ермаков В.В., Пыстин В.Н., Тупицына О.В.** Мониторинг развития сине-зеленых водорослей в Куйбышевском водохранилище при помощи индексов дистанционного зондирования Земли 232
- Гусак Д.В.** Концепция прибора для организации сети мониторинга 241
- Саласар Флорес К.А., Курбатова А.И., Михайличенко К.Ю., Баранникова С.И.** Комплексная оценка качества воды поверхностных водоисточников города Латакунга и кантона Педро Висенте Мальдонадо в Республике Эквадор 251

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Zhang X., Pinaev V.E.** Questions of accumulated environmental harm – People’s Republic of China (**Чжан С., Пинаев В.Е.** Вопросы накопленного экологического вреда – практика Китайской Народной Республики) 265
- Салахова В.К., Рудакова Л.В., Пугин К.Г.** Оценка эмиссии нефтепродуктов при утилизации загрязненной тары из полиэтилена 270
- Нефедова Л.В., Рафикова Ю.Ю.** Оценка роли развития гелиоэнергетики как инструмента энергетического перехода в России 278
- Украинский И.С., Майорова Л.П., Саликов Д.А., Шевчук А.С., Чайников Г.А.** Повторное использование бетонного и кирпичного лома в качестве заполнителей в бетон 291

- НОВОСТИ** 302

CONTENTS

ECOLOGY

- Rakhimov I.I., Ibragimova K.K.** Attractiveness of sports facilities and mass recreation and physical culture zones for birds 159
- Tantsyrev N.V., Ivanova N.S., Petrova I.V.** Air temperature changes due to altitude above sea level in the Northern Ural Mountains 169
- Shcheglov G.A., Masloboev V.A.** Methodological approaches to the electromagnetic radiation effects on microorganisms 179
- Obuzdina M.V., Rush E.A.** Special aspects of ecosystem recreation in the area of dumps of sub-standard zeolite-containing rocks of Holinsky deposit of Eastern Transbaikalia 191

HUMAN ECOLOGY

- Rusakova M.A., Kolesnikov R.A., Shinkaruk E.V.** Chemical pollution in Arctic cities: public health risk assessment and solutions 201
- Yakovleva T.P., Soshenko M.V., Stepanova A.I., Koverkina E.V.** Working conditions of trade workers and their adaptation during the COVID-19 pandemic 212

BIOLOGICAL RESOURCES

- Shcheglov G.A.** Chlorella growth stimulation depending on the duration of extremely high frequencies electromagnetic radiation exposure 225

ENVIRONMENTAL MONITORING

- Sherstobitov D.N., Ermakov V.V., Pystin V.N., Tupitsyna O.V.** Monitoring of the development of blue-green algae in the Kuibyshev reservoir using remote sensing indices 232
- Gusak D.V.** Device concept for organization of monitoring network 241
- Salazar Flores C.A., Kurbatova A.I., Mikhaylichenko K.Y., Barannikova S.I.** Comprehensive water quality assessment of surface sources in the city of Latacunga and the canton Pedro Vicente Maldonado in Ecuador 251

INDUSTRIAL ECOLOGY

- Zhang X., Pinaev V.E.** Questions of accumulated environmental harm – People’s Republic of China 265
- Salakhova V.K., Rudakova L.V., Pugin K.G.** Evaluation of the emission of petroleum products during the disposal of contaminated polyethylene cans 270
- Nefedova L.V., Rafikova Yu.Yu.** Assessment of the solar energy development role as a tool for the energy transition in Russia 278
- Ukrainskiy I.S., Mayorova L.P., Salikov D.A., Shevchuk A.S., Chainikov G.A.** Reuse of concrete and brick scrap as aggregates 291

- NEWS** 302



ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-159-168

EDN: SCCKJL

УДК 504.05/06

Научная статья / Research article

Привлекательность спортивных объектов и зон массового отдыха и физической культуры горожан для птиц

И.И. Рахимов  , К.К. Ибрагимова 

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Российская Федерация
 rakhim56@mail.ru

Аннотация. Птицы, заселяющие городские территории, вследствие процессов урбанизации приобретают разнообразные адаптации к новым условиям обитания. Спортивные сооружения, зоны для массового отдыха и физической культуры горожан стали характерным обязательным компонентом городской застройки. Выявлены трофические связи и многочисленные поведенческие реакции, конкретно связанные со спецификой и характером использования объектов физической культуры.

Ключевые слова: птицы и спортивные сооружения, учеты птиц на спортивных объектах, видовой состав птиц спортивных объектов

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

История статьи: поступила в редакцию 15.06.2022; доработана после рецензирования 10.12.2022; принята к публикации 07.02.2023.

© Рахимов И.И., Ибрагимова К.К., 2023



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

Для цитирования: Рахимов И.И., Ибрагимова К.К. Привлекательность спортивных объектов и зон массового отдыха и физической культуры горожан для птиц // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 159–168. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-159-168>

Attractiveness of sports facilities and mass recreation and physical culture zones for birds

Ilgizar I. Rakhimov  , Kadriya K. Ibragimova 

Kazan (Privolzhsky) Federal University, Kazan, Russian Federation

rakhim56@mail.ru

Abstract. Birds inhabiting urban areas in the process of urbanization acquire a variety of adaptations to new habitat conditions. Sports facilities, areas for mass recreation and physical culture of citizens have become a characteristic mandatory component of urban development. Trophic connections and numerous behavioral reactions, specifically related to the specifics and nature of the use of physical culture objects, have been revealed.

Keywords: birds and sports facilities, bird counts at sports facilities, species composition of birds at sports facilities

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

Article history: received 15.06.2022; revised 10.12.2022; accepted 07.02.2023.

For citation: Rakhimov II, Ibragimova KK. Attractiveness of sports facilities and mass recreation and physical culture zones for birds. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):159–168. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-159-168>

Введение

Современный город трудно представить без спортивных сооружений, так как физическая культура становится для большинства горожан неотъемлемой частью нашей жизни. Мы сейчас не говорим о спортплощадках, созданных практически в каждом школьном дворе, хоккейных коробках и детских футбольных полях. Миллионы людей посещают различные спортивные клубы и секции, созданные на основе крупных спортивных сооружений, возведенных в ходе подготовки к крупным спортивным мероприятиям. Олимпиады, Всемирные универсиады, чемпионаты различного уровня и по различным видам спорта подарили многим городам новые стадионы, бассейны и другие объекты спортивных состязаний. Так, в Казани к XXVII Всемирной летней Универсиаде (2013) и чемпионату мира по футболу (2018) и другим спортивным первенствам построены десятки крупных спортивных сооружений, которые изменили ландшафтный облик города и стали объектами отдыха горожан. Для проведения данных мероприятий было задействовано около 60 спортивных сооружений, около 30 строений были вновь построены.

Согласно официальной статистике Министерства по делам молодежи и спорта Республики Татарстан, в распоряжении жителей города 2053 спортивных объекта. Это 15 стадионов, 971 спортивная площадка, 381 спортзал, 63 плавательных бассейна и 623 нестандартных спортивных сооружения.

Результаты исследований

Рост городов и расширение площадей антропогенного ландшафта приводят к изменениям условий обитания животных и приобретению разнообразных адаптаций к трансформированной среде, что отмечается в работах Ю.А. Исакова и В.М. Константинова [1; 2]. Спортивные сооружения являются неотъемлемой частью антропогенного ландшафта. Новые спортивные объекты в городской черте не только изменили облик городских кварталов, но и повлияли на условия обитания животных антропогенных биотопов, в частности птиц.

Данная работа посвящена изучению видового состава птиц спортивных сооружений, выявлению экологических связей между определенными видами и компонентами новой среды обитания.

Основная цель нашей работы заключалась в выявлении экологических связей птиц со спортивными сооружениями г. Казани, для чего определялись видовой состав птиц на каждом объекте, численность и характер пребывания фауны птиц на каждой территории.

Задачи исследований:

- 1) выявить видовой состав птиц и характер использования ими спортивных объектов;
- 2) охарактеризовать состав, численность и характер пребывания фауны птиц на территории «Казань-Арены», Дворца водных видов спорта, Центрального стадиона и стадиона «Рубин»;
- 3) определить разнообразие форм использования птицами данных объектов.

Сбор материала проводился путем маршрутных учетов, с регистрацией всех увиденных птиц, вне зависимости от расстояния. Фиксировались и описывались различные акты поведения птиц на спортивных сооружениях.

Одним из критериев при оценке степени толерантности птиц к фактору беспокойства служит «дистанция испугивания». Началом адекватной защитной реакции на фактор беспокойства со стороны человека считают любую смену рода активности птиц, выражающуюся в появлении нового элемента в серии элементарных двигательных актов.

Всего за период наблюдений с 2013 по 2021 г. было проведено 264 учета и зарегистрировано 1475 особей птиц. За время наших исследований на территории спортивных сооружений было зарегистрировано 16 видов птиц.

В антропогенном ландшафте городские лесопарковые зоны, крупные городские сады и парки со спортивными сооружениями и другие объекты

массовой рекреации жителей города занимают особое место. Это обусловлено тем, что эти биотопы являются местом обитания различных групп животных, в первую очередь птиц. Несмотря на многолюдность и сильный антропогенный пресс со стороны человека, птицы успешно осваивают эти объекты. Они являются пригодными для гнездования многих видов птиц внутри урбанизированной территории. Это место поиска корма, отдыха многих представителей орнитофауны. Птицы в процессе освоения антропогенных территорий в первую очередь осваивают сходные с природными экосистемами биотопы [3; 4]. Городские зеленые территории являются такими местообитаниями. Но и современные элементы городской застройки привлекают птиц в не меньшей степени. Структура населения, плотность, видовой состав и другие показатели авифауны существенно отличаются друг от друга и зависят от конкретных условий. На фауну влияет площадь биотопа, биотопическое окружение, древесный состав, возраст насаждений, уровень рекреационной нагрузки и др. По данным И.И. Рахимова [5], в жилых кварталах центра Казани в гнездовое время встречается до 15 видов, в парках 25...30, в лесопарковой зоне – 50...60 видов птиц. При этом, как отмечает М. Лунык [3], чем лучше сохранились на территории города элементы естественных ландшафтов и чем больше их площадь, тем богаче и разнообразнее фауна города. Так, древесные насаждения парков служат своеобразными рефугиумами для дендрофильных группировок птиц в городе, а в тех случаях, когда древесные насаждения смыкаются с лесными участками лесопарковой зоны, они являются экологическими коридорами для проникновения лесных видов на городскую территорию.

Крупные парки, лесопарк «Лебяжье» и прибрежная зона водоемов г. Казани в своей структуре содержат значительное количество спортивных объектов, которые привлекают птиц и «используются» ими в различных направлениях жизнедеятельности. Активное строительство перед Летней универсиадой 2013 г. в Казани завершилось открытием многочисленных спортивных объектов. Это обстоятельство стало объектом интереса со стороны орнитологов, экологов и послужило основой проведения исследований на спортивных объектах города.

Наблюдения и учеты птиц проведены на территории как вновь сооруженных зданий («Казань-Арена», Дворец водных видов спорта, Казанская академия тенниса), так и ранее построенных спортивных зданий (Центральный стадион, Дворец спорта, «Баскет-холл», стадион «Рубин» и др.). Из мест массового отдыха горожан в качестве объектов для наблюдений выбраны лесопарк «Лебяжье» и береговая зона системы озер Кабан. На этапе исследований 2013 г. наибольший интерес представляли наблюдения на спортивных объектах универсиады.

В результате проведенных исследований всего отмечено 18 видов птиц. Это те виды, которые связаны экологически с территорией спортивных объектов и отмечены непосредственно на спортивных сооружениях города. Характер их пребывания на отдельных объектах представлен в табл. 1.

Таблица 1. Видовой состав орнитоценоза спортивных объектов г. Казани /
 Table 1. The species composition of the ornithocene of sports facilities in Kazan

| Виды птиц / Bird Species | Казань- Арена / Kazan- Arena | Дворец водных видов спорта / Palace of Water Sports | Казань- ская академия тенниса / Kazan Tennis Academy | Цен- тральный стадион / Central Stadium Sports | Дворец спорта / Sports Palace | Баскет- холл / Palace Basket Hall | Стадион «Рубин» / Rubin Stadium |
|--|---------------------------------------|---|--|---|--|---|--|
| 1. Чеглок / <i>Falco subbuteo</i> | | | | + | | | + |
| 2. Перепелятник / <i>Accipiter nissus</i> | | | | | | | + |
| 3. Голубь сизый / <i>Columba livia</i> | + | | + | г | + | + | + |
| 4. Стриж черный / <i>Apus apus</i> | + | | + | + | + | г | г |
| 5. Ласточка городская / <i>Delichon urbica</i> | + | | | + | | | |
| 6. Ласточка береговушка / <i>Riparia riparia</i> | + | | | | | | |
| 7. Трясогузка белая / <i>Motacilla alba</i> | + | + | + | г | + | г | г |
| 8. Ворона серая / <i>Corvus cornix</i> | | + | + | г | + | + | г |
| 9. Грач / <i>Corvus frugilegus</i> | | | | + | | | + |
| 10. Галка / <i>Corvus monedula</i> | + | + | + | + | г | + | г |
| 11. Синица большая / <i>Parus major</i> | + | | + | + | | | + |
| 12. Каменка обыкновенная / <i>Oenanthe oenanthe</i> | + | + | + | | | | |
| 13. Горихвостка обыкновенная / <i>Phoenicurus ochruros</i> | | | | | | + | г |
| 14. Мухоловка серая / <i>Muscicapa striata</i> | | | | + | | | + |
| 15. Скворец обыкновенный / <i>Sturnus vulgaris</i> | | | | + | | | + |
| 16. Воробей домовый / <i>Passer domesticus</i> | + | + | + | г | + | + | г |
| 17. Воробей полевой / <i>Passer montanus</i> | + | + | | + | | + | г |
| 18. Щегол / <i>Carduelis carduelis</i> | | | | | | | + |
| <i>Всего / Total</i> | 10 | 6 | 8 | 13 | 6 | 8 | 15 |
| <i>Гнездятся / To Nest</i> | - | - | - | 4 | 1 | 2 | 7 |

Степень озеленения прилегающей территории, близость транспортных магистралей, многолюдность, характер использования спортивного объекта и другие антропогенные факторы существенно влияют на состав авифауны. По данным С.И. Божко [6], при значительном сходстве орнитофауны они отличаются степенью действия антропогенных факторов, которые и определяют характер распределения птиц. Здесь может гнездиться незначительное количество видов, а большинство птиц их посещает в поисках корма.

Открытые стадионы и спортивные площадки дают больше возможностей для птиц-посетителей. Например, экологическая группа птиц-воздухореев – стрижи и ласточки – активно использует открытое пространство спортивного поля для отлова своей добычи. Как известно, над зеленым полем стадиона и при значительном скоплении зрителей наблюдается концентрация кровососущих двукрылых насекомых, что привлекает эти виды птиц. В значительной части большая возможность и результативность поиска корма определяет стратегию кормодобывания ряда видов птиц. Так, белые трясогузки охотно досматривают стоящие на стоянке машины и вытаскивают погибших насекомых из решетки передней панели автомобиля. Сизые голуби, воробьи и галки постоянно «дежурят» у торговых точек. Не остаются без внимания и опустевшие арены стадионов. Большие синицы, трясогузки, воробьи, галки и вороны охотно осматривают ряды опустевших сидений в поисках корма. Появление над стадионами хищных чеглока и ястреба-перепелятника является следствием скопления мелких птиц у спортивных сооружений. Так, на стадионе «Рубин» над полем регулярно наблюдаются чеглок и перепелятник.

Закрытые спортивные сооружения менее привлекательны, но и они нередко посещаются птицами. Современные материалы, из которых возводятся спортивные здания, обладают значительной теплопроводностью и согреваются на солнце, даже при незначительной температуре воздуха. Особенно это заметно весной, когда начинают просыпаться различные беспозвоночные. Собираясь на прогреваемых поверхностях спортивных сооружений, насекомые, паукообразные становятся доступной добычей синиц, мухоловок, горихвосток.

Экологические связи птиц со спортивными сооружениями сформировались, и эти связи с каждым годом становятся очевиднее и устойчивее. Прослеживаются причинно-следственные связи. Так, многие птицы подлетают к тем или иным спортивным объектам с целью находки корма на этой территории в дни проведения соревнований. К примеру, серые вороны, которые присутствовали практически всех спортивных объектах, в основном питаются остатками, которые выбрасываются после игр в мусорные баки рядом со стадионами и в другое время не отмечены. Наблюдения показали, что серые вороны питаются не только отходами. При добывании пищи порой могут пускаться на воровство и попрошайничество. При этом птицы проявляют разнообразные врожденные и приобретенные опытным путем пищевые стратегии. При нахождении пищи и манипулировании ею врановыми птицами часто помогают их хорошая память, сообразительность, элементарная рассудочная деятельность. Они способны распознавать и соответственно реагировать на мужчину или женщину, молодого человека или пожилого, «бомжа» или просто прохожего.

Голуби, в свою очередь, собираются рядом с открытыми стадионами и охотно принимают подкормку от посетителей. Многие болельщики

подкармливают птиц, тем самым подкрепляют связь между фактом скопления людей на спортивных мероприятиях и доступностью корма. Но есть и другая сторона этих массовых скоплений птиц на спортивных сооружениях города. Рост численности многих птиц, а в особенности ворон и голубей, приносит вред многим крытым стадионам и коммунальным службам. Крыши спортивных объектов облюбовали сизые голуби, особенно если поблизости находятся места с их гнездами или территории, где население постоянно подкармливает птиц. Потёки помёта на крышах стадионов активизируют коррозионные процессы. Стаи ворон или галок нередко обдирают красочное покрытие зданий, царапают их своими когтями. Реставрация и ремонт таких повреждений обходятся государству в немалую сумму. Защита от коррозии металлических конструкций (крыш, вентиляционных труб, карнизов), вызываемой птичьим помётом, стала серьёзной проблемой и для спортивных сооружений. Именно поэтому на многих спортивных объектах начали активно отпугивать птиц, в частности устанавливая акустическое оборудование для воспроизведения различных звуков хищных птиц.

Но, по мнению работников стадионов, эти отпугиватели не очень эффективны. Многие городские птицы уже привыкли к этим звукам и оборудованию и не реагируют на них.

Современные материалы, из которых возводятся спортивные здания, обладают значительной теплопроводностью и согреваются на солнце, даже при незначительной температуре воздуха. Скорее всего, именно поэтому птицы, в нашем случае это голуби, используют спортивные объекты для постройки своих гнезд. В частности, на центральном стадионе г. Казани мы обнаружили два гнезда. Это говорит о том, что птицы успешно освоили территорию спортивного объекта.

Зимой, обычно в метель или когда на улице очень холодно, голуби используют спортивные объекты как укрытие от неблагоприятных природных условий. Это наблюдалось на крытых спортивных сооружениях, которые отапливаются в зимний период.

Весной, когда становится значительно теплее, начинают оживать различные беспозвоночные. Собираясь на прогреваемых поверхностях спортивных сооружений, насекомые, в частности паукообразные, становятся доступной добычей синиц, галок или трясогузок.

Помимо птиц спортивные сооружения посещают и домашние животные, собаки и кошки. Здесь они, как и большинство птиц, ищут различные остатки пищи либо используют как место укрытия от неблагоприятных природных условий. Например, на Центральном стадионе люди, ответственные за охрану данного спортивного объекта, в том числе дворники, признались, что подкармливают бродячих домашних животных и приносят из дома остатки пищи для бездомных собак или кошек.

Различные группы птиц используют те или иные спортивные объекты по-разному. Открытые стадионы и спортивные площадки дают больше

возможностей для птиц-посетителей, чем закрытые бассейны и спортивные арены.

Таким образом, в результате наблюдений был получен материал, анализ которого позволил заключить, что между птицами и спортивными объектами установились прочные экологические связи, главным образом трофические. Направления использования птицами спортивных объектов для поиска корма и стратегия поведения следующие:

- использование больших открытых пространств стадионов для охоты и добычи корма (ласточки, стрижи, дневные хищники);
- концентрация насекомых на прогреваемых поверхностях (трясогузки, мухоловки, воробьи);
- осмотр автомобилей, стоящих на стоянке, и поиск погибших насекомых (трясогузки, синицы, воробьи);
- осмотр территории стадионов после соревнований (голуби, вороны, галки, воробьи, скворцы);
- попрошайничество (голуби, воробьи, вороны);
- воровство (воробьи, вороны, галки, синицы).

Для некоторых видов отмечены факты гнездования и использования спортивных сооружений для постройки гнезд. Отмечено гнездование белых трясогузок, галок и домовых воробьев. Используются спортивные объекты и как укрытие от неблагоприятных факторов внешней среды (дождь, снег, низкие температуры). Например, воробьи успешно скрываются от непогоды в различных укрытиях спортивных зданий. Главная особенность спортивных сооружений как объектов, используемых птицами, – это сезонная и временная экологическая связь, привязанная к массовым спортивным мероприятиям, проводимым на данной территории.

Возникающие устойчивые трофические связи с современными зданиями и другими антропогенными факторами позволяют выработать у птиц определенные стереотипы в поведении и новые формы адаптаций, которые ранее были не свойственны птицам. Если птицы не преследуются со стороны человека, то они не проявляют особого беспокойства и мирно сосуществуют рядом с нами. Например, даже при многолюдности спортивных мероприятий у птиц дистанция испугивания уменьшается до одного метра.

Лесопарки созданы на основе естественных лесных насаждений и сохраняют элементы исходных экосистем, но факт значительного посещения этих мест отдыхающими горожанами приводит к значительному увеличению как видового состава птиц, так и их численности за счет синантропных видов. Это проявляется в составе авифауны и отражает экологические особенности лесопарковых территорий. Так, лесопарк «Лебяжье» представляет собой большой массив сосновых насаждений с примесью лиственных пород как участок сохранившихся былых лесов. Здесь плотность населения птиц составляет 800 ос./км² и отмечены 46 видов птиц, в том числе чеглок, обыкновенная

кукушка, пестрый и малый дятлы, черноголовая славка, зяблик, зеленая пересмешка, иволга и др., т.е. виды преимущественно лесного комплекса. Однако имеющиеся торговые точки, места отдыха людей, установленные мусорные контейнеры привлекают значительное количество синантропных птиц. Направления использования преимуществ мест отдыха и массового скопления людей аналогичны тому, что наблюдается на спортивных объектах. Но количество видов посетителей в лесопарковой зоне, в местах проведения национального праздника «Сабан туй» значительно больше. Так, в лесопарке «Лебяжье» отмечены сорока, ворон, сойка, коршун черный, дрозд рябинник. В 2015 г. отмечен большой пестрый дятел.

Заключение

Таким образом, территории спортивных объектов и зон массового отдыха являются объектами, привлекающими птиц, и определенным образом способствуют охране птиц и сохранению разнообразия фауны в антропогенном ландшафте. Птицы используют преимущества и возможности кормодобывания. Связь отдельных видов и их адаптации способствует формированию орнитоцена городской территории [7; 8]. Расширение площадей парков и стадионов, как мест отдыха горожан и занятия спортом, позволит обогатить видовой состав и создать благоприятные условия для обитания многих видов птиц в условиях урбанизированной территории.

Список литературы

- [1] *Исаков Ю.А.* Изменение структуры населения птиц в процессе роста городов // Птицы и урбанизированный ландшафт. М.: Каунас, 1984. С. 61–64.
- [2] *Константинов В.М.* Фауна, население и экология птиц антропогенных ландшафтов лесной зоны Русской равнины (проблемы синантропизации и урбанизации птиц): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1992. 52 с.
- [3] *Luniak M.* The avifauna of urban green areas in Poland and possibilities of managing it // Acta. ornitolog. 1983. Vol. 19, no. 1–6. P. 3–62.
- [4] Птицы городов Среднего Поволжья и Предуралья. Казань: МастерЛайн, 2001. 272 с.
- [5] *Рахимов И.И.* Авифауна Среднего Поволжья в условиях антропогенной трансформации естественных природных ландшафтов. Казань: Новое знание, 2002. 270 с.
- [6] *Божко С.И.* К характеристике процесса урбанизации птиц // Вестник ЛГУ. 1972. № 9. С. 5–14.
- [7] *Водолажская Т.И., Рахимов И.И.* Фауна наземных позвоночных урбанизированных ландшафтов Татарии (птицы). Казань: Изд-во Казанского государственного университета, 1989. 136 с.
- [8] *Вахрушев А.А.* Особенности экологии птиц-синантропов в условиях большого города. М.: МГПИ им. В.И. Ленина, 1987. 18 с.

References

- [1] Isakov Yu.A. Changing the structure of the bird population in the process of urban growth. *Birds and urbanized landscape*. Moscow: Kaunas, 1984. p. 61–64. (In Russ.)

- [2] Konstantinov VM. *Fauna, population and ecology of birds of anthropogenic landscapes of the forest zone of the Russian plain (problems of synanthropization and urbanization of birds)* (abstract of Doctor of Biological Sciences dissertation). Moscow; 1992 (In Russ.)
- [3] Luniak M. *The avifauna of urban green areas in Poland and possibilities of managing it*. Acta. ornitolog. 1983;(19):3–62. (In Russ.)
- [4] Rakhimov II. *Birds of the cities of the Middle Volga region and the Urals*. Kazan: MasterLine; 2001 (In Russ.)
- [5] Rakhimov II. *Avifauna of the Middle Volga region in the conditions of anthropogenic transformation of natural landscapes*. Kazan: Novoe znanie; 2002 (In Russ.)
- [6] Bozhko SI. On the characteristics of the process of urbanization of birds. *Bulletin of LSU*. 1972;(9):5–14. (In Russ.)
- [7] Vodolazhskaya TI, Rakhimov II. *Fauna of terrestrial vertebrates of urbanized landscapes of Tatarstan (birds)*. Kazan: Publishing House of Kazan State University (In Russ.)
- [8] Vakhrushev AA. *Features of ecology of synanthropic birds in the conditions of a big city*. Moscow: Moscow State Pedagogical Institute named after V.I. Lenin; 1987. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Рахимов Ильгизар Ильясович, доктор биологических наук, профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Российская Федерация, 420018, Казань, ул. Кремлевская, д. 8. ORCID: 0000-0002-4016-6764, Researcher ID in Web of Science: N-6575-2013. E-mail: rakhim56@mail.ru

Ибрагимова Кадрия Камилевна, кандидат биологических наук, доцент, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Российская Федерация, 420018, Казань, ул. Кремлевская, д. 8. ORCID: 0000-0002-0825-9004, Researcher ID in Web of Science: A-9612-2019. E-mail: kadriya.ibragimova@mail.ru

Bio notes:

Ilgizar I. Rakhimov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Kazan (Volga Region) Federal University, 8 Kremlevskaya St, Kazan, 420018, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-4016-6764, Researcher ID in Web of Science: N-6575-2013. E-mail: rakhim56@mail.ru

Kadriya K. Ibragimova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Kazan (Volga Region) Federal University, 8 Kremlevskaya St, Kazan, 420018, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0825-9004, Researcher ID in Web of Science: A-9612-2019. E-mail: kadriya.ibragimova@mail.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-169-178

EDN: ORFJNM

UDC 574.4:630.181

Research article / Научная статья

Air temperature changes due to altitude above sea level in the Northern Ural Mountains

Nikolai V. Tantsyrev^{ID}, Natalya S. Ivanova^{ID}✉, Irina V. Petrova^{ID}*Institute Botanic Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russian Federation*✉ i.n.s@bk.ru

Abstract. The research is devoted to an urgent modern problem: the identification of temperature factors that limit the distribution and survival of plants in the mountainous conditions of the Northern Urals. The article's aim is to determine the air temperature in four altitudinal zones of the southern part of the Northern Urals (Sverdlovsk region 59°30'N, 59°15'E) and to identify regression relationships of the obtained temperature data with control temperature data from the nearest meteorological station. Registration of air temperatures was carried out from May to September 2019 around the clock, every two hours in the mountain forest zone (at an altitude of 460 and 640 m above sea level) under the canopy of Siberian stone pine forests, in the zone of subalpine woodlands with elements of mountain forest tundra (820 m above sea level) and on a plateau in the mountain tundra zone (1030 m above sea level). It has been established that the change in air temperature at different altitude levels and at the nearest meteorological station (far from 60 km, at an altitude of 202 m above sea level) occurs relatively synchronously. Difference between average daily temperatures at altitudes of 460, 640, 820 and 1030 m above sea level and the control data of the meteorological station is 2.2, 3.0, 4.7 and 5.1°C respectively. For all altitude levels, a reliable close straight-line relationship between average daily air temperatures and meteorological station data has been established. The altitudes of 460, 640, 820 and 1030 m above sea level correspond to the coefficients of determination (R^2) equal to 0.96, 0.95, 0.92 and 0.88. The relationship of the minimum temperatures of the corresponding altitude levels with the control data is also quite high (R^2 is not lower than 0.7). With the help of the identified relationships and the obtained regression equations, it is possible to retrospectively restore the dynamics of the thermal regime according to the meteorological station data for mountain habitats of different altitudes in the southern part of the Northern Urals over a long period. Including extreme critical temperatures, which act as factors limiting the resettlement and survival of plants and determine the ecosystem biodiversity.

© Tantsyrev N.V., Ivanova N.S., Petrova I.V., 2023

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

Keywords: Northern Urals, mountain ecosystems, altitude zones, air temperature, plant communities

Acknowledgements and Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute Botanic Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences.

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

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

For citation: Tantsyrev NV, Ivanova NS, Petrova IV. Air temperature changes due to altitude above sea level in the Northern Ural Mountains. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):169–178. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-169-178>

Изменения температуры воздуха в зависимости от высоты над уровнем моря в горах Северного Урала

Н.В. Танцырев , Н.С. Иванова ✉, И.В. Петрова 

Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

✉i.n.s@bk.ru

Аннотация. Исследование посвящено актуальной проблеме – выявлению температурных факторов, лимитирующих распространение и выживаемость растений в горных условиях Северного Урала. Цель – определение температуры воздуха в четырех высотных поясах южной части Северного Урала (Свердловская область 59°30′ с.ш., 59°15′ в.д.) и выявление регрессионных связей, полученных температурных данных с контрольными данными ближайшей метеостанции. Регистрация температур воздуха проводилась с мая по сентябрь 2019 г. круглосуточно, через каждые два часа в горно-лесной зоне (на высоте 460 и 640 м над уровнем моря) под пологом кедровых лесов, в зоне подгольцовых редколесий с элементами горной лесотундры (820 м над ур. м.) и на плато в зоне горной тундры (1030 м над ур. м.). Установлено, что изменение температуры воздуха на разных высотных уровнях и на ближайшей метеостанции (на расстоянии 60 км, на высоте 202 м над ур. м.) происходит относительно синхронно. Разность среднесуточных температур на высотах 460, 640, 820 и 1030 м над уровнем моря от контрольных данных метеостанции составляет 2,2, 3,0, 4,7 и 5,1 °С соответственно. Для всех высотных уровней установлена достоверная тесная прямолинейная связь между среднесуточной температурой воздуха и данными метеостанции. Для высот 460, 640, 820 и 1030 м над уровнем моря соответствуют коэффициенты детерминации (R^2), равные 0,96, 0,95, 0,92 и 0,88. Связь минимальных температур с контрольными данными на соответствующих высотах также достаточно высока (R^2 не ниже 0,7). С помощью выявленных связей и полученных уравнений регрессии появляется возможность ретроспективного восстановления динамики термического режима по данным метеостанций для разных горных высот в южной части Северного Урала за длительный период. В том числе экстремально критические температуры, которые выступают факторами, ограничивающими расселение и выживание растений и определяющими биоразнообразие экосистем.

Ключевые слова: Северный Урал, горные экосистемы, высотные пояса, температура воздуха, растительные сообщества

Благодарности и финансирование. Работа была выполнена в рамках государственного задания Института Ботанического сада Уральского отделения Российской академии наук.

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

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

Для цитирования: *Tantsyrev N.V., Ivanova N.S., Petrova I.V.* Air temperature changes due to altitude above sea level in the Northern Ural Mountains // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 169–178. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-169-178>

Introduction

The importance of the biospheric role of mountain ecosystems is recognized by many researchers [1; 2]. Distinguished by significant biological diversity, they also perform water-regulating functions, on which half of the world's population depends [3]. At the same time, mountain ecosystems are most sensitive to external influences, including climate change [1; 3–5]. Therefore, since the second half of the 20th century, due to progressive climate change, the problem of vegetation dynamics in extreme mountainous conditions has been one of the priority areas of modern environmental research [2; 6–8]. Numerous studies confirm that climate change can go beyond the adaptive capacity of natural vegetation [9–12] and there will be a threat of catastrophic changes in biodiversity, loss of stability of both local ecosystems and the biosphere as a whole [4; 10; 13; 14]. For the Urals, which performs the water-regulating functions of two large water basins (Volga-Kama and Ob), this problem is especially acute.

Presumably due to climatic changes, in the last 30–50 years, intensive settlement and survival of forest-forming woody plants above the existing mountain treeline ecotone have been observed in the Northern Urals [15; 16]. To retrospect climate changes and their impact on the growth and development of woody plants under extreme conditions of the upper treeline ecotone, mainly dendrochronological analysis is used in combination with temperature data from regional meteorological stations [17–19]. Despite the fact that this analysis has proven itself well, it cannot be used to obtain complete information on the initial stage of the formation of dendrocenoses. Data of weather stations, sometimes located at a considerable distance, do not always make it possible to identify regional and landscape features of climatic conditions for mountain systems. Therefore, the necessary information for developing predictive models of ecosystem dynamics is sometimes not enough. Reliable long-term multi-altitude data on mountain climate, which allow checking regional climate models, exist only for very few areas, such as the European Alps [3; 20]. Therefore, the problem of identifying factors that limit the survival and distribution of plants and animals in mountainous conditions remains unresolved.

The article's aim is to establish regression relationships between the data of thermal data loggers installed in four altitudinal zones of the Northern Urals, including in the conditions of mountain tundra above the treeline ecotone, with the temperature data of the nearest weather station. In the future, the justification of the methodology reconstructed on the basis of these relationships for studying the dynamics of Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) and related species renewal above the existing upper treeline ecotone, in connection with the annual dynamics of air and the upper soil horizon temperature.

Objects

The studies were carried out for four years (2016–2019) from May to October in the southern part of the main watershed of the Northern Urals (Sverdlovsk region) at four altitudinal levels (Table 1) of Mount “Tri Bugra” (altitude 1060 m above sea level (a.s.l.) 59°30' N, 59°15' E): in the mountain-taiga zone under the canopy of Siberian stone pine forest at altitudes of 460 m a.s.l. (P1) and 640 m a.s.l. (P2); in the zone of subalpine woodlands with elements of mountain forest tundra at an altitude of 820 m a.s.l. (P3); on a plateau in the mountain tundra zone at an altitude of 1030 m a.s.l. (P4). The nearest control meteorological station is located at a distance of 60 km from the objects of study in Karpinsk town (59°46' N, 60°00' E at an altitude of 202 m a.s.l.).

In the low-mountain zone in the grass-green-moss forest type, the forest stand is represented by *Picea obovata* Ledeb. 30%, *Pinus sibirica* 20%, *Pinus sylvestris* L. 20%, *Abies sibirica* Ledeb. 10%, *Populus tremula* L. 20%. In the mid-mountain zone, also in the grass-green-moss forest type, the forest stand is represented by *Pinus sibirica* 60%, *Picea obovata* 30%, *Abies sibirica* 10% and slightly *Betula pendula* Roth. Subalpine woodlands of grass-stony forest type are represented by *Pinus sibirica* 70%, *Picea obovata* 20%, *Betula pendula* 10%. In the zone of mountain stony shrub-moss-lichen tundra in the last 30–50 years, there has been an abundant renewal of *Pinus sibirica* [16]. The total number of its undergrowth not older than 55 years with an average height of 27 cm is 6.0 thousand ind./ha. The undergrowth of other woody forest-forming species is single.

Table 1. Characteristics of research objects

| № | Altitude, m above sea level (a.s.l.) | Mountain zone | Average forest stand parameters | | | |
|----|---|--------------------|---------------------------------|-------|-------------------|------|
| | | | H, m | D, cm | S, m ² | C, % |
| P1 | 460 | Low-mountain taiga | 24 | 28 | 39.5 | 75 |
| P2 | 640 | Mid-mountain taiga | 18 | 32 | 22.4 | 60 |
| P3 | 820 | Subalpine taiga | 6.5 | 20 | 11 | 28 |
| P4 | 1030 | Mountain tundra | - | - | - | - |

Notes. H, m – average stand height, m; D, cm – average stem diameter at a height of 1.3 m, cm; S, m² – basal area, m²; C, % – crown projective cover of the forest canopy, %.

Methods

Altitude above sea level (a.s.l.) was determined using a GPS navigator. Recording of air temperatures at a height of 2 m (with microclimatic sun protection) from the soil surface and soil at a depth of 5 cm was carried out by thermal data loggers installed at the corresponding altitude levels around the clock every two hours. Based on the obtained time series of temperature dynamics, the following indicators were calculated: average daily temperature; the number of days with an average daily temperature above 5 and 10°C and below 0°C; the sum of positive average daily temperatures; average temperature for the summer observation period (from May 21 to August 31); difference of average daily temperatures at altitude levels with the control data of the weather station. On the basis of regression analysis, a study was made of the relationship between air temperatures at high-altitude levels and weather stations. The article presents the results of research in 2019.

Results

Table 2 summarizes the results of observations from May 21 to August 31, 2019. As the location of measurements increases, there is a decrease in average daily air temperatures and, accordingly, an increase in the difference with the weather station data.

Table 2. The main temperature parameters in the studied altitude zones for the period from May 21 to August 31 in 2019

| Mountain zone Altitude, m above sea level | M 202 | P1 460 | P2 640 | P3 820 | P4 1030 |
|--|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Nd with $t^{\circ} > 5^{\circ}\text{C}$ | 100 | 98 | 96 | 88 | 85 |
| Nd with $t^{\circ} > 10^{\circ}\text{C}$ | 86 | 73 | 67 | 57 | 50 |
| Nd with $t^{\circ} < 0^{\circ}\text{C}$ | - | - | - | 3 | 3 |
| $\Sigma (+t^{\circ}\text{C})$ | 1479.1 | 1249.2 | 1170.6 | 1004.2 | 962.1 |
| $t^{\circ}\text{C}$ average for the summer period | 14.8 | 12.5 | 11.8 | 10.1 | 9.8 |
| $t^{\circ}\text{C}$ min | -2.0 | -2.5 | -3.0 | -5.0 | -6.0 |
| $t^{\circ}\text{C}$ max | +31.4 | +25.5 | +24.5 | +23.5 | +23.0 |
| The difference between average daily temperatures in high-altitude zones (P) with weather station data (M) | - | 2.2±0.09 | 3.0±0.01 | 4.7±0.12 | 5.1±0.15 |

Notes. M – control date of the meteorological station; Nd – days number of the average daily temperature; t° – temperature, degrees C°; $\Sigma (+t^{\circ}\text{C})$ – the sum of the positive average daily temperature.

Possible impact on temperature data at 460 and 640 m a.s.l. renders the insulating surface of the tree canopy (crown projective cower is about 70%). In subalpine woodlands at an altitude of 820 m a.s.l., crowns of sparse trees do not form a continuous closed canopy (crown projective cower is not more than 30%), and there are no trees in the mountain tundra (1030 m a.s.l.). Nevertheless, the change in air temperature at different altitude levels occurs relatively synchronously (Figure 1).

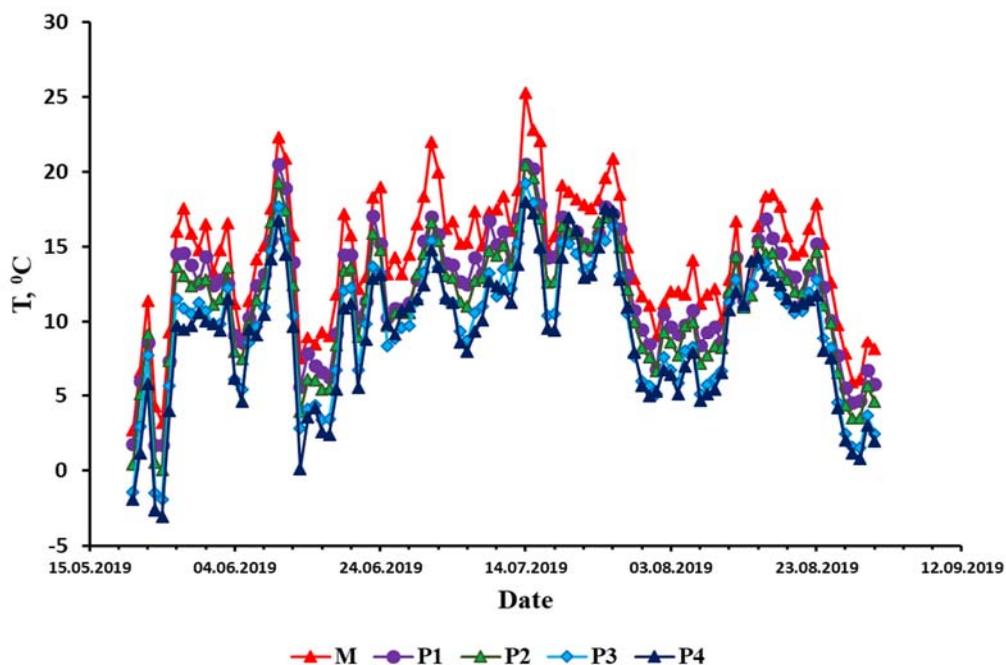


Figure 1. Dynamics of the average daily temperature (T , °C) in the corresponding altitude zone:
 P1 – 460 m a.s.l.; P2 – 640 m a.s.l.; P3 – 820 m a.s.l.; P4 – 1030 m a.s.l.;
 M – control date of meteorological station

The warmest period (about 40 days long) is observed from June 21 to July 31. In addition, two short (no more than 10 days) warm periods were observed (including in the mountain tundra at an altitude of 1030 m a.s.l.) in early June (June 1–10) and in mid-August (August 11–20). At the same time, for all high-altitude levels, a reliable close straight-line relationship was established between the average daily air temperatures recorded by thermal data loggers and the weather station data (Figure 2 a, c, e, g). For altitudes of 460, 640 and 820 m a.s.l., the coefficient of determination (R^2) is 0.96, 0.95 and 0.92, respectively, for an altitude of 1030 m a.s.l. already only 0.88.

The resulting regression equations for average daily temperatures (Figure 2 a, c, e, g) indicate the following facts. Firstly, with an increase in altitude above sea level, the coefficients “a” at the value of x increase from 0.91 at an altitude of 460 m a.s.l. to 0.99 at an altitude of 1030 m a.s.l. At the same time, they are close to one for all studied altitudinal zones. Secondly, the coefficient “b” in the equation increases from 0.87 at altitude 460 m a.s.l. to 4.93 at an altitude of 1030 m a.s.l., i.e. more than 5.5 times. This indicates that the differences in temperature with the weather station data are characterized mainly by the free term of the equation “b”. Thirdly, the tightness of the revealed dependencies remains quite high for all the studied altitudinal zones. Despite the manifestation of sudden temperature changes with an increase in the terrain altitude, which reduce the tightness of established connections.

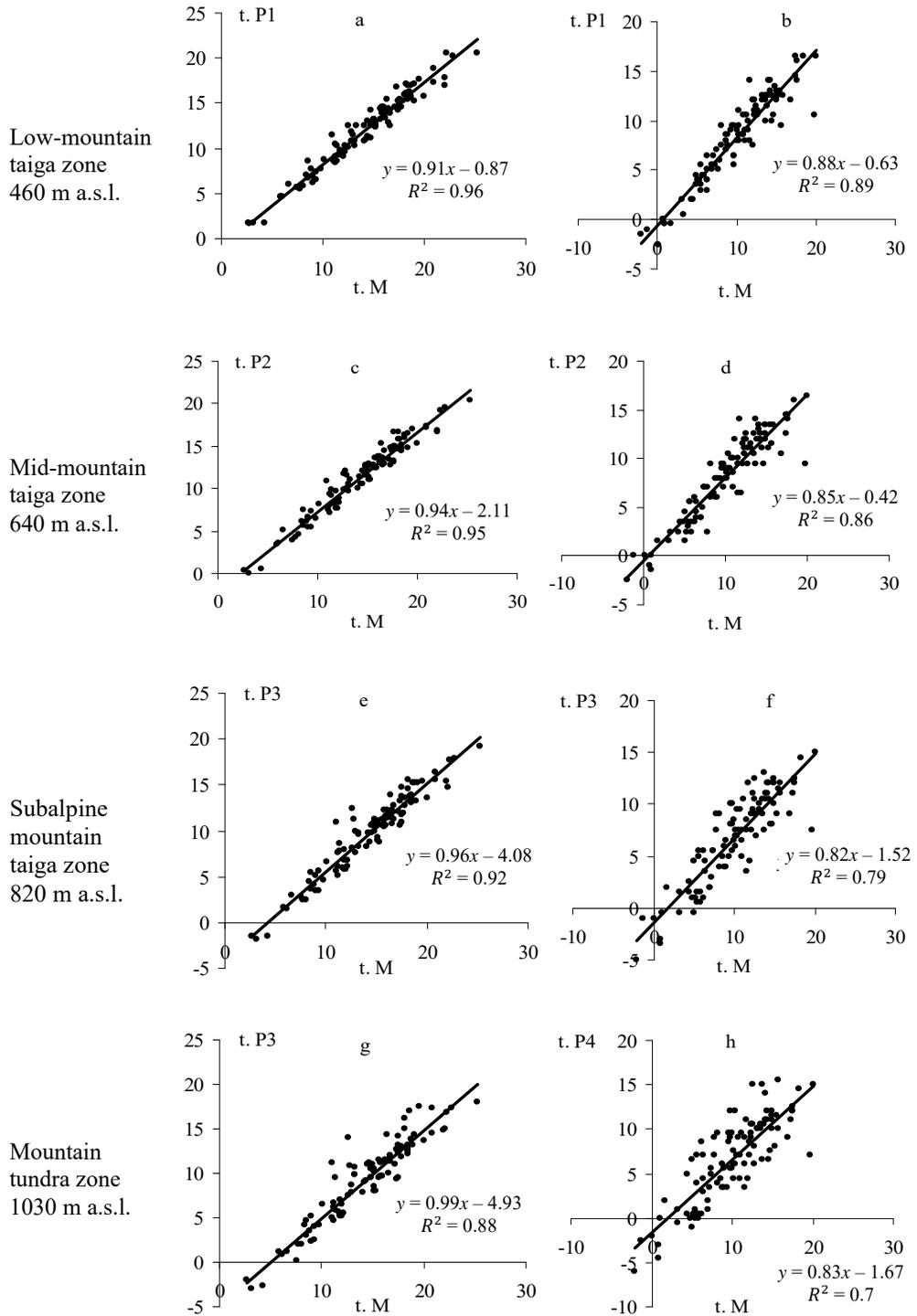


Figure 2. Dependence of the average and minimum daily air temperatures (t) in the corresponding altitudinal zones (P) on the temperature at the weather station (M)

Additionally, we investigated the relationship of the minimum daily temperatures depending on the altitude above sea level (Figure 2 b, d, f, h) with the control data of the weather station. The indicators under study are important for understanding the expansion and contraction of the ranges of plant species, their survival and differentiation of vegetation into altitudinal zones. For the average daily minimum (Figure 2 b, d, f, h), there was a tendency for the values of the coefficients “a” to decrease at the value of x with an increase in altitude above sea level (from 0.88 at an altitude of 460 m a.s.l. to 0.83 at an altitude of 1030 m a.s.l.). In general, the tightness of the relationship between the minimum temperatures of all the studied altitudinal zones and the weather station data also remains high (R^2 does not fall below 0.7).

A more detailed analysis of frosts showed that during the measurement period from May 21 to August 31, 2019 (103 days) in the zone of subalpine woodlands (P3) at an altitude of 820 m a.s.l. and in the mountain tundra zone (P4) at an altitude of 1030 m a.s.l. three days were observed (May 21, 24, and 25) with average daily negative temperatures. At the lower altitudes (460 m a.s.l. (P1) and 640 m a.s.l. (P2)) these days, the average daily air temperature remained positive (0.5–1.7°C), but at night it dropped to –3.0°C. In addition, at altitudes of 820 (P3) and 1030 m a.s.l. (P4) two summer night frosts were revealed: June 13 (up to –2.0°C) and June 15 (up to –0.5°C).

Conclusion

As a result of summer-season observations, close linear relationships of air temperatures on four mountain high-altitude zones of the Northern Urals (including the mountain tundra zone) with the control temperature data of the meteorological station in Karpinsk town were established. Regression equations are obtained. With the help of the identified relationships, it is possible to retrospectively restore the dynamics of the thermal regime according to the data of a weather station for mountain habitats of different altitudes in the southern part of the Northern Urals over a long period. Among other things, they make it possible to identify the minimum temperatures that act as factors limiting the distribution and survival of plants, determine the species composition and biodiversity of ecosystems. Thus, the long-standing methodological problem of quantitative analysis of the influence of climate dynamics on many population-biological processes, in particular, on the dynamics of the upper mountain treeline ecotone, can be solved to some extent.

References

- [1] Pătru-Stupariu I, Hossu CA, Grădinaru SR, Nita A, Stupariu M-S, Huzui-Stoiculescu A, Gavrilidis A-A. A Review of Changes in Mountain Land Use and Ecosystem Services: From Theory to Practice. *Land*. 2020;9(9):336. <https://doi.org/10.3390/land9090336>
- [2] Gao J, Tang X, Lin S, Bian H. The Influence of Land Use Change on Key Ecosystem Services and Their Relationships in a Mountain Region from Past to Future (1995–2050). *Forests*. 2021;12(5):616. <https://doi.org/10.3390/f12050616>

- [3] Kohler T, Maselli D. *Mountains and Climate Change – From Understanding to Action*. Published by Geographica Bernensia with the support of the Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC), and an international team of contributors. Bern; 2009. 78 p.
- [4] Ivanova NS. *Forest typological features of biodiversity and restoration-age dynamics of vegetation of mountain forests of the Southern and Middle Urals* (Dissertation of the Doctor of Biological Sciences). Yekaterinburg: Ural State Forestry University; 2019. 304 p. (In Russ.)
- [5] Jandl R, Kindermann G, Foldal C, Schüler S, Bouissou C. Early Performance of Tree Species in a Mountain Reforestation Experiment. *Forests*. 2021;12(2):256. <https://doi.org/10.3390/f12020256>
- [6] Mengist W, Soromessa T, Legese G. Ecosystem services research in mountainous regions: A systematic literature review on current knowledge and research gaps. *Science of The Total Environment*. 2020;702:134581. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134581>
- [7] Fomin V, Ivanova N, Mikhailovich A. Genetic forest typology as a scientific and methodological basis for environmental studies and forest management. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020;609:012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/609/1/012044>
- [8] Fomin V, Ivanova N, Mikhailovich A, Zolotova E. Problem of climate-driven dynamics in the genetic forest typology. *Modern synthetic methodologies for creating drugs and functional materials (mosm2020): AIP Conference Proceedings*. 2021;2388:030007. <https://doi.org/10.1063/5.0068806>
- [9] Maiti R, Rodriguez HG, Ivanova NS. *Autoecology and Ecophysiology of Woody Shrubs and Trees: Concepts and Applications*. John Wiley & Sons; 2016. 352 p. <https://doi.org/10.1002/9781119104452>
- [10] Zevallos J, Lavado-Casimiro W. Climate Change Impact on Peruvian Biomes. *Forests*. 2022;13(2):238. <https://doi.org/10.3390/f13020238>
- [11] Ivanova NS, Zolotova ES. Adaptation of Forest Ecosystems to the Humidity Factor in the Middle Urals. *Uchenye zapiski kazanskogo universiteta Seriya estestvennyye nauki*. 2019;161(2):293–306. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2019.2.293-306> (In Russ.)
- [12] Ivanova NS, Zolotova ES, Li G. Influence of soil moisture regime on the species biomass of the herb layer of pine forests in the Ural Mountains. *Ecological Questions*. 2021;32(2). <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2021.011>
- [13] Kellomäki S. *Managing Boreal Forests in the Context of Climate Change: Impacts, Adaptation and Climate Change Mitigation*. CRC Press, 2016, 365 p. <https://doi.org/10.1201/9781315166063>
- [14] Ivanova NS. Interdisciplinary Approach for Sustainable Forest Management. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*. 2018;9(2):257–261. <https://doi.org/10.23910/ijbsm/2018.9.2.1859>
- [15] Shiyatov SG, Mazepa VS. Contemporary expansion of siberian larch into the mountain tundra of the Polar Urals. *Russian Journal of Ecology*. 2015;46(6):495–502. <https://doi.org/10.1134/s1067413615060168> (In Russ.)
- [16] Sannikov SN, Tantsyrev NV, Petrova IV. Invasion of Siberian Pine Populations in Mountain Tundra in the Northern Urals. *Contemporary Problems of Ecology*, 2018;11(4):396–405. <https://doi.org/10.15372/sej20180406> (In Russ.)
- [17] Shiyatov SG. *Dendrochronology of the upper forest boundary in the Urals*. Moscow: Nauka; 1986. 136 p. (In Russ.)
- [18] Hagedorn F, Rigling A, Shiyatov SG, Mazepa VS, Devi NM, Grigor'ev AA, Terent'ev M, Moiseev PA, Bartysch AA, Fomin VV, Kapralov DS, Bugman H. Treeline

- advances along the Urals Mountain range – driven by improved winter conditions? *Global Change Biology*. 2014;20(11):3530–3543. <https://doi.org/10.1111/gcb.12613>
- [19] Hagedorn F, Dawes MA, Bubnov MO, Devi NM, Grigoriev AA, Mazepa VS, Shiyatov SG, Moiseev PA, Nagimov ZY. Latitudinal decline in stand biomass and productivity at the elevational treeline in the Ural Mountains despite a common thermal growth limit. *Journal of Biogeography*. 2020;47(8):1827–1842. <https://doi.org/10.1111/jbi.13867>
- [20] Körner C. *Alpine plant life. Functional plant ecology and high mountain ecosystems*. Berlin: Springer Verlag; 1999, 238 p.

Bio notes:

Nikolay V. Tantsyrev, Candidate of Biological Science, Researcher of Laboratory of Population Biology of Woody Plants and Forest Dynamics, Institute Botanic Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 202a, 8 Marta St, Yekaterinburg, Russian Federation, 620144, Scopus Author ID: 23995967800, ResearcherID: AAW-6195-2021, ORCID: 0000-0003-1904-4751, Elibrary AuthorID: 1005870. E-mail: 89502076608@mail.ru.

Natalya S. Ivanova, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Institute Botanic Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 202a, 8 Marta St, Yekaterinburg, Russian Federation, 620144, Scopus Author ID: 56443439900, ResearcherID: Q-3292-2017, ORCID: 0000-0003-0845-9433, Elibrary AuthorID: 140717. E-mail: i.n.s@bk.ru

Irina V. Petrova, Doctor of Biological Sciences, Director, Institute Botanic Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 202a, 8 Marta St, Yekaterinburg, Russian Federation, 620144, Scopus Author ID: 55935284300, ResearcherID: N-6695-2018, ORCID: 0000-0001-5689-8452, Elibrary AuthorID: 89842. E-mail: irina.petrova@botgard.uran.ru

Сведения об авторах:

Танцырев Николай Владимирович, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Ботанический сад УрО РАН, ул. 8 Марта, 202а, г. Екатеринбург, 620144, Россия, Scopus Author ID: 23995967800, ResearcherID: AAW-6195-2021, ORCID: 0000-0003-1904-4751, Elibrary AuthorID: 1005870. E-mail: 89502076608@mail.ru

Иванова Наталья Сергеевна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Ботанический сад УрО РАН, ул. 8 Марта, 202а, г. Екатеринбург, 620144, Россия, Scopus Author ID: 56443439900, ResearcherID: Q-3292-2017, ORCID: 0000-0003-0845-9433, Elibrary AuthorID: 140717. E-mail: i.n.s@bk.ru

Петрова Ирина Владимировна, доктор биологических наук, директор, Ботанический сад УрО РАН, ул. 8 марта 202а, г. Екатеринбург, 620144, Россия, Scopus Author ID: 55935284300, ResearcherID: N-6695-2018, ORCID: 0000-0001-5689-8452, Elibrary AuthorID: 89842. E-mail: irina.petrova@botgard.uran.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-179-190

EDN: YUFUXW

УДК 57.042.5

Обзорная статья / Review article

Методы исследования эффектов электромагнитного излучения на микроорганизмы

Г.А. Щеглов  , В.А. Маслобоев 

*Институт проблем промышленной экологии Севера
Федерального исследовательского центра Кольского научного центра
Российской академии наук, Анатиты, Российская Федерация*
 g.scheglov@ksc.ru

Аннотация. Все живые организмы окружены электромагнитными излучениями (ЭМИ) естественного и искусственного происхождения, которые оказывают воздействие на организмы. Количество источников искусственных излучений растет, однако механизмы воздействия ЭМИ на живые организмы до сих пор исследованы не полностью, несмотря на большое количество работ. При этом понимание механизмов воздействия различных ЭМИ может дать толчок в развитии различных биотехнологий. Чтобы решить проблему понимания действия ЭМИ на организмы и разработать новые биотехнологии, необходимо применять новые методы исследования. Следовательно, изучение методов исследования является актуальной задачей. Приведен обзор исследований и методов исследования эффектов ЭМИ на организмы. Подобраны работы, рассматривающие различные подходы к изучению и существующие гипотезы механизмов воздействия излучений. Цель обзора – анализ и оценка методологических подходов к исследованию воздействия ЭМИ. Рассмотрены исследования по воздействию ЭМИ на микроорганизмы, эубактерии. Предложено изучать воздействие излучений длительностью несколько часов с применением методов спектрофотометрии и флюориметрии.

Ключевые слова: биотехнологии, методы, электромагнитные поля, биологические эффекты, облучение, миллиметровые волны

Благодарности и финансирование. Работа поддержана грантом РФФИ 19-05-50065 Микромир «Комплексная оценка воздействия микрочастиц в выбросах горных и металлургических предприятий Мурманской области на экосистемы и состояние здоровья населения Арктики».

Вклад авторов: Г.А. Щеглов – анализ источников и подготовка текста статьи; В.А. Маслобоев – руководство направлением и критический анализ текста статьи.

© Щеглов Г.А., Маслобоев В.А., 2023



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

История статьи: поступила в редакцию 12.08.2022; доработана после рецензирования 12.12.2022; принята к публикации 10.01.2023.

Для цитирования: Щеглов Г.А., Маслобоев В.А. Методы исследования эффектов электромагнитного излучения на микроорганизмы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 179–190. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-179-190>

Methodological approaches to the electromagnetic radiation effects on microorganisms

Gleb A. Shcheglov  , Vladimir A. Masloboev 

Institute of Industrial Ecology Problems in the North, Kola Science Center, Russian Academy of Science (INEP KSC RAS), Apatity, Russian Federation

g.scheglov@ksc.ru

Abstract. All living organisms are surrounded by natural and artificial origin electromagnetic radiation (EMR), which affects organisms. The artificial radiation sources number is increasing, but the EMR influence mechanisms on living organisms have not yet been fully investigated, despite the large number of studies. However, understanding the EMR action mechanisms can give impetus to the development of various biotechnologies. To solve the problem of understanding the EMR effects on organisms and develop new biotechnologies, it is necessary to apply new research methods. Therefore, the study of research methods is an urgent task. This research is a review of studies and research methods on the effects, of EMR on organisms. It brings together studies that consider different approaches to the study and existing hypotheses of the mechanisms of radiation effects. The aim of the paper is to review and evaluate methodological approaches to investigate the effects of EMR. The paper considers research on the EMR effects on microorganisms, eubacteria. Based on the results of the work, it is proposed to study the effect of radiation lasting several hours. As well as to apply spectrophotometry and fluorimetry methods.

Keywords: biotechnologies, methods, electromagnetic fields, biological effects, irradiation, millimeter waves

Acknowledgements and Funding. The work was supported by the RFBR grant 19-05-50065 Mikromir “Comprehensive assessment of the impact of microparticles in emissions from mining and metallurgical enterprises of the Murmansk region on ecosystems and the health status of the Arctic population”.

Authors’ contributions: G.A. Shcheglov – literature analysis and the article text preparation; V.A. Masloboev – direction guidance and the article text critical analysis.

Article history: received 12.08.2022; revised 12.12.2022; accepted 10.01.2023.

For citation: Shcheglov GA, Masloboev VA. Methodological approaches to the electromagnetic radiation effects on microorganisms. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):179–190. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-179-190>

Введение

Землю окружает большое количество электромагнитных полей (ЭМП) и электромагнитных излучений (ЭМИ) естественного и искусственного происхождения. Источниками естественных излучений является ЭМП Земли,

различные явления, такие как удары молний, а также излучения от космических объектов. Эти источники излучения существовали еще до появления жизни на Земле. Поэтому организмы научились адаптироваться к их фоновым значениям и закономерным изменениям.

Источниками искусственных излучений являются многочисленные электрические устройства и приборы, системы генерации энергии, линии электропередач, трансформаторные подстанции, системы радиосвязи, Интернет и устройства спутниковой связи, созданные человеком. Искусственные источники создают ЭМИ, различное по своей мощности, частоте, характеру. И количество источников постоянно растет с развитием технологий. Механизмы, объясняющие действия излучений на человека и живую природу, ясны не до конца. Результаты исследований свидетельствуют, что одни диапазоны частот могут оказывать стимулирующее, а другие угнетающее воздействие на организмы [1; 2]. Имеются и исследования, направленные на разработку методов защиты от ЭМИ [3]. Такие исследования носят мультидисциплинарный характер и требуют специальных методов изучения.

Цель исследования – рассмотреть, какими методами пользовались ученые, и оценить эти методы. В обзор включены статьи, найденные в Google Scholar, WOS. Ключевыми словами для поиска являлись Impact, Exposure, Effect, Biological, Field effect, Radiation, Electromagnetic field, Millimeter range, Shortwave frequencies, Extremely high frequencies, Low intensity microwaves, а также их русскоязычные эквиваленты.

Теоретические основы

Организмы осуществляют свою жизнедеятельность под воздействием факторов окружающей среды. К таким факторам относят окружающую температуру, наличие питания, освещение, состав воздуха и воды, влажность воздуха и почвы. И гораздо реже берется во внимание фактор – электромагнитный фон.

Воздействие ЭМП на микроорганизмы

Большое количество работ [1–16] изучает воздействия ЭМП на организмы.

J. Lipiec и др. [4] изучали воздействия колебательного импульсного магнитного поля на патогенные микроорганизмы в картофеле: *Erwiniacarotovora*, *Streptomyces scabies* и *Alternaria solani*. Разряды конденсатора высокого напряжения через соленоид из медного провода создавали магнитное поле. Пробирки с микроорганизмами обрабатывали колебательным магнитным полем с амплитудой 5, 10, 15 и 20 Тл с последующим культивированием. Авторы получили значимые результаты по угнетению патогенных микроорганизмов картофеля. Авторы делают предположение, что полученные эффекты могут быть вызваны созданием вращающегося электрического поля от воздействия импульсных магнитных полей.

L. Cellini и др. [5] изучали воздействие переменного магнитного поля 50 Гц ЭМП (0,1–1,0 мТ) на бактерии *E. coli*. В исследовании оценивали: количество бактерий и состояние жизнеспособности; паттерны восприимчивости; морфологические аспекты; анализ ДНК и РНК. Катушка соленоид, в который помещался объект, является источником излучения. Катушка создавала переменное, однородное, синусоидальное магнитное поле с частотой 50 Гц и плотностью магнитного потока 0,1, 0,5 и 1,0 мТл. Культуру облучали в течение 20 мин (1 поколение) и 120 мин (6 поколений) и затем культивировали без воздействия 24 ч. Авторы отметили увеличение жизнеспособности клеток при воздействии поля. Однако воздействие ЭМП 50 Гц является стресс фактором для бактерий.

Воздействие ЭМП исследовалось на *Spirulina platensis* [6] с целью разработать технологию культивирования. Катушка, создающая магнитное поле, находилась вокруг трубки, через которую проходила суспензия с водорослью. Интенсивность индукции магнитного поля варьировалась 0 (контроль); 0,1; 0,25; 0,4; 0,55 Т. Зафиксировано увеличение скорости роста водоросли пропорциональное росту ЭДС. Авторы создали технологию, позволяющую повысить скорость выращивания водорослей и улучшить их состав.

Влияние ЭМП на микроводоросль хлореллу

Хлорелла (*Chlorella Beij.*, 1890) – обширно распространенная в природе одноклеточная планктонная микроводоросль, также используется как объект исследований в области изучения воздействия ЭМИ и ЭМП.

Хлорелла применяется для производства кислорода; создания биотоплива; восстановления водоемов и отчистки сточных вод; тест-объект экологических исследований. Например, в работе [7] была установлена способность хлореллы, выращенной в условиях азотного голодания, к очистке сточных вод карьеров от нитрат-ионов с эффективностью 85–90%.

Н.А. Суховский [8] разработал методику, позволяющую увеличить скорость выращивания хлореллы в два раза. Для оценки прироста скорости роста применялись световая микроскопия и спектрофотометрия. Для создания воздействия на клетки хлореллы использовали пластины электродов с напряжением 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 кВ и диэлектрические шарики, покрытые графеном. Методика, разработанная автором, позволяет провести исследование двойного электрического слоя. Время воздействия было 1, 5, 10, 15, 30 мин и 72 ч. По результатам экспериментов скорость роста была выше в 2,05 раза по сравнению с контролем при облучении в течение 72 ч. Также было отмечено, что максимальный размер клетки достигается при воздействии 5 и 15 кВ.

В другой работе [9] изучалось хроническое и непродолжительное воздействие СВЧ-излучения от 2,4 мВт/см² до 10 мВт/см² на различные микроорганизмы. Было отмечено снижение количества биомассы и увеличение числа мертвых клеток *Chlorella vulgaris* от воздействия СВЧ-излучения при частоте 10,4 ГГц и ППЭ 2,4 мВт/см².

Воздействия ЭМИ миллиметрового диапазона на живые организмы

Т.А. Рыжкова и др. [10] изучали влияние ЭМИ миллиметрового диапазона на способность бактерий к биопленкообразованию. Частоты 61,0 и 42,2 ГГц были изучены. *Corynebacterium diphtheriae* – тест объект исследования. Пробирки с жидкой культурой подвергались воздействию излучения 3 часа без перемешивания при температуре 20 °С. Затем культивировались сутки. Способность к образованию биопленок оценивалась по оптической плотности суспензии при длине волны 492 нм. Авторы приходят к следующим выводам. ЭМИ 61,0 ГГц стимулирует способность бактерий к образованию биопленок. При исследовании воздействия ЭМП частотой 42,2 ГГц на биопленкообразование тест-культур бактерий отмечено угнетение.

Авторами [11] изучалось влияние комбинированного воздействия ЭМИ и химических реагентов на биологические системы. В диапазоне 53–75 ГГц рассматривали частоты 59, 65, 67 ГГц. Установлено, что комбинированное воздействие излучением 65 ГГц длительностью 15 мин с фенолом 5 мг/л стимулирует появление клеток с повышенной способностью адаптироваться к неблагоприятным условиям среды. Также установлено, что излучение снижает уровень воздействия биологически активных веществ. Автор приходит к выводу, что ЭМИ крайне высоких частот (КВЧ) способно уменьшать токсичность сточных вод.

М.Г. Гапочка [12] также изучалось влияние ЭМИ низкой интенсивности на токсичность водной среды. Объектом исследования служит десятидневная культура *Scenedesmus quadricauda* Vreb., выращенная в среде Кратца–Майерса. В экспериментах сравнивались культуры в присутствии фенола 0,3 г/л вместе с Cd и Co 0,3 мг/л и фенола 0,1 г/л вместе с Cd и Co 0,1 мг/л. Растворы токсичных веществ облучались излучением с длиной волны 7,1 мм перед внесением культуры в раствор. Затем оценивалась численность микроорганизмов в течение 50 сут. Было зафиксировано снижение токсичности при воздействии излучения. Сделан вывод о возможности применения ЭМИ для снижения токсичности сточных вод.

А.В. Неркаряян и др. [13] исследовал влияние низкоинтенсивного не-теплого когерентного ЭМИ крайне высоких частот (КВЧ) на общую активность и изоферментный состав пероксидазы в пшенице. Исследуемый диапазон 37,5–53,5 ГГц, время экспозиции 20, 30 и 60 минут. В вариантах экспериментов облучалась вода, в которой замачивались семена без облучения семян. Воздействие оценивали по оптической плотности экстракта из семян при длине волны 430 нм. В результате наблюдались стимулирующие эффекты от излучения. Наибольший эффект наблюдался при частоте 49 ГГц. Замечено, что эффект оказывает как облучение семян, так и облучение воды. Таким образом, авторы заключают, что первичным звеном воздействия ЭМИ КВЧ на биосистемы является вода.

Позднее М.Г. Гапочка [1] продолжил исследования и описал экологические аспекты взаимодействия ЭМИ миллиметрового диапазона с биологическими объектами. Изучаемые частоты 37,5; 42,25; 46,95; 53,57 ГГц.

Объектами исследования служили различные микроорганизмы. В рамках экспериментов сравнивались варианты сред с фенолом, Cd и Cu. По результатам работы отмечается снижение токсичности загрязнителей. На наш взгляд, результаты могут найти свое применение для биологической очистки вод.

А.П. Зарубина [14] продолжала идеи Гапочки в своем исследовании влияния ЭМИ низкой интенсивности на токсичность бытовых стоков. В рамках исследования проводилось измерение токсичности воды разной степени очистки с помощью биотестирования. Вода облучалась ЭМИ 42,25 ГГц в течение 30 мин. Зафиксировано увеличение токсичности воды. Причем чем выше степень очистки, тем меньше влияние излучения на токсичность.

Е.А. Прониной [15] изучалось, как ЭМИ частоты молекулярного спектра поглощения и излучения (МСПИ) оксида азота (150 ГГц) и атмосферного кислорода (129 ГГц) с плотностью потока мощностью 0,3 мВт/см с длительностью экспозиции 30 мин воздействует на кишечную палочку (*E. coli*). В результате исследований было установлено, что под воздействием излучения на изучаемых частотах повышалось количество мутаций у *E. coli*, а также снижалась устойчивость к левомицетину, стрептомицину и канамицину. Таким образом, действие ЭМИ на микроорганизм было угнетающим.

Подобные работы смогли сконцентрировать большое количество подтверждений наличия различных эффектов на биологические объекты, но не установили единого объяснения причины возникновения эффектов. В ряде работ эффекты от воздействия ЭМИ объясняются тепловым воздействием [3], наряду с ними описываются и нетепловые механизмы воздействия, такие как изменение ЭМИ окислительно-восстановительного потенциала воды в клетках организмов [15], мобилизующие или информационные свойства ЭМИ [2], а также радиовибрационные механизмы воздействия [16].

Методологические подходы

При анализе статей были отмечены некоторые особенности в методологических подходах к исследованиям.

Микроскопия является наиболее популярным методом исследования воздействия ЭМИ на организмы в рассмотренных работах. Чаще всего исследователи оценивали изменение количества живых особей, а также общий прирост популяции. Реже оценивались изменения активности и организации объектов. Например, подвижность клеток или организация в группы. Достоинства метода: доступность, простота и изученность метода; объективность результатов и простота интерпретации. Недостатки метода: сложно наблюдать изменения в микроорганизмах, так как ЭМИ не видно человеческому глазу; нет возможности или сложно осуществить наблюдение непосредственно во время воздействия на микроорганизм; наглядность зафиксированных изменений.

Спектрофотометрия – второй по частоте метод в рассмотренных статьях. Оценка оптической плотности растворов и экстрактов более

современный метод, чем микроскопия. В рассмотренных исследованиях с помощью данного метода оценивали концентрацию микроорганизмов в жидкой среде и изменение количества биомассы. Достоинства спектрофотометрии: простота метода; точность метода. Спектрофотометрия может использоваться как эталонный метод при использовании других непрямых методов анализа. Недостатки метода: не позволяет проводить анализ во время воздействия.

Спектрофотометрия довольно востребованный метод, зарекомендовавший себя в области исследования микроорганизмов, при биотестировании воды и почв. На его основе разработаны различные методики исследования, например ГОСТ 17.1.4.02-90 «Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а».

Особенности излучения. В приведенных работах были отмечены различные подходы к воздействию на объекты. Первое, на что стоит обратить внимание, это диапазон и свойства излучения. Отмечено три подхода: изучать воздействие на одной частоте; сравнивать воздействие нескольких частот (чаще всего 2–4 частоты); изучать воздействие диапазона частот.

При изучении одной конкретной частоты существует риск упустить данные, которые можно получить при других частотах. Подобные исследования важны для описания общих концепций, однако не дают увидеть полную картину.

Другой вариант, когда изучается воздействие нескольких частот. Данный подход позволяет увидеть больше закономерностей и тенденций при изучении данных. Однако также существует риск «не попасть» в нужную частоту.

Третий вариант – изучение диапазона частот. Дает самое полное понимание того, какие процессы и изменения могут происходить и как они зависят от тех или иных частот.

Длительность воздействия. Похожие подходы наблюдаются при анализе времени воздействия. Авторы рассматривают воздействие одной продолжительности. При этом следует отметить, что длительность воздействия редко совпадает у разных авторов. Часть авторов рассматривают эффекты при воздействии разной длительности, выбирая 2–3 длительности воздействия. Реже исследователи рассматривают целые временные диапазоны, варьируя длительность воздействия от пары минут до нескольких часов. Данный подход наиболее информативен, позволяет увидеть различные тенденции и зависимости, но при этом требует максимальных трудовых затрат.

Рассматривая временные параметры воздействия, можно комбинировать время после облучения, а также циклы облучения. Так можно изучать эффекты: сразу после воздействия; через некоторый период времени после воздействия; эффекты от циклов с облучением и без облучения. Также может отличаться и сам характер излучения: непрерывная генерация; импульсная генерация. Многие генераторы, испускающие излучение миллиметрового диапазона, способны к генерации прямоугольных симметричных импульсов;

синусоидальные сигналы и т.д. Сочетание всех этих характеристик может существенно влиять на результаты воздействия.

Водная среда. Так как часто микроорганизмы исследуют в водной среде, вода имеет большое значение в исследованиях по ряду причин. Водная среда сама по себе способна воздействовать на организмы. В роли водной среды может выступать дистиллированная вода; проточная вода; вода из естественных источников; вода с добавлением питательной среды; вода с добавлением различных химических веществ. Выбор среды может сильно повлиять на результаты исследования. Это стоит учитывать как с точки зрения достоверности полученных данных, так и с точки зрения поиска новых результатов от совместного воздействия среды и излучения. Кроме того, ряд работ [1; 11–14] свидетельствуют о том, что излучение способно воздействовать на водную среду, которая, в свою очередь, изменяет условия существования организмов.

В данном контексте большой интерес представляют те исследования, в которых сравнивают эффекты: воздействие излучения на организмы; воздействие излучения на воду; воздействие облученной воды на организмы. В вариантах экспериментов можно рассматривать организмы, выращенные на фоне облучения или выращенные на облученной воде. Особого внимания заслуживают исследования комбинированного воздействия ЭМИ с водной средой, загрязненной химическими веществами.

Результаты и обсуждение

После анализа всей собранной информации мы пришли к выводу, что диапазон излучений с длиной волны 30...300 ГГц заслуживает большего внимания по нескольким причинам. Во-первых, излучение в гигагерцовом диапазоне используется в радиосвязи и для работы сетей Интернет. Например, внедряются стандарты связи 5G, которые базируются на частотах 1...100 ГГц. Во-вторых, имеется большое количество работ, показывающих стимулирующее действие миллиметрового диапазона частот. Изучение такого излучения является перспективным с точки зрения создания методик культивирования и стимулирования организмов.

Характеристики излучения

Что касается характеристик излучения, необходимо сравнить воздействие от непрерывно генерируемого излучения и излучения, генерируемого импульсами. Кроме того, целесообразно изучить воздействие в течение нескольких циклов, причем периоды воздействия и без воздействия могут варьироваться. Также стоит сравнивать эффекты при разной длительности воздействия. Имеет смысл сравнивать диапазоны времени от нескольких минут до нескольких часов. Целью подобных исследований является определение оптимальной длительности воздействия.

Микроскопия и спектрофотометрия. Данные методы хорошо зарекомендовали себя и показывают точные результаты. Микроскопия дает представление об активности микроорганизмов, подвижности, способности

клеток скапливаться в группы. Спектрофотометрия позволяет точно рассчитывать количество биомассы и содержание элементов и пигментов в нем.

Флюориметрия. Изучение эффектов, происходящих непосредственно во время воздействия, достаточно сложный процесс, особенно когда нужно измерить количественные показатели. Метод измерения флюоресценции хлорофилла очень чувствительный способ, позволяющий сделать оценку изменений общего физиологического состояния любого растения [17, с. 347–384]. Изменения в интенсивности испускания флюоресценции прямо или косвенно соотносятся со всеми этапами световой фазы фотосинтеза. Измерения показателей флюоресценции хлорофилла применяются в сельскохозяйственной практике и экологических исследованиях. Мы же предлагаем использовать флюориметрию для оценки воздействия ЭМИ на организмы.

Преимущества метода:

- позволяет изучать организмы непосредственно во время воздействия;
- не оказывает дополнительного стресса на организмы;
- позволяет рассчитать количественные показатели содержания фотосинтетических пигментов и проводить анализ фотосинтетической активности;
- дает возможность изучения в полевых условиях с получением результатов на месте.

Недостатки метода:

- требует дорогостоящее оборудование и умение работы с ним;
- количественный анализ проводится косвенным методом и требует калибровки (спектрофотометрическим методом).

Таким образом, применение флюориметрии может помочь в полевых условиях и в случае необходимости проведения оценки эффектов во время воздействия, не создавая дополнительный стресс на организм.

Заключение

В ходе подготовки обзора были выявлены новые перспективы для исследований. В ряде исследований изучены свойства ЭМИ к снижению токсичности сточных вод. В других работах установлена способность *Chlorella vulgaris* к поглощению азота сточных вод. Также были проведены работы по стимулированию *Chlorella vulgaris* ЭМИ. На наш взгляд, перспективным является проведение исследований с целью выявления возможности с помощью ЭМИ улучшить способность *Chlorella vulgaris* к очистке сточных вод от азота и других соединений, а также ее способности к накоплению металлов в биомассе.

На основе полученных данных удастся разработать методики, ускоряющие культивирование микроводоросли, а также методики очистки сточных вод и восстановления водоемов от загрязнений различными токсичными соединениями, в том числе отходов горного производства: тяжелые металлы

и неорганический азот, фосфор, а также биогенного загрязнения коммунальных хозяйств.

Список литературы

- [1] Гапочка М.Г. Экологические аспекты взаимодействия электромагнитных полей миллиметрового диапазона с биологическими объектами: дис. ... д-ра биол. наук. Москва, 2013. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30397922> (дата обращения: 27.09.2022).
- [2] Бецкий О.В., Котровская Т.И., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны в биологии и медицине. Радиолокация и радиосвязь // Материалы III Всерос. науч. конф. М., 2009. С. 146–150.
- [3] Касьяненко А.А., Евдокимова О.В., Барышев М.Г. О попытке компенсации влияния вредных электромагнитных излучений на биологические системы с помощью современных тканей // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2005. № 1. С. 132–134.
- [4] Lipiec J., Janas P., Barabasz W. Effect of oscillating magnetic field pulses on the survival of selected microorganisms // Int. Agrophysics. 2004. Vol. 18, no. 4. P. 325–328.
- [5] Cellini L., Grande R., Di Campi E., Di Bartolomeo S., Di Giulio M., Robuffo I., Mariggio M.A. Bacterial response to the exposure of 50 Hz electromagnetic fields // Bioelectromagnetics. 2008. Vol. 29, no. 4. P. 302–311.
- [6] Li Z.Y., Guo S.Y., Li L., Cai M.Y. Effects of electromagnetic field on the batch cultivation and nutritional composition of *Spirulina platensis* in an air-lift photobioreactor // Bioresour. Technol. 2007. Vol. 98, no. 3. P. 700–705.
- [7] Солнышкова М.А. Снижение загрязнения поверхностных вод неорганическими соединениями азота в зоне воздействия горнодобывающих предприятий мурманской области: дис. ... канд. тех. наук. СПб., 2020. URL: <https://goos.su/N55RjSd> (дата обращения: 28.09.2022)
- [8] Суховский Н.А. Наличие электростатического поля в электростатическом биореакторе // Вестник АПК Верхневолжья. 2015. № 1. С. 92–94.
- [9] Козьмин Г.В., Егорова Е.И. Устойчивость биоценозов в условиях изменяющихся электромагнитных свойств биосферы // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2006. № 3. С. 61–72.
- [10] Рыжкова Т.А., Калиниченко С.В., Бабич Е.М., Коротких Е.О., Хворостяная В.А., Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на способность патогенных коринебактерий к образованию биопленок // Живые и биокосные системы. 2015. Т. 1, № 14. С. 1–9.
- [11] Шляхтин Г.В., Зотова Е.А., Малинина Ю.А. Изменение биологической активности клеток при комбинированном действии электромагнитного излучения крайне высоких частот и никотина // Известия Самарского научного центра РАН. 2007. Т. 9, № 4. С. 818–822.
- [12] Гапочка М.Г. Влияние электромагнитного излучения низкой интенсивности на токсичность водной среды // ВМУ физика астрономия. 2009. № 1. С. 67–69.
- [13] Неркарарян А.В., Шагинян М.А., Хачатря А.В., Вардеванян П.О. Влияние низкоинтенсивного нетеплового иоферментный состав пероксидазы // Биологический журнал Армении. 2011. Т. 4, № 63. С. 96–103.
- [14] Зарубина А.П., Гапочка М.Г., Новоселова Л.А., Гапочка Л.Д. Биотестирование тест-системой «эколом» влияния электромагнитного поля низкой интенсивности на токсичность бытовых стоков // Вестник Московского Университета. Биология. 2012. Т. 16, № 3. С. 39–43.

- [15] Пронина Е.А., Шуб Г.М., Швиденко И.Г. Экспрессия генов лекарственной устойчивости кишечной палочки под воздействием электромагнитного излучения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2009. №. 3. С. 5–9.
- [16] Даровских С.Н., Шишкова Ю.С., Попечителей Е.П., Цейликман О.Б., Вдовина Н.В., Лапшин М.Г. Радиовибрационный механизм взаимодействия биологической ткани организмов с электромагнитными полями и излучениями // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2014. Т. 14, №. 3. С. 5–10.
- [17] Kalaji H.M., Jajoo A., Oukarroum A., Brestic M., Zivcak M., Samborska I.A., Ahmad P. The Use of Chlorophyll Fluorescence Kinetics Analysis to Study the Performance of Photosynthetic Machinery in Plants // *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance*. 2014. P. 347–384.

References

- [1] Gapochka MG. *Ecological aspects of interaction of electromagnetic fields of the millimeter range with biological objects* (dissertation of the Doctor of Biological Sciences). Moscow; 2013. (In Russ.). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30397922>
- [2] Beczkij OV, Kotrovskaya TI, Lebedeva NN. Millimeter waves in biology and medicine. Radar and radio communication. *III Russian Scientific Conference*. Moscow; 2009. p. 146–150. (In Russ.)
- [3] Kasyanenko AA, Evdokimova OV, Baryshev MG. The attempt to reduce harmful influence of electromagnetic radiation upon biological systems with usage of modern fabrics. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2005;(1):132–134. (In Russ.)
- [4] Lipiec J, Janas P, Barabasz W. Effect of oscillating magnetic field pulses on the survival of selected microorganisms. *Int. Agrophysics*. 2004;18(4):325–328.
- [5] Cellini L, Grande R, Di Campli E, Di Bartolomeo S, Di Giulio M, Robuffo I, Mariggio MA. Bacterial response to the exposure of 50 Hz electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 2008;29(4):302–311.
- [6] Li ZY, Guo SY, Li L, Cai MY. Effects of electromagnetic field on the batch cultivation and nutritional composition of *Spirulina platensis* in an air-lift photobioreactor. *Bioresour. Technol*. 2007;98(3):700–705.
- [7] Solnyshkova MA. *Reduction of surface water pollution by inorganic nitrogen compounds in the impact zone of mining enterprises of the Murmansk region* (dissertation of the Candidate of Technical Sciences). Saint Petersburg; 2020. (In Russ.) Available from: <https://goo.su/N55RjSd> (accessed: 28.09.2022).
- [8] Sukhovskiy NA. The presence of an electrostatic field in an electrostatic bioreactor. *Bulletin of the Agroindustrial complex of the Upper Volga region*. 2015;(1):92–94. (In Russ.)
- [9] Kozmin GV, Egorova EI. Stability of biocenoses in conditions of changing electromagnetic properties of the biosphere. *Biomedical technologies and radioelectronics*. 2006;(3):61–72. (In Russ.)
- [10] Ryzhkova TA, Kalinichenko SV, Babich EM, Korotkov EO, Hvorostyanaya VA, The effect of electromagnetic radiation of the millimeter range on the ability of pathogenic corynebacteria to form biofilms. *Living and biocontainable systems*. 2015;1(14):1–9. (In Russ.)
- [11] Shlyakhtin GV, Zotova EA, Malinina YuA. Changes in the biological activity of cells under the combined action of electromagnetic radiation of extremely high frequencies

- and nicotine. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2007;9(4):818–822. (In Russ.)
- [12] Gapochka MG. The influence of low-intensity electromagnetic radiation on the toxicity of the aquatic environment. *VMU physics astronomy*. 2009;1:67–69. (In Russ.)
- [13] Nerkararian AV, Shaginyan MA, Khachatryan AV, Vardevanyan PO. The effect of low-intensity non-thermal coherent EHF EMR on the overall activity and isoenzyme composition of peroxidase. *Biological Journal of Armenia*. 2011;63(4):96–103. (In Russ.)
- [14] Zarubina AP, Vapochka MG, Novoselova LA, Gaspochka LD. Biostatistics tet-system “Ecolum” the effect of the electromagnetic flow of low intensification on the toxicity of existing effluents. *Bulletin of the Moscow University*. 2012;16(3):39–43. (In Russ.)
- [15] Pronina EA, Shub GM, Shvidenko IG. Plasmid gene expression of escherichia coli drug resistance under the influence of electro8magnetic radiation. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2009;(3):5–9. (In Russ.)
- [16] Darovskikh SN, Shishkova YuS, Trusteitelev EP, Tseilikman OB, Vdovina NV, Lapshin MG. Radiovibration mechanism interaction of biological tissue of the organism with electromagnetic fields and radiation. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2014;14(3):5–10. (In Russ.)
- [17] Kalaji HM, Jajoo A, Oukarroum A, Brestic M, Zivcak M, Samborska IA, Ahmad P. The Use of Chlorophyll Fluorescence Kinetics Analysis to Study the Performance of Photosynthetic Machinery in Plants. *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance*. 2014;347–384.

Сведения об авторах:

Щеглов Глеб Андреевич, инженер, Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, Российская Федерация, 184209, Мурманская обл., Апатиты, ул. Ферсмана, 14а. ORCID: 0000-0003-2870-3616. E-mail: g.scheglov@ksc.ru

Маслобоев Владимир Алексеевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, Российская Федерация, 184209, Мурманская обл., Апатиты, ул. Ферсмана, 14а. ORCID: 0000-0002-1536-921X. E-mail: v.masloboev@ksc.ru

Bio notes:

Gleb A. Shcheglov, Engineer, Institute of North Industrial Ecology Problems Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (INEP KSC RAS), 14a Fersman St, Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-2870-3616. E-mail: g.scheglov@ksc.ru

Vladimir A. Masloboev, D. in Engineering, Chief Scientist, Institute of North Industrial Ecology Problems Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (INEP KSC RAS), 14a Fersman St, Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1536-921X. E-mail: v.masloboev@ksc.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-191-200

EDN: VLNQSL

УДК 631.618

Научная статья / Research article

Особенности восстановления экосистем в районе размещения отвалов некондиционных цеолитсодержащих пород Холинского месторождения Восточного Забайкалья

М.В. Обуздина  , **Е.А. Руш***Иркутский государственный университет путей сообщения,**Иркутск, Российская Федерация* obuzdina_mv@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема ликвидации отвалов некондиционного сырья цеолитсодержащих пород Холинского месторождения, мероприятия по рекультивации нарушенных земель. Наиболее эффективным способом восстановления экосистем является ренатурирование. Представлены временные промежутки сукцессии. Ренатурирование нарушенных земель состоит из 6 этапов. Подробно рассмотрены возможные доминирующие растения для предложенных вариантов: *Stipa lessingiana*, *Poa platensis*, *Festuca valesiaca*, *Poa angustifolia*, *Elytrigia intermedia*, *Artemisia vulgaris*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Agropyron desertorum*.

Ключевые слова: цеолиты, некондиционное сырье, рекультивация, ренатурация

Благодарности и финансирование. Работа выполнена в рамках научно-исследовательских работ Иркутского государственного университета путей сообщения: № АААА-А17-117050310027-5.

Вклад авторов: *М.В. Обуздина* – концептуализация исследований, сбор данных и их интерпретация; *Е.А. Руш* – концептуализация исследований, критический анализ текста.

История статьи: поступила в редакцию 15.09.2022; доработана после рецензирования 20.01.2023; принята к публикации 25.02.2023.

Для цитирования: *Обуздина М.В., Руш Е.А.* Особенности восстановления экосистем в районе размещения отвалов некондиционных цеолитсодержащих пород Холинского месторождения Восточного Забайкалья // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 191–200. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-191-200>

© Обуздина М.В., Руш Е.А., 2023

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

Special aspects of ecosystem recreation in the area of dumps of sub-standard zeolite-containing rocks of Holinsky deposit of Eastern Transbaikalia

Marina V. Obuzdina , Elena A. Rush

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

obuzdina_mv@mail.ru

Abstract. The research presents the problem of liquidation of dumps of substandard raw materials of zeolite-containing rocks of the Holinsky deposit, measures for the reclamation of disturbed lands. The most effective way to restore ecosystems is renaturation. Time intervals of succession are considered. Renaturation of disturbed lands consists of 6 stages. Possible dominant plants for the proposed options are considered in detail: *Stipa lessingiana*, *Poa platensis*, *Festuca valesiaca*, *Poa angustifolia*, *Elytrigia intermedia*, *Artemisia vulgaris*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Agropyron desertorum*.

Keywords: zeolites, ions of heavy metals, simulation, sub-standard raw materials, reclamation, renaturation

Acknowledgements and Funding. The work was carried out the support of the research work of Irkutsk State Transport University No AAAA-A17-117050310027-5.

Authors' contributions: *M.V. Obuzdina* – conceptualization of research, data collection and interpretation; *E.A. Rush* – conceptualization of research, critical analysis of the test.

Article history: received 15.0.2022; revised 20.02.2023; accepted 25.02.2023

For citation: Obuzdina MV, Rush EA. Special aspects of ecosystem recreation in the area of dumps of sub-standard zeolite-containing rocks of Holinsky deposit of Eastern Transbaikalia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):191–200. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-191-200>

Введение

Освоение новых месторождений негативно сказывается на биологическом разнообразии экосистем и влияет на флору и фауну в районе размещения пород. Добыча минерального сырья означает изъятие существенного количества вмещающих и вскрышных пород, которые складываются в отвалы и тем самым наносят существенный ущерб окружающей среде. При разработке месторождения некоторые породы могут оказаться некондиционными, что вызывает дальнейшую проблему негативного воздействия образующихся отвалов на окружающую среду [1].

Длительность периода трансформации нарушенного ландшафта может быть различной, вторичная сукцессия может составлять от нескольких десятков до сотен лет. Поэтому изучение процессов ускоренного естественного восстановления растительного покрова и флоры в целом в местах воздействия объектов промышленности представляется актуальной задачей для рассмотрения.

Цель исследования – решение экологической проблемы ликвидации отвалов некондиционного цеолитсодержащего сырья путем рекультивации

отвалов с дальнейшей ренатурацией. На техническом этапе рекультивации предлагается удалить слой некондиционного цеолитсодержащего сырья с целью использования как адсорбента в очистке сточных вод от нефтепродуктов и ионов тяжелых металлов [2]. Техногенные ландшафты только со временем трансформируются в естественные, однако рекультивационные мероприятия помогают существенно сократить этот период [3].

Материалы и методы

Объектом исследования являются цеолитсодержащие туфы клиноптилолитового типа Холинского месторождения Забайкальского края, общий вид которых представлен на рис. 1. Площадь около 5 га, запасы 400 млн т, мощность слоев до 120 м. Месторождение располагается вблизи железнодорожной станции Могзон (45 км). Месторождение изначально (1963 г.) оценивалось как перлитовое с ресурсами 19 млн м³. В 80-е гг. XX в. после дополнительных исследований была определена степень цеолитизации пород.



Рис. 1. Общий вид мест накопления цеолитсодержащих пород Холинского месторождения /
Figure 1. General view of places of accumulation of zeolite-containing rocks Holinsky deposit

Основным минералом цеолитсодержащих туфов Холинского месторождения является клиноптилолит $\text{Na}_6[\text{Al}_6\text{Si}_30\text{O}_72] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$. Плотность 2,16 г/см³, емкость 0,34 см³/см³. Отношение Si/Al составляет 4,25...5,25. Диаметр пор – 0,73 мкм по объему и 12,4 мкм по поверхности [4]. Клиноптилолит присутствует в количестве 60...66 %. Химический состав природных цеолитов в процентах: 65,6 SiO₂, 12,2 Al₂O₃, 1,3 Fe₂O₃, 2,1 CaO, 0,64 MgO, 1,9 Na₂O, 4,14 K₂O, 0,14 MnO, 0,02 S_{общ}, 4,14 H₂O. Влажность до 10 % по шкале Протодьяконова. Пористость высокая до 41 %, подходит для утилизации некондиционного сырья в качестве адсорбентов.

Результаты исследования и их обсуждение

Разработка месторождения существенно нарушает экосистемы. На атмосферу, водную среду, почву оказывается следующее негативное воздействие: пыление от отвала и откосов, ветровая эрозия, пыль от тяжелой спецтехники. Возможно попадание взвешенных частиц в водные объекты, изменение состава питьевой воды, гидрологии затопленных карьеров, уровня грунтовых вод. В местах накопления некондиционных пород наблюдается полная деградация почв, изменение ландшафта, разрушение почвенного слоя и, как следствие, снижение биопродуктивности, уменьшение лесного фонда. Таким образом, суммарное воздействие на биогеоценоз вызывает ухудшение биологического разнообразия, полное уничтожение растительного покрова, изменение путей миграции животных, ареала их обитания. Таким образом, необходимо снижать риски негативного воздействия отвалов цеолитов Холинского месторождения путем их вовлечения в производство таких видов продукции, при которых не требуется высокое содержание клиноптилолита в исходной породе, например в строительные материалы и сорбенты для очистки сточных вод от различных примесей. Далее необходимо провести рекультивацию и ренатурирование для восстановления экосистемы.

Кондиционным считается такой вид сырья, который экономически оправданно в дальнейшем использовать в промышленности. На примере цеолитсодержащего сырья по содержанию клиноптилолита в породе кондиционным является содержание данного компонента 85...90 % и более, однако цеолиты Холинского месторождения содержат клиноптилолита в недостаточном количестве, поэтому данные цеолитсодержащие туфы являются объектом негативного воздействия на окружающую среду [6].

Применение технологий утилизации крупнотоннажных отходов в производстве адсорбентов для очистки сточных вод обеспечит ликвидацию отвалов и позволит создать благоприятный рельеф для последующей рекультивации [2].

Рекультивация земель объединяет в систему взаимосвязанные мероприятия с поэтапным выполнением работ. Технические мероприятия по рекультивации земель приведены в табл. 1.

Таблица 1. Технические мероприятия по рекультивации земель

| Проективные | Структурные | Химические | Освоение | Гидро-теплотехнические |
|--|--|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> – Новые формы рельефа – Вертикальная планировка – Профилирование – Террасирование – Ликвидация западин | <ul style="list-style-type: none"> – Землевание – Торфование – Кольматаж – Сооружение терпов | <ul style="list-style-type: none"> – Известкование – Гипсование – Кислование – Внесение сорбентов, органических и минеральных удобрений | <ul style="list-style-type: none"> – Удаление ненужной древесно-кустарниковой растительности, пней, камней, разделка кочек и дернины – Окультуривание рекультивируемых земель | <ul style="list-style-type: none"> – Осушение – Орошение – Организация поверхностного стока – Мульчирование – Грядование – Применение утеплителей |

Table 1. Technical measures for land reclamation

| Projective | Structural | Chemical | Reclamation | Hydro-heat engineering |
|--|--|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> – New forms terrain – Vertical subgrading – Blading – Terracing – Elimination of depressions | <ul style="list-style-type: none"> – Earth mulching – Peatification – Colmation – Construction of paps | <ul style="list-style-type: none"> – Liming – Plastering – Acidification – Application of sorbents, organic and mineral fertilizers | <ul style="list-style-type: none"> – Removal unnecessary tree and shrub vegetation, stumps, stones, cutting of tussocks and turf – Cultivation recultivated lands | <ul style="list-style-type: none"> – Dehumidification – Irrigation – Organization of surface runoff – Mulching – Ringing – Use of warmers |

При реализации технического этапа после использования тяжелой техники происходит уплотнение оставшегося грунта, что приводит к снижению его водонепроницаемой способности, влагоемкости, аэрации, что, в свою очередь, негативно влияет на приживаемость растений. На биологическом этапе осуществляется биологическая обработка почвы, улучшение ее плодородных свойств, озеленение и защита растений для восстановления процессов почвообразования, повышения самоочищающей способности почвы и итогового воспроизведения биоценоза.

Биологическое восстановление осуществляется в два этапа. Сначала высаживаются пионерные растения, которые имеют высокую степень регенерации и приживаемости. Выбор растения для второго этапа посадки зависит от запланированного использования рекультивируемых земель.

Наибольшая скорость образования гумуса при дальнейшем естественном разрастании наблюдается в первые 5–20 лет и составляет 2...4 мм в год. В последующие годы происходит стабилизация биохимических процессов в конкретных сформировавшихся растительных сообществах и скорость почвообразования снижается. Растения могут быть представлены как травами, так и кустарниками. В качестве пионерных трав, подходящих для многих типов местности, являются *Phleum pratense*, *Festuca rubra*, *Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Bromopsis inermis* и *Trifolium rubens*. Благоприятным является сочетание всех или большинства перечисленных трав [7].

Однако для качественного и ускоренного темпа естественного зарастания отвалов и восстановления биоценозов рекультивации недостаточно. Для естественного процесса самоорганизации нарушенных экосистем необходим целый комплекс мероприятий по ренатурации нарушенных земель с целью их приведения в сбалансированное состояние, соответствующее естественному состоянию экосистем. Ренатурирование, в отличие от рекультивации, предполагает реализацию комплекса мероприятий, катализирующих естественное воспроизводство природных компонентов, характерных для района проведения работ [8].

В рассматриваемом случае необходимо более детальное изучение района размещения крупнотоннажных отходов с учетом сукцессии зональной растительности. Подобная детализация позволит определить, какие именно травы и кустарники произрастают в данной местности. Антропогенное

воздействие вызывает нарушение стадийности сукцессий, что приводит к дисклимаксам и субклимаксам, дефициту видов для завершения процесса.

В районе п. Мозгон (Забайкальский край) наблюдается преимущественно мерзлотно-таежный тип почв. В Хилокском районе, где вблизи поселка Мозгон располагается Холинское месторождение цеолитсодержащих туфов, произрастает 175 видов растений, из которых более 55 % являются дикими растениями, 32 % составляют сорняки и 13 % агрокультуры.

Важным аспектом ренатурации является понимание процессов первичного, рецентного и вторичного почвообразования. В районе размещения отвалов Холинского месторождения наблюдается полное уничтожение почвенно-растительного покрова.

Забайкальские степи формируются в условиях пониженных среднегодовых температур и более короткого вегетационного периода (по сравнению со степями Казахстана или Западной Сибири), в условиях резко континентального климата с большими суточными и годовыми перепадами температуры и влажности. Растения в таком климате приобрели адаптации не только к недостатку влаги, но и к низким температурам, а главное – к резким колебаниям всех экологических факторов.

Ренатурирование нарушенных земель состоит из шести этапов. Первый этап является самым важным: полное прекращение или минимизация антропогенного воздействия на рассматриваемый участок. На втором, горно-техническом, этапе предполагается минимизация действия факторов, влияющих на эффективность восстановительной сукцессии на отвальных массивах техногенного происхождения. На третьем – проводится изучение прилегающих территорий для установления доминантных видов. Четвертый, биологический, этап предполагает подбор растений с учетом регенеративных особенностей деградированных отвалов. На пятом этапе необходимо ландшафтное конструирование. На шестом этапе происходит восстановление экосистемы нарушенных территорий в течение нескольких десятков лет в три стадии: на протяжении первых 15 лет происходит адаптация экосистем к эдафическим условиям. Далее в последующие 20 лет воспроизводятся продукционно-ресурсные характеристики. В период от 35 до 50 лет стабилизируются структура и регенерационные процессы в экосистемах, видовой состав; сокращаются рудеральные виды растений [9].

В рудеральном сообществе могут доминировать растения *Daucus carota*, *Carduus* и др. На втором этапе восстановления земель начинают появляться сообщества семейства *Poaceae*, например *Calamagrostis*, *Elytrigia*, *Festuca*, *Poa*, *Stipa* и др.

Разнотравные сообщества и дерновинные злаки формируются на поздних этапах, обеспечивая накопление гумуса в почвах. В районе п. Мозгон встречаются следующие морозоустойчивые виды растений: *Medicago*, *Medicago lupulina*, *Medicago sativa*, *Agropyron pectiniforme* Roem. et Schult, *Festuca ovina*, *Onobrychis viciifolia*, *Phalaris arundinacea*, *Elytrigia répens*, *Melilotus officinalis*.

При достаточной степени увлажнения далее появляется древесная растительность, чаще только после 10 и более лет, когда мощность горизонта плодородного слоя почвы достигает оптимального значения.

В зависимости от воссоздаваемого варианта высаживаются разные растения, среди которых выделяют доминирующие виды, представленные в табл. 2. В степях доминируют растения семейства злаковые (мятликовые) – около 70 %. Во всех рассматриваемых случаях предполагается пересадка дерна пластами или в виде дернокрошки с территорий, прилегающих к району размещения отвалов.

С течением времени состав доминирующих видов меняется вследствие особенностей строения корневой системы и ветровой эрозии, климатических и географических условий. Однако, анализируя табл. 2, можно отметить тот факт, что неизменно для всех вариантов доминирующим растением для Забайкальских степей остается *Festuca valesiaca*.

На втором этапе восстановления в качестве начальных растений могут быть ранее указанные виды полыни, но при этом вторичные сорняки начнут вытесняться более сильными многовидовыми бурьянистыми растениями, например, некоторыми видами *Carduus* семейства *Asteraceae*. Также могут встречаться семейства *Onagraceae*, например *Chamerion latifolium*.

На этом же этапе начинают наращивать биомассу бобово-злаково-разнотравные представители флоры: *Elymus dahuricus*, *Elymus sibiricus*, *Medicago falcata*, *Stipa baicalensis* Roshev, *Trifolium lupinaster*, *Trigonella caerulea*.

На третьем этапе, спустя несколько десятков лет, к доминантным растениям начинают добавляться некоторые виды из семейства *Rosaceae*. Также активно набирают биомассу представители семейства *Equisetaceae*. Кроме того, могут встречаться представители других семейств и видов, например *Dracosephalum nutans*, *Hemerocallis minor*, *Vicia cracca* L.

Таблица 2. Доминирующие растения при реставрации степи

| Доминирующие растения | Высота, см | Вид корневой системы | Степь, доминанты: 1 – в первые года; 2 – более 10 лет |
|-----------------------------|------------|--|---|
| <i>Stipa lessingiana</i> | 30–70 | Мочковатая, довольно слабая | РЗС, 1; КТС, 1,2 |
| <i>Poa platensis</i> | 30–90 | Мочковатая, ползучие подземные побеги | РЗС, 2 |
| <i>Festuca valesiaca</i> | 10–50 | Мочковатая, мощная, с небольшими корневищами | РЗС, 1-2 ПЗС, 1; КТС, 1,2 |
| <i>Poa angustifolia</i> | 5–30 | Мочковатая, с образованием небольших дерновников | РЗС, 2 |
| <i>Elytrigia intermedia</i> | 30–60 | Корневище тонко-шнуровидное, ползучее с побегами | ПЗС, 1 |
| <i>Artemisia vulgaris</i> | 50–200 | Стержневой ветвистый корень, утолщенный в верхней части | ПЗС, 1 |
| <i>Trifolium pratense</i> | 15–55 | Стержнемочковатая с разветвленным корневищем и боковыми побегами | ПЗС, 2 |
| <i>Trifolium repens</i> | 5–20 | Стержневой корень, мелкокореняющийся, сильноветвящийся | ПЗС, 2 |
| <i>Agropyron desertorum</i> | 65–75 | Мочковатая, мощная, глубина корней до 1,5–2 м | КТС, 1 |

Примечание. РЗС – разнотравно-злаковая степь; ПЗС – полынно-злаковая степь; КТС – ковыльно-типчаковая степь.

Table 2. Dominant plants during the restoration of the steppe

| Dominant plants | Height, cm | Type of roots system | Steppe, dominants: 1 – in the first years; 2 – after 10 years |
|-----------------------------|------------|--|---|
| <i>Stipa lessingiana</i> | 30–70 | Fibrous, rather weak | MGG, 1; FGF, 1,2 |
| <i>Poa platensis</i> | 30–90 | Fibrous, creeping underground shoots | MGG, 2 |
| <i>Festuca valesiaca</i> | 10–50 | Fibrous, aggressive with pint size creeping rootstock | MGG, 1-2 WWG, 1; FGF, 1,2 |
| <i>Poa angustifolia</i> | 5–30 | Fibrous, with the formation of pint size turf | MGG, 2 |
| <i>Elytrigia intermedia</i> | 30–60 | Rootstock is thin-cord-like, creeping with shoots. | WWG, 1 |
| <i>Artemisia vulgaris</i> | 50–200 | Taproot branched root, thickened at the top | WWG, 1 |
| <i>Trifolium pratense</i> | 15–55 | Fibrous-Taproot with branched rootstock and lateral shoots | WWG, 2 |
| <i>Trifolium repens</i> | 5–20 | Taproot root, shallow-rooted, multiway branched | WWG, 2 |
| <i>Agropyron desertorum</i> | 65–75 | Fibrous, aggressive, root depth up to 1.5-2 m | FGF, 1 |

Note. Motley grass-grasses (MGG), wormwood-grass (WWG), feather grass-fescue (FGF).

Выводы

Предложен комплексный подход к решению экологической проблемы снижения негативного воздействия отвалов некондиционного цеолитсодержащего сырья Холинского месторождения на объекты окружающей среды. После удаления слоя цеолитсодержащей породы для дальнейшего использования в технологиях очистки сточных вод проводятся технический и биологический этапы рекультивации с дальнейшей ренатурацией с учетом географических, климатических особенностей местности вблизи поселка Могзон.

Рассмотрены этапы восстановления различных вариантов степи: разнотравно-злаковой, полынно-злаковой, ковыльно-типчаковой. При проведении ренатурации земель желательнее выбирать растения, которые бы позволили не только быстро восстановить нарушенные земли, но и являлись основой кормового рациона животных. При большом разнообразии растительности степей и лугов лишь немногие обладают подходящими свойствами: мятликовые (злаковые), бобовые, осоковые и ситниковые семейства, разнотравье. После биологического этапа рекультивации, когда в плодородный слой почвы будут посажены пионерные растения, начнется сукцессия, которая будет проходить этапами в несколько десятков лет.

Список литературы

- [1] Zhu Z.-Y., Alimujiang. K. Analysis and simulation of the spatial autocorrelation pattern in the ecosystem service value of the oasis cities in dry areas // Journal of Ecology and Rural Environment. 2019. Vol. 12. Issue 35. P. 1531–1540. <https://doi.org/10.19741/j.issn.1973-4831.2019.0331>
- [2] Обуздина М.В., Руш Е.А. Изучение особенностей взаимодействия компонентов-загрязнителей промышленных сточных вод с модифицированными цеолитами по результатам комплексных физико-химических исследований // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 3. С. 36–40. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-3-36-40>

- [3] Андроханов В.А., Двуреченский В.Г. Проблемы рекультивации техногенных экосистем Красноярского края // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2013. Т. 6, № 2. С. 153–158.
- [4] Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1987. 125 с.
- [5] Бесполитов Д.В., Панков П.П., Коновалова Н.А., Корякина Е.А. Установление экологической безопасности стабилизирующей добавки для решения проблемы пыления отвалов вскрышных пород // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2022. № 2 (84). С. 15–24. <https://doi.org/10.17277/voprosy.2022.02.pp.015-024>
- [6] Matinde E., Simate G.S., Ndlovu S. Mining and metallurgical wastes: A review of recycling and re-use practices // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2018. Vol. 8. Issue 118. P. 825–844. <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2018/v118n8a5>
- [7] Стрекалова Т.А., Меренкова Е.С. Меры, снижающие вредное воздействие отвалов на окружающую среду // Успехи современного естествознания. 2013. № 4. С. 118–121.
- [8] Голусов П.В., Лисецкий Ф.Н., Чепелев О.А. Экологическая реставрация постпромышленных отвалов железорудной промышленности КМА // Проблемы региональной экологии. 2005. № 6. С. 130–137.
- [9] Коновалова Н.А., Дабижа О.Н., Панков П.П., Руш Е.А. Минимизация антропогенного воздействия на окружающую среду отходов горнопромышленного комплекса посредством их утилизации в цементогрунтах, модифицированных природными цеолитами // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24, № 6. С. 24–30. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-6-24-29>

References

- [1] Zhu Z-Y, Alimujiang K. Analysis and simulation of the spatial autocorrelation pattern in the ecosystem service value of the oasis cities in dry areas. *Journal of Ecology and Rural Environment*. 2019;(35)12:1531–1540. <https://doi.org/10.19741/j.issn.1973-4831.2019.0331>
- [2] Obuzdina M, Rush E. Intensification the features of interaction between components of pollutants of industrial waste waters with modified zeolites based on the results of integrated physical and chemical researches. *Ecology and industry of Russia*. 2021;25(3):36–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-3-36-40>
- [3] Androkhanov VA, Dvurechensky VG. Problems of reclamation of technogenic ecosystems of the Krasnoyarsk Territory. *Bulletin of the Irkutsk State University. Series "Biology.Ecology"*.2013;(2)6:153–158. (In Russ.)
- [4] Greg S, Sing K. *Adsorption, surface area, porosity*. Moscow, Mir; 1987. (In Russ.)
- [5] Bepolitov DV, Pankov PP, Konovalova NA, Koryakina EA. Establishment of the environmental safety of a stabilizing additive for solving the problem of dusting of overburden dumps. *Questions of modern science and practice. University. V.I. Vernadsky*. 2022;(84)2:15–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.17277/voprosy.2022.02.pp.015-024>
- [6] Matinde E, Simate GS, Ndlovu S. Mining and metallurgical wastes: A review of recycling and re-use practices. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2018;(118)8:825–844. <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2018/v118n8a5>
- [7] Strekalova TA, Merenkova ES. Measures that reduce the harmful effects of dumps on the environment. *Successes of modern natural science*. 2013;(4):118–121. (In Russ.)

- [8] Goleusov PV, Lisetsky FN, Chepelev OA. Ecological restoration of post-industrial dumps of the iron ore industry of the KMA. *Problems of regional ecology*. 2005;(6):130–137. (In Russ.)
- [9] Konovalova NA, Dabizha ON, Pankov PP, Rush EA. Minimizing the anthropogenic impact on the environment of mining waste through their disposal in cement soils modified with natural zeolites. *Ecology and Industry of Russia*. 2020;(24)6:24–30. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-6-24-29>

Сведения об авторах:

Обуздина Марина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения. Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15. ORCID: 0000-0002-4956-0063. E-mail: obuzdina_mv@mail.ru.

Рух Елена Анатольевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения. Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15. E-mail: lrush@mail.ru

Bio notes:

Marina V. Obuzdina, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of Academy Department of Technosphere Safety, Irkutsk State Transport University. 15 Chernyshevsky St, Irkutsk, 664074, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-4956-0063. E-mail: obuzdina_mv@mail.ru

Elena A. Rush, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Academy Department of Technosphere Safety, Irkutsk State Transport University. 15 Chernyshevsky St, Irkutsk, 664074, Russian Federation. E-mail: lrush@mail.ru.



ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

HUMAN ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-201-211

EDN: ZSEDUG

UDC 614.7

Research article / Научная статья

Chemical pollution in Arctic cities: public health risk assessment and solutions

Mariya A. Rusakova  , Roman A. Kolesnikov , Elena V. Shinkaruk 

*Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District,
Salekhard, Russian Federation*

 m.a.rusakova7@gmail.com

Abstract. The research presents characteristics of non-carcinogenic and carcinogenic inhalation and aquatic chemical risk caused by chemical pollutants of atmospheric air and drinking water exposure to the health of the population of the Arctic city of Salekhard. It has been established that carcinogenic risks with inhalation exposure to chromium, soot and formaldehyde as well as with oral exposure to cadmium, beryllium, lead and hexavalent chromium correspond to the upper limit of the acceptable risk and are subject to constant monitoring. The risk of oral exposure to arsenic needs to be minimized through the development and implementation of additional health measures. The calculated indices of non-carcinogenic risk for inhalation and oral exposure, not exceeding 1.0, that shows a low probability of adverse effects from critical organs / systems.

Keywords: environmental pollution, inhalation risk, water risk, risk assessment, health of the Arctic population

Authors' contributions: *M.A. Rusakova* – the concept and design of the study, collection and processing of material, writing a text; *R.A. Kolesnikov* – collection and processing of material, redaction; *E.V. Shinkaruk* – collection and processing of material, redaction. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of final version.

© Rusakova M.A., Kolesnikov R.A., Shinkaruk E.V., 2023



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

Article history: received 25.05.2022; revised 25.10.2022; accepted 15.01.2023.

For citation: Rusakova MA, Kolesnikov RA, Shinkaruk EV. Chemical pollution in Arctic cities: public health risk assessment and solutions. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):201–211. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-201-211>

Химическое загрязнение арктических городов: оценка рисков здоровью населения и пути решения

М.А. Русакова  , Р.А. Колесников , Е.В. Шинкарук 

Лаборатория ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики»,
Салехард, Российская Федерация
m.a.rusakova7@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты расчета канцерогенного и неканцерогенного ингаляционного и водного химического риска, обусловленного воздействием химических загрязнителей атмосферного воздуха и питьевой воды, для здоровья населения арктического города Салехард. Установлено, что канцерогенные риски при ингаляционном воздействии шестивалентного хрома, сажи и формальдегида, при пероральном – кадмия, бериллия, свинца и шестивалентного хрома соответствуют верхней границе приемлемого риска и подлежат постоянному контролю. Риск, связанный с пероральным воздействием мышьяка, требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий. Рассчитанные индексы неканцерогенной опасности при ингаляционном и пероральном воздействии, не превышающие 1,0, свидетельствуют о низкой вероятности проявления неблагоприятных эффектов со стороны критических органов/систем.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, ингаляционный риск, водный риск, оценка риска, здоровье населения Арктики

Вклад авторов: М.А. Русакова – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста; Р.А. Колесников – сбор и обработка материала, редакция; Е.В. Шинкарук – сбор и обработка материала, редакция. Все авторы несут ответственность за целостность всех частей рукописи и утверждение окончательного варианта.

История статьи: поступила в редакцию 25.05.2022; доработана после рецензирования 25.10.2022; принята к публикации 15.01.2023.

Для цитирования: Rusakova M.A., Kolesnikov R.A., Shinkaruk E.V. Chemical pollution in Arctic cities: public health risk assessment and solutions // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 201–211. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-201-211>

Introduction

Even minimal anthropogenic risks, which seem insignificant for industrial regions from the middle zone, are unacceptable for the Arctic territories. The vulnerability of the north nature and the long period of its recovery, extreme natural and climatic factors that affect human life negatively, dictate strict requirements for environmental safety [1].

Severe climatic conditions of Salekhard city depend on its location on the Arctic Circle. The population undergo high functional stress on the body. It is caused by frequent magnetic disturbances, “ultraviolet starvation”, sharp fluctuations in atmospheric pressure, low air humidity, a decrease of oxygen density in the air, low temperatures, disturbances in homeostasis, vitamin status, nutritional structure, photoperiodicity and many others factors that increase the sensitivity to pollutants and leads to a high risks for health [2–6]. So, it became important to minimize the risks of anthropogenic impact to the population health.

Works of risk assessment has shown its value for identifying main pollutants and improving chemical safety management [7–10].

The purpose of our research is to assess the non-carcinogenic and carcinogenic inhalation and water chemical health risk of the population of the Salekhard city in connection with the impact of chemical environmental factors and creating risk management solutions.

The particularity of the work is to carry out a complex and multistage process: from identifying the probability of a negative effect on human health caused by exposure to chemically contaminated atmospheric air and potable water as well as assessing the consequences of this impact to measures development for preventing and reducing it.

Materials and methods

As a methodological basis for the work, the “Guidance for the assessment of risk to human health when exposed to chemicals that pollute the environment” R 2.1.10.1920-04, approved by the chief state sanitary doctor of the Russian Federation on March 05, 2004 (hereinafter – R 2.1.10.1920-04) was used¹.

Calculations of the dispersion of noxious substances in the atmosphere were performed using the unified program for calculating the level of atmospheric pollution “Ecolog”, version 4.6, which implements methods for calculating the dispersion of emissions of pollutants in the air².

Analysis of information on emissions from stationary sources to assess inhalation risk is based on data from the annual forms of state statistical reporting “2-TP Air”, Federal and Regional registers of objects that have a negative impact on the environment for 2019. The basis for the assessment of water chemical risk was the water supply and sewerage scheme of the Salekhard city and data from the results of monitoring carried out by the federal budgetary health institution “Center for Hygiene and Epidemiology in the Yamal-Nenets Autonomous Okrug”.

¹ Guidance for the Human Health Risk Assessment from Environmental Chemicals. R 2.1.10.1920-04. Moscow: Federal’nyy tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii. (In Russ.) Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200037399> (accessed: 30.03.2022).

² Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation №. 273 of 6 June 2017 “On approval of methods for calculating the dispersion of emissions of harmful (polluting) substances in the air”. (In Russ.). Available from: <https://docs.cntd.ru/document/456074826> (accessed: 30.03.2022).

Results

Inhalation chemical health risk assessment 67 substances in the amount of 3077.529 t / year from 163 sources of emissions enter the atmospheric air on the territory of the Salekhard city. The average annual concentrations of toxic substances entering the atmospheric air with emissions do not exceed the admissible concentration limits.

26 main air pollutants were selected, taking into account their danger and the amount of emissions into the atmosphere for further analysis.

Blood, cardiovascular system, respiratory organs, immune system, central nervous system, reproductive system, endocrine system, kidneys, liver are most vulnerable to inhalation exposure to selected air pollutants. 2 substances (sulfur dioxide, suspended solids) can cause death.

According to the Guide R 2.1.10.1920-04 individual carcinogenic risks throughout life depend on lead, benzene, ethylbenzene, benz(a)pyrene, tetrachloromethane and acetaldehyde exposure, less than 10^{-6} causes to one additional case of serious illness or death per more than 1 million individuals but all other people perceive them as negligible usual risks (see Table 1).

Table 1. Carcinogenic risks from exposure to priority air pollutants

| Code | Substance | Individual carcinogenic risk | | Population carcinogenic risk | | Population annual risk | |
|------|--------------------|------------------------------|----------|------------------------------|----------|-------------------------|----------|
| | | Residential development | | Residential development | | Residential development | |
| | | min | max | min | max | min | max |
| 184 | Lead | 9.59E-12 | 2.46E-10 | 1.50E-08 | 3.85E-07 | 2.14E-10 | 5.50E-09 |
| 203 | Chromium | 2.76E-08 | 4.65E-06 | 4.32E-05 | 7.28E-03 | 6.16E-07 | 1.04E-04 |
| 328 | Soot | 2.10E-07 | 5.18E-06 | 3.28E-04 | 8.10E-03 | 4.69E-06 | 1.16E-04 |
| 602 | Benzene | 2.38E-08 | 4.66E-07 | 3.73E-05 | 7.30E-04 | 5.33E-07 | 1.04E-05 |
| 627 | Ethylbenzene | 8.86E-11 | 1.73E-09 | 1.39E-07 | 2.71E-06 | 1.98E-09 | 3.88E-08 |
| 703 | Benz(a)pyrene | 3.42E-10 | 2.71E-09 | 5.36E-07 | 4.24E-06 | 7.65E-09 | 6.06E-08 |
| 906 | Tetrachloromethane | 4.67E-12 | 9.10E-11 | 7.65E-09 | 6.06E-08 | 7.65E-09 | 6.06E-08 |
| 1317 | Acetaldehyde | 4.90E-11 | 7.63E-09 | 7.66E-08 | 1.19E-05 | 1.09E-09 | 1.71E-07 |
| 1325 | Formaldehyde | 9.97E-08 | 4.07E-06 | 1.56E-04 | 6.37E-03 | 2.23E-06 | 9.09E-05 |
| | Total risk | 5.77E-07 | 9.58E-06 | 9.03E-04 | 1.50E-02 | 1.29E-05 | 2.14E-04 |

Exposure risks to chromium, soot and formaldehyde in the range from 1×10^{-6} to 1×10^{-4} require constant monitoring, since they correspond to the maximum permissible risk.

The total carcinogenic risks in the residential area are from 5.8×10^{-7} to 9.6×10^{-6} . Chromium is the most significant participation in the total individual carcinogenic risks.

Inhalation exposure to chromium, benzene, lead, ethylbenzene, soot, carbon tetrachloride, benz(a)pyrene, acetaldehyde and formaldehyde does not cause a significant level of cancer throughout the life of the population living in the surveyed residential area. The predicted population carcinogenic risk ranges from 9.0×10^{-4} to 1.5×10^{-2} and the annual population risk ranges from 1.3×10^{-5} to 2.1×10^{-4} .

Individual non-carcinogenic inhalation risks on the territory of residential buildings range from 8.1×10^{-8} to 7.9×10^{-1} .

The highest hazard indices are due to exposure to nitrogen dioxide (HQ from 5.0×10^{-2} to 7.3×10^{-1}), kerosene (HQ from 2.0×10^{-2} to 7.9×10^{-1}) and dimethylamine (HQ from 2.0×10^{-2} to 3.5×10^{-1}).

The obtained hazard indices (HQ) do not exceed 1.0 and indicate a low probability of adverse effects from exposure to all priority air pollutants.

Due to the fact that multicomponent chemical pollution of environmental objects takes place in the study area, the study of the total risks caused by the simultaneous exposure to several chemical compounds at once was of undoubted interest. We have carried out a non-carcinogenic risk assessment, taking into account the data on the effects of chemicals on critical organs and systems. Priority substances with a unidirectional effect on critical organs and systems were grouped:

- 16 chemicals (soot, sulfur dioxide, dihydrogen sulfide, chromium, nitrogen dioxide, ammonia, nitrogen oxide, formaldehyde, fluoride gaseous compounds, a mixture of saturated hydrocarbons $C_1H_4-C_5H_{12}$, suspended solids, dimethylbenzene, hydroxybenzene, butyl acetate, acetaldehyde, inorganic dust, silicon dioxide in %: 70–20) have a unidirectional effect on the respiratory system. Hazard indices (HI) for residential areas range from 6.8×10^{-2} to 1.11. The most significant participation in the risk of developing non-carcinogenic effects during chronic exposure to priority substances on the respiratory system is made by nitrogen dioxide;

- 6 chemicals have a unidirectional effect on blood (lead, nitrogen dioxide, nitrogen oxide, carbon oxide, benzene, propan-2-on). Hazard indices (HI) for residential areas range from 5.5×10^{-5} to 7.4×10^{-1} . The most significant participation in the risk of developing non-carcinogenic effects during chronic exposure to priority substances on the blood is made by nitrogen dioxide;

- 8 chemicals (lead, carbon oxide, a mixture of saturated hydrocarbons $C_1H_4-C_5H_{12}$, benzene, dimethylbenzene, carbon tetrachloride, hydroxybenzene, propan-2-on) have a unidirectional effect on the central nervous system. Hazard indices (HI) for residential areas range from 2.0×10^{-3} to 1.1×10^{-2} . The most significant participation in the risk of developing non-carcinogenic effects during chronic exposure to priority substances on the central nervous system is made by carbon oxide;

- 6 chemicals (lead, carbon oxide, benzene, ethylbenzene, benz(a)pyrene, carbon tetrachloride) have a unidirectional effect on development processes. Hazard indices (HI) for residential areas range from 1.0×10^{-3} to 1.1×10^{-2} . Carbon oxide makes the most significant participation in the risk of developing non-carcinogenic effects during chronic exposure to priority substances on development processes;

- 4 chemicals (benzene, benz(a)pyrene, formaldehyde, inorganic dust containing silicon dioxide in %: 70–20) have a unidirectional effect on the immune system. Hazard indices (HI) for residential areas range from 4.0×10^{-3} to 1.1×10^{-1} .

The most significant participation in the risk of developing non-carcinogenic effects during chronic exposure to the immune system is made by inorganic dust containing silicon dioxide in %: 70–20;

- 3 chemicals (carbon oxide, benzene, hydroxybenzene) have a unidirectional effect on the cardiovascular system. Hazard indices (HI) for residential areas range from 1.0×10^{-3} to 1.0×10^{-2} . The most significant participation in the risk of developing non-carcinogenic effects during chronic exposure to the cardiovascular system is made by carbon oxide;

- 2 chemicals (lead, benzene) have a unidirectional effect on the reproductive system. Hazard indices (HI) for residential areas range from 1.1×10^{-4} to 2.0×10^{-3} . Benzene makes the most significant participation in the risk of developing non-carcinogenic effects during chronic exposure to the reproductive system;

- 2 chemicals (lead, eilbenzene) have a unidirectional effect on the endocrine system. Hazard indices (HI) for residential areas range from 1.9×10^{-6} to 4.1×10^{-5} . Lead makes the most significant participation in the risk of developing non-carcinogenic effects during chronic exposure to the endocrine system;

- 7 chemicals (a mixture of saturated hydrocarbons $C_1H_4-C_5H_{12}$, dimethylbenzene, ethylbenzene, carbon tetrachloride, hydroxybenzene, propan-2-on, kerosene) have a unidirectional effect on the liver. Hazard indices (HI) for residential areas range from 2.5×10^{-2} to 7.9×10^{-1} . The most significant participation in the risk of developing non-carcinogenic effects during chronic exposure to the liver is made by kerosene;

- 7 chemicals (lead, a mixture of saturated hydrocarbons $C_1H_4-C_5H_{12}$, dimethylbenzene, ethylbenzene, carbon tetrachloride, hydroxybenzene, propan-2-on) have a unidirectional effect on the kidneys. Hazard indices (HI) are in the residential area from 5.2×10^{-4} to 8.5×10^{-3} . The most significant participation in the risk of developing non-carcinogenic effects during chronic exposure to the kidneys is made by hydroxybenzene;

- 2 chemicals (sulfur dioxide, suspended solids) have a unidirectional effect, leading to death. Hazard indices (HI) for residential areas range from 9.0×10^{-3} to 2.4×10^{-1} . The most significant participation in the risk of developing non-carcinogenic effects in chronic exposure to mortality is made by sulfur dioxide.

Hazard indices for toxic substances in all receptor points according to the methodological recommendations MR 5.1.0158-19.5.1.³ refer to acceptable risk and indicate a low probability of negative effects from critical organs / systems.

Assessment of water chemical risk to public health.

The quality of potable water in Salekhard according to the production control data for 2019 and 2020 meets the requirements of SanPiN 2.1.4.1074-01.

³ Methodical recommendations approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on 02 December 2019 “MR 5.1.0158-19 Assessment of economic efficiency of the implementation of measures to reduce air pollution levels based on an assessment of public health risk”. (In Russ.). Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_359666/ (accessed: 30.03.2022).

Drinking water contains: 2 chemicals of the 1st hazard class, 7 chemicals of the 2nd hazard class, 8 chemicals of the 3rd class, 4 substances of 4 hazard class, 11 substances standardized for sanitary and toxicological signs of harm, 9 substances – for organoleptic characteristics.

Blood, immune system, central nervous system, endocrine system, gastrointestinal tract, development, nervous system, kidneys, mucous membranes, skin are most sensitive to the oral intake of main pollutants in potable water.

According to the forecast, exposure to cadmium, beryllium, lead and hexavalent chromium from drinking water leads to individual carcinogenic risks ranging from 1×10^{-6} to 1×10^{-4} . These levels of risk should be monitored continuously (see Table 2).

Individual carcinogenic risks when exposed to arsenic with drinking water range from 1×10^{-4} to 1×10^{-3} , which requires the development and implementation of additional health improvement measures, since the value of the risk is unacceptable for the population.

Table 2. Carcinogenic risks from exposure to priority potable water pollutants

| CAS | Substance | Individual carcinogenic risk | Population carcinogenic risk | Population annual risk |
|------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|
| 7440-43-9 | Cadmium | 1.09E-06 | 5.44E-02 | 7.77E-04 |
| 7440-41-7 | Beryllium | 1.23E-05 | 6.15E-01 | 8.79E-03 |
| 7440-38-2 | Arsenic | 1.07E-04 | 5.36E+00 | 7.66E-02 |
| 18540-29-9 | Chromium Cr(6+) | 1.20E-05 | 6.01E-01 | 8.58E-03 |
| 7439-92-1 | Lead | 1.34E-06 | 6.72E-02 | 9.60E-04 |
| | Total risk | 1.34E-04 | 6.70 | 0.10 |

As a result of oral exposure to arsenic, cadmium, beryllium, lead and hexavalent chromium with drinking water, 7 cases of oncological diseases are predicted during the life of the population. The total individual carcinogenic risk is 1.3×10^{-4} , the projected population carcinogenic risk is 6.7, and the annual population risk is 0.1. Arsenic makes the most significant participation in the total carcinogenic risk.

The obtained hazard coefficients of individual non-carcinogenic risks (HQ) do not exceed 1.0 and indicate a low probability of adverse effects from exposure to all priority chemicals in drinking water.

The largest values of hazard ratios were established in connection with exposure to arsenic (HQ 4.8×10^{-1}), fluorides (HQ 5.0×10^{-2}) and nitrites (HQ 4.0×10^{-2}).

To calculate the total non-carcinogenic risk, chemicals were grouped according to their unidirectional effect on critical systems and organs. The highest values of hazard indices are established for toxic substances affecting the cardiovascular system (HI 5.3×10^{-1}), the immune system (HI 5.0×10^{-1}) and skin (HI 5.0×10^{-1}). In general, hazard indices do not exceed 1.0 and indicate a low probability of adverse effects from critical organs / systems.

The priority factor of the total assessment of the organoleptic risk from the use of drinking water is iron, but its value is less than 0.1.

Potential chronic risk from exposure to priority substances in drinking water on the population of the Salekhard city is 7.2×10^{-2} and thus indicates the absence of adverse health effects associated with drinking water consumption.

Discussion

With the help of risk assessment methodology the acquired information makes it possible to develop specific measures to prevent the negative impact of the anthropogenically polluted environment on the population health.

It is necessary to control the atmospheric air during the period of unfavorable meteorological conditions at enterprises with the largest volume of emissions and enterprises that have an impact even with insignificant gross emissions, based on calculations taking into account the ranking of chemical compounds according to the degree of hazard, in accordance with RD 52.04.52-85, developed by the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikov⁴.

For the development and improvement of control and supervision activities in areas of high air pollution in the studied area it is important to expand the volume of laboratory support, enlarge the list of detected harmful impurities in the atmospheric air, including heavy metals, increase the number of monitoring posts for atmospheric air pollution (snow cover), increase the number of places and points of sampling when determining the concentration of impurities in the atmospheric air by purchasing a mobile post for monitoring environmental pollution. Sources of emissions of chromium, soot and formaldehyde are subject to special control.

It is necessary to reduce the negative impact on the environment from mobile and stationary sources of pollution through the use of natural gas and other alternative types of energy resources.

To provide the population of the Salekhard city with drinking water of guaranteed quality it's important to ensure control over the observance of technological regimes for wastewater treatment, organize sanitary protection zones for water sources, eliminate and prevent the formation of sources of chemical and microbial pollution of surface and underground water sources in water protection zones, dispose and clean industrial and storm waste water. It is also necessary to check the state of hygienic conditions for water use during hydrological periods with the most unfavorable sanitary conditions of water bodies during sanitary and epidemiological supervision over the protection of water bodies from pollution and centralized drinking water supply to the population.

Additional recreational measures should be developed for the population of Salekhard to reduce the impact of arsenic, cadmium, beryllium, lead and hexavalent chromium supplied with drinking water.

⁴ Guiding document approved by the State Committee for Hydromet of the USSR on 12 January 1986 "RD 52.04.52-85. Methodical instructions. Regulation of emissions under unfavorable meteorological conditions". (In Russ.). Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200031405> (accessed: 30.03.2022).

Conclusion

In the circumpolar regions both anthropogenic, natural and climatic factors characterized by extremeness demand high human functional systems. Therefore, even with insignificant calculated health risks of the population of Salekhard city it is important to increase attention and control, technological measures, the implementation of recreational activities are necessary to reduce the intensity of those factors that can be influenced by a person. The results of our study will serve as the driver for the development of targeted measures for environmental safety and scientifically based recommendations for decision makers in the field of environmental protection, public health and housing and communal services of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug.

References

- [1] Saltykova MM, Bobrovnikskii IP, Balakaeva AV. Air Pollution and Population Health in the Russian Arctic: a Literature Review. *Human Ecology*. 2020;(4):48–55. (In Russ.). <http://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-4-48-55>
- [2] Chashchin VP, Gudkov AB, Popova ON, Odland JÖ, Kovshov AA. Description of main health deterioration risk factors for population living on territories of active natural management in the Arctic. *Human Ecology*. 2014;(1):3–12. (In Russ.)
- [3] Dudarev AA, Odland JO. Human Health in Connection with Arctic Pollution – Results and Perspectives of International Studies under the Aegis of AMAP. *Human Ecology*. 2017;(9):3–14. (In Russ.). <http://doi.org/10.33396/1728-0869-2017-9-3-14>
- [4] Dudarev AA, Gorbanev SA, Fridman KB. Partnership of the Northwest Public Health research center in the international projects in the field of Arctic environmental health. *Hygiene and sanitation*. 2017;96(7):601–606. (In Russ.). <http://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-601-606>
- [5] Khurtsilava OG, Chashchin VP, Meltser AV, Dardynskaia IV, Erastova NV, Chashchin MV, et al. Pollution of the environment with persistent toxic substances and prevention of their harmful impact on the health of the indigenous population residing in the Arctic zone of the Russian Federation. *Hygiene and sanitation*. 2017;96(5):409–414. (In Russ.). <http://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-409-414>
- [6] Korchin VI, Korchina T Ya., Ternikova EM, Bikbulatova LN, Lapenko VV. Influence of Climatic and Geographical Factors of the YNAO. *Journal of Medical and Biological Research*. 2021;9(1):77–88. (In Russ.). <http://doi.org/10.37482/2687-1491-Z046>
- [7] Bakirov AB, Suleimanov RA, Valeev TK, Baktybaeva ZB, Rakhmatullin NR, Stepanov EG, et al. Ecological-hygienic assessment of human carcinogenic health risk of technogenic territories in the Republic of Bashkortostan. *Occupational Medicine and Human Ecology*. 2018;3(15):5–12. (In Russ.)
- [8] Chuenkova GA, Karelin AO, Askarov RA, Askarova ZF. Evaluation of the air pollution health risk for the population of the city of Ufa. *Hygiene and sanitation*. 2015;94(3):24–29. (In Russ.)
- [9] Unguryanu TN, Novikov SM. Results of health risk assessment due to exposure to contaminants in drinking water in Russia population (review of literature). *Hygiene and sanitation*. 2014;(1):19–24. (In Russ.)
- [10] Jgnaheva LP, Pogorelova IG, Potapova MO. Hygienic assessment of carcinogenic and noncarcinogenic risks of oral intake of drinking water chemical agents. *Hygiene and sanitation*. 2006;(4):30–32. (In Russ.)

Список литературы

- [1] Салтыкова М.М., Бобровницкий И.П., Балакаева А.В. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения арктического региона: обзор литературы // Экология человека. 2020. № 4. С. 48–55. <http://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-4-48-55>
- [2] Чащин В.П., Гудков А.Б., Попова О.Н., Одланд Ю.О., Ковшов А.А. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территории активного природопользования в Арктике // Экология человека. 2014. № 1. С. 3–12.
- [3] Дударев А.А., Одланд Й.О. Здоровье человека в связи с загрязнением Арктики – результаты и перспективы международных исследований под эгидой АМАП // Экология человека. 2017. № 9. С. 3–14. <http://doi.org/10.33396/1728-0869-2017-9-3-14>
- [4] Дударев А.А., Горбанёв С.А., Фридман К.Б. Сотрудничество ФБУН «Северо-западный научный центр гигиены и общественного здоровья» в рамках международных проектов в области гигиены окружающей среды Арктики // Гигиена и санитария. 2017. № 7. С. 601–606. <http://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-601-606>
- [5] Хурцилава О.Г., Чащин В.П., Мельцер А.В., Дардынская И.В., Ерастова Н.В., Чащин М.В. и др. Загрязнения окружающей среды стойкими токсичными веществами и профилактика их вредного воздействия на здоровье коренного населения Арктической зоны Российской Федерации // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 5. С. 409–414. <http://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-409-414>
- [6] Корчин В.И., Корчина Т.Я., Терникова Е.М., Бикбулатова Л.Н., Лапенко В.В. Влияние климатогеографических факторов Ямало-Ненецкого автономного округа на здоровье населения (обзор) // Журнал медико-биологических исследований. 2021. Т. 9, № 1. С. 77–88. <http://doi.org/10.37482/2687-1491-Z046>
- [7] Бакиров А.Б., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Бактыбаева З.Б., Рахматуллин Н.Р., Степанов Е.Г. и др. Эколого-гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения техногенных территорий Республики Башкортостан // Медицина труда и экология человека. 2018. № 3. С. 5–12.
- [8] Чуенкова Г.А., Карелин А.О., Аскарлов Р.А., Аскарова З.Ф. Оценка риска здоровью населения города Уфы, обусловленного атмосферными загрязнениями // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 3. С. 24–29.
- [9] Унгурияну Т.Н., Новиков С.М. Результаты оценки риска здоровью населения России при воздействии химических веществ питьевой воды (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2014. № 1. С. 19–24.
- [10] Игнатьева Л.П., Погорелова И.Г., Потапова М.О. Гигиеническая оценка канцерогенного и неканцерогенного риска опасности перорального воздействия химических веществ, содержащихся в питьевой воде // Гигиена и санитария. 2006. № 4. С. 30–32.

Bio notes:

Mariya A. Rusakova, Researcher of the Environmental Protection Sector of the Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District, 20 Respubliki St, Salekhard, 629008, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5300-4169, eLibrary SPIN-код: 8261-0871. E-mail: m.a.rusakova7@gmail.com

Roman A. Kolesnikov, Candidate of Geographical Sciences, Head of the Environmental Protection Sector of the Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District, 20 Respubliki St, Salekhard, 629008, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2722-5133, eLibrary SPIN-код: 3211-2066. E-mail: roman387@mail.ru

Elena V. Shinkaruk, Researcher at the Chemical Analysis Laboratory of the Environmental Protection Sector of the Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District, 20 Respubliki St, Salekhard, 629008, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4782-6275, eLibrary SPIN-код: 5764-1897. E-mail: elena1608197@yandex.ru

Сведения об авторах:

Русакова Мария Андреевна, научный сотрудник сектора охраны окружающей среды государственного автономного учреждения Ямало-Ненецкого автономного округа «Научный центр изучения Арктики». Российская Федерация, 629008, Салехард, ул. Республики, д. 20. ORCID: 0000-0001-5300-4169, eLibrary SPIN-код: 8261-0871. E-mail: m.a.rusakova7@gmail.com

Колесников Роман Александрович, кандидат географических наук, заведующий сектором охраны окружающей среды государственного автономного учреждения Ямало-Ненецкого автономного округа «Научный центр изучения Арктики». Российская Федерация, 629008, Салехард, ул. Республики, д. 20. ORCID: 0000-0002-2722-5133, eLibrary SPIN-код: 3211-2066. E-mail: roman387@mail.ru

Шинкарук Елена Владимировна, научный сотрудник химико-аналитической лаборатории государственного автономного учреждения Ямало-Ненецкого автономного округа «Научный центр изучения Арктики». Российская Федерация, 629008, Салехард, ул. Республики, д. 20. ORCID: 0000-0003-4782-6275, eLibrary SPIN-код: 5764-1897. E-mail: elena1608197@mail.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-212-224

EDN: CDIMFO

УДК 159.9.072:613.6.02

Научная статья / Research article

Условия труда работников торговли и их адаптация в период пандемии COVID-19

Т.П. Яковлева ✉, М.В. Сошенко , А.И. Степанова, Е.В. Коверкина *Российский государственный социальный университет, Москва, Российская Федерация*
✉yakoff.t@yandex.ru

Аннотация. Показано, что введение дополнительных требований к условиям труда в период 2020–2022 гг. в связи с COVID-19, ограничения межличностного общения вследствие повышенного риска заболеть оказали стрессогенное влияния на население. В первую очередь это касалось работников тех профессиональных групп, которые в процессе труда контактируют с большим количеством населения (клиентов, покупателей). Представители данных профессиональных групп в период пандемии, как правило, продолжали трудовую деятельность на рабочих местах. Цель исследования – оценка условий труда и адаптации персонала торговых организаций в разные периоды: 2012 и 2021 гг. (до и в период пандемии COVID-19). Объектами исследования являлись крупные торговые организации непродовольственного профиля. Условия труда работников торговых организаций оценивались в соответствии с Руководством по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса, а также методом интервью работников о собственных условиях труда. Для оценки нервно-психической дезадаптации (ОНПД) применен компьютеризированный опросник, разработанный Ленинградским психоневрологическим научно-исследовательским институтом им. В.М. Бехтерева. Опрос проводился в 2012 и 2021 гг. – до и в период пандемии COVID-19. Основную долю опрошенных составляли женщины (около 70 %), имеющие различный стаж в этой профессии. Всего было опрошено 66 человек. Условия труда работников торговли (продавцы) в 2012 и 2021 гг. сходны и относятся к вредным второй степени. В период пандемии 2020–2021 изменился режим работы в торговых организациях: внедрены новые правила в течение рабочего дня, организованы новые рабочие процессы (внедрение дистанционных технологий, проводится постоянный контроль за состоянием здоровья сотрудников и покупателей с помощью ведения журналов учета состояния здоровья сотрудников, визуального осмотра и дистанционного измерения температуры). Сравнительный анализ оценки нервно-психической дезадаптации показал, что в период пандемии и сопутствующих ограничений, направленных на минимизацию контактов между

© Яковлева Т.П., Сошенко М.В., Степанова А.И., Коверкина Е.В., 2023

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

людьми, у 31,0 % работников отмечен психоэмоциональный дискомфорт, выражающийся в астенических симптомах (15,1 %), появлении депрессивных настроений (15,1 %). В 2021 г. у работников достоверно ($p \leq 0,05$) превышены средние значения по шкале А (астении): $37,0 \pm 6,2$ и $56,7 \pm 9,6$; отмечена тенденция к росту по шкале D (депрессии). Это свидетельствует о том, что вынужденные условия ограничения социальных контактов, возникшие в последние два года, негативно отражаются на процессах адаптации и психического комфортного состояния работников.

Ключевые слова: условия труда, торговля, нервно-психическая дезадаптации, COVID-19

Благодарности и финансирование. Авторы выражают благодарность канд. псих. наук, старшему научному сотруднику НИИ медицины труда Рубцову М.Б за оказание консультативной помощи.

Вклад авторов: *Т.П. Яковлева* — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, статистическая обработка, написание текста; *М.В. Сошенко* — сбор материала, редактирование; *А.И. Степанова* – сбор материала, написание текста; *Е.В. Коверкина* – обработка данных, редактирование.

История статьи: поступила в редакцию 15.06.2022; доработана после рецензирования 20.10.2022; принята к публикации 25.02.2023.

Для цитирования: *Яковлева Т.П., Сошенко М.В., Степанова А.И., Коверкина Е.В.* Условия труда работников торговли и их адаптация в период пандемии COVID-19 // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 212–224. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-212-224>

Working conditions of trade workers and their adaptation during the COVID-19 pandemic

Tatiana P. Yakovleva  , Marina V. Soshenko ,
Anastasia I. Stepanova, Elena V. Koverkina 

Russian State Social University, Moscow, Russian Federation
 yakoff.t@yandex.ru

Abstract. It is shown that the restrictions of interpersonal communication, the introduction of additional requirements to working conditions in the period 2020–2022 in connection with COVID-19, due to the increased risk of getting sick, had a stressful effect on the population. First of all, this concerned employees of those professional groups who, in the course of work, come into contact with a large number of the population (customers, buyers). Representatives of these professional groups, during the pandemic, as a rule, continued to work in the workplace. The purpose of the study: to assess the working conditions and adaptation of personnel of trade organizations in different periods: 2012 and 2021 (before and during the COVID-19 pandemic). The objects of the study were large non-food trade organizations. The working conditions of employees of trade organizations were assessed in accordance with the Guidelines for the Hygienic Assessment of Factors of the Working Environment and the labor process, as well as the method of interviewing employees about their own working conditions.

A computerized questionnaire developed by the Leningrad Psychoneurological Research Institute named after V.M. Bekhterev was used to assess neuropsychiatric maladaptation (ONPD). The survey was conducted in 2012 and 2021 – before and during the COVID-19 pandemic. The majority of respondents were women (about 70%) with various experience in this profession. A total of 66 people were interviewed. The working conditions of trade workers (sellers) in 2012 and in 2021 are similar and are harmful to the second degree. During the 2020–2021 pandemic, the working hours in trade organizations have changed: new rules have been introduced during the working day, new work processes have been organized (introduction of remote technologies, constant monitoring of the health of employees and customers by logging the health status of employees, visual inspection and remote temperature measurement). A comparative analysis of the assessment of neuropsychiatric maladaptation showed that during the pandemic and concomitant restrictions aimed at minimizing contacts between people, 31.0% of employees had psychoemotional discomfort, expressed in asthenic symptoms (15.1%), the appearance of depressive moods (15.1%). In 2021, workers significantly ($p \leq 0.05$) exceeded the average values on the A scale (asthenia): 37.0 ± 6.2 and 56.7 ± 9.6 ; and there was an upward trend on the D scale (depression). This indicates that the forced conditions of restriction of social contacts that have arisen in the last two years have a negative impact on the processes of adaptation and mental comfort of employee

Keywords: working conditions, trade, neuropsychic maladaptation; COVID-19

Acknowledgements and Funding. The authors express their gratitude to the Candidate of psycho. M.B. Rubtsov, Senior Researcher at the Research Institute of Occupational Medicine, for providing advisory assistance.

Authors' contributions: T.P. Yakovleva – research concept and design, data collection and processing, statistical processing, text writing; M.V. Soshenko – material collection, editing; A.I. Stepanova – material collection, text writing; E.V. Koverkina – data processing, editing.

Article history: received 15.06.2022; revised 20.10.2022; accepted 25.02.2023.

For citation: Yakovleva TP, Soshenko MV, Stepanova AI, Koverkina EV. Working conditions of trade workers and their adaptation during the COVID-19 pandemic. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):212–224. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-212-224>

Введение

К массовым сферам деятельности в России на протяжении последних трех десятилетий относятся торговля, ремонт автотранспортных средств и мотоциклов, деятельность гостиниц. Численность работников этой сферы деятельности на конец 2022 г. составляла 18,2 % от среднегодовой численности занятых по видам экономической деятельности России (10 690 тыс. человек)¹. Это превышает соответствующее число занятых в здравоохранении и образовании вместе взятых. Период пандемии внес изменения во все сферы деятельности и в первую очередь отразился на режимах труда работников тех профессиональных групп, которые работают с населением. Это врачи, педагоги,

¹ Российский статистический ежегодник. Табл. 5.5. Среднегодовая численность занятых по видам экономической деятельности. 26.09.2021. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/rus19.pdf>.

торговые работники и т.п. В стране в настоящее время ведущей трудовой деятельностью является торговля. В разные годы последнего десятилетия 18–19 % от среднегодовой численности занятых по видам экономической деятельности России приходилось на торговлю ремонт автотранспортных средств и мотоциклов, деятельность гостиниц. Характерной чертой профессиональной деятельности торговых работников является ежедневное общение с большим числом покупателей.

В связи с пандемией COVID-19 остро встал вопрос о труде, здоровье и социальном благополучии работников. Для работников торговли, как и для других профессиональных групп, ежедневно контактирующих с большим количеством посетителей (покупателей), в период пандемии были введены жесткие дополнительные требования, обеспечивающие безопасность на рабочем месте², что, безусловно, с одной стороны было необходимо, но с другой – осложняло процесс труда.

Резкое изменение образа жизни населения в период пандемии 2020–2021 гг. характеризовалось вынужденным ограничением личностных контактов, использованием информационных технологий во всех сферах деятельности, изменением рабочих взаимоотношений вследствие распространения удаленных рабочих мест [1–3]. Согласно данным зарубежных исследователей (Китай, Великобритания), в период пандемии резко возросла тревожно-депрессивная симптоматика и уровень стресса у студентов различных высших учебных заведений. Использование дистанционных форм не только в обучении, но и в трудовой деятельности в период пандемии наряду со снижением риска заболевания COVID-19 для ряда категорий работников явилось причиной нервно-психического напряжения [4].

Цель исследования – оценить уровни нервно-психической дезадаптации (ОНПД) работников торговли в период пандемии COVID-19 (2021 г.) с данными, полученными для тех же профессиональных групп, работавших ранее в обычном режиме (2012 г.).

Материалы и методы

Объектом исследования являлись работники торговых организаций непродовольственных товаров в 2012 и 2021 гг.

В 2012 г. объектом исследования являлись работники торговой организации ООО «ГАП РИТЕЙЛ». Количество обследованных – 66 человек. Более половины работников (58 %) имели неполное высшее образование. Основная часть работников не являлись жителями г. Москвы (53 %). Стаж работы менее одного года имели 43 % обследуемых, а у 28 % работников стаж составлял немногим более двух лет.

² COVID-19. Меры Правительства по борьбе с коронавирусной инфекцией и поддержке экономики. URL: <http://government.ru/news/39560/>

В 2021 г. объектом исследования в период пандемии являлись семь организаций торговли непродовольственными товарами. В связи с ограничениями было выборочно опрошено 32 человека. По своему составу работники торговых организаций, работавшие в 2012 и 2021 гг., были сопоставимы по ведущим характеристикам. Так же как и ранее, в 2012 г., 40 % работников в 2021 г., имели незаконченное высшее образование, а третья часть персонала имели высшее образование в другой сфере деятельности. В торговле не требуется наличия профильного образования, большее значение имеет опыт работы в аналогичной сфере для более высоких по рангу должностей. Как и в 2012 г., большая часть работников (50 %) прибыли в г. Москву из других регионов России. Среди принятых работников доля лиц со стажем работы до 1 года составила 52 %, а у 16 % обследуемых стаж составлял более двух лет.

Среди опрошенных преобладали преимущественно женщины (70 %). Возраст работников, как мужчин, так и женщин, находился в интервале 20–29 лет.

Методы исследования. Гигиеническая оценка условий труда выполнялась на рабочих местах продавцов, кассиров, менеджеров и включала в себя оценку факторов производственной среды и трудового процесса, проводилась в соответствии с Р 2.2.2006-05 (Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда)³.

Также был проведен опрос методом интервью, с помощью которого фиксировались суждения работников о собственных условиях труда [5].

Параллельно проводилось обследование с использованием сертифицированных компьютеризированных методов психологического тестирования и применением бланковых методов сбора данных [6–8].

Опросник нервно-психической дезадаптации (ОНПД) предназначен для диагностики состояний дезадаптации, самооценки нервного и соматического благополучия. Разработан Ленинградским психоневрологическим научно-исследовательским институтом им. В.М. Бехтерева. С его помощью возможно выявить наличие психической дезадаптации и основные ее проявления. Состоит из 30 вопросов, требующих ответов «да» или «нет». Методика позволяет представить результаты исследования в виде профиля, состоящего из 5 шкал: соматического благополучия (I); психического благополучия (II); астении (A); депрессии (D); психического дискомфорта (DP). Шкалы I и II составляют «вектор благополучия» (показатели высокие при хорошей адаптации). Шкалы A, D, DP характеризуют вектор «дезадаптации» (при хорошей адаптации показатели низкие). Компьютерная психодиагностическая программа «Psycomp» позволяет переводить полученные значения в Т-баллы:

³ Р 2.2.2006-05 Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040973> (дата обращения: 01.02.2022).

при значениях меньше 30 Т-баллов для шкал I и II и при значениях больше 70 Т-баллов для шкал А, D и DP фиксируется отклонение от нормы [9–11].

Первые две шкалы определяют «вектор благополучия». Чем выше значения этих шкал, тем лучше адаптация. Последние три шкалы определяют вектор «дезадаптации». При хорошей адаптации показатели этих шкал бывают низкими. Опросник стандартизирован: рассчитанные баллы переводятся в Т-баллы, средний показатель нормы 50Т, а результаты, отличающиеся больше чем на 2 стандартных отклонения (т.е. больше 70Т для последних трех шкал и менее 30Т для первых двух шкал), являются отклонением от нормы [12–14].

С помощью данной методики были обследованы продавцы и менеджеры низшего звена до и в период пандемии COVID-19.

Результаты

Проанализировав объективные показатели условий труда и их интенсивность в организации ООО «ГАП РИТЕЙЛ» (2012 г.) (шум, параметры освещения, тяжесть и напряженность труда и др.), было сделано заключение о том, что класс условий труда персонала торговой организации соответствует вредным условиям второй степени (класс 3.2): ведущим вредным фактором является тяжесть труда, учитывая рабочую позу стоя более 80 % времени смены.

В 2021 г. условия труда персонала по показателям тяжести труда не изменились: труд персонала торговых организаций оценивался так же, как тяжелый (класс 3.2), учитывая те же требования к работе (работа стоя более 80 % времени в смену). Условия труда в 2019–2021 гг. изменились за счет наличия биологического фактора, который рассматривался как опасный.

Сами работники, как в 2012 г., так и в 2021 г., обращали внимание на ряд сопутствующих некомфортных факторов на рабочих местах, которые характеризовались ими как неблагоприятные: недостаточная вентиляция, шум, статическое электричество. Эти условия были сходными в годы наблюдения и объективно не превышали нормативных значений.

Ведущим и самым неблагоприятным фактором в период пандемии работники торговли на рабочем месте считали высокий риск заражения COVID-19.

Напряженность труда в торговых организациях возросла, так как в связи с пандемией COVID-19 были введены новые правила в течение рабочего дня: обязательная регулярная дезинфекция помещений и всех рабочих поверхностей, ношение масок и перчаток, ограничение по количеству человек, одновременно находящихся в одном помещении, отсутствие возможности пользоваться лифтом. Были внедрены в ряде случаев дистанционные формы работы и общения (например, организация собраний осуществлялась дистанционно с помощью компьютерного обеспечения); появился постоянный контроль за состоянием здоровья сотрудников и покупателей с помощью дистанционных

термометров, ведения журналов, визуального осмотра. Персонал, в первую очередь, должен был следить за состоянием своего здоровья и придерживаться всех установленных мер. Так, при обнаружении вируса COVID-19 у одного представителя рабочей группы вся группа работников должна была соблюдать 2-недельный карантин, что отражалось на продажах. За несоблюдение установленных мер была предусмотрена административная ответственность.

Кроме этого, по мнению работников, последствия заражения несли большой ущерб и/или риски финансовому и социальному положению человека. Финансовое и социальное положение работника торговли ухудшилось в период пандемии, что также повлияло на психоэмоциональное состояние.

В период пандемии работа магазинов часто велась только в онлайн-режиме и сотрудники теряли часть своих доходов. Даже после открытия магазинов прибыль торговых объектов с непродовольственными товарами не сильно увеличилась, так как покупательная способность людей снизилась за несколько месяцев ограничений. В связи с этим многие работники торговли были лишены работы.

Оценка нервно-психической дезадаптации (ОНПД) в годы наблюдения, с интервалом в девять лет (до пандемии и во время пандемии), позволила выявить направленность изменений в показателях психического дискомфорта работников. Учитывая, что отклонением от нормы считаются значения меньше 30 Т-баллов для шкал I и II (соматическое и психическое благополучие) и больше 70 Т-баллов для шкал А, D и DP, целесообразно не только оценивать средние значения показателей по группе, но и оценить долю лиц, с показателями шкал, выходящими за нормативные значения.

Обследование в 2012 г. нервно-психической дезадаптации продавцов в ООО «ГАП РИТЕЙЛ» установило, что показатели адаптации не выходили за рамки нормативных значений (от 30 до 70 Т): вектор по шкалам А, D имел тенденцию к росту, но различия средних величин не достигали достоверных различий: $37,0 \pm 6,2$ и $47 \pm 8,3$; $p \geq 0,05$ (рис. 1).

Соматическое благополучие (I, II) в конце рабочей смены изменилось незначительно, в пределах нормативных значений, отражая признаки усталости к концу рабочей смены.

Необходимо отметить, что среди работников, обследованных в 2012 г., как среди мужчин, так и среди женщин, не было тех, в профиле ОНПД которых отмечаются шкалы, выходящие за нормативные значения, то есть менее 30 Т-баллов для шкал I и II и более 70 Т-баллов для шкал А, D и DP.

Результаты обследования нервно-психической дезадаптации работников торговых организаций, проведенного в 2012 и 2021 гг., представлены на рис. 2 и 3.

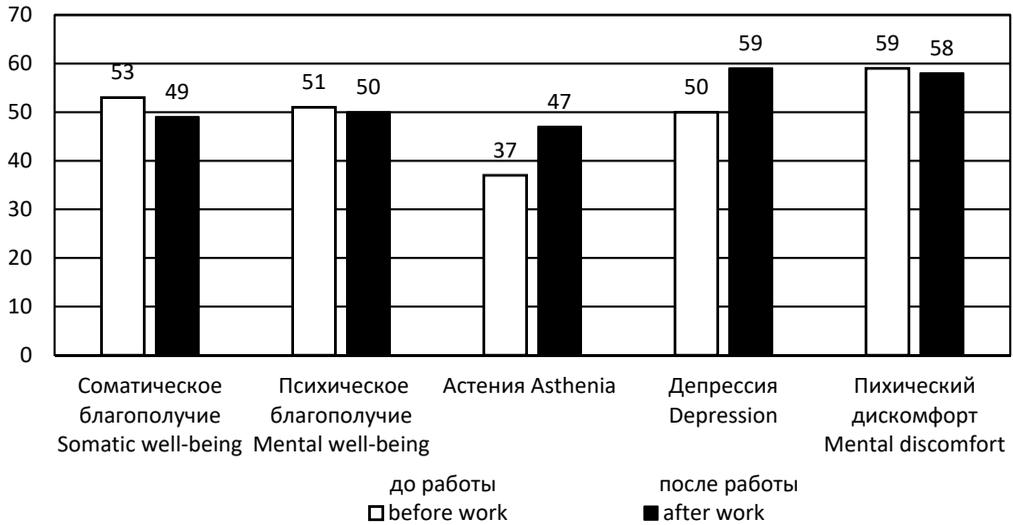


Рис. 1. Результаты оценки уровня соматического и психического благополучия продавцов до работы и после работы в 2012 (по методике ОНПД, средние показатели по группе) / Figure 1. Results of assessment of the level of somatic and mental well-being of sellers before and after work, 2012 (according to the ONPD methodology, average indicators for the group)

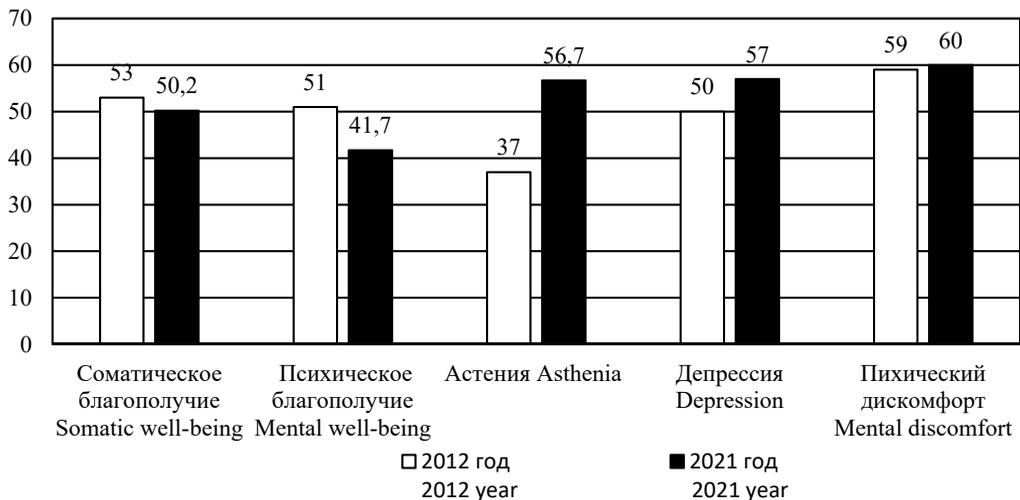


Рис. 2. Результаты оценки уровня соматического и психического благополучия продавцов в 2012 и в 2021 гг. (по методике ОНПД, средние показатели по группе; * по шкале астении (A): $37,0 \pm 6,2$ и $56,7 \pm 9,6$; $t = 2,3$; $p \leq 0,05$) / Figure 2. The results of assessing the level of somatic and mental well-being of sellers in 2012 and in 2021 (according to the ONPD methodology, the average indicators for the group; * On the asthenia scale (A): $37,0 \pm 6,2$ and $56,7 \pm 9,6$; $t = 2,3$; $p \leq 0,05$)

Средние величины показателей соматического благополучия в 2021 и 2012 гг. сходны (53,0 и 50,2). В то же время выявлены существенные различия по шкале астении (A): $37,0 \pm 6,2$ и $56,7 \pm 9,6$; $t = 2,3$; $p \leq 0,05$, также отмечается тенденция к росту по шкале депрессии (D): с 50,0 до 57,0 Т.

Среди работников, обследованных в 2021 г., т.е. сразу после периода пандемии, была представительной доля лиц, в профиле ОНПД которых есть шкалы, выходящие за нормативные значения: более 70 Т-баллов. Работников с превышением нормативных значений по шкале А среди обследованных 15,1 %, по шкале D 15,1 % и по DP 31,0 %.

Оценка психоэмоционального состояния мужчин и женщин, работавших в торговых организациях 2021 г., показала их сходство, т.е. показатели во всем шкалам статистических различий не имели (рис. 3).

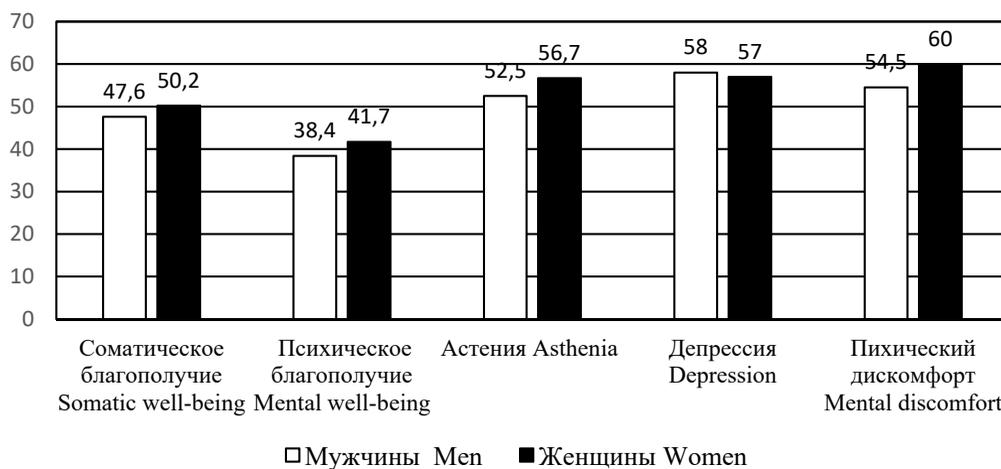


Рис. 3. Результаты оценки уровня соматического и психического благополучия ОНПД продавцов (женщин и мужчин) торговой организации в 2021 г. (средние показатели по группе) / Figure 3. Results of the assessment of the level of somatic and mental well-being of the ONPD of sellers (women and men) of the trade organization in 2021 (average indicators for the group)

В 2021 г. в группе мужчин, работающих в торговой организации, в 18,1 % случаев были отмечены превышающие нормативное значение показатели по шкале А, а по шкале D доля тех, кто превысил нормативные значения (70 Т) у мужчин была выше, чем у женщин, и составила 27,0 %: и DP (18,0 %).

Заключение

Результаты исследования показали, что условия труда на объектах торговли в 2012 и 2021 гг. были идентичны, класс условий труда соответствовал вредным условиям второй степени, учитывая тяжесть труда. Исключением в 2020–2021 гг. является наличие биологического фактора, который выходил за рамки нормативных значений и оценивается как опасный. Введение ограничений в сфере межличностных общений в период эпидемической ситуации (2020 г.), на фоне распространения новой коронавирусной инфекции, провоцировало ухудшение психоэмоционального состояния работников торговых организаций.

После внедрения новых рабочих процессов и требований рабочего распорядка в 2019–2020 гг. в торговых организациях по продаже непродовольственных товаров были созданы дистанционные рабочие места, внедрены новые процессы в связи с увеличением онлайн-продаж. Работники магазинов были также ответственны за соблюдение всех норм и правил в магазинах, поэтому должны были присутствовать на объектах. В период пандемии большее количество работников стало задумываться о смене места работы по причине высокого риска ее потери. Данная тенденция отмечалась также у продавцов и кассиров, работающих ежедневно на объекте. Покупательная способность населения в период пандемии упала, что напрямую отразилось на заработных платах работников торговли. После окончания режима самоизоляции штат организаций начал пополняться.

Увеличилась вероятность потери работы, которая не могла не отразиться на психоэмоциональном состоянии работников торговых объектов. Также большинство сотрудников после отмены режима самоизоляции опасались, что данный режим снова будет введен на территории Москвы. В связи с наличием страха и опасений потерять работу большинство работников находились в поиске более стабильного места. Большинство стали обращать внимание на стабильность, надежность и востребованность предприятия, а некоторые прошли дополнительное обучение новым профессиям, которые, по их мнению, будут актуальны при любых условиях.

Дистанционный режим работы также сопровождался дополнительным обучением работников новому программному обеспечению. В 2021 г. цифровые технологии в торговле стали использоваться чаще, что привело к созданию новых вакантных мест (маркетологи, веб-дизайнеры, системные администраторы и др.).

В 2021 г. работниками торговых организаций были выделены также нервно-психические перегрузки на фоне высокого риска заражения COVID-19.

Данное исследование показало, что сформировалась ситуация, которая изменила психоэмоциональные характеристики работников. В период пандемии на фоне напряженной обстановки и условиях ограничения межличностных очных общений, повсеместного перехода на дистанционные технологии, среди работников торговли появилась доля лиц, адаптация которых в новых условиях изменения режима труда сопровождалась признаками астении (15,0 %) и депрессии (15,0 %); психического дискомфорта (31,0 %) на фоне неизменившихся средних уровней соматического благополучия в 2012 и 2021 гг. (53,0 и 50,2).

Список литературы

- [1] *Иваев М.И., Морозов А.Д., Савченко Д.О.* Менеджмент организации в условиях самоизоляции // *Инновации. Наука. Образование*. 2021. № 29. С. 930–935.

- [2] *Залаяев А.Р., Мухарьямова Л.М., Шаммазова Е.Ю.* Вакцинация от COVID-19 в контексте общественного доверия // *Социальная политика и социология*. 2020. Т. 19. № 4. С. 127–135. <http://doi.org/10.17922/2071-3665-2020-19-4-127-135>
- [3] *Вередюк О.В.* Неустойчивость занятости: теоретические основы и оценка масштабов в России // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*. 2013. № 1. С. 25–32.
- [4] *Рубцов М.Ю., Юшкова О.И.* Методы психологической диагностики профессионального стресса при различной степени напряженности труда // *Медицина труда и промышленная экология*. 2009. № 9. С. 25–31.
- [5] *Яковлева Т.П.* Оценка нервно-психической дезадаптации у работников отдельных профессий социальной сферы // *Социальная политика и социология*. 2012. № 10. С. 163–169.
- [6] *Бухтияров И.В., Рубцов М.Ю., Чесалин П.В.* Валидизация оценки профессионального стресса у работников офисов // *Экология человека*. 2012. № 11. С. 20–26.
- [7] *Жбанкова О.В., Юшкова О.И.* Оценка профессиональной пригодности и социально-психологической надежности при работе в опасных условиях // *Медицина труда и промышленная экология*. 2017. № 9. С. 71–71.
- [8] *Мишик И.А., Баймаков Е.А., Юшкова О.И., Зайцева А.В., Ониани Х.Т.* Влияние нервно-эмоциональной напряженности трудового процесса на организм педагогических и медицинских работников // *Медицина труда и промышленная экология*. 2021. Т. 61. № 4. С. 218–223. <http://doi.org/10.31089/1026-9428-202161-4-218-223>
- [9] *Bukhtiyarov I.* COVID-19 as Occupation Disease in Russian Federation // *Safety and Health at Work*. 2022. Т. 13. С. 172–173. <http://doi.org/10.1016/j.shaw.2021.12.1291> (In Russ.)
- [10] *Калинина С.А., Юшкова О.И.* Влияние социально-психологических факторов на формирование профессионального стресса // *Физиология человека*. 2015. Т. 41(4). С. 378–385. <http://doi.org/10.7868/S0131164615030078>
- [11] *Польская Н.А., Развалова А.Ю.* Межличностная чувствительность в период самоизоляции: роль в выборе мер социального дистанцирования // *Психологическая наука и образование*. 2020. Т. 25 (6). С. 63–76. <http://doi.org/10.17759/pse.2020250606>
- [12] *Левин А.Ю., Майдан В.А.* Влияние образа жизни населения в условиях самоизоляции и карантинных мероприятий на состояние здоровья // *Известия российской военно-медицинской академии*. 2021. Т. 10 (S1-3). С. 185–190.
- [13] *Тузова О.Н., Попова Е.М.* Психоэмоциональное состояние населения Российской Федерации в период самоизоляции // *Актуальные проблемы исследования массового сознания*. М., 2021. № 6. С. 330–336.
- [14] *Ковалева М.Е.* Особенности нервно-психической дезадаптации у специалистов различного профиля профессиональной деятельности // *Психология и право*. 2019. Т. 9, № 3. С. 219–231. <http://doi.org/10.17759/psylaw.2019090316>

References

- [1] *Isaev MI, Morozov AD, Savchenko DO.* Management of an organization in conditions of self-isolation. *Innovacii. Nauka. Obrazovanie*. 2019;(29):930–935 (In Russ.)
- [2] *Zalyaev AR, Mukharyamova LM, Shammazova EYU.* Covid-19 vaccination in the context of public trust. *Social'naya politika i sociologiya*. 2020;19(4):127–135. (In Russ.). <http://doi.org/10.17922/2071-3665-2020-19-4-127-135>

- [3] Veredyuk OV. Instability of employment: theoretical concept and assessment of its scale in Russia. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika*. 2013;25–32. (In Russ.)
- [4] Roubtsov MYu, Yushkova OI. Methods of psychologic diagnosis of occupational stress under variable work intensity. *Medicina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2009;(9):25–31. (In Russ.)
- [5] Yakovleva TP. Assessment of neuropsychic maladaptation in employees of certain professions of the social sphere. *Social'naya politika i sociologiya*. 2012;10(88):163–169. (In Russ.)
- [6] Bukhtiyarov IV, Rubtsov MYu, Chesalin PV. Clerkship's occupational stress evaluation reliability. *Ekologiya cheloveka*. 2012;(11):20–36. (In Russ.)
- [7] Zhbankova OV, Yushkova OI. Evaluation of occupational fitness and social psychologic reliability for work in dangerous conditions. *Medicina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2017;(9):71. (In Russ.)
- [8] Mishkich IA, Baymakov EA, Yushkova OI, Zaytseva AV, Oniani HT. Influence of the nervous and emotional tension of the labor process on the body of pedagogical and medical workers. *Medicina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2021;61(4):218–223 (In Russ.). <http://doi.org/10.31089/1026-9428-202161-4-218-223>
- [9] Bukhtiyarov IV, Rubtsov MYu, Yushkova OI. Occupational stress caused by shift work as a risk factor for workers' health disorders. *Health Risk Analysis*. 2016;(4):110–121. (In Russ.). <http://doi.org/10.1016/j.shaw.2021.12.1291>
- [10] Kalinina SA, Yushkova OI. Effects of sociopsychological factors on the development of occupational stress. *Human Physiology*. 2015;41(4):378–385. (In Russ.). <http://doi.org/10.7868/S0131164615030078>
- [11] Polskaya NA, Razvalyaeva AYu. Interpersonal sensitivity in the period of self-isolation and its role in the choice of social distancing measures. *Psychological science and education*. 2020;25(6):63–76. (In Russ.). <http://doi.org/10.17759/pse.2020250606>
- [12] Levin AYu, Maidan VA. The impact of the living style of the population in self-isolation and quarantine measures on health. *Izvestia of the Russian military medical academy*. 2021;40(S1-3):185–190. (In Russ.)
- [13] Tuzova ON, Popova EM. Psychoemotional state of the population of the Russian Federation during the period of self-isolation. In: *Actual problems of the study of mass consciousness. Materials of the VI International Scientific and Practical Conference*. 2021;6:330–336. (In Russ.)
- [14] Kovaleva ME. Features of neuropsychic maladaptation in specialists of various professional activity profiles. *Psihologiya i pravo*. 2019;9(3):219–231. (In Russ.). <http://doi.org/10.17759/psylaw.2019090316>

Сведения об авторах:

Яковлева Татьяна Петровна, доктор медицинских наук, заведующий кафедры охраны природы, Российский государственный социальный университет, Российская Федерация, 129226, Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1. ORCID: 0000-0001-7143-4779. E-mail: yakoff.t@yandex.ru

Сошенко Марина Владимировна, доцент кафедры охраны природы, Российский государственный социальный университет, Российская Федерация, 129226, Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1. ORCID: 0000-0002-9054-1139. E-mail: soshenkomv@mail.ru

Степанова Анастасия Игоревна, магистрант кафедры охраны природы, Российский государственный социальный университет, Российская Федерация, 129226, Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1. SPIN-код: 3448-7224, AuthorID: 1118856. E-mail: nasty55555@list.ru

Коверкина Елена Владимировна, старший преподаватель кафедры охраны природы, Российский государственный социальный университет, Российская Федерация, 129226, Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1. ORCID: 0000-0002-4813-170X. E-mail: koverkinaev@rgsu.net

Bio notes:

Tatiana P. Yakovleva, Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Nature Conservation, Russian State Social University, p. 1, 4 Wilhelm Peak St, Moscow, 129226, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-7143-4779. E-mail: yakoff.t@yandex.ru

Marina V. Soshenko, Associate Professor of the Department of Nature Conservation, Russian State Social University, p. 1, 4 Wilhelm Peak St, Moscow, 129226, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-9054-1139. E-mail: soshenkomv@mail.ru

Anastasia I. Stepanova, Master's Student of the Department of Nature Conservation, Russian State Social University, p. 1, 4 Wilhelm Peak St, Moscow, 129226, Russian Federation. SPIN-код: 3448-7224, AuthorID: 1118856. E-mail: nasty55555@list.ru

Elena V. Koverkina, Senior Lecturer of the Department of Nature Conservation, Russian State Social University, p. 1, 4 Wilhelm Peak St, Moscow, 129226, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-4813-170X. E-mail: koverkinaev@rgsu.net



БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

BIOLOGICAL RESOURCES

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-225-231

EDN: EIROBE

УДК 57.042.5

Научная статья / Research article

Стимулирование роста *Chlorella* в зависимости от длительности воздействия электромагнитного излучения крайне высоких частот

Г.А. Щеглов  

*Институт проблем промышленной экологии Севера
Федерального исследовательского центра Кольского Научного центра
Российской академии наук, Апатиты, Российская Федерация*

 g.scheglov@ksc.ru

Аннотация. Цель исследования – изучить влияние длительности экспозиции электромагнитного излучения (ЭМИ) крайне высоких частот (КВЧ) на скорость роста микроводоросли *Chlorella*. Загрязнение карьерных сточных вод соединениями неорганического азота (аммонием, нитратом, нитритом) – важная проблема горнодобывающей промышленности. Биологические методы очистки с применением растительных организмов и микроорганизмов показывают эффективность и требуют меньших финансовых и трудовых затрат, чем физические и химические методы очистки сточных вод. Не все организмы и микроорганизмы применимы в условиях Крайнего Севера. Микроводоросль *Chlorella* демонстрирует способность к снижению концентрации нитратов и аммония в карьерных сточных водах, а отдельные виды микроводоросли способны выживать при температуре воды 3 °С. Ряд работ свидетельствует о стимулирующем действии ЭМИ КВЧ на микроорганизмы и способность к снижению токсичности загрязняющих веществ. Поэтому методики очистки карьерных сточных вод от соединений неорганического азота с помощью микроводоросли *Chlorella* под воздействием электромагнитного излучения крайне высоких частот актуальны для разработки.

© Щеглов Г.А., 2023



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

Ключевые слова: биотехнологии, очистка карьерных вод, электромагнитные поля, облучение, миллиметровые волны, биомасса, микроводоросли

Благодарности и финансирование. Автор выражает благодарность научному руководителю Маслобоеву Владимиру Алексеевичу, доктору технических наук, заведующему лабораторией междисциплинарных эколого-экономических исследований ИППЭС КНЦ РАН за советы в планировании исследования и критический анализ текста статьи. Работа выполнена в рамках темы НИР FMEZ-2022-0010 122022400112-7 «Процессы трансформации природных и техногенных систем в условиях изменения климата в Арктической зоне Российской Федерации (на примере Мурманской области)».

История статьи: поступила в редакцию 12.06.2022; доработана после рецензирования 12.09.2022; принята к публикации 20.02.2023.

Для цитирования: Щеглов Г.А. Стимулирование роста *Chlorella* в зависимости от длительности воздействия электромагнитного излучения крайне высоких частот // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 225–231. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-225-231>

***Chlorella* growth stimulation depending on the duration of extremely high frequencies electromagnetic radiation exposure**

Gleb A. Shcheglov  

*Institute of Industrial Ecology Problems in the North, Kola Science Center,
Russian Academy of Science (INEP KSC RAS), Apatity, Russian Federation*
 g.scheglov@ksc.ru

Abstract. The result indicates the possibility of creating methods to stimulate the growth rate of microalgae by extremely high frequency electromagnetic radiation (EHF EMF). Pollution of quarry waste water with inorganic nitrogen compounds (ammonium, nitrate, nitrite) is an important problem in the mining industry. Biological treatment methods with the use of plant organisms and microorganisms show efficiency and require less financial and labour costs than physical and chemical methods of waste water treatment. Not all organisms and microorganisms are applicable in the Far North conditions. The microalgae *Chlorella* shows the ability to reduce nitrate and ammonium concentrations in quarry wastewater, and some species of microalgae can survive at water temperatures of 3°C. A number of works indicate the stimulating effect of EHF EMR on microorganisms and the ability to reduce the toxicity of pollutants. Therefore, the methods of treatment of quarry waste water from inorganic nitrogen compounds by microalgae *Chlorella* under the influence of electromagnetic radiation of extremely high frequency are relevant for development. The aim of the study was to investigate the effect of the duration of EHF EMR exposure on the growth rate of the *Chlorella* microalgae. Materials and Methods: In this work, 2 control and 9 working experiments were carried out to cultivate *Chlorella vulgaris* for 24 hours with the exposure time of EMF EHF from 5 to 480 minutes at the beginning of cultivation. The increase in biomass concentration in the experiments relative to control values was studied spectrophotometrically. Results: The maximum increase in biomass concentration was observed at an exposure time of 120 minutes.

Keywords: biotechnology, quarry waters treatment, electromagnetic fields, irradiation, millimeter waves, biomass, microalgae

Acknowledgements and Funding. The author is grateful to his supervisor Vladimir A. Masloboev, Doctor of Engineering, Head of the Laboratory of Interdisciplinary Environmental-Economic Research at the INEP KSC RAS for advice in planning the research and critical analysis of the text of the article. This work has been carried out within the research theme FMEZ-2022-0010 122022400112-7 Processes of transformation of natural and anthropogenic systems under climate change in the Arctic zone of the Russian Federation (by the example of Murmansk region).

Article history: received 12.06.2022; revised 12.09.2022; accepted 20.02.2023.

For citation: Shcheglov GA. *Chlorella* growth stimulation depending on the duration of extremely high frequencies electromagnetic radiation exposure. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):225–231. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-225-231>

Введение

Загрязнение карьерных сточных вод соединениями неорганического азота – важная проблема горнодобывающей промышленности [1; 2]. Загрязнение происходит в результате использования в качестве взрывчатого вещества нитрата аммония при неполном его разложении. В результате выбросов соединения неорганического азота попадают в водоемы и почвы, угнетая экосистему[3].

Микроводоросль *Chlorella* – перспективный объект исследований для создания методов очистки сточных вод горнодобывающих производств от соединений неорганического азота [4; 5]. Поэтому важно найти способы стимулирования роста микроводоросли, с помощью которых удастся быстрее наращивать биомассу микроводоросли для очистки сточных вод.

Электромагнитное излучение (ЭМИ) может быть использовано для ускорения наращивания биомассы микроводорослей. В ряде работ показаны стимулирующие эффекты ЭМИ на микроводоросль *Chlorella* [6; 7]. Повышенный интерес представляет действие ЭМИ крайне высоких частот (КВЧ). Так, в [8–10] сообщается о снижении токсичности загрязняющих веществ в воде при воздействии электромагнитного излучения крайне высоких частот (ЭМИ КВЧ).

Цель исследования – изучение действия ЭМИ КВЧ различной продолжительности при наращивании биомассы микроводоросли *Chlorella*.

Материалы и методы

Объект исследования – одноклеточная микроводоросль *Chlorella vulgaris*. До начала экспериментов биомасса водоросли наращивалась на среде Тамия 7 дней. Полученную культуру брали в качестве исходной для проведения экспериментов.

Эксперименты проходили при постоянном освещении лампы LED-1088 Aquarium light, при постоянной температуре 30 °C и подаче воздуха 2,5 л/м.

Характеристики излучения. Генератор Г4-141 («Исток», г. Фрязино Московской области, СССР) являлся источником излучения. Прямоугольный рупор с раскрытием 5,2×2,6 мм использовался в качестве излучателя на расстоянии 25 см от объекта. Плотность потока энергии J составляла 11,69 мкВт/см². Рабочая частота излучения 40 ГГц в режиме непрерывной генерации выявлена в предварительных экспериментах [11].

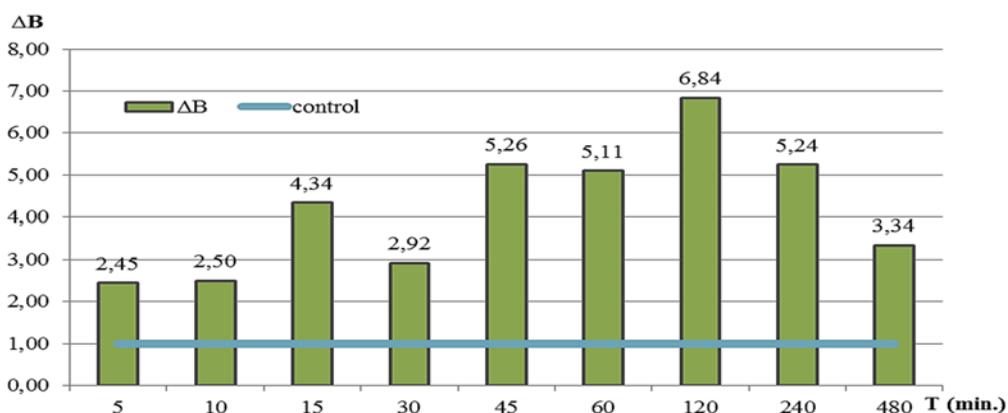
Методика эксперимента. В каждом эксперименте брали 6 мл исходной культуры, вносили в 1,2 литра среды Тамия и разделяли на 4 равные пробы по 300 мл. Одну пробу сразу отбирали для определения исходной концентрации биомассы, оставшиеся три экспериментальные пробы культивировали 24 ч, облучая ЭМИ КВЧ от 0 до 480 мин в начале культивирования.

Было проведено два контрольных эксперимента, в которых культура выращивалась без воздействия ЭМИ КВЧ, и 9 экспериментов с различным временем экспозиции: 5, 10, 15, 30, 45, 60, 120, 240, 480 мин.

Методика анализа. После окончания культивирования пробы пропускались через мембранный фильтр диаметром 47 мм типа МФАС-ОС-2С. А затем по методике ГОСТ 17.1.4.02-90 определяли концентрацию биомассы микроводоросли на спектрофотометре ПЭ-5400УФ (ООО «Экохим», г. Санкт-Петербург, Россия). По значениям от трех экспериментальных проб рассчитывалась средняя концентрация биомассы. По среднему значению относительно исходного значения рассчитывался прирост биомассы за сутки. Полученный прирост биомассы в эксперименте сравнивался со значением в контрольных экспериментах.

Результаты

Полученные результаты представлены в графическом виде на рисунке.



Прирост концентрации биомассы *Chlorella vulgaris* после 24-часового культивирования в зависимости от времени экспозиции ЭМИ 40 ГГц, ППЭ 11,69 мкВт/см²
The *Chlorella vulgaris* biomass concentration increase after cultivation 24 hours and various durations exposure to EMR 40 Hz, energy-flux density of 11.69 μW/cm²

По двум контрольным экспериментам с тремя повторами в каждом было рассчитано среднее значение концентрации биомассы, которое было принято за контрольное значение без воздействия и приравнено к 1.

Ось ординат показывает, во сколько раз относительно контроля изменилась концентрация биомассы за сутки – ΔB . Ось абсцисс показывает время экспозиции объекта – T , от 5 до 480 минут. На графике представлено 9 столбцов, каждый из которых отражает результаты одного из экспериментов с различным временем экспозиции. Культивирование во всех экспериментах проходило 24 часа вне зависимости от времени экспозиции.

Как видно из данных рис., в экспериментах наблюдается увеличение концентрации биомассы микроводоросли относительно контрольных значений, что подтверждает предварительно полученные результаты о стимулирующем действии ЭМИ КВЧ 40 ГГц на *Chlorella vulgaris* [11]. Результаты экспериментов, приведенные на графике, разделены на три сектора: 5–30, 45–240, 480 мин. В диапазоне от 5 до 30 мин наблюдается увеличение концентрации биомассы относительно контроля. В диапазоне от 45 до 240 мин наблюдается резкое увеличение прироста биомассы с пиковым значением при времени экспозиции 120 мин. Затем прирост биомассы снижается и при 480 мин укладывается в диапазон, наблюдаемый при 5–30 мин.

Наличие данных о способности микроводоросли *Chlorella* к поглощению аммонийного и нитратного азота [4; 5] указывает на перспективность биологических методик очистки карьерных сточных вод от соединений неорганического азота. Данные о снижении токсичности загрязняющих веществ в стоках [8–10] свидетельствуют о перспективности использования ЭМИ КВЧ не только для стимулирования роста микроводоросли, но и снижения токсичности соединений азота и, как следствие, повышения степени очистки карьерных сточных вод.

Заключение

По результатам исследования оптимальное время экспозиции ЭМИ КВЧ 40 ГГц для стимулирования роста одноклеточной микроводоросли *Chlorella vulgaris* лежит в диапазоне от 45 до 240 мин. Максимальный стимулирующий эффект был отмечен при времени экспозиции 120 мин (2 ч). Прирост биомассы за 24 ч выше контрольных значений в 6,84 раза при экспозиции 120 мин. Полученные результаты важны для создания методик культивирования микроводорослей. Для создания методов культивирования *Chlorella* необходимо подобрать оптимальные характеристики ЭМИ КВЧ. Описанные в статье эксперименты были проведены в режиме непрерывной генерации. В дальнейшей работе необходимо изучить действие ЭМИ КВЧ в режиме импульсной генерации и сравнить воздействие с воздействием непрерывного излучения.

Также необходимо проведение ряда экспериментов по изучению способности *Chlorella* к поглощению соединений азота в различных условиях, в том числе в климатических условиях Крайнего Севера, подбору холодоустойчивых видов *Chlorella*. И затем изучить способность *Chlorella* поглощать соединения неорганического азота при экспозиции ЭМИ КВЧ.

Список литературы

- [1] Хохряков А.В., Студенок А.Г., Ольховский А.М., Студенок Г.А. Количественная оценка вклада взрывных работ в загрязнение дренажных вод карьеров соединениями азота // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2005. № 6. С. 29–31. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11642420>
- [2] Хохряков А.В., Студенок А.Г., Студенок Г.А. Исследование процессов формирования химического загрязнения дренажных вод соединениями азота на примере карьера крупного горного предприятия // Известия Уральского государственного горного университета. 2016. № 4 (44). С. 35–37. <http://doi.org/10.21440/2307-2091-2016-4-35-37>
- [3] Babatunde A.O., Zhao Y.Q., Doyle R.J., Rackard S.M., Kumar J.L.G., Hu Y.S., On the fit of statistical and the k-C * models to projecting treatment performance in a constructed wetland system // Environ Sci Health A Tox Hazard Subst. 2011. Vol. 46 (5). P. 490–499. <http://doi.org/10.1080/10934529.2011.551729>
- [4] Кирилина Т.В., До Тху Тху Ханг, Сироткин А.С. Оценка эффективности доочистки сточных вод с использованием одноклеточных и многоклеточных гидробактерий // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 8 (16). С. 200–203.
- [5] Солнышкова М.А. Снижение загрязнения поверхностных вод неорганическими соединениями азота в зоне воздействия горнодобывающих предприятий мурманской области: дис. ... канд. тех. наук. СПб., 2020. URL: <https://goo.su/N55RjSd> (дата обращения: 28.09.2022).
- [6] Li Z.Y., Guo S.Y., Li L., Cai M.Y. Effects of electromagnetic field on the batch cultivation and nutritional composition of *Spirulina platensis* in an air-lift photobioreactor // Bioresour. Technol. 2007. Vol. 98. № 3. P. 700–705.
- [7] Суховский Н.А. Наличие электростатического поля в электростатическом биореакторе // Вестник АПК Верхневолжья. 2015. № 1. С. 92–94.
- [8] Гапочка М.Г. Экологические аспекты взаимодействия электромагнитных полей миллиметрового диапазона с биологическими объектами: дис. ... д-ра биол. наук. М., 2013. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30397922> (дата обращения: 27.09.2022).
- [9] Гапочка М.Г. Влияние электромагнитного излучения низкой интенсивности на токсичность водной среды // ВМУ физика астрономия. 2009. № 1. С. 67–69.
- [10] Зарубина А.П., Гапочка М.Г., Новоселова Л.А., Гапочка Л.Д. Биотестирование тест-системой «эколюм» влияния электромагнитного поля низкой интенсивности на токсичность бытовых стоков // Вестник Московского Университета. Биология. 2012. Т. 16. № 3. С. 39–43.
- [11] Щеглов Г.А., Маслобоев В.А. Возможность стимулирования роста микроводорослей электромагнитным излучением для альгологических исследований // XIX Международная научная конференция студентов и аспирантов «Проблемы арктического региона». 2022. С. 21. <http://doi.org/10.31241/FNS.2022.19.077>

References

- [1] Khokhryakov AV, Studenok AG, Olkhovsky AM, Studenok GA. Quantitative assessment of the contribution of blasting operations to the pollution of drainage waters of quarries with nitrogen compounds. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Mining Journal*. 2005;6:29–31. (In Russ.). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11642420> (accessed: 07.11.2022).
- [2] Khokhryakova AV, Studenok AG, Studenok GA. Investigation of the processes of formation of chemical pollution of drainage waters with nitrogen compounds on the

- example of a quarry of a large mining enterprise. *Proceedings of the Ural State Mining University*. 2016;4(44):35–37. (In Russ.). <http://doi.org/10.21440/2307-2091-2016-4-35-37>
- [3] Babatunde AO, Zhao YQ, Doyle RJ, Rackard SM, Kumar JLG, Hu YS. On the fit of statistical and the k-C * models to projecting treatment performance in a constructed wetland system. *Environ Sci Health A Tox Hazard Subst*. 2011;46(5):490-9. <http://doi.org/10.1080/10934529.2011.551729>
- [4] Kirilina TV, Do Thi Thu Hang, Sirotkin AS. Evaluation of the efficiency of wastewater treatment using unicellular and multicellular hydrobionts. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2013;8(16):200–203. (In Russ.)
- [5] Solnyshkova MA. *Reduction of surface water pollution by inorganic nitrogen compounds in the impact zone of mining enterprises of the Murmansk region* (dissertation of the Candidate of Technical Sciences). Saint Petersburg; 2020. (In Russ.). Available from: <https://goo.su/N55RjSd> (accessed: 07.11.2022).
- [6] Li ZY, Guo SY, Li L, Cai MY. Effects of electromagnetic field on the batch cultivation and nutritional composition of *Spirulina platensis* in an air-lift photobioreactor. *Bioresour. Technol*. 2007;98(3):700–705.
- [7] Sukhovskiy NA. The presence of an electrostatic field in an electrostatic bioreactor. *Bulletin of the Agroindustrial complex of the Upper Volga region*. 2015;(1):92–94. (In Russ.)
- [8] Gapochka MG. *Ecological aspects of interaction of electromagnetic fields of the millimeter range with biological objects* (dissertation of the Doctor of Biological Sciences). Moscow; 2013. (In Russ.). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30397922> (accessed: 27.09.2022).
- [9] Gapochka MG. The influence of low-intensity electromagnetic radiation on the toxicity of the aquatic environment. *VMU physics astronomy*. 2009;1:67–69. (In Russ.)
- [10] Zarubina AP, Gapochka MG, Novoselova LA, Gapochka LD. Biotesting by the ecolume test system of the effect of a low-intensity electromagnetic field on the toxicity of household wastewater. *Bulletin of the Moscow University. Biology*. 2012;16(3):39–43. (In Russ.)
- [11] Shcheglov GA, Masloboev VA. Prospects of the *Chlorella* application for the nitrogen quarry waters purification at low temperature. *Proceedings of the Fersman scientific session of the GI KNC RAS*. 2022;19:424–429. (In Russ.). <http://doi.org/10.31241/FNS.2022.19.077>

Сведения об авторе:

Щеглов Глеб Андреевич, инженер, Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, Российская Федерация, 184209, Мурманская обл., Апатиты, ул. Ферсмана, 14а. ORCID: 0000-0003-2870-3616. E-mail: g.scheglov@ksc.ru

Bio note:

Gleb A. Shcheglov, Engineer, Institute of North Industrial Ecology Problems Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (INEP KSC RAS), 14a Fersman St, Apatity, Murmansk region, 184209, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-2870-3616. E-mail: g.scheglov@ksc.ru



ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-232-240

EDN: HCCIZZ

УДК 504.75

Научная статья / Research article

Мониторинг развития сине-зеленых водорослей в Куйбышевском водохранилище при помощи индексов дистанционного зондирования Земли

Д.Н. Шерстобитов  , В.В. Ермаков ,
В.Н. Пыстин , О.В. Тупицына 

*Самарский государственный технический университет (СамГТУ),
Самара, Российская Федерация
sherstobitovdn@gmail.com*

Аннотация. Представлены результаты дистанционного мониторинга сине-зеленых водорослей Куйбышевского водохранилища, приводящих к эвтрофикации водоема. Мультиспектральные снимки, выполненные спутником дистанционного зондирования Земли Европейского космического агентства Sentinel-2, были обработаны при помощи программного обеспечения QGIS. Обработка спутниковых снимков производилась при помощи спектральных индексов. После применения нескольких спектральных индексов были выбраны три наиболее информативных: NDVI, NDWI и SIPI. Использование обработанных снимков позволило более четко определить границы распространения сине-зеленых водорослей, а также зоны наиболее интенсивного развития биомассы. Применение нескольких спектральных индексов позволило определить наиболее подходящие для использования данных при неблагоприятных метеорологических условиях. Анализ обработанных спутниковых снимков дает возможность оценивать интенсивность развития сине-зеленых водорослей. Это является основой для разработки прогнозной модели изменения биомассы в водоемах средней полосы Российской Федерации.

© Шерстобитов Д.Н., Ермаков В.В., Пыстин В.Н., Тупицына О.В., 2023



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

Ключевые слова: сине-зеленые водоросли, дистанционное зондирование Земли, водохранилище, мониторинг

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

История статьи: поступила в редакцию 28.09.2022; доработана после рецензирования 10.10.2022; принята к публикации 15.02.2023.

Для цитирования: Шерстобитов Д.Н., Ермаков В.В., Пыстин В.Н., Тупицына О.В. Мониторинг развития сине-зеленых водорослей в Куйбышевском водохранилище при помощи индексов дистанционного зондирования Земли // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 232–240. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-232-240>

Monitoring of the development of blue-green algae in the Kuibyshev reservoir using remote sensing indices

Danil N. Sherstobitov  , Vasily V. Ermakov ,
Vitaliy N. Pystin , Olga V. Tupitsyna 

Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

sherstobitovdn@gmail.com

Abstract. The research presents the results of remote monitoring of blue-green algae of the Kuibyshev reservoir, leading to eutrophication of the reservoir. Multispectral images were taken by the European Space Agency's Sentinel-2 remote sensing satellite and were processed by using QGIS software. Satellite images were processed using spectral indices. After using several spectral indices, the three most informative ones were selected: NDVI, NDWI and SIPI. The usage of processed images made it possible to define the boundaries of the distribution of blue-green algae more clearly, as well as the zones of the most intensive development of biomass. The use of several spectral indices made it possible to determine the most suitable data for the usage under adverse meteorological conditions. The analysis of the processed satellite images makes it possible to assess the intensity of the development of blue-green algae. This is the basis for the development of a forecast model of biomass changes in the reservoirs of the middle zone of the Russian Federation.

Keywords: blue-green algae, remote sensing, reservoir, environmental monitoring

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

Article history: received 28.09.2022; revised 10.10.2022; accepted 15.02.2023.

For citation: *Sherstobitov DN, Ermakov VV, Pystin VN, Tupitsyna OV. Monitoring of the development of blue-green algae in the Kuibyshev reservoir using remote sensing indices. RUDN Journal of Ecology and Life Safety. 2023;31(2):232–240. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-232-240>*

Введение

Интенсивное развитие сине-зеленых водорослей стало актуальной проблемой для рек и пресных водоемов средней полосы в связи с климатическими изменениями, в частности повышением температуры на поверхности земли и активным антропогенным воздействием.

В последние годы данная проблема стала характерна также и для Куйбышевского водохранилища реки Волга. Куйбышевское водохранилище – крупнейшее водохранилище на реке Волга, образованное плотиной Жигулевской ГЭС. Строительство каскада водохранилищ изменило сток и гидрологический режим реки Волга. Низкая скорость течения, повышающаяся температура [1], стоки, богатые питательными веществами, способствуют размножению сине-зеленых водорослей. Сине-зеленые водоросли при благоприятных для них условиях интенсивно размножаются в поверхностном слое и ограничивают насыщение водоема кислородом. Следует отметить, что при гибели сине-зеленые водоросли оседают на дно и являются пищей для бактерий. Разложение биомассы ведет к дальнейшему сокращению растворенного кислорода по всей толще воды.

Основной угрозой кроме сокращения количества кислорода в водоемах является также способность сине-зеленых водорослей продуцировать токсичные метаболиты (цианотоксины) [2], представляющие опасность жизни и здоровью людей [3]. Интенсивное размножение сине-зеленых водорослей ведет к эвтрофированию водоемов [4], «цветение» водоемов признано ООН одной из важных проблем современного мира [5].

Для решения проблемы увеличения количества сине-зеленых водорослей в настоящее время разработано множество различных способов их сбора при помощи мобильных установок¹ [6]. Для оперативной корректировки их положения в пространстве и выбора участков для наиболее эффективного сбора водорослей в первую очередь необходимо проводить мониторинг состояния водоемов. При этом мониторинг должен охватывать не только текущее состояние водоема, но и скорость распространения сине-зеленых водорослей, стадии их жизненного цикла, а также являться основой для построения прогнозной модели развития водорослей. Актуальным способом ведения мониторинга является анализ данных аэрофотосъемки, в то же время для определения различных характеристик сине-зеленых водорослей недостаточно использования снимков видимого спектра, необходима их предварительная обработка при помощи индексов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Материалы и методы

В качестве исходных данных использовались мультиспектральные снимки Куйбышевского водохранилища, сделанные семейством спутников дистанционного зондирования Земли Европейского космического агентства Sentinel-2, имеющих пространственное разрешение 10, 20 и 60 м.

¹ Патент 2068053 RU. Способ очистки водоема от водорослей и устройство для его осуществления / Борунов И.И., Борунов О.Н., Муров В.М., Ихсанов Д.Ф., Карамышев В.Г., Фатхутдинов Л.Ф., Оpubл. 20.10.1996; Патент 2454504 RU. Способ и система получения массы сухих сине-зеленых водорослей из водоемов для нужд человека / Грачёв В.И., Грачёв А.В., Тихонова Н.В., Пустоветова М.Г. Оpubл. 27.06.2012.

Из 13 спектральных каналов спутника Sentinel-2 при обработке спутниковых снимков было задействовано 4 (Band №№ 2, 3, 4, 8). Характеристики каналов представлены в таблице.

Спектральные каналы Sentinel-2

| Каналы Sentinel-2 | Sentinel-2A | | Sentinel-2B | | Разрешение, м |
|--|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|---------------|
| | Длина волны, нм | Пропускная способность, нм | Длина волны, нм | Пропускная способность, нм | |
| Band 1 – Ультрафиолетовый | 442,7 | 21 | 442,2 | 21 | 60 |
| Band 2 – Синий | 492,4 | 66 | 492,1 | 66 | 10 |
| Band 3 – Зеленый | 559,8 | 36 | 559,0 | 36 | 10 |
| Band 4 – Красный | 664,6 | 31 | 664,9 | 31 | 10 |
| Band 5 – Видимый и ближний инфракрасный | 704,1 | 15 | 703,8 | 16 | 20 |
| Band 6 – Видимый и ближний инфракрасный | 740,5 | 15 | 739,1 | 15 | 20 |
| Band 7 – Видимый и ближний инфракрасный | 782,8 | 20 | 779,7 | 20 | 20 |
| Band 8 – Видимый и ближний инфракрасный | 832,8 | 106 | 832,9 | 106 | 10 |
| Band 8A – Видимый и ближний инфракрасный | 864,7 | 21 | 864,0 | 22 | 20 |
| Band 9 – Коротковолновый инфракрасный | 945,1 | 20 | 943,2 | 21 | 60 |
| Band 10 – Коротковолновый инфракрасный | 1373,5 | 31 | 1376,9 | 30 | 60 |
| Band 11 – Коротковолновый инфракрасный | 1613,7 | 91 | 1610,4 | 94 | 20 |
| Band 12 – Коротковолновый инфракрасный | 2202,4 | 175 | 2185,7 | 185 | 20 |

Источник: MultiSpectral Instrument (MSI) Overview. Sentinel Online. European Space Agency. URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument> (accessed: 03.03.2022).

В результате анализа спектральных индексов, которые применимы к решению поставленной задачи оценки и прогноза состояния водных объектов, были выбраны три наиболее релевантных: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – Нормализованный разностный вегетационный индекс), NDWI (Normalized difference water index – Нормализованный разностный водный индекс) и SIPI (Structure Intensive Pigment Index – Структурный индекс интенсивности пигмента). Использование NDVI обусловлено детектированием отражения хлорофилла, который содержится в сине-зеленых водорослях [7]. Данный индекс не дает больше информации, чем визуальное наблюдение снимков в видимой области спектра. NDWI традиционно применяется для выделения границ водных объектов на фоне почвы и растительности. Авторами настоящей работы этот индекс использовался для уточнения границ распространения водорослей и более подробной оценки количества биомассы. SIPI применяется в основном для определения эффективности использования растениями поступающего света для фотосинтеза и помогает оценивать их здоровье. SIPI рассматривается как индекс для наблюдения за циклами развития сине-зеленых водорослей, включающими раннее развитие, полноценную деятельность, угасание развития и отмирание.

Известно использование индексов, разработанных непосредственно для водорослей, таких как Floating algae index (FAI) [8], Seaweed Enhancing Index (SEI) [9]. При расчете данных индексов используются специфические спектральные каналы ограниченного использования, которые недоступны для

большинства территорий России. Формулы расчета предлагаемых к рассмотрению индексов (NDVI, NDWI и SIPI), находящихся в открытом доступе и представленных для всей территории Земли, приведены ниже:

$$NDVI = \frac{NIR-red}{NIR+red},$$

где red – красная область спектра (Band 4); NIR – ближняя инфракрасная область спектра (Band 8);

$$NDWI = \frac{green-NIR}{green+NIR},$$

где green – зеленая область спектра (Band 3)

$$SIPI = \frac{NIR-blue}{NIR-red},$$

где red – красная область спектра (Band 4); blue – синяя область спектра (Band 2).

Анализ данных, полученных при помощи различных индексов ДЗЗ, позволяет более комплексно подойти к мониторингу водохранилища. Наблюдение за ростом цианобактерий в течение летнего сезона может помочь для поиска основных источников сбросов питательных веществ (сточных вод) в поверхностный водоем.

Результаты и обсуждения

Апробация предлагаемой методики проведения мониторинга была проведена в летнее время – сезон наиболее интенсивного развития сине-зеленых водорослей. В качестве периодов отслеживания были выбраны следующие даты:

20.06.2021 – начало цветения сине-зеленых водорослей;

18.07.2021 – стадия набора биомассы;

14.08.2021 – пик максимального количества водорослей;

19.08.2021 – период сокращения количества сине-зеленых водорослей.

Ввиду множества численных значений, определяемых для каждой точки области съемки, под снимками представлены условные шкалы численной интерпретации значения индексов (рис. 1–3).

Представленные снимки с обработкой и расчетом индекса NDVI иллюстрируют изменение активности поглощения кислорода при фотосинтезе (см. рис. 1). Замечено, что на снимке от 20 июня практически отсутствует биомасса. На снимках, сделанных позднее, начиная с 18 июля, видны значительные массивные скопления. Наиболее интенсивное образование биомассы происходит вдоль прибрежной полосы. Увеличение количества сине-зеленых водорослей в данной области обусловлено более высокой температурой, небольшой глубиной и наличием стоков, поступающих в водохранилище с близлежащих территорий. Воды малых рек, впадающие в водохранилище,

содержат большое количество удобрений, вымываемых с сельскохозяйственных полей. Удобрения в основном представлены химическими соединениями на основе калия, азота и фосфора. Кроме вод, поступающих с сельскохозяйственных полей, в водохранилище сбрасываются неочищенные хозяйственно-бытовые стоки с высокими концентрациями органических веществ и неорганических солей. Они поглощаются сине-зелеными водорослями, являясь их питательной средой и стимулируют рост.

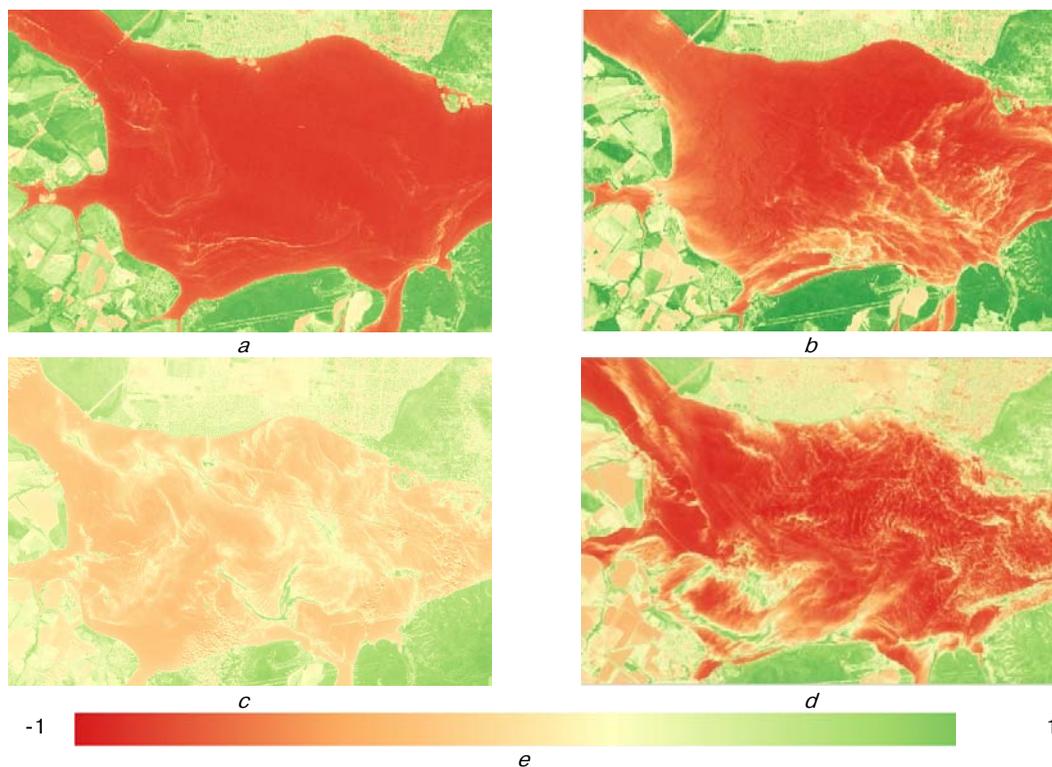


Рис. 1. Спутниковые снимки, обработанные при помощи NDVI:
a – дата снимка: 20.06.2021; *b* – дата снимка: 18.07.2021; *c* – дата снимка: 14.08.2021;
d – дата снимка 19.08.2021; *e* – шкала значений NDVI

Снимок от 14 августа иллюстрирует более интенсивное распространение сине-зеленых водорослей по всей площади Куйбышевского водохранилища в районе г. Тольятти. Сниженная четкость снимка, обработанного при помощи NDVI, является результатом детектирования атмосферного аэрозоля и препятствует анализу полученных данных.

При помощи снимка, сделанного 19 августа, спустя 5 дней после предыдущего, появилась возможность определить изменение местоположения сине-зеленных водорослей, которое вызвано в первую очередь движением потоков воды. Именно на эти даты выпадает пик интенсивности развития биомассы. При этом не выявлено существенных изменений количества биомассы (не более 3 %) по общей площади водной поверхности, на которой детектируется присутствие водорослей.

В отличие от NVDI NDWI в основном используются для определения различных характеристик водных объектов. Авторами предложено использование данного индекса для более четкого определения границ распространения сине-зеленых водорослей (см. рис. 2). В частности, отмечено, что снимки, обработанные при помощи NDWI, а именно снимок от 14 августа, являются более информативными в связи с тем, что они меньше подвержены влиянию атмосферных явлений. Определено, что снижение площади покрытия поверхности воды водорослями, рассчитанное с использованием NDWI между 14 и 19 августа, составило порядка 5 %.

SIPi, в отличие от вегетационного и водного индекса, напрямую связан с оценкой жизнедеятельности фитопланктона. В отличие от NDVI он не только учитывает наличие объема хлорофилла, но затрагивает обменные процессы, которые могут свидетельствовать о стадиях роста и развития сине-зеленых водорослей (см. рис. 3).

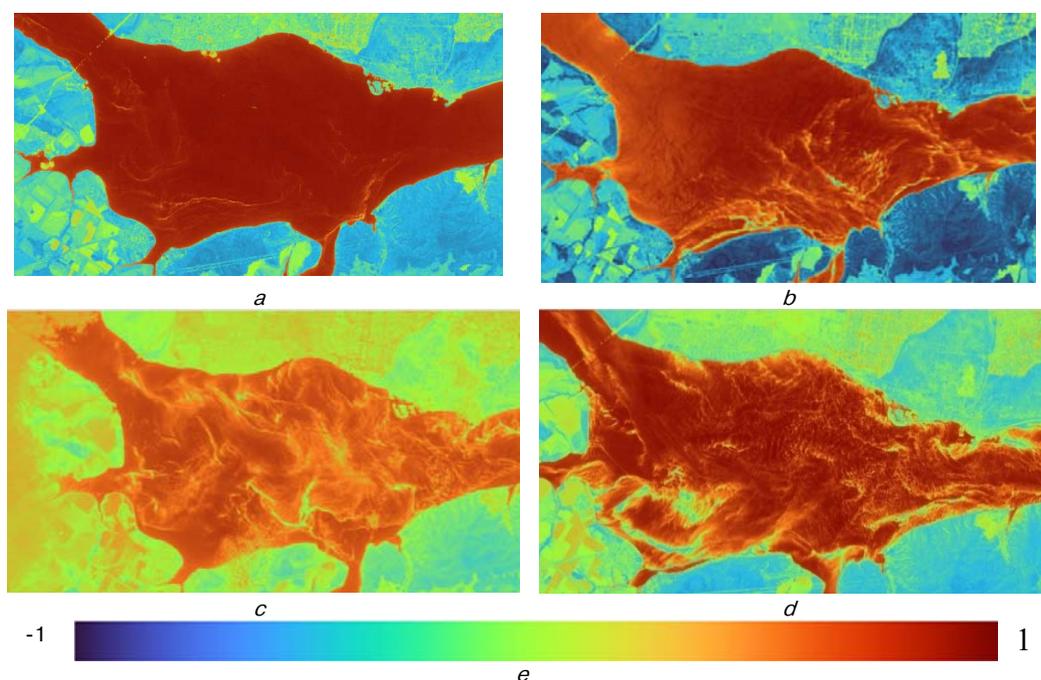


Рис. 2. Спутниковые снимки, обработанные при помощи NDWI:
а – дата снимка: 20.06.2021; б – дата снимка: 18.07.2021; в – дата снимка: 14.08.2021;
д – дата снимка 19.08.2021; е – шкала значений NDWI

На снимке от 20 июня происходит очаговое развитие биомассы. Далее, с повышением температуры воды к 18 июля, идет более интенсивное размножение сине-зеленых водорослей, при этом отсутствуют участки с отмирающими водорослями. На снимке от 14 августа можно заметить участки синего цвета, которые могут являться скоплением угнетенной биомассы со сниженным метаболизмом. Снимок от 18 августа уже не детектирует значительную

часть еще выделяемых на снимках, обработанных при помощи вегетационных индексов синие-зеленых водорослей. Так, с 14 по 19 августа произошло значительное изменение биомассы, с 47 до 38 %.

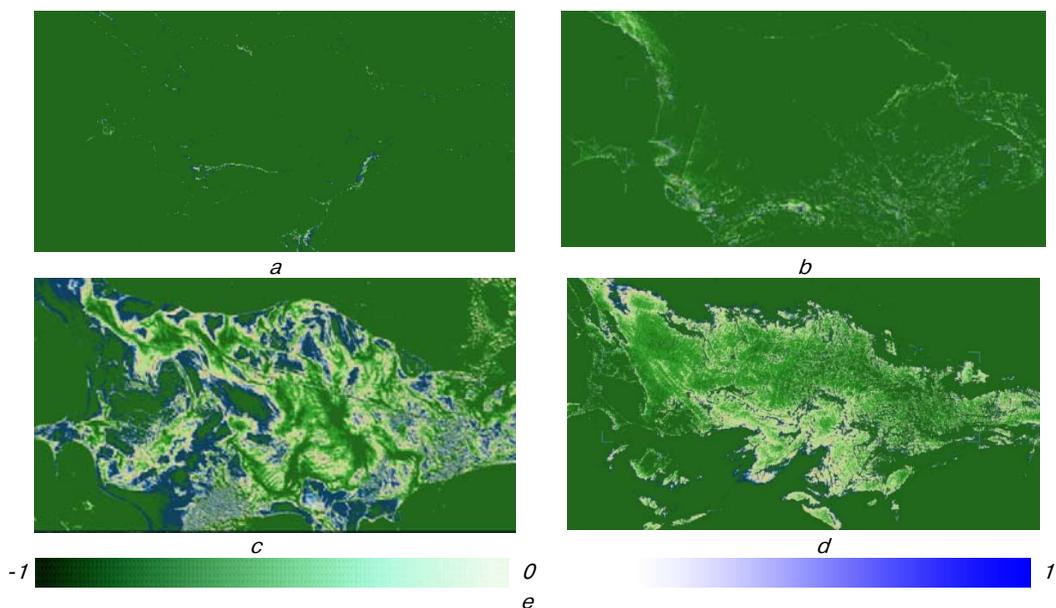


Рис. 3. Спутниковые снимки, обработанные при помощи SIPI:
a – дата снимка: 20.06.2021; *b* – дата снимка: 18.07.2021; *c* – дата снимка: 14.08.2021;
d – дата снимка 19.08.2021; *e* – шкала значений SIPI

Заключение

Многопараметрический анализ развития синие-зеленых водорослей в Куйбышевском водохранилище при помощи индексов дистанционного зондирования может использоваться для принятия решений по своевременной защите водоема. Наиболее доступный для пользователей NDVI показывает наличие биомассы и ее перемещение и в общем виде может применяться для корректировки положений установок сбора синие-зеленых водорослей. NDWI имеет более высокую точность по сравнению с NDVI за счет атмосферной коррекции.

Снимки высокого разрешения с данной обработкой могут быть использованы для поиска участков несанкционированного сброса сточных вод по наличию интенсивного развития водорослей.

SIPi позволяет оценить жизненный цикл водорослей и создает возможность прогноза изменения количества биомассы в ближайшие несколько дней.

В перспективе разработки темы планируется совместный анализ данных дистанционного зондирования Земли и лабораторного изучения состояния воды и биомассы. Подобные исследования позволят достоверно соотнести значения индексов с состоянием объектов, а также разработать собственные индексы, наиболее подходящие под решаемую задачу.

Список литературы

- [1] Davis T.W., Berry D.L., Boyer G.L., Gobler C.J. The effects of temperature and nutrients on the growth and dynamics of toxic and non-toxic strains of *Microcystis* during cyanobacteria blooms // *Harmful Algae*. 2009. Vol. 8, no. 5. P. 715–725.
- [2] Apeldoorn M.E., Egmond H.P., Speijers G.J., Bakker G.J. Toxins of cyanobacteria // *Molecular Nutrition & Food Research*. 2007. Vol. 51. P. 7–60.
- [3] Codd G., Morrison L., Metcalf J.S. Cyanobacterial toxins: risk management for health protection // *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2005. Vol. 203. P. 264–272.
- [4] Paerl H.W., Huisman J. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms // *Environmental Microbiology Reports*. 2009. Vol. 1. P. 27–37.
- [5] Pearson L., Mihali T., Moffitt M., Kellmann R., Neilan B. On the chemistry, toxicology and genetics of the cyanobacterial toxins, microcystin, nodularin, saxitoxin and cylindrospermopsin // *Marine Drugs*. 2010. Vol. 8. P. 1650–1680.
- [6] Бородулин И.В., Милюткин В.А., Розенберг Г.С. Разработка технологий и технических средств для сбора и утилизации сине-зеленых водорослей // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2016. Т 25, № 4. С. 123–129.
- [7] Hu C., He M.-X. Origin and offshore extent of floating algae in Olympic sailing area // *Eos Transactions American Geophysical Union*. 2008. Vol. 89, no. 33. P. 302–303. <https://doi.org/10.1029/2008EO330002>
- [8] Hu C. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans // *Remote Sensing of Environment*. 2009. Vol. 113, no. 10. P. 2118–2129.
- [9] Siddiqui M.D., Zaidi A.Z., Abdullah M. Performance assessment of newly developed seaweed enhancing index // *Remote Sensing*. 2008. Vol. 11, no. 12. P. 1–14. <https://doi.org/10.1029/2008EO330002>

Сведения об авторах:

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

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

Пыстин Виталий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра химической технологии и промышленной экологии, Самарский государственный технический университет. Российская Федерация, 443100, Самарская область, город Самара, Молодогвардейская ул., д. 244. ORCID: 0000-0002-4027-1804, eLIBRARY SPIN-код: 8568-1200. E-mail: vitaliy.pystin@yandex.ru

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



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-241-250

EDN: HCKTOL

УДК 504.3.054:504.064.36

Научная статья / Research article

Концепция прибора для организации сети мониторинга

Д.В. Гусак  

*Институт мониторинга климатических и экологических систем
Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск, Российская Федерация*

 vydigus@mail.ru

Аннотация. Государственные сети наблюдений за состоянием окружающей среды включают в себя комплекс из стационарных, маршрутных и подфакельных постов наблюдений. Стационарные посты наблюдений являются достаточно дорогостоящим сооружением, использующим оборудование определенной точности. Современное технологическое развитие позволяет создавать устройства малых габаритных размеров с унифицированным выходным интерфейсом, обладающие погрешностью измерений, сравнимой с погрешностью оборудования, применяемого в стационарных постах наблюдений или меньшей. В связи с этим в данной работе предлагается концепция создания устройства, которое, в частности, преобразуется в прибор мониторинга атмосферного воздуха. В настоящее время вопросы состояния и очистки окружающей среды, а также контроля выбросов остаются актуальными. Целью исследования, грань которого раскрывается в данной работе, является организация сети мониторинга для анализа загрязнений атмосферного воздуха. В работе приведен список приоритетов для организации прибора, его основные функции. Результатом являются структурные схемы центрального компонента прибора, названного «Сердце», и дополнительного компонента – «Платы расширения», описывающие основные узлы, необходимые для работы прибора. Рабочим органом прибора являются датчики веществ с различным принципом работы. Дополнительно описаны путь обеспечения энергонезависимости прибора и организация единого интерфейса передачи данных внутри него. Представлен краткий перечень задач, на выполнение которых направлен предлагаемый прибор.

Ключевые слова: мониторинг атмосферы, сеть наблюдений, прибор мониторинга, дистанционный мониторинг, организация сети, переносной прибор.

История статьи: поступила в редакцию 02.08.2022; доработана после рецензирования 16.12.2022; принята к публикации 19.03.2023.

© Гусак Д.В., 2023



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

Для цитирования: Гусак Д.В. Концепция прибора для организации сети мониторинга // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 241–250. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-241-250>

Device concept for organization of monitoring network

Dmitrii V. Gusak  

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation

 vydigus@mail.ru

Abstract. State observation networks of the state of environment include a complex of stationary, route and sub torch observation posts. Stationary observation posts are a fairly expensive structure that used equipment of a certain accuracy. Modern technological development allows to create devices of small dimensions with a unified output interface, having a measurement error comparable to the error of equipment used in stationary observation posts or less. Therefore, this paper proposes the concept of creating a device, which, in particular, may be converted into an atmospheric air monitoring device. Currently, environmental and emission control issues remain relevant. The purpose of the study, the facet of which is revealed in this work, is to organize a monitoring network for the analysis of atmospheric air pollution. The work contains a list of priorities for the organization of the device, its main functions. The result is a structural diagram of the central component of the device, called “Heart” and an additional component – “Expansion Board”, that describes the main necessary nodes for the operating of the device. The working element of the instrument is sensors of substances with different operating principle. In addition, there are described a way to ensure nonvolatile device and organization of a unite interface of data transmission within it. A short list of tasks for which the proposed device is directed is presented.

Keywords: atmosphere monitoring, observation network, monitoring device, remote monitoring, networking, portable device

Article history: received 02.08.2022; revised 16.12.2022; accepted 19.03.2023.

For citation: Gusak DV. Device concept for organization of monitoring network. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):241–250. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-241-250>

Введение

При организации сети мониторинга на достаточно большой площади: квартал, район города, весь город – необходимо учитывать, что прибор, используемый для этой сети как базовая единица, должен отвечать таким требованиям, как:

а) защита от внешних условий – на работоспособность прибора не должны оказывать влияния внешние погодные условия: осадки, ветер, температура;

б) постоянство внутренней среды – внутри прибора должны сохраняться нормальные условия работы компонентов прибора для исключения дополнительной погрешности измерений;

в) антивандальность – для защиты измерительного оборудования от кражи и разрушения человеком;

г) энергонезависимость – возможность работы без подключения к доступным городским источникам питания;

д) возможность беспроводной передачи данных – показания с прибора должны поступать из любой точки местности (города) на сервер, при необходимости с заданным временным интервалом [1, с. 50];

е) возможность повсеместного монтажа – корпус прибора имеет возможность крепления на различных поверхностях, что необходимо при отказе от выделения земельного участка под пост наблюдений;

ж) доступность комплектующих – конструкция прибора предусматривает возможность его создания из заданных компонентов или их аналогов. Из этого же требования следует дополнительное – простота конструкции;

з) адаптивность – возможность выбора подключаемых датчиков, необходимых на выбранном участке;

и) ремонтпригодность – в случае неисправностей ремонт и ввод в дальнейшую эксплуатацию прибора должен быть произведен в кратчайшие сроки.

При выполнении указанных требований получается прибор, подстраиваемый под необходимые условия, при этом его можно перенести и установить в необходимом месте в черте города либо вне её, а также удобный в использовании. Такой прибор будет полезен как в полевых исследованиях различных лабораторий при институтах, так и различным государственным службам для проведения измерений параметров воздуха в санитарно-защитных зонах либо зонах действия чрезвычайных ситуаций.

Цель исследования – организация сети мониторинга для анализа загрязнений атмосферного воздуха.

Материалы и методы

Таким образом, необходимо спроектировать некоторое устройство, названное условно «сердце», на которое можно будет подключить требуемое количество датчиков веществ с возможностью их замены, корпус которого обладает возможностью крепления к различным объектам, будь то столбы ЛЭП, дома, заборы. При этом должна присутствовать возможность нарастить мощность «сердца» посредством подключения дополнительных датчиков, памяти, вычислительных центров. Весь конечный комплекс представляет собой единый прибор для мониторинга атмосферного воздуха.

Рабочим органом описываемого прибора выступают малогабаритные датчики веществ, обладающие погрешностью, сравнимой с оборудованием, используемым в стационарных постах наблюдений. Однако в корпусе прибора необходимо поддерживать постоянство среды в пределах рабочих

параметров его компонентов для обеспечения минимальной погрешности измерений.

При воплощении такого устройства отпадает необходимость выделения земельных участков под пост наблюдения с обустройством защитных ограждений и систем жизнеобеспечения измерительной техники. Это будет автономный прибор с предварительной настройкой – выбор и подключение определенных датчиков, указание сервера, на который необходимо отправлять данные. На данном этапе исследования возможность «online» настройки параметров прибора не рассматривалась.

Для построения подобного «сердца» достаточно удобен принцип открытой или универсальной архитектуры. Данный принцип подразумевает наличие единой системной шины, к которой подключают внешние устройства определенного назначения (для хранения, обработки, считывания данных). Все подключенные устройства обмениваются данными по этой системной шине посредством собственных микроконтроллеров [2]. Современные оптические датчики взвешенных веществ снабжены такими микроконтроллерами, в которых происходит обработка получаемых с датчика данных и направление их в порт вывода.

Следует учитывать, что в первое время у устройства должна присутствовать возможность подключения датчиков разного типа, а также с разным выходным интерфейсом. Наилучшим вариантом будет выбор в будущем определенного интерфейса подключения, но тогда у всех датчиков должен быть реализован именно этот интерфейс.

Результаты и обсуждение

Хотя открытая архитектура распространена среди настольных персональных компьютеров, полностью переносить подобный принцип на разрабатываемое устройство, являющееся частью прибора мониторинга, некорректно, так как при мониторинге наиболее необходима подстройка спектра определяемых веществ, коей является подключение датчиков вручную. Базовый набор компонентов, обеспечивающих работоспособность прибора, достаточно свести к минимуму, предварительно отладив их работу, и свести к минимуму вероятность сбоев и ошибок.

В связи с этим следует поступить следующим образом: при разработке устройства сформировать некоторую печатную плату, на которой будут находиться такие элементы, как порты ввода/вывода, микроконтроллер, преобразователь входного напряжения, порт для входного напряжения величиной 5В, передатчик данных (GSM и Wi-Fi), накопитель данных, тактовый генератор, часы реального времени, порт программирования. Блок-схема описанной структуры представлена на рис. 1.

Данная схема служит для формирования общего представления о структуре устройства. Аналого-цифровые преобразователи добавлены для

возможности подключения датчиков с линейным выходным сигналом, однако они могут быть встроены в микроконтроллер, в связи с чем в блок-схеме их допустимо не учитывать.

Особенности структуры устройства и плат его расширения

Датчики веществ, упомянутые ранее, по-разному передают сигнал о концентрации пыли. Некоторые используют интерфейс UART¹, другие передают сигнал с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ-сигнал)², третьи передают линейный сигнал³. Соответственно, «сердце» должно уметь обрабатывать все эти сигналы.

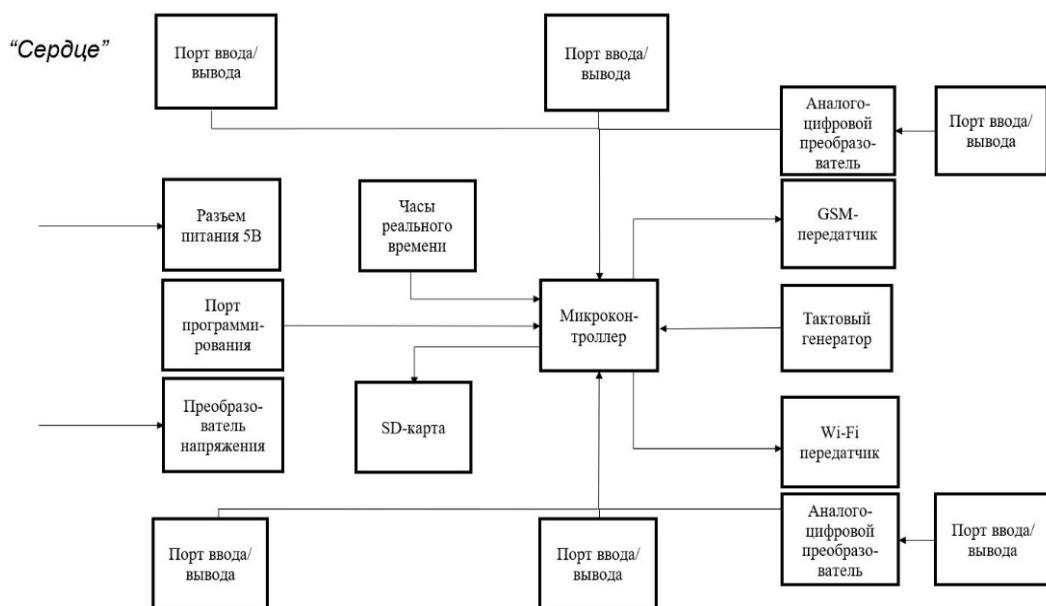


Рис. 1. Блок-схема структуры «сердца»

¹ GP2Y10x Dust Sensor – Sharp | Mouser // Electronic Components Distributor – Mouser Russian Federation. URL: <https://ru.mouser.com/new/sharp-microelectronics/sharp-gp2y10x-dust-sensors/> (дата обращения: 11.10.2021). Датчик качества воздуха/пыли PM2.5 PMS5003 // Mini-Tech: электронные модули и комплектующие. URL: https://www.mini-tech.com.ua/datchik-kachestva-vozdruha-pm2_5 (дата обращения: 01.05.2023).

² DSM501A, ИК датчик качества воздуха PM2.5 // ПЛАТАН: электронные компоненты, радиодетали, интернет-магазин. URL: <https://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=2012918756> (дата обращения: 01.05.2023).

³ ME3-SO2 Gas Sensor – Winsen // Winsen gas sensor. URL: <https://www.winsen-sensor.com/sensors/so2-gas-sensor/me3-so2.html> (дата обращения: 01.05.2023); FECS44-1000: Gas Sensors & Modules – Products – Figaro Engineering Inc. Gas Sensors / FIGARO Engineering Inc. World leader in gas sensing innovation. URL: <https://www.figaro.co.jp/en/product/entry/fecs44-1000.html> (дата обращения: 01.05.2023).

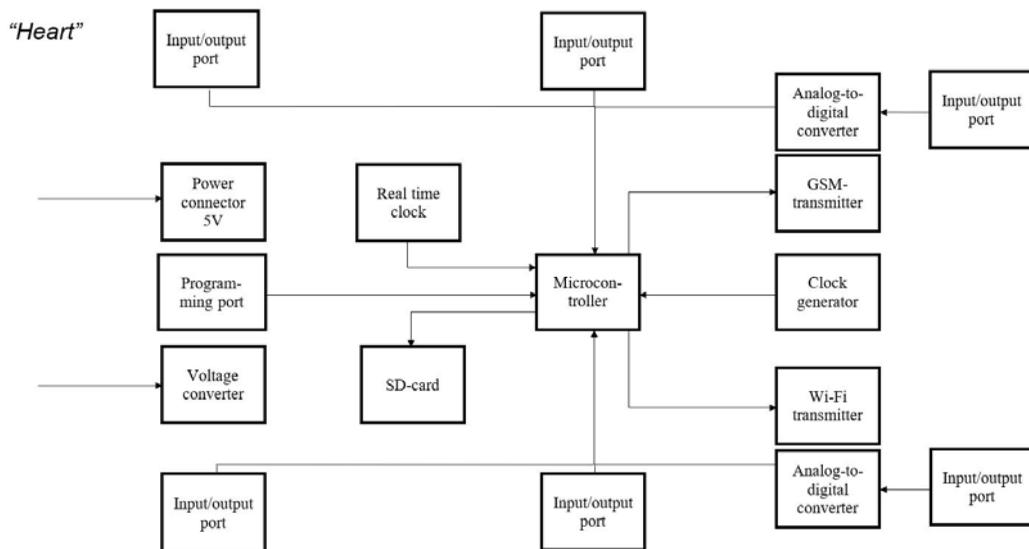


Figure 1. Block diagram of the structure of the "Heart"

Интерфейс UART достаточно распространен ввиду простоты реализации, однако данный интерфейс поддерживает единичную связь между устройствами, т.е. к одному порту ввода/вывода UART можно подключить только одно устройство. При подключении нескольких устройств происходит сбой передачи данных. Для исключения данного сбоя используют следующие выходы [3, с. 5–7]:

- одно устройство подключают к аппаратному интерфейсу UART, другое – к программному;
- используют специальные адаптеры, объединяющие устройства в сеть.

Датчики с выходом в виде ШИМ-сигнала удобны для считывания цифровыми приборами, но требуют идентификации в приборе, а также индивидуального разъема под каждый датчик. Для обработки поступающих с датчиков линейных сигналов необходимо предусмотреть наличие аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Такой тип сигналов удобен для постоянного контроля величины концентрации вещества и выведения данных на монитор.

При регистрации и записи описанных выше сигналов к ним следует добавлять размерность и тип определяемого вещества. В случае наличия одного датчика для каждого типа веществ такие данные удобно выводить на экран без подписей моделей датчиков, а также передавать по беспроводной связи. Однако при передаче данных необходимо указывать идентификационный номер поста наблюдений, с которого эти данные пришли.

Как для удобства использования, так и повышения адаптивных свойств конечного прибора при создании плат расширения следует предусмотреть различные конструкторские решения, направленные на дифференциацию разъемов датчиков. Другими словами, необходимы платы расширения как с отдельными типами портов ввода/вывода (UART, цифровые, линейные), так

и их комбинациями (UART и цифровые, UART и линейные, цифровые и линейные). Данный подход повысит эффективность использования конечного продукта. Для повышения качества передаваемых сигналов в конструкции плат расширения следует предусмотреть наличие микроконтроллера, который собирает и компонует данные с датчиков и передает пакет данных либо микроконтроллеру на следующей плате расширения, либо микроконтроллеру «сердца». Блок-схема платы расширения со всеми типами входных величин представлена на рис. 2.

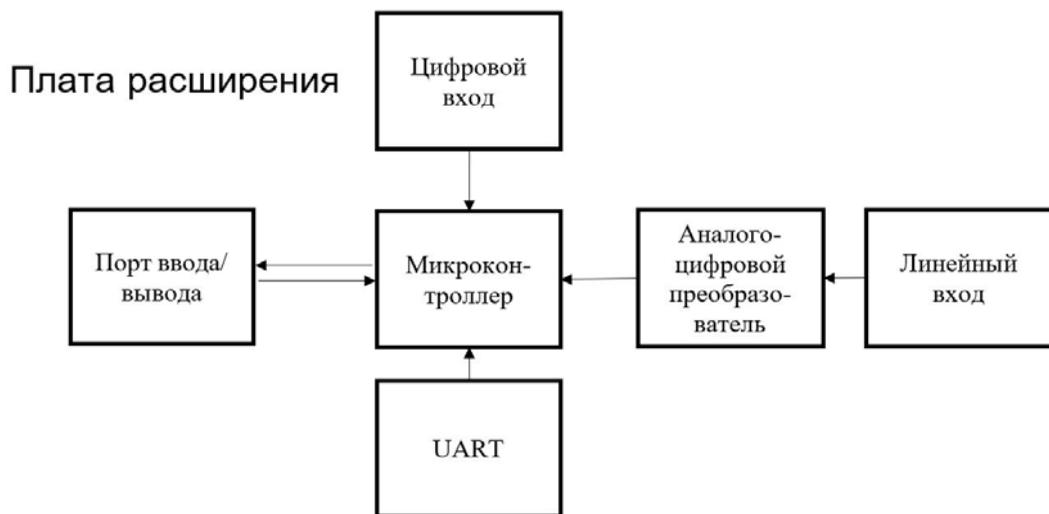


Рис. 2. Структура платы расширения

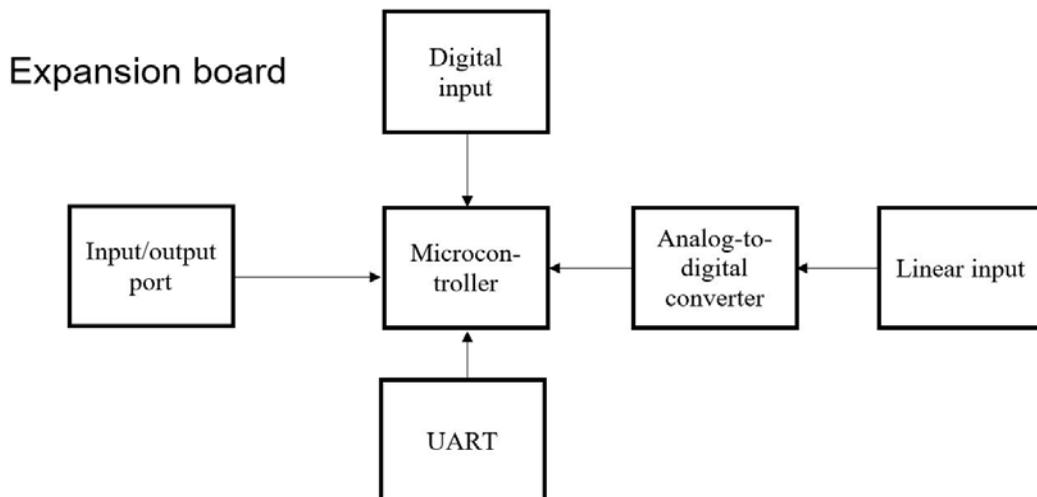


Figure 2. Expansion board structure

Представленная структура является одной из четырех вариантов реализации плат расширения. Связь с «сердцем» осуществляется путем подключения через порты ввода/вывода. Следует учитывать, что на плате отсутствует

возможность длительного накопления данных. Данные необходимо перенаправлять на центральный накопитель после их обработки в микроконтроллере.

Единый интерфейс передачи данных

Шагом к оптимизации работы устройства, удобства его использования и сборки в промышленных масштабах является применение единого интерфейса передачи данных для подключаемых датчиков и второстепенных модулей. Унификация интерфейса, как было указано выше, потребует либо перестройки существующих датчиков, либо разработки новых.

Ввиду того, что при мониторинге атмосферного воздуха необходимо регистрировать концентрации более 7 веществ, наиболее подходящим является интерфейс Inter-Integrated Circuit (I2C), который способен поддерживать работу до 128 подключаемых устройств, при этом максимальная емкость шины данных – 400 пФ. Данный интерфейс поддерживает подключение такого количества устройств благодаря 7-битной адресации. Следует учитывать, что каждое подключенное устройство должно обладать уникальным адресом или возможностью замены существующего адреса, чтобы исключить конфликты передачи данных [4, с. 61].

В интерфейсе I2C используют две линии связи: одну для передачи данных (SDA), другую для синхронизации устройств (SCL). Для совместной работы множества устройств линии связи подключены к питанию через сопротивление, образуя «Монтажное И» [4, с. 61; 5, с. 13].

Энергонезависимость прибора

Возможность подключения к общегородским сетям является удобной для реализации всех запланированных компонентов, однако за потребление энергии необходимо вносить определенную сумму. Большое количество устанавливаемых приборов (сотни-тысячи) многократно увеличит размер этой суммы. В целях снижения затрат на обслуживание и обеспечение автономности работы прибора необходимо на этапе разработки закладывать аспект его энергонезависимости.

Для собственной энергонезависимости прибор должен содержать 1–2 аккумуляторных батареи (их применение описано ниже), которые можно собрать из Li-Ion, в частности, к примеру, Li-Co аккумуляторов с типоразмером 18650. Для поддержания заряда аккумуляторов к прибору следует добавить небольшой ветряной генератор или солнечную панель, подключенные через интеллектуальную схему управления зарядом и стабилизатор напряжения и тока.

Интеллектуальная схема необходима для:

- контроля уровня заряда аккумуляторов;
- подключения генератора к определенной батарее аккумуляторов;
- предупреждения о выходе батареи из строя;

– включения холостого хода генератора при достаточном уровне заряда обеих батарей, иначе у батарей резко сократится срок службы.

Ветряной генератор обладает дополнительным преимуществом – возможностью измерения скорости ветра. Кроме того, данный тип генератора не зависит от интенсивности солнечного света, на которую может влиять облачность. Также следует рассмотреть отличную от типичной конструкцию генератора, например ветряной генератор турбинного типа, для обеспечения постоянного тока воздуха определенной скорости и, соответственно, постоянной работы самого генератора⁴.

Использование нескольких аккумуляторных батарей позволяет разделить нагрузку. Одна батарея служит для питания центральной платы и подключенных компонентов, другая – для поддержания стабильных условий внутри корпуса прибора. Не всегда внешние условия могут отличаться от нормальных условий работы прибора, в связи с чем, для предотвращения простоя второй батареи её можно подключать на замену первой. Тем временем к первой батарее подключится генератор для её подзарядки. Конечно же, такое переключение необходимо реализовать на интеллектуальных схемах с соответствующим программным кодом.

Создание данного прибора направлено на обеспечение возможности повышения пространственного разрешения данных о концентрациях загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за счет большого количества устанавливаемых приборов при значительно сниженных или сравнимых затратах по сравнению с одним стационарным постом наблюдений. При этом необходимо учитывать критерий достаточности во время планирования расположения. В противном случае появятся излишние траты на организацию сети и данные, повторяющие значения соседних приборов.

В качестве критерия достаточности может выступить определенное расстояние между приборами, т.е. выделение за каждым прибором определенной зоны, в пределах которой он регистрирует достоверные значения концентраций⁵. Это расстояние будет разным на разных территориях, так как фактор рельефа местности, как правило, оказывает значительное влияние на распределение воздушных масс и, соответственно, веществ, которые в них содержатся. Дополнительным фактором выступает наличие источников загрязнений, особенно если они расположены на малом расстоянии друг от друга. Примером тому может послужить предприятие, выбрасывающее отработанный газ в атмосферу, и прилегающая к нему оживленная автомобильная дорога.

⁴ Что такое новая ветровая турбина и какого вида она бывает // Энергоэффективные технологии для дома и дачи. URL: <https://energo.house/veter/vetrovaya-turbina.html> (дата обращения: 01.05.2023).

⁵ РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – Введ. 1991.07.01. – Госкомгидромет СССР, Министерство здравоохранения СССР. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. 694 с.

Заключение

Подводя итог вышесказанного можно сделать вывод, что данная концепция прибора задумана для выполнения сразу нескольких условий:

- отказ от необходимости выделения земельного участка с обустройством павильона;
- отказ от использования крупногабаритного оборудования;
- возможность быстрой замены компонентов, вышедших из строя;
- возможность полной смены перечня определяемых веществ в короткие сроки;
- возможность использования прибора в других областях исследований, таких как: полевые измерения параметров окружающей среды, измерение параметров внутри помещений.

Список литературы

- [1] Панарин В.М., Маслова А.А., Савинкова С.А. Автоматизированный мониторинг загрязнения атмосферного воздуха промышленно развитых территорий. Тула: Изд-во ТулГУ. 2021. 219 с.
- [2] Титова М.Н. Разработка подхода к принятию решения о создании многофункциональных датчиков с открытой архитектурой // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2017. № 5 (99). С. 20.
- [3] Магда Ю.С. Программирование последовательных интерфейсов. СПб.: Изд-во БХВ – Петербург, 2009. 304 с.
- [4] Болл Стюарт Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. 360 с. (Серия «Программируемые системы»).
- [5] Воробьева Г.С., Селезнев А.И. Интерфейсы микропроцессорных систем: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 190 с.

References

- [1] Panarin VM, Maslova AA, Savinkova SA. *Automated monitoring of air pollution in industrialized areas*. Tula: Tula State University, 2021 (In Russ.)
- [2] Titova MN. Develop an open architecture multi-function sensor decision-making approach. *Economic Systems Management: Electronic Scientific Journal*. 2017;5(99):20 (In Russ.)
- [3] Magda YuS. *Programming of serial interfaces*. Saint Petersburg: BKhV – Peterburg; 2009 (In Russ.)
- [4] Ball St. *Analog Interfacing to Embedded Microprocessor Systems*. 2nd ed. Burlington (MA): Newnes; 2004.
- [5] Vorob'eva GS, Seleznev AI. *Microprocessor interfaces: tutorial*. Tomsk: Tomsk Polytechnic University; 2008 (In Russ.)

Сведения об авторе:

Гусак Дмитрий Вячеславович, аспирант, Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 634055, Томск, Академический пр., д. 10/3. ORCID: 0000-0001-9606-1868, eLIBRARY SPIN-код: 3405-3890. E-mail: vydigus@mail.ru

Bio note:

Dmitrii V. Gusak, Postgraduate Student, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Russian Academy of Sciences, 10/3 Akademichesky ave., Tomsk, 634055, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9606-1868, eLIBRARY SPIN-code: 3405-3890. E-mail: vydigus@mail.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-251-264

EDN: GZTKLH

УДК 504.064

Научная статья / Research article

Комплексная оценка качества воды поверхностных водоисточников города Латакунга и кантона Педро Висенте Мальдонадо в Республике Эквадор

К.А. Саласар Флорес  , А.И. Курбатова ,
К.Ю. Михайличенко , С.И. Баранникова

Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

 cristian_salazarf@hotmail.com

Аннотация. Проведено исследование качества источников питьевой воды – поверхностных вод речных систем города Латакунга и кантона Педро Висенте Мальдонадо в Республике Эквадор в 2018–2019 гг. Рассчитаны общесанитарный индекс качества воды (ИКВ) по российским методикам, индекс качества воды Национального фонда охраны здоровья (NSF-WQI) эквадорского регулирования качества воды. Результаты параметризации качества воды, полученные методами ИКВ, NSF-WQI и объединенные в общую схему, позволили составить с их помощью шкалу оценки гидроэкологического состояния водных экосистем. При проведении качественного и количественного анализа воды из речных водохранилищ определены превышения нормативных значений по таким показателям, как биологическое потребление кислорода и железо. Приведенные расчеты показывают, что методы ИКВ и NSF-WQI приводят к аналогичным результатам при оценке качества воды как водохранилища города Латакунга, так и водохранилища кантона Педро Висенте Мальдонадо. Согласно методу ИКВ, состояние воды водохранилища города Латакунга характеризовалось в диапазоне шкалы от «Кризис» до «Риск», в то время как по методу NSF-WQI состояние оценивалось как «Риск». Состояние водной экосистемы водохранилища кантона Педро Висенте Мальдонадо оценивалось как «Риск» и по методу ИКВ, и по методу NSF-WQI. При этом экологическая катастрофа не фиксируется ни в одном из рассматриваемых водных объектов.

Ключевые слова: качество поверхностных вод; водоисточники; индексы качества воды; гидроэкологическое состояние водных экосистем; водохранилища

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

© Саласар Флорес К.А., Курбатова А.И., Михайличенко К.Ю., Баранникова С.И., 2023



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

История статьи: поступила в редакцию 13.08.2022; доработана после рецензирования 21.12.2022; принята к публикации 16.01.2023.

Для цитирования: Саласар Флорес К.А., Курбатова А.И., Михайличенко К.Ю., Баранникова С.И. Комплексная оценка качества воды поверхностных водоисточников города Латакунга и кантона Педро Висенте Мальдонадо в Республике Эквадор // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 251–264. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-251-264>

Comprehensive water quality assessment of surface sources in the city of Latacunga and the canton Pedro Vicente Maldonado in Ecuador

Cristian A. Salazar Flores  , Anna I. Kurbatova ,
Kseniya Y. Mikhaylichenko , Svetlana I. Barannikova

RUDN University, Moscow, Russian Federation

 cristian_salazarf@hotmail.com

Abstract. A study of the quality of drinking water sources – surface waters of the river systems of the city of Latacunga and the canton of Pedro Vicente Maldonado, Ecuador, was carried out during 2018 and 2019. The general sanitary water quality index (WQI) was calculated according to Russian methods, the water quality index of the National Sanitation Foundation (NSF-WQI) of the Ecuadorian water quality regulation. Results from parameterizing the water quality, obtained by WQI and NSF-WQI methods and combined into an overall scheme, were used to generate the rating scale for assessing the hydro-ecological status of aquatic ecosystems. When carrying out a qualitative and quantitative analysis of water from river reservoirs, the excess of the threshold limit values of such indicators as the biological oxygen demand and iron was determined. The calculations show that the WQI method and the NSF-WQI method lead to similar results when assessing the water quality of both reservoir of the city of Latacunga and canton of Pedro Vicente Maldonado. According to the WQI method, the hydrological state of the reservoir of the city of Latacunga was characterized in the range of a scale from “Crisis” to “Risk”, while according to the NSF-WQI method the state was assessed as “Risk”. The hydrological state of the reservoir of the canton of Pedro Vicente Maldonado, was assessed as “Risk” by both the WQI method and the NSF-WQI method. Furthermore, in none of the water bodies under study is the environmental “catastrophe” not recorded.

Keywords: surface water quality, water sources, water quality indices, hydroecological state of water ecosystems, river reservoirs

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

Article history: received 13.08.2022; revised 21.12.2022; accepted 16.01.2023

For citation: Salazar Flores CA, Kurbatova AI., Mikhaylichenko KY, Barannikova SI. Comprehensive water quality assessment of surface sources in the city of Latacunga and the canton Pedro Vicente Maldonado in Ecuador. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):251–264. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-251-264>

Введение

Проблема нормирования и контроля качества водных ресурсов является важной задачей регионального, национального и международного уровней [1]. В связи с этим оценка качества воды – важный этап регулирования качества водных ресурсов. Возможность единой оценки и сравнения качества вод в разных пунктах и в разное время, а также обнаружения основных веществ загрязнителей обеспечиваются благодаря комплексным показателям качества воды. В Российской Федерации методы комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод были разработаны в разное время рядом ученых, таких как В.И. Гурарий, А.С. Шайн, Ю.В. Новиков, Г.И. Сидоренко и др. [2, 3]. На основании гидрохимических методов предложены различные интегральные показатели, например общесанитарный индекс качества воды (ИКВ), индекс загрязненности воды (ИЗВ), удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) [2–4]. Наиболее широко применяемыми индексами при оценке качества воды в зарубежной практике являются индекс качества воды Национального фонда охраны здоровья (NSF-WQI), индекс качества воды (WQI) и Канадский индекс качества воды (CCME WQI) [4–6]. Одновременно с преимуществами ИКВ также имеется ряд недостатков: с одной стороны, ИКВ представлен одним числом, что понятно и легко воспринимается неспециалистами (в том числе лицами, принимающими решения, политическими деятелями и общественностью в целом). С другой стороны, данная оценка является слишком общей, поэтому не дает полной картины состава и свойств воды [2]. Она не может заменить данные детального анализа качества воды на соответствие требованиям нормативных документов. Некоторые показатели, возможно основные для определения качества воды, при расчете ИКВ могут оказаться неучтенными, так как заранее не были включены в число приоритетных для контроля. Интеграция данных в ИКВ может скрывать или агрегировать значимость кратковременных изменений качества воды [6].

Основная цель исследования – интегрированная оценка воды поверхностных водоисточников двух городов Эквадора, расположенных на разной высоте над уровнем моря. Задачи исследования включали расчет комплексных индексов качества поверхностной воды по российским и зарубежным методикам для объективной оценки гидроэкологического состояния водных экосистем в различных ландшафтных условиях формирования химического состава воды.

Материалы и методы

Объектом данного исследования являлась вода водохранилищ города Латакунга и кантона Педро Висенте Мальдонадо, а предметом исследования были их физико-химические, микробиологические и органолептические характеристики. При выборе показателей качества воды авторы статьи исходили из особенностей гидрологического режима водных объектов, климатических, почвенных условий водосбора, а также вида водопользования.

Отбор проб воды из водохранилищ города Латакунги и кантона Педро Висенте Мальдонадо производился в месте, где вода перекачивается из водохранилищ на станцию водоподготовки ежемесячно в течение 2018 и 2019 гг. в соответствии с рекомендациями эквадорского стандарта INEN 2176. Из каждого водохранилища было отобрано по 24 пробы воды. Оценка качества проб воды из водохранилищ проводилась в соответствии со стандартом INEN 2169. Цвет, нитраты (NO_3^-), фториды (F^-) и сульфаты (SO_4^{2-}) измерялись спектрофотометрическим методом. Методы турбидиметрии, потенциометрии и гравиметрии использовались для измерения мутности, pH, общей минерализации и взвешенных твердых частиц соответственно. Атомно-абсорбционная спектроскопия применялась для измерения железа (Fe) и никеля (Ni). Растворенный кислород и биологическая потребность в кислороде определялись (БПК₅) с использованием метода Винклера. Наиболее вероятное количество фекальных колиформных бактерий, присутствующих в пробах воды, определялось многотрубным методом.

В городе Латакунга находятся три источника питьевой воды: два aquifers, которые обеспечивают около 77% от всего объема добываемой воды, и река Ретамалес, берущая начало в Андском парамо на высоте 3960 м над уровнем моря¹. Парамосы образуют неотропический высокогорный экорегион, расположенный в основном вдоль горного хребта Анд в Перу, Эквадоре, Колумбии и Венесуэле. Они представляют собой зональные экосистемы, расположенные примерно на высоте от 3000 до 4500 м над уровнем моря [6].

Бассейн реки Ретамалес расположен между 78° 24' и 78° 21' западной долготы и между 0° 53' и 0° 54' южной широты. Река Ретамалес тянется с севера на юг по 8-километровому парамо Капулис-Пасо, затем впадает в реку Чалупа Пурго и образует реку Лангоа, часть верхнего бассейна реки Напо. Средний расход воды в речном микробассейне составляет 5,2 м³/с, модуль стока – 0,012 м³/с км², при 10-летнем годовом паводке 100 м³/с [7]. Основными

¹ GAD Latacunga. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2016-2028: Latacunga, Ecuador. Available from: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0560000380001_PDyOT%20Ltg%202016-2028_14-04-2016_08-26-14.pdf

видами деятельности человека в этом районе являются сельское хозяйство и животноводство².

Для кантона Педро Висенте Мальдонадо основным источником питьевой воды является река Талала. Бассейн реки Талала находится между 78° 53' и 78° 56' западной долготы и между 0° 2' и 0° 6' северной широты. Река Талала берет начало в западных предгорьях Анд и течет с востока на запад, далее впадает в реку Пачихаль, образуя реку Гуайлабамба, которая является частью бассейна реки Эсмеральдас³. Общая протяженность реки составляет 16 км, ширина от 10 до 30 м и глубина от 1 до 2 м, она охватывает диапазон высот от 300 до 1800 м над уровнем моря [9], что согласно схеме Холдриджа соответствует классу *влажный тропический лес*³. Для этого типа экосистем характерны обильные осадки и влажность в течение года, а большое разнообразие флоры и фауны является характерной особенностью экосистемы. Средний расход воды в суббассейне реки составляет 6,7 м³/с, модуль стока – 0,044 м³/с км² [9]. Человеческая деятельность в бассейне реки Талала связана в основном с сельским хозяйством и, в меньшей степени, животноводством³.

Для характеристики экологического состояния поверхностных вод в речных водохранилищах города Латакунга и кантона Педро Висенте Мальдонадо за период 2018–2019 гг. были определены общесанитарный индекс качества воды (ИКВ), разработанный российскими учеными, и индекс качества воды Национального фонда охраны здоровья (NSF-WQI), используемый в зарубежной практике.

Общесанитарный индекс качества воды (ИКВ) рассчитывается по формуле

$$\text{ИКВ} = \sum_{i=1}^n W_i I_i, \quad (1)$$

где W_i – вес показателя, входящего в общесанитарный ИКВ; I_i – баллы (от 1 до 5), присваиваемые каждому показателю, входящему в общесанитарный ИКВ; n – число параметров.

В Эквадоре индекс, используемый для оценки качества поверхностных вод, является индексом качества воды Национального фонда охраны здоровья (NSF-WQI) [10].

Главное отличие индекса NSF-WQI от ИКВ заключается в том, что для расчета NSF-WQI учитываются 9 параметров (растворенный кислород, pH, БПК₅, нитраты, температура, мутность, общая минерализация, фосфаты и фекальные колиформные) а для расчета ИКВ-10 параметров (растворенный кислород, pH, БПК₅, общая минерализация, запах, цветность, взвешенные

² GAD Latacunga. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2016-2028: Latacunga, Ecuador. Available from: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0560000380001_PDyOT%20Ltga%202016-2028_14-04-2016_08-26-14.pdf

³ GAD Pedro Vicente Maldonado. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2009-2017: Pedro Vicente Maldonado, Ecuador. Available from: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1760009530001_PDyOT%20PVM_18-04-2015_13-49-05.pdf

вещества, хлориды, сульфаты и коли-индекс). Кроме того, индекс NSF-WQI, по сравнению с ИКВ, рассчитывается относительно фоновых региональных содержаний загрязнителей в водных системах [10].

Индекс NSF-WQI рассчитывается с использованием метода взвешенного геометрического индекса по формуле

$$NSF - WQI = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i}, \quad (2)$$

где W_i – вес или процент, присвоенный i -му параметру; I_i – индекс для i -го параметра, вычисляемый по кривой взвешивания.

В работе авторы рассчитали относительные веса параметров воды каждого водохранилища, которые участвуют в расчете как индекса ИКВ, так и индекса NSF-WQI. Относительный вес (W_{ci}) определялся по величине, пропорциональной рекомендуемому стандартному значению (W_i) соответствующего параметра.

С помощью единой шкалы классов качества воды проведено сравнение методов параметризации качества вод водохранилищах [4]. Граничные значения диапазонов величин индексов ИКВ и NSF-WQI пересмотрены и в результате выделено 5 классов (табл. 1).

Таблица 1. Объединенная таблица методов параметризации качества поверхностных вод и оценок гидроэкологического состояния водных экосистем

| Метод параметризации | | Класс качества воды | | | | |
|--|----------------|---------------------|----------|-----------------------|--------------|--------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ИКВ | Величина | 5 | 4,01–4,9 | 2,51–4 | 1,6–2,5 | <1,5 |
| | Характеристика | Очень чистая | Чистая | Умеренно загрязненная | Загрязненная | Грязная |
| NSF-WQI | Величина | 90,01–100 | 70,01–90 | 50,01–70 | 25,01–50 | 0–25 |
| | Характеристика | Отличное | Хорошее | Удовлетворительное | Плохое | Очень плохое |
| Общая оценка гидроэкологического состояния | | Норма | Риск | Кризис | Бедствие | Катастрофа |

Table 1. Combined table of methods of parameterizing surface water quality and assessing the hydroecological status of water ecosystems

| Parameterization method | | Water quality class | | | | |
|--|----------------|---------------------|----------|---------------------|----------|-------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WQI | Value | 5 | 4.01–4.9 | 2.51–4 | 1.6–2.5 | <1.5 |
| | Characteristic | Very clean | Clean | Moderately polluted | Polluted | Dirty |
| NSF-WQI | Value | 90.01–100 | 70.01–90 | 50.01–70 | 25.01–50 | 0–25 |
| | Characteristic | Excellent | Good | Medium | Bad | Very bad |
| Total assessment of hydroecological status | | Normal | Risk | Crisis | Disaster | Catastrophe |

Результаты и обсуждение

При проведении качественного и количественного анализа проб воды из водохранилищ определены физико-химические и микробиологические показатели (табл. 2).

Таблица 2. Средние значения физико-химических и микробиологических параметров воды водохранилища города Латакунга и водохранилища кантона Педро Висенте Мальдонадо в 2018–2019 гг.

| Параметр | Стандарты качества воды | | Водохранилище Латакунга | | Водохранилище Педро Висенте Мальдонадо | |
|--------------------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|---------------|--|---------------|
| | Эквадор | Россия | 2018 г. | 2019 г. | 2018 г. | 2019 г. |
| Температура, °C | – | – | – | – | 22,5 ± 0,5 | 21,8 ± 0,4 |
| Цвет, Pt-Co | 100 | – | 37,5 ± 11,1 | 39,0 ± 11,4 | 28,2 ± 3,9 | 23,7 ± 9,0 |
| Мутность, NTU | 100 | – | 3,2 ± 1,1 | 3,3 ± 1,1 | 5,1 ± 1,5 | 4,1 ± 1,5 |
| pH | 6–9 | 6,5–8,5 | 6,8 ± 0,2 | 6,9 ± 0,2 | 7,0 ± 0,1 | 7,20 ± 0,09 |
| Общая минерализация, мг/л | 1000 | 1000 | 39,8 ± 13,3 | 34,6 ± 9,6 | – | – |
| Взвешенные вещества, мг/л | – | – | – | – | 15,20 ± 6,02 | 11,3 ± 9,2 |
| NO ₃ ⁻ , мг/л | 50 | 45 | 1,70 ± 1,63 | 0,70 ± 0,59 | 0,44 ± 0,01 | 0,17 ± 0,01 |
| SO ₄ ²⁻ , мг/л | 400 | 500 | – | – | 12,1 ± 7,1 | 19,9 ± 5,0 |
| F ⁻ , мг/л | 1,5 | 1,5 | – | – | 0,060 ± 0,007 | 0,060 ± 0,002 |
| Fe ²⁺ , мг/л | 0,3 | 0,3 | – | – | 0,4 ± 0,1 | 0,20 ± 0,06 |
| Ni ²⁺ , мг/л | 0,025 | 0,02 | 0,006 ± 0,002 | 0,007 ± 0,003 | – | – |
| Растворенный кислород, мг/л | > 6 | > 4 | 6,9 ± 2,2 | 6,6 ± 2,1 | 7,5 ± 0,8 | 7,4 ± 0,8 |
| БПК ₅ , мг/л | 2 | 2 | 2,8 ± 1,8 | 2,9 ± 1,7 | 2,5 ± 0,5 | 2,7 ± 0,6 |
| Фекальные колиформы, КОЕ/100 мл | 600 | – | 66,2 ± 8,9 | 41,6 ± 9,1 | 16,3 ± 3,9 | 9,3 ± 3,5 |

Источник: Ministry of the Environment of Ecuador (MAE). TULSMA: Environmental quality and effluent discharge standard: water resources (book 6, annex 1). 2017; Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. ГН 2.1.5.1315-03; СанПиН 2.1.5.980-00. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы.

Table 2. Mean values of physicochemical and microbiological parameters of reservoir water of the city of Latacunga and reservoir water of the canton Pedro Vicente Maldonado in 2018–2019

| Parameter | Water quality standards | | Latacunga reservoir | | Pedro Vicente Maldonado reservoir | |
|--------------------------------------|-------------------------|---------|---------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| | Ecuador | Russia | 2018 | 2019 | 2018 | 2019 |
| Temperature, °C | – | – | – | – | 22.5 ± 0.5 | 21.8 ± 0.4 |
| Color, Pt-Co | 100 | – | 37.5 ± 11.1 | 39.0 ± 11.4 | 28.2 ± 3.9 | 23.7 ± 9.0 |
| Turbidity, NTU | 100 | – | 3.2 ± 1.1 | 3.3 ± 1.1 | 5.1 ± 1.5 | 4.1 ± 1.5 |
| pH | 6–9 | 6.5–8.5 | 6.8 ± 0.2 | 6.9 ± 0.2 | 7.0 ± 0.1 | 7.20 ± 0.09 |
| Total dissolved solids, mg/l | 1000 | 1000 | 39.8 ± 13.3 | 34.6 ± 9.6 | – | – |
| Suspended solids, mg/l | – | – | – | – | 15.20 ± 6.02 | 11.3 ± 9.2 |
| NO ₃ ⁻ , mg/l | 50 | 45 | 1.70 ± 1.63 | 0.70 ± 0.59 | 0.44 ± 0.01 | 0.17 ± 0.01 |
| SO ₄ ²⁻ , mg/l | 400 | 500 | – | – | 12.1 ± 7.1 | 19.9 ± 5.0 |
| F ⁻ , mg/l | 1.5 | 1.5 | – | – | 0.060 ± 0.007 | 0.060 ± 0.002 |
| Fe ²⁺ , mg/l | 0.3 | 0.3 | – | – | 0.4 ± 0.1 | 0.20 ± 0.06 |
| Ni ²⁺ , mg/l | 0.025 | 0.02 | 0.006 ± 0.002 | 0.007 ± 0.003 | – | – |
| Dissolved oxygen, mg/l | > 6 | > 4 | 6.9 ± 2.2 | 6.6 ± 2.1 | 7.5 ± 0.8 | 7.4 ± 0.8 |
| BOD ₅ , mg/l | 2 | 2 | 2.8 ± 1.8 | 2.9 ± 1.7 | 2.5 ± 0.5 | 2.7 ± 0.6 |
| Fecal coliforms, CFU/100 ml | 600 | – | 66.2 ± 8.9 | 41.6 ± 9.1 | 16.3 ± 3.9 | 9.3 ± 3.5 |

Source: Ministry of the Environment of Ecuador (MAE). TULSMA: Environmental quality and effluent discharge standard: water resources (book 6, annex 1). 2017. (In Spanish). GN 2.1.5.1315-03. Hygienic standards for maximum permissible concentrations (MPC) of chemical substances in the water of water bodies of household, drinking, cultural and domestic water use. SanPiN 2.1.5.980-00. Water disposal at inhabited points. Sanitary protection of water bodies. Hygienic requirements to surface waters protection (In Russ.)

При анализе полученных данных по водохранилищу г. Латакунга выявлены превышения БПК₅, по водохранилищу кантона Педро Висенте Мальдонадо – БПК₅ и железа по сравнению с установленными нормативами Эквадора и России (см. табл. 2).

Концентрация биохимического потребления кислорода (БПК₅) воды из водохранилища г. Латакунга в 2018 г. – 2,8 мг/л и в 2019 г. – 2,9 мг/л превышает в 1,4 и 1,45 раза соответственно предельно допустимую концентрацию, которая установлена в стандартах Эквадора и России (2 мг/л).

Повышенное значение БПК₅ связано с наличием биоразлагаемых органических веществ в водохранилище, поступающих в большом количестве из экосистемы парамо. Экосистемы парамо содержат большое количество накопленного углерода под воздействием низких температур, которые снижают скорость разложения органического вещества, этот процесс идет медленно, и, несмотря на то, что запасы мертвого покрова и надземной биомассы очень низкие, органическое вещество накапливается в почве и может достигать 39 700 т С/км² на глубине от 0 до 40 см [12]. Среднее количество осадков в парамо Капулис Пасо колеблется от 600 до 1000 мм [7], поэтому согласно [13] данный парамо считается сухим. В парамосе, в условиях низкой влажности, количество горизонтальных осадков увеличивается [14]. Горизонтальные осадки (скрытые осадки или осажженный туман) – явление, характерное для горных районов. При возникновении данного явления полог растительности соприкасается с облачным покровом. Мелкие облачные капли не оседают на горизонтальных поверхностях, а задерживаются и накапливаются на покровах растительности, превращаясь в капли большего размера, затем осаждаются или стекают с поверхности растений, увлекая часть органического материала в водоемы [15].

Полученные в работе данные согласуются с исследованием водохранилища, расположенного в парамо Колумбии [16], в котором значение БПК₅ превышало нормативную величину в 6 раз. Кроме того, в исследовании приведены значения рН (7), растворенного кислорода (7 мг/л) и растворенных твердых веществ (38,2 мг/л), аналогичные значениям, полученным авторами статьи для Эквадора.

В водохранилище кантона Педро Висенте Мальдонадо в 2018 г. определено следующее: среднегодовая концентрация железа (0,4 мг/л) в 1,3 раза превысила предельное значение, установленное эквадорской и российской нормами (0,3 мг/л). Концентрация БПК₅ в 2018 г. – 2,5 мг/л и в 2019 г. – 2,7 мг/л превышает в 1,25 и 1,35 раза соответственно предельно допустимую концентрацию, установленную эквадорским и российским стандартами (2 мг/л)⁴.

Авторы [17] предположили, что высокие концентрации железа в водоемах, расположенных в парамо, могут быть связаны с расширением сельскохозяйственных угодий или чрезмерным использованием удобрений, содержащих железо. Также они могут указывать на естественные источники, связанные с составом почвы. В исследовании, проведенном в Мексике, исследователи обнаружили высокие концентрации таких металлов, как Fe и

⁴ СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (с изменениями и дополнениями).

Pb, и объяснили это расположением реки вблизи вулканической зоны [17]. В Эквадоре в 2020 г. высокие значения Fe были зарегистрированы в реках провинции Пичинча, расположенных недалеко от вулканов [18]. Поскольку бассейн реки Талала находится в зоне вулканического влияния, это может быть правдоподобным объяснением превышающих нормативные требования значений содержания железа.

Климатические условия бассейна реки Талала способствуют развитию пышной вечнозеленой растительности со сложным ярусным строением леса. Во влажных тропических лесах опадающая листва представляет собой источник с наибольшим количеством питательных и органических веществ, которые поступают обратно в почву, составляя от 25 до 60 % чистой первичной продуктивности [19].

Высокая скорость течения воды в водоеме в результате большего количества осадков приводит к снижению времени удерживания, что способствует созданию условий, ограничивающих разложение органического вещества, что, в свою очередь, влияет на показатель БПК₅ (рис. 1).

Отметим, что водохранилища в Эквадоре, расположенные в географических зонах, аналогичных исследуемому водохранилищу, такие как водохранилище Фатима (2,5 мг/л) и водохранилище Америка (3 мг/л), имеют схожие концентрации БПК₅ [20].

В зависимости от сезонных колебаний меняется концентрация органического углерода. Характер колебаний зависит от гидрологического режима водных объектов, изменений интенсивности биологических процессов и разного химического состава, зависящего от сезона. Содержание органического углерода в придонных слоях и поверхностной плёнке может сильно расходиться с его содержанием в остальной массе воды.



Рис. 1. Факторы влияющие на разложение органического вещества в экотоне бассейна реки Талала

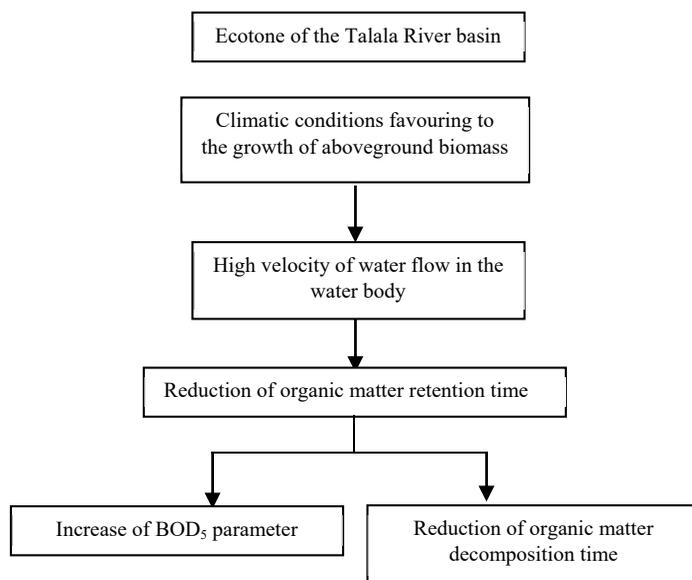


Figure 1. Factors influencing organic matter decomposition in ecotone of Talala river basin

Поскольку биоразнообразие сосудистых растений в тропиках велико, различные характеристики листьев (твердость, содержание фенолов и другие аспекты химического состава листьев) вносят свой вклад в большую изменчивость скорости разложения: быстро разлагающиеся листья сохраняются только в течение нескольких дней, в то время как видам с высокой устойчивостью требуется больше года для разложения [21]. Вместе с тем в реках парамо ежегодное накопление органических веществ относительно низкое по сравнению с тропическими реками. В высокогорных тропических ручьях круглый год очень низкая температура воды, поэтому скорость разложения органического вещества низкая. Более того, исследователи выявили, что деструкторы в высокогорных тропических ручьях встречаются редко [22] (рис. 2).

Таким образом, в обеих экосистемах создаются необходимые условия для накопления органических веществ, что затрудняет их разложение (рис. 1, 2). Однако близкие концентрации значений БПК₅, полученные для обеих экосистем, не являются взаимосвязанной закономерностью.

В табл. 3 представлено гидроэкологическое состояние исследованных водоемов по значениям индексов ИКВ и NSF-WQI.

Согласно методу ИКВ, гидроэкологическое состояние водохранилища города Латакунга в 2018 г. – 3,97 и 2019 г. – 3,97 оценивается как «Кризис» (см. табл. 1). По методу NSF-WQI как в 2018 г. (75,7), так и в 2019 г. (75,97) состояние оценивается как «Риск» (см. табл. 1). Но так как значения самих индексов находятся на границе классов, подобные отклонения не представляются существенными.



Рис. 2. Факторы, влияющие на разложение органического вещества в экотоне бассейна реки Ретамалес

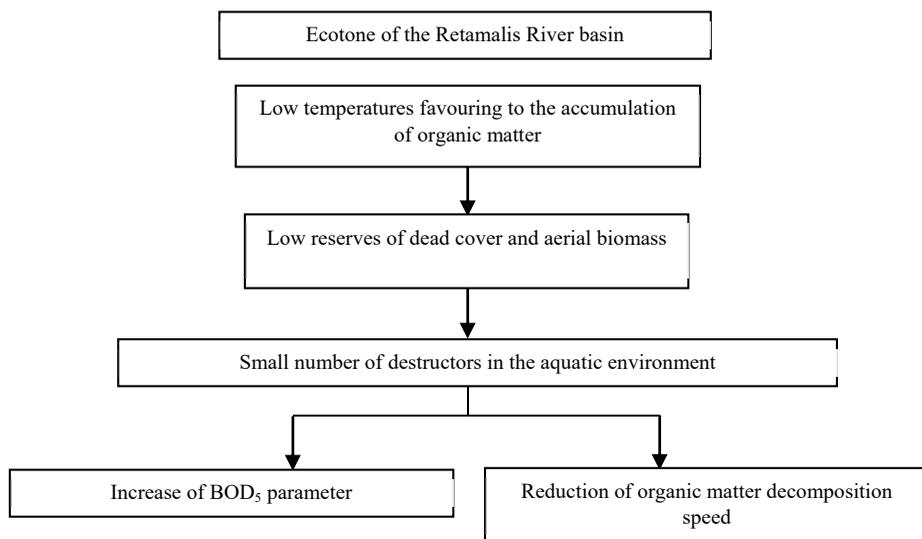


Figure 2. Factors influencing organic matter decomposition in ecotone of Retamales river basin

Таблица 3. Гидроэкологическое состояние водохранилища города Латакунга и водохранилища кантона Педро Висенте Мальдонадо, оцененное методами ИКВ и NSF WQI в 2018–2019 гг.

| Метод параметризации | Водохранилище Латакунга | | Водохранилище Педро Висенте Мальдонадо | |
|------------------------------|-------------------------|---------|--|---------|
| | 2018 г. | 2019 г. | 2018 г. | 2019 г. |
| ИКВ | 3,97 | 3,97 | 75,70 | 75,97 |
| Гидроэкологическое состояние | Кризис | Кризис | Риск | Риск |
| NSF-WQI | 4,08 | 4,30 | 79,51 | 82,80 |
| Гидроэкологическое состояние | Риск | Риск | Риск | Риск |

Table 3. Hydroecological status of Latacunga city reservoir and Pedro Vicente Maldonado canton reservoir assessed by the WQI and NSF-WQI methods in 2018-2019

| Parameterization method | Latacunga reservoir | | Pedro Vicente Maldonado reservoir | |
|-------------------------|---------------------|--------|-----------------------------------|-------|
| | 2018 | 2019 | 2018 | 2019 |
| WQI | 3.97 | 3.97 | 75.70 | 75.97 |
| Hydroecological status | Crisis | Crisis | Risk | Risk |
| NSF-WQI | 4.08 | 4.30 | 79.51 | 82.80 |
| Hydroecological status | Risk | Risk | Risk | Risk |

По значению индекса ИКВ (см. табл. 3) гидроэкологическое состояние водохранилища кантона Педро Висенте Мальдонадо как в 2018 г. (4,08), так и в 2019 г. (4,30) оценивается как «Риск» (см. табл. 1). Таким же образом, согласно значению индекса NSF-WQI (см. табл. 3), в 2018 г. – 79,51 и в 2019 г. – 82,80 состояние оценивается как «Риск» (см. табл. 1).

Национальный фонд охраны здоровья (NSF) предлагает использовать уравнения мультипликативного типа, поскольку они являются более чувствительными, чем уравнения аддитивного типа, или взвешенной суммы к экстремальным значениям в индексах I_i , которые, как правило, связаны со значительными колебаниями качества воды. Тем не менее в водах исследованных водохранилищах обнаруживается большая однородность в оценке качества воды и, соответственно, экологического состояния водного объекта при использовании того или иного метода параметризации.

Заключение

Метод ИКВ, применяемый в России, и метод индекса NSF-WQI, используемый в Эквадоре, отражают аналогичные результаты по гидроэкологическому состоянию каждого из исследуемых водохранилищ. Исходя из изученных комплексных индексов гидроэкологическое состояние водохранилища города Латакунга характеризуется в диапазоне категорий от «Кризис» до «Риск». В то же время гидроэкологическая ситуация водохранилища кантона Педро Висенте Мальдонадо оценивается как «Риск». Результаты данного исследования могут служить основой при внедрении технологий очистки воды, соответствующих конкретным характеристикам воды из исследованных поверхностных водисточников.

Список литературы / References

- [1] Biswas AK, Tortajada C. Water quality management: An introductory framework. *International Journal of Water Resources Development*. 2011;27(1):5–11.
- [2] Zubarev VA. Hydrochemical indices for surface water quality assessment. *Regional Problems*. 2014;17(2):71–77. (In Russ.)
Зубарев В.А. Гидрохимические показатели для оценки качества поверхностных вод // Региональные проблемы. 2014. Т. 17, № 2. С. 71–77.
- [3] Lazareva G. Estimation of water quality of uglichsky reservoir by integrated hydrochemical factors. *Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Natural Sciences*. 2016;(2):158–164. (In Russ.)

- Лазарева Г. Оценка качества воды Угличского водохранилища по комплексным гидрохимическим показателям // Вестник Московского областного государственного университета. Серия: Естественные науки. 2016. Т. 2. С. 158–164.
- [4] Zaslavskaya MB, Erina ON, Efimova LE. Comparing the efficiency of river water quality parameterization by different methods under a significant human-induced impact. *Geogr. Nat. Resour.* 2019;40(2):122–128.
- [5] Torres P, Cruz H, Patiño P. Water quality index in surface sources used in water production for human consumption. A critical review. *Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín.* 2009;8(15):79–94.
- [6] Kurbatova AI, Dalidenok AD, Mikhaylichenko KY, Savenkova EV, Kruglikova EV, Adarchenko IA. The impact Moscow Domodedovo Airport Wastewater on Surface Water Quality. *Ecology and Industry of Russia.* 2020;24(10):67–71. (In Russ.)
Курбатова А.И., Далиденок А.Д., Михайличенко К.Ю., Савенкова Е.В., Кругликова Е.В., Адарченко И.А. Влияние сточных вод Московского аэропорта Домодедово на качество поверхностных вод // Экология и промышленность России. 2020. № 24(10). С. 67–71.
- [7] Buytaert W, Célleri R, De Bièvre B, Cisneros F, Wyseure G, Deckers J, Hofstede R. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews.* 2006;79(1):53–72.
- [8] Yanchatipán M. *Elaboración de un plan de reforestación de las cuencas hídricas del páramo Capulis Paso para mantener la captación de agua de consumo humano en la parroquia Belisario Quevedo cantón Latacunga provincia de Cotopaxi* (Dissertation). Latacunga: UTC;2012.
- [9] Proaño G. *Análisis cuantitativo de los sistemas la cuenca de drenaje del río Talalá*: Guayaquil, Ecuador. Available from: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/5883>
- [10] Quiroz L, Izquierdo E, Menéndez C. Application of the water quality index in the Portoviejo River, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental.* 2017;38(3):41–51.
- [11] Castañeda A, Montes C. Carbon stock in andean paramo. *Entramado.* 2017;13(1):210–221.
- [12] Rangel-Ch JO. Biodiversity of Colombia: significance and regional distribution. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.* 2015;39(151):176–200.
- [13] Cavelier J, Goldstein G. Mist and fog interception in elfin cloud forests in Colombia and Venezuela. *Journal of Tropical Ecology.* 1989;5(3):309–322.
- [14] Bruijnzeel LA, Proctor J. Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forests: what do we really know? *Tropical montane cloud forests.* 1995;110:38–78.
- [15] Toro D, Jaramillo M, Ocampo D, Correa R, Salgado P. Limnologic study of the Black Lagoon. Buffer zone at the National natural snow-covered mountains park. *Boletín científico, Centro de museos: Museo de historia humana.* 2012;16(2):23–38.
- [16] Monar N, González M, Cruz E, González V, Chávez L, Fierro, Saltos R. Calidad de agua de la microcuenca del río Illangama cantón Guaranda, provincia Bolívar-Ecuador. *Revista de investigación talentos.* 2016;3(1):42–51.
- [17] Vargas SV, Rodríguez F, Arenas ML, Martínez R, Sujitha SB, Jonathan MP. Heavy metals in the volcanic and peri-urban terrain watershed of the River Yautepec, Mexico. *Environmental monitoring and assessment.* 2019;191(3):1–15.
- [18] Borja P, Ochoa V, Maurice L, Morales G, Quilumbaqui C, Tejera E, Machado A. Determination of the microbial and chemical loads in rivers from the Quito capital province of Ecuador (Pichincha) – A preliminary analysis of microbial and chemical quality of the main rivers. *International journal of environmental research and public health.* 2020;17(14):5048.
- [19] Quintero AC, Castellanos-Barliza J, Peláez JD, Tamaris-Turizo CE. Characterization of the organic matter provided by leaf litter in the forest in the Gaira riverbank (Sierra Nevada de Santa Marta – Colombia). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental.* 2014;5(1):171–184.
- [20] Abril R, Rodríguez L, Sucoshañay D, Bucaram E. Evaluation of the water quality of the Puyo river basin. *Ingeniería hidráulica y ambiental.* 2017;38(2):59–72.

- [21] Wantzen KM, Yule CM., Mathooko JM., Pringle CM. Organic matter processing in tropical streams. *Tropical stream ecology*. Academic Press; 2008. p. 43–64.
- [22] Villamarín CP, Prat i Fornells N, Rieradevall i Sant M. Physical, chemical and hydromorphological characterization of Ecuador and Perú tropical highland Andean rivers. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 2014;42(5):1072–1086.

Сведения об авторах:

Саласар Флорес Кристиан Александер, аспирант, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-6927-7863. E-mail: cristian_salazarf@hotmail.com

Курбатова Анна Игоревна, кандидат биологических наук, доцент департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-7763-5034. E-mail: kurbatova-ai@rudn.ru

Михайличенко Ксения Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент департамента экологии человека и биоэлементологии, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0001-8051-8528. E-mail: mikhaylichenko-kyu@rudn.ru

Баранникова Светлана Игоревна, студент, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: 1032193179@rudn.ru

Bio notes:

Cristian A. Salazar Flores, PhD student, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6927-7863. E-mail: cristian_salazarf@hotmail.com

Anna I. Kurbatova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Safety and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-7763-5034. E-mail: kurbatova-ai@rudn.ru

Kseniya Y. Mikhaylichenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Human Ecology and Bioelementology, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8051-8528. E-mail: mikhaylichenko-kyu@rudn.ru

Svetlana I. Barannikova, Student, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: 1032193179@rudn.ru



ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-265-269

EDN: IHDAUW

UDC 503.37:371.3

Short review / Краткий обзор

Questions of accumulated environmental harm – People’s Republic of China

Xuecong Zhang, Vladimir E. Pinaev  

RUDN University, Moscow, Russian Federation

 pinaev-ve@rudn.ru

Abstract. The research is dedicated to the state of legislation in the People's Republic of China on accumulated environmental harm and existing practices of liquidating objects of accumulated environmental harm. This research contains an up-to-date list of regulatory legal documents of the People’s Republic of China on the topic. The research also presents some aspects of Chinese scientists’ research on environmental impact and accumulated environmental harm.

Keywords: accumulated environmental harm, legislation of the People’s Republic of China on accumulated environmental harm, modern environmental impact studies in China

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

Article history: received 12.06.2022; revised 12.09.2022; accepted 20.02.2023.

For citation: Zhang X, Pinaev VE. Questions of accumulated environmental harm – People’s Republic of China. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):265–269. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-265-269>

© Zhang X., Pinaev V.E., 2023



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

Вопросы накопленного экологического вреда – практика Китайской Народной Республики

С. Чжан, В.Е. Пинаев  

Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

 pinaev-ve@rudn.ru

Аннотация. Исследование посвящено состоянию законодательства в Китайской Народной Республике по вопросам накопленного вреда окружающей среде и существующим практикам ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде. Представлен актуальный перечень нормативно-правовых документов КНР по исследуемому вопросу. Также раскрываются некоторые аспекты исследований китайских ученых по вопросам воздействия на окружающую среду и накопленного экологического вреда.

Ключевые слова: накопленный вред окружающей среде, законодательство Китайской Народной Республики по вопросу накопленного вреда окружающей среде, современные исследования воздействия на окружающую среду в Китае

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

История статьи: поступила в редакцию 12.06.2022; доработана после рецензирования 12.09.2022; принята к публикации 20.02.2023.

Для цитирования: Чжан С., Пинаев В.Е. Вопросы накопленного экологического вреда – практика Китайской Народной Республики // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 265–269. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-265-269>

In People's Republic of China (China), the problem of environmental harm caused by economic development and increased consumption is becoming more and more obvious. In the works of Chinese scientists, attention is paid to various aspects of harm caused to the environment. Including aspects of the impact on water resources [1], the impact of pollutants, even on regions located at a considerable distance from the source of the impact [2], the objects of accumulated environmental harm and methods of reclamation are typified [3], including quarries left after the extraction of minerals by the open pit method [4], reclamation of mines [5]. Studies are being conducted concerning the state of water bodies [6], the increase in the area of urban areas and their impact on the environment [7]. Studies and comparative analysis in dynamics are conducted for various provinces of China, for example, Guangdong [8].

In China the issue of accumulated environmental damage is actual as in other countries. According to some reports, there is currently no official publicly available register of objects of accumulated environmental harm in China, at the same time regulatory documents on accumulated environmental harm are being actively issued, for example:

- 1) “Technical Guideline on Construction and Operation of Heavy Metal Contaminated Soil Landfill” – DB11/T 810-2011¹;
- 2) “Technical Guideline for Contaminated Sites Remediation Validation” – DB11/T 783-2011²;
- 3) “Screening Levels for Soil Environmental Risk Assessment of Sites” – DB11/T 811-2011³;
- 4) “Technical guidelines for Monitoring During Risk Control and Remediation of Soil Contamination of Land for Construction” – HJ 25.2-2019⁴;
- 5) “Technical Guidelines for soil Remediation of Land for Construction” – HJ 25.4-2019⁵;
- 6) “Technical Specifications for Emergency Monitoring in Environmental Accidents” – HJ 589-2021⁶.

It is also important to note that even with knowledge of the Chinese language, it may be difficult to find the original document – it is more likely to find an official copy on non-governmental resources.

Important to note, that in the title of documents, “HJ” stand for “environment”, it means this document is the environment document for every place in China. “DB” stand for “Local Standard”, it means this fill is only work for a certin place in China. Documents 1, 2, 3 are all standards only work for Beijing, documents 4, 5, 6 is work for every where in China.

¹“Technical Guideline on Construction and Operation of Heavy Metal Contaminated Soil Landfill” – DB11/T 810-2011. Available from: <https://max.book118.com/html/2022/0909/7033066023004163.shtm> (accessed: 01.01.2023). Link to the page about putting the document into effect: http://scjgj.beijing.gov.cn/bsfw/bmfw/bzhzl/dfbz/dfbzgg/201909/t20190904_259186.html

² “Technical Guideline for Contaminated Sites Remediation Validation” – DB11/T 783-2011. Available from: <https://max.book118.com/html/2018/1116/6022001115001231.shtm> (accessed: 01.01.2023). Link to the page about putting the document into effect: http://scjgj.beijing.gov.cn/bsfw/bmfw/bzhzl/dfbz/dfbzgg/201909/t20190904_259211.html

³ “Screening Levels for Soil Environmental Risk Assessment of Sites” – DB11/T 811-2011. Available from: <https://max.book118.com/html/2021/1103/7004052051004034.shtm> (accessed: 01.01.2023). Link to the page about putting the document into effect: http://scjgj.beijing.gov.cn/bsfw/bmfw/bzhzl/201909/t20190926_413753.html

⁴ “Technical guidelines for monitoring during risk control and remediation of soil contamination of land for construction” – HJ 25.2-2019. Available from: <https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/trhj/201912/W020191224561614977338.pdf> (accessed: 01.01.2023). Link to the page about putting the document into effect: https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/trhj/201912/t20191224_749891.shtml

⁵ “Technical guidelines for soil remediation of land for construction” – HJ 25.4-2019. Available from: <https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/trhj/201912/W020191224560072891181.pdf> (accessed: 01.01.2023). Link to the page about putting the document into effect: https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/trhj/201912/t20191224_749895.shtml

⁶ “Technical Specifications for Emergency Monitoring in Environmental Accidents” – HJ 589-2021. Available from: <https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/qt/202202/W020220228602950839263.pdf> (accessed: 01.01.2023). Link to the page about putting the document into effect: https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/qt/202202/t20220228_970076.shtml

It can be concluded that the system of elimination of objects of accumulated environmental damage in China is similar to the existing one in the Russian Federation and is also on the way to eliminate objects of accumulated environmental damage, for example in Gongzhou [9].

It is also important to understand that the proposed translations of documents are not always correct and relevant. It is important to involve local specialists for translation, for example, when conducting environmental audits at enterprises in China with the involvement of foreign consultants.

It should also be noted that in some works of Russian authors, for example [10], incorrect details of Chinese documents and names are indicated. It is also important to remember that documents in China are periodically updated, as in Russia [11] and other countries.

References

- [1] Wang H, Yang J, Wang J, Li L. Discussion on mine environmental hazards. *China Natural Resources Aerogeophysical and Remote Sensing Center*, Beijing 100083, China. Available from: <https://www.doc88.com/p-0744851881961.html> (accessed: 01.01.2023).
- [2] Zhihua W. Environmental Danger and Potential Environmental Hazards in Metallurgical Mining. *Environmental Protection Monitoring Station of Qingxu County*, Qingxu 030400, Shanxi China. 2018;(3):22. Available from: <https://www.doc88.com/p9724812355383.html> (accessed: 01.01.2023).
- [3] Wen J, Wang H. A Preliminary Study on Environmental Pollution Types and Restoration Technology of Typical Mine in China. *China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources*, Beijing China. 2022;(4):20. Available from: https://pdf.hanspub.org/ME20220200000_51494278.pdf (accessed: 01.01.2023).
- [4] Bowen S, He H, Hengcai L, Yu F. Research Status of Comprehensive Treatment of Open-Pit Abandoned Mine Geological Environment. *School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology*, Huainan Anhui China, 2020;8(3):265–270. Available from: https://pdf.hanspub.org/ME20200300000_73348103.pdf (accessed: 01.01.2023).
- [5] Zhong Y, Xu L, Feng R, Lin J, Chen P, Li Y. Feasibility Study of Applying Daye Lake Bottom Sediment to Mine Reclamation. *Faculty of Resources and Environmental Science, Hubei University*, Wuhan Hubei, China 2020;10(4):475–482. Available from: https://pdf.hanspub.org/AEP20200400000_29249346.pdf (accessed: 01.01.2023).
- [6] Peng W, Liu X., Wang C., Zou X. Review and prospect of progress in water environment and water ecology research. *Department of Water Environment, China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, Beijing 100038, China 2018;(9):10–15. Available from: http://jhe.ches.org.cn/jhe/ch/reader/create_pdf.aspx?file_no=20180904&flag=1&journal_id=jhe&year_id=2018 (accessed: 01.01.2023).
- [7] Zhou H. Research on the Impact of Urban Sprawl on Environmental Pollution. *School of Public Administration, Chongqing University*, Chongqing China 2020;10(5):736–744. Available from: https://pdf.hanspub.org/AEP20200500000_92349529.pdf (accessed: 01.01.2023).
- [8] Xiaoyan L, Yitong T, Ge Q. Comparative Analysis of Environmental Pollution and Economic Development in Heavily Polluting Industries in Guangdong Province. *Sustainable Development*. China 可持续发展. 2022;12(5):1325–1338.

Available from: https://pdf.hanspub.org/SD20220500000_94683909.pdf (accessed: 01.01.2023).

- [9] Li X, Xiao R, Chen W, Chang C, Deng Y, Xie T. A Conceptual Framework for Classification Management of Contaminated Sites in Guangzhou, China. *Sustainability*. 2017;9(3):362. <https://doi.org/10.3390/su9030362>
- [10] Solovyanov AA, Chernin SYa. *Elimination of accumulated environmental damage in the Russian Federation: a new stage and new successes*. Moscow: Nauka; 2020. 600 p. (In Russ.)
- [11] Pinaev VE, Chernyshev DA. *Elimination of accumulated environmental damage – organizational and legal aspects*. Monograph. Moscow: Mir nauki; 2017. Available from: <http://izd-mn.com/PDF/07MNNPM17.pdf> (accessed: 01.01.2023). (In Russ.)

Bio notes:

Xuecong Zhang, Master's student of Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: 1032224490@rudn.ru

Vladimir E. Pinaev, Cand. Sc. Econ., Docent, Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8943-5462. E-mail: pinaev-ve@rudn.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-270-277

EDN: IJNEAY

УДК 504.06

Научная статья / Research article

Оценка эмиссии нефтепродуктов при утилизации загрязненной тары из полиэтилена

В.К. Салахова^{1,2}, Л.В. Рудакова², К.Г. Пугин^{1,2}

¹Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, г. Пермь, Российская Федерация

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация

veronika815@inbox.ru

Аннотация. При техническом обслуживании частных транспортных средств формируется поток отходов потребления в виде тары с остатками моторного масла. При выборе методов обращения с такими отходами необходимо иметь количественные показатели массы тары и объема моторного масла, остающегося после ее использования. Тара, загрязненная моторными маслами, при утилизации, обезвреживании и захоронении за счет эмиссии остатков нефтепродуктов создает повышенные риски техногенного воздействия на объекты окружающей среды. Цель исследования – установить объем моторного масла, остающийся после опорожнения тары, при различных условиях. В качестве изменяющихся условий были приняты во внимание вязкость, температура, угол стекания моторного масла. Лабораторные исследования позволили установить, что при утилизации тары из полиэтилена низкого давления (ПНД) (от 1 до 30 л), в которой размещалось моторное масло, в отходах может содержаться от 1,5 до 15 % нефтепродуктов. Чем меньше объем тары, тем выше процент остатков нефтепродуктов по отношению к массе тары. Предложено для оценки эмиссии нефтепродуктов из тары, при ее утилизации, использовать показатели K_1 , позволяющие оценить количественно объем моторного масла, которое может поступить в окружающую среду при утилизации или захоронении.

Ключевые слова: экология, нефтепродукты, моторное масло, утилизация, полиэтилен низкого давления, эмиссия

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

© Салахова В.К., Рудакова Л.В., Пугин К.Г., 2023



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

Вклад авторов: *В.К. Салахова* – выполняла лабораторные эксперименты, провела обработку полученных результатов, выполняла написание основной части статьи; *Л.В. Рудакова* – руководила проведением лабораторных экспериментов и обработкой полученных результатов, выполняла написание заключительной части статьи и ее общую научную редакцию; *К.Г. Пугин* – обобщил результаты исследований.

История статьи: поступила в редакцию 15.09.2022; доработана после рецензирования 20.01.2023; принята к публикации 25.02.2023.

Для цитирования: *Салахова В.К., Рудакова Л.В., Пугин К.Г.* Оценка эмиссии нефтепродуктов при утилизации загрязненной тары из полиэтилена // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 270–277. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-270-277>

Evaluation of the emission of petroleum products during the disposal of contaminated polyethylene cans

Veronika K. Salakhova^{1,2}  , Larisa V. Rudakova², Konstantin G. Pugin^{1,2} 

¹Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov, Perm, Russian Federation

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation
veronika815@inbox.ru

Abstract. During the maintenance of private vehicles, a stream of consumer waste is generated in the form of containers with engine oil residues. When choosing methods for handling such waste, it is necessary to have quantitative indicators of the tare weight and the volume of engine oil remaining after use. Containers contaminated with motor oils during disposal, neutralization and disposal due to the emission of oil residues create increased risks of man-made impact on environmental objects. The purpose of the study is to determine the volume of motor oil remaining after emptying under various conditions. Viscosity, temperature, runoff angle of engine oil was taken into account as changing conditions. Laboratory studies made it possible to establish that when disposing containers made of HDPE (from 1 to 30 liters), in which engine oil was placed, the waste may contain from 1.5 to 15% of oil products. The smaller the tare volume, the higher the percentage of oil product residues in relation to the tare weight. It is proposed to use K_1 indicators to assess the emission of oil products from containers during its disposal, which allows quantifying the volume of engine oil that can enter the environment during disposal or disposal.

Keywords: ecology, oil products, motor oil, recycling, low pressure polyethylene, emissions

Acknowledgements and Funding. This work is funded by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project № FSNM-2020-0024 “Development of scientific basis for environmentally friendly and nature-inspired technologies and environmental management in petroleum industry”).

Authors' contributions: *V.K. Salakhova* performed laboratory experiments, processed the results obtained, wrote the main part of the article; *L.V. Rudakova* supervised the laboratory experiments and the processing of the results obtained, wrote the final part of the article and its general scientific edition; *K.G. Pugin* summarized the results of the research.

Article history: received 15.09.2022; revised 20.02.2023; accepted 25.02.2023.

For citation: Salakhova VK, Rudakova LV, Pugin KG. Evaluation of the emission of petroleum products during the disposal of contaminated polyethylene cans. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):270–277. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-270-277>

Введение

Для транспортировки и временного хранения нефтепродуктов, используемых для частного потребления, применяется тара из полимерных материалов. Из большого разнообразия нефтепродуктов, применяемых для технического обслуживания транспортных средств, можно выделить моторные масла. По данным исследовательской компании Russian Automotive Market Research, потребление моторного масла в России в 2023 г. составит 976 млн л, что потребует более 260 млн штук пластиковой тары. Для производства тары используется полиэтилен низкого давления (ПНД). Широко используемый объем тары составляет от 1 до 30 л. Тара, загрязненная моторными маслами, при утилизации, обезвреживании и захоронении, за счет эмиссии остатков нефтепродуктов, создает повышенные риски техногенного воздействия на объекты окружающей среды (ОС) [1–5]. Моторные масла в своем составе содержат большое количество химических веществ, оказывающих значительное влияние на среду обитания человека и других организмов. В состав моторных масел входят жидкие смеси изопарафиновых, нафтеновых, ароматических и нафтеноароматических углеводородов; окиси и сульфаты Ва, Са, Mg; соединения тяжелых металлов; полиолефины, диэфиры; сульфонаты; салицилаты и др.

Использование материального ресурса отходов ПНД для получения вторичных гранул и других продуктов требует тщательной очистки отходов от различных загрязнений. Наличие нефтепродуктов в отходах в разы повышает расход моющих средств и формирует вторичный поток отходов в виде шламов [6–11]. Разработанные технологии использования материального ресурса отходов потребления из ПНД, без предварительной очистки от загрязнений, для получения высоких физико-механических характеристик, требуют количественной оценки содержания моторного масла в составе отходов ПНД [12].

Для оценки возможной эмиссии нефтепродуктов из тары в ОС, расчета количества моющих средств, расходуемых при подготовке тары к утилизации, и установления технологических параметров различных методов утилизации, чувствительных к содержанию моторного масла, необходимо оценить объем моторного масла, который остается в таре после ее использования.

Цель исследования – установить объем моторного масла, остающегося в таре при различных условиях опорожнения.

Материалы и методы

Для оценки объема моторного масла, которое может оставаться в таре после ее опорожнения, в качестве объектов для исследования использовали тару из ПНД емкостью 1, 4, 10, 20, 30 л (ООО «TARAPLASTIC» г. Москва). В качестве нефтепродуктов использовали масла 80w-90, 15w-40 и 10w-40 (ООО «ЛЛК-Интернешнл»), наиболее широко используемые в техническом сервисе транспортных и технологических машин. Для определения толщины слоя масла использовали лист из ПНД. Эксперимент проводили при температуре 20 и 40 °С, угол стекания масла устанавливали 60° и 90° к горизонту, тем самым имитируя налив из тары. Толщину слоя масла (h), который формируется при стекании по наклонной поверхности, определяли расчетным методом исходя из соотношения $h = V/S$, где V – объем масла (использовали объем, равный 0,5 мл), S – площадь, которую занял данный объем при стекании по наклонной поверхности. Кинематическую вязкость масел при температурах +20 и +40 °С определяли с помощью вискозиметра.

Результаты и обсуждение

Физические свойства моторного масла и температура ОС определяют объем, который останется в таре после ее опорожнения. Моторное масло при контакте с материалом тары образует пленку, которая обусловлена маслянистостью (липкостью) моторного масла, т.е. способностью хорошо смачивать поверхности и образовывать на них прочные адсорбированные пленки. Вязкость моторного масла, способность к адсорбции определяют толщину пленки, которая формируется на поверхности тары при ее опорожнении. Объем моторного масла будет определяться внутренней площадью тары. Используя данные производителя тары, была определена площадь поверхности тары (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика тары для моторного масла

| Показатель | Тара | | | | |
|--|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 1 | 4 | 10 | 20 | 30 |
| Вместимость, литр | 1 | 4 | 10 | 20 | 30 |
| Длина, мм | 80 | 241 | 233 | 272 | 285 |
| Ширина, мм | 83 | 102 | 185 | 272 | 280 |
| Высота, мм | 220 | 306 | 308 | 371 | 527 |
| Площадь внутренней поверхности тары, мм ² | 85·10 ³ | 259·10 ³ | 343·10 ³ | 552·10 ³ | 755·10 ³ |
| Масса пустой тары, г | 70 | 240 | 460 | 805 | 1100 |

Из расчета (см. табл. 1) можно сделать вывод, что при использовании тары меньшего объема образуется большее количество отходов по весу, что влечет за собой формирование более высокой техногенной нагрузки на ОС. Чем меньше данный показатель, тем меньше энергетических и материальных затрат на утилизацию и захоронение отходов.

Толщину слоя масла (h), формируемого при стекании по наклонной поверхности, определяли расчетным методом исходя из соотношения $h = V/S$, где

V – объем масла (1 мл), S – площадь, которую занял данный объём при стекании. Кинематическую вязкость масел при температурах +20 и +40 °С определяли с помощью вискозиметра. Углы наклона поверхности стекания моторного масла выбраны в диапазоне 60–90 градусов (типичные для слива из тары). Полученные данные приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Расчетная величина толщины слоя масла при +40 °С, мм

| Масло | Кинематическая вязкость при +40 °С, ($C_{ст}$) | Угол наклона 60° | Угол наклона 90° |
|--------|--|------------------|------------------|
| 80w-90 | 144 | 0,090 | 0,072 |
| 15w-40 | 106 | 0,065 | 0,034 |
| 10w-40 | 79 | 0,045 | 0,022 |

Таблица 3. Расчетная величина толщины слоя масла при +20 °С, мм

| Масло | Кинематическая вязкость при +20 °С, ($C_{ст}$) | Угол наклона 60° | Угол наклона 90° |
|--------|--|------------------|------------------|
| 80w-90 | 280 | 0,125 | 0,093 |
| 15w-40 | 168 | 0,095 | 0,055 |
| 10w-40 | 115 | 0,068 | 0,038 |

На формирование толщины слоя моторного масла влияет вязкость масла, которая, в свою очередь, зависит от температуры масла. Слив моторного масла из тары при более высокой температуре уменьшает слой моторного масла, который формируется на внутренней поверхности тары.

Используя полученную площадь внутренней поверхности тары (см. табл. 1) и величину слоя, который формируется при различных условиях (см. табл. 2 и 3), определили расчетное количество моторного масла, остающееся в таре после ее опорожнения. Расчет объема масла, остающегося в таре, при различных температурах, приведен в табл. 4 и 5.

Таблица 4. Объем моторного масла в таре после опорожнения при угле 60°, мл

| Масло | | Тара, л | | | | |
|--------|------------|---------|------|------|------|------|
| | | 1 | 4 | 10 | 20 | 30 |
| 80w-90 | при +20 °С | 10,6 | 32,4 | 42,9 | 69,0 | 94,4 |
| | при +40 °С | 7,7 | 23,3 | 30,8 | 49,7 | 67,9 |
| 15w-40 | при +20 °С | 8,1 | 24,6 | 32,6 | 52,4 | 71,7 |
| | при +40 °С | 5,5 | 16,8 | 22,3 | 35,9 | 49,1 |
| 10w-40 | при +20 °С | 5,8 | 17,6 | 23,3 | 37,5 | 51,3 |
| | при +40 °С | 3,8 | 11,7 | 15,4 | 24,8 | 34,0 |

Таблица 5. Объем моторного масла в таре после опорожнения при угле 90°, мл

| Масло | | Тара, л | | | | |
|--------|------------|---------|------|------|------|------|
| | | 1 | 4 | 10 | 20 | 30 |
| 80w-90 | при +20 °С | 7,9 | 24,0 | 31,9 | 51,3 | 70,2 |
| | при +40 °С | 6,1 | 18,6 | 24,7 | 39,7 | 54,4 |
| 15w-40 | при +20 °С | 4,6 | 14,2 | 18,9 | 30,4 | 41,5 |
| | при +40 °С | 2,8 | 8,8 | 11,7 | 18,8 | 25,7 |
| 10w-40 | при +20 °С | 3,2 | 9,8 | 13,0 | 20,9 | 28,7 |
| | при +40 °С | 1,9 | 5,7 | 7,5 | 12,1 | 16,6 |

С учетом полученных данных можно оценить, какое количество моторного масла попадет в ОС при размещении использованной тары на полигоне. При использовании 1 штуки тары в 30 л, в ОС попадет от 94,4 до 16,6 мл моторного масла. При использовании 30 штук тары в 1 л, в ОС попадет от 318 до 57 мл, что формирует техногенную нагрузку в 3,2–3,4 раза больше.

Также по остаткам моторного масла в таре можно рассчитать, какой объем моторного масла будет поступать на полигон ТКО или на линию утилизации в расчете на одну тонну тары из ПНД. Данные представлены в табл. 6.

Таблица 6. Объем моторного масла в таре после опорожнения

| Показатель | Тара | | | | |
|--|----------|----------|---------|---------|---------|
| | 1 | 4 | 10 | 20 | 30 |
| Объем, л | 70 | 240 | 460 | 805 | 1100 |
| Масса пустой тары, г | 14285 | 4166 | 2174 | 1242 | 909 |
| Количество тары в 1000 кг, шт. | 151,4 | 133,3 | 93,3 | 85,7 | 85,8 |
| Объем моторного масла в таре после опорожнения при +20 °С, при угле 60° (на 1000 кг тары), л | 27,1 | 23,7 | 16,3 | 15,0 | 15,1 |
| Объем моторного масла в таре после опорожнения при +40 °С, при угле 90° (на 1000 кг тары), л | 15,1–2,7 | 13,3–2,3 | 9,3–1,6 | 8,5–1,5 | 8,5–1,5 |
| Процентное содержание остатков моторного масла в таре K_1 , % | | | | | |

Вывод. При утилизации тары из ПНД, в которой размещалось моторное масло или другие нефтепродукты, может содержаться от 1,5 до 15 % нефтепродуктов. Установлено, что чем меньше объем тары, тем выше процент остатков нефтепродуктов по отношению к массе тары. Это обстоятельство увеличивает материальные затраты на подготовку отходов к вторичному использованию и требует организации отдельного сбора тары малого объема (до 4 литров) и тары большего объема (более 4 литров) или разработки технологии утилизации, позволяющей использовать материальный ресурс ПНД и моторного масла в одном технологическом процессе. Для оценки эмиссии нефтепродуктов из тары при ее утилизации или захоронении предлагается использовать показатель K_1 , который определяет величину эмиссии моторного масла, поступающего с отходами тары на полигон ТКО или на линию подготовки к утилизации. Ввиду того что содержание остатков моторного масла в таре зависит, в значительных пределах, от вязкости масла, температуры, угла наклона поверхности стекания, расчет показателя K_1 необходимо производить с учетом вышеперечисленных условий для каждого вида моторного масла. Общие зависимости, полученные для моторного масла, будут характерны и для других нефтепродуктов.

В ходе исследования было дополнительно установлено, что измельченная тара, загрязненная моторным маслом в установленных количествах, может быть успешно использована для производства органоминеральных смесей, используемых для дорожного строительства. Совместное использование ПНД и моторного масла в составе асфальтобетона, по предварительным

данным, позволяет повысить показатели сдвигоустойчивости, трещиностойкости, сохранить прочность асфальтобетона на изгиб при отрицательных температурах. Определение оптимального содержания ПНД и моторного масла в составе асфальтобетона требует проведения дополнительных исследований. Данная технология позволяет использовать отходы тары, загрязненной моторным маслом, без ее предварительной очистки. За счет этого будет достигнуто снижение материальных и энергетических затрат, что в целом позволит создать ресурсосберегающую технологию утилизации тары, загрязненной моторным маслом.

Заключение

1. Величина эмиссии нефтепродуктов из тары, используемой для временного хранения и транспортировки моторного масла, зависит от ее объема, температуры окружающей среды, вязкости масла, угла наклона стекания.

2. При утилизации отработанной тары необходимо учитывать, что в зависимости от объема тары содержание нефтепродуктов может изменяться от 1,5 до 15 % от массы утилизируемой тары.

3. Предложено для оценки экологической эффективности тары, использовать показатель тары K_1 , который позволяет оценить количественно объем моторного масла, который может поступить в ОС при утилизации или захоронении. Количественный индекс экологичности тары необходимо устанавливать индивидуально, с учетом условий опорожнения тары и физических характеристик нефтепродукта.

4. Установленное количество моторного масла для тары различных объемов может служить ориентиром для выбора метода или технологических процессов ее утилизации. При такой достаточно точной оценке материальных потоков, формирующихся при утилизации тары ПНД, загрязненной моторным маслом, возможно разработать технологию утилизации без предварительной очистки тары от загрязнений. Такой технологией может быть совместное использование материального ресурса ПНД и моторного масла при производстве асфальтобетонных смесей.

Список литературы

- [1] *Vazquez-Duhalt R.* Environmental impact of used motor oil // *Science of the Total Environment*. 1989. Vol. 79. Issue 1, P. 1–23. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90049-1](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90049-1)
- [2] *Stark J.S.* Effects of lubricant oil and diesel on macrofaunal communities in marine sediments: A five year field experiment in Antarctica // *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 311. P. 119885. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119885>
- [3] *Guo G., Li K., Lei M.* Accumulation, environmental risk characteristics and associated driving mechanisms of potential toxicity elements in roadside soils across China // *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 835. P. 155342. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155342>
- [4] *Картошкин А.П., Манджиев С.Т.* Экологическая опасность сброса отработанных моторных масел // *Грузовик*. 2008. № 3. С. 42–44.

- [5] *Картошкин А.П.* Экономия энергетических ресурсов путем создания и реализации комплексной технологии регенерации отработанных смазочных масел для автотракторной техники: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2002. 50 с.
- [6] *Aldagari S., Kabir Sk F., Lamanna A., Fini E.H.* Functionalized Waste Plastic Granules to Enhance Sustainability of Bituminous Composites // *Resources, Conservation and Recycling*. 2022. Vol. 183. P. 106353. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106353>
- [7] *Zhang H., Huang M., Hong J., Lai F., Gao Y.* Molecular dynamics study on improvement effect of bis(2-hydroxyethyl) terephthalate on adhesive properties of asphalt-aggregate interface // *Fuel*. 2021. Vol. 285. P. 119175. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119175>
- [8] *Li G., Gu Z., Tan Y., Xing C., Zhang J., Zhang C.* Research on the phase structure of Styrene-Butadiene-Styrene modified asphalt based on molecular dynamics // *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 326. P. 126933. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.2022.126933>
- [9] *Bulai I.S., Adamu H., Umar Y.A., Sabo A.* Biocatalytic remediation of used motor oil-contaminated soil by fruit garbage enzymes // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2021. Vol. 9, Issue 4. P. 105465. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105465>
- [10] *Pugin K.G., Yakontseva O.V., Salakhova V.K., Burgonutdinov A.M.* The use of polymer materials in the composition of asphalt concrete // *Materials research proceedings. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment, ICMTME 2021*. 2022. P. 150–155. <https://doi.org/10.21741/9781644901755-27>
- [11] *Пугин К.Г., Яконцева О.В., Салахова В.К.* Использование полимерных материалов в качестве структурного элемента в составе асфальтобетона // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2021. № 4. С. 29–36. <https://doi.org/10.15593/24111678/2021.04.04>
- [12] *Пугин К.Г., Пугина В.К.* Использование отходов в структуре органоминеральных композитов, применяемых для строительства автомобильных дорог // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2021. № 2. С. 38–46. <https://doi.org/10.15593/24111678/2021.02.05>

Сведения об авторах:

Салахова Вероника Константиновна, аспирант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; лаборант, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, Российская Федерация, 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23. ORCID: 0000-0003-4234-9430, e-Library SPIN-код: 6603-5476. E-mail: veronika815@inbox.ru

Рудакова Лариса Васильевна, доктор технических наук, заведующая кафедрой охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29. e-Library SPIN-код: 1705-6430. E-mail: larisa.rudakova.007@gmail.com

Пугин Константин Георгиевич, доктор технических наук, профессор кафедры строительных технологий, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, Российская Федерация, 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23; профессор кафедры автомобилей и технологических машин, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29. ORCID: 0000-0002-1768-8177, e-Library SPIN-код: 7972-1668. E-mail: 123zzz@rambler.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-278-290

EDN: HWCMEP

УДК 914

Научная статья / Research article

Оценка роли развития гелиоэнергетики как инструмента энергетического перехода в России

Л.В. Нефедова^{ID}✉, Ю.Ю. Рафикова^{ID}*МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация*

✉nefludmila@mail.ru

Аннотация. На основе характеристик современного состояния использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мире и в России рассмотрена роль гелиоэнергетики в решении одной из актуальных проблем развития современного общества – энергоперехода к использованию низкоуглеродных энергоисточников. Оценены и проанализированы и объемы произведенной электроэнергии и снижения выбросов CO₂ на фотоэлектрических станциях, работающих в регионах России на начало 2022 г. Выделены Республика Калмыкия и Алтай, имеющие наибольшие доли солнечной электроэнергии в энергобалансах – 35,7 и 23,2 % соответственно. Рассмотрены проблемы оценки природно-ресурсных рисков использования гелиоресурсов в Российской Федерации в связи с климатическим районированием территории. Авторами предложена методика оценки степени риска использования солнечных ресурсов на основе расчета характеристик изменчивости поступления солнечной радиации на земную поверхность, оценки и картирования уровня природно-ресурсных рисков. Определены уровни ресурсных рисков развития солнечной энергетики для Оренбургской и Астраханской областей, лидеров по развитию гелиоэнергетики в России.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, геоинформационные технологии, гелиоэнергетика, природно-ресурсные риски, эмиссия углекислого газа, энергопереход

Вклад авторов: Л.В. Нефедова – концептуализация, методология, сбор материалов, расчеты; Ю.Ю. Рафикова – геоинформационный анализ, обработка данных.

История статьи: поступила в редакцию 15.09.2022; доработана после рецензирования 20.01.2023; принята к публикации 25.02.2023.

© Нефедова Л.В., Рафикова Ю.Ю., 2023

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

Для цитирования: Неведова Л.В., Рафикова Ю.Ю. Оценка роли развития гелиоэнергетики как инструмента энергетического перехода в России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 278–290. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-278-290>

Assessment of the solar energy development role as a tool for the energy transition in Russia

Liudmila V. Nefedova  , Yulia Yu. Rafikova 

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

nefludmila@mail.ru

Abstract. Based on the characteristics of the current state of the use of renewable energy sources (RES) in the world and in Russia, the role of solar energy in solving one of the urgent problems of the development of modern society – energy transition to the use of low-carbon energy sources is considered. The volumes of electricity produced and the reduction of CO₂ emissions at photovoltaic stations operating in the regions of Russia at the beginning of 2022 were evaluated and analyzed. The Republic of Kalmykia and Altai were singled out, which have the largest shares of solar electricity in the energy balances, 35.7 and 23.2%, respectively. The problems of assessing the natural resource risks of using solar resources in the Russian Federation in connection with the climatic zoning of the territory are considered. The authors propose a method for assessing the degree of risk of using solar resources based on calculating the characteristics of the variability of solar radiation on the earth's surface, assessing and mapping the level of natural resource risks. The levels of resource risks in the development of solar energy for the Orenburg and Astrakhan regions, leaders in the development of solar energy in Russia, were assessed.

Keywords: renewable energy sources, geoinformation technologies, solar energy, natural resource risks, carbon dioxide emission, energy transition

Authors' contributions: *L.V. Nefedova* – conceptualization, methodology, collection of materials, calculations; *Yu.Yu. Rafikova* – geoinformation analysis, data processing.

Article history: received 15.09.2022; revised 20.02.2023; accepted 25.02.2023.

For citation: Nefedova LV, Rafikova YuYu. Assessment of the solar energy development role as a tool for the energy transition in Russia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):278–290. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-278-290>

Введение

Анализ мировых тенденции показывает, что низкоуглеродное энергопроизводство становится все более актуальным для будущего развития энергетики. Конференция по вопросам изменения климата (COP21), которая состоялась в Париже в 2015 г., а также обеспокоенность общественности вопросами изменения климата свидетельствуют о том, что в долгосрочной перспективе доля ископаемого топлива в структуре мирового топливно-

энергетического баланса будет снижаться. Мировая экономическая система вступает в фазу четвертого энергетического перехода, который и соответствует цели № 7 устойчивого развития, провозглашенного ООН, посвященной развитию энергетического сектора. Целью энергетического перехода заявлена полная углеродная нейтральность к 2050 г. По оценкам экспертов, глобальные выбросы, связанные с энергетикой, в сравнении с уровнем 2019 г. должны к 2030 г. и 2040 г. сократиться на 30 и на 75 % соответственно, чтобы достичь нулевых значений в 2050 г.¹

Глобальные инвестиции в энергетический переход в 2021 г. составили 755 млрд долл. США, что является новым рекордом благодаря растущим климатическим амбициям и политическим действиям стран по всему миру. При этом инвестиции в возобновляемую энергетику (ВЭ) достигли рекордного объема в 366 млрд долл. США, что на 6,5 % больше, чем годом ранее². На начало 2021 г. суммарная мощность солнечных электростанций (СЭС) в мире составляла 501 ГВт, а ветроэнергостанций на суше и на шельфе – около 743 ГВт. На рис. 1 представлено изменение инвестиций в мире в данном секторе экономики с 2004 г. по настоящее время. Необходимо отметить, что с 2014 г. возрастают инвестиции не только в ВЭ, но и в электротранспорт и электроотопительные системы. В последние годы появляются и новые направления инвестиций в энергопереходе: водородные проекты, системы улавливания и хранения CO₂, атомные электростанции (ЭС) (которые были включены в сектор безуглеродной энергетики).

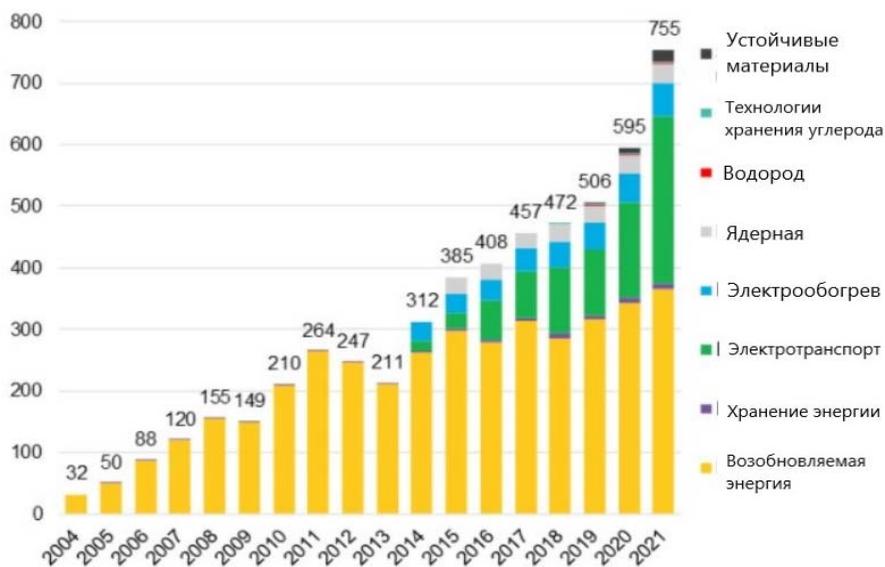


Рис. 1. Рост мировых инвестиции в энергетический переход в 2004–2021 гг., млрд долл. США
 Источник: Energy transition investment trends. Bloombergnef (BNEF), 2022. P. 21.

¹ Пути перехода к устойчивой энергетике. Ускорение энергетического перехода в регионе. Серия публикаций ЕЭК ООН по энергетике. № 67, Женева: ЕЭК ООН, 2020. 81 с.

² Energy transition investment trends. Bloombergnef (BNEF), 2022. P. 21.

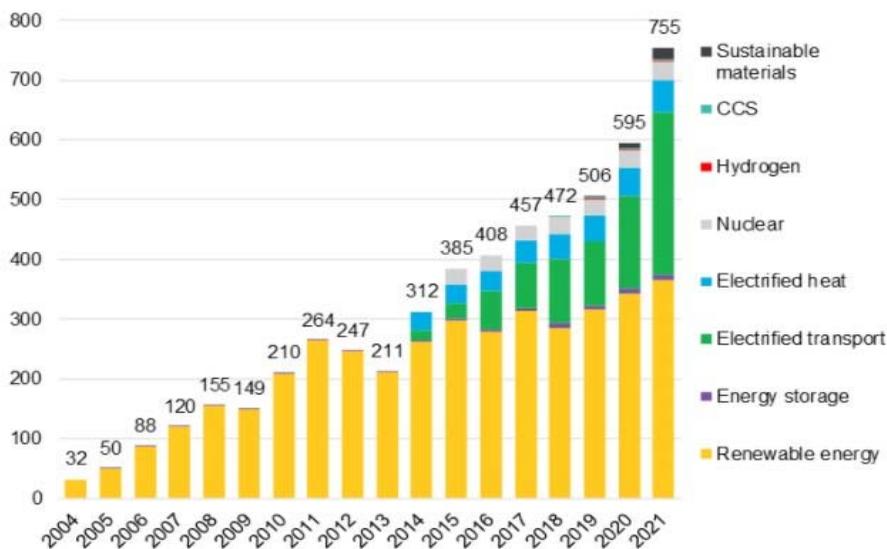


Figure 1. Global investment in the energy transition increasing in 2004–2021, US\$ billion
Source: Energy transition investment trends. Bloomberg (BNEF). 2022. p. 21

Хотя Россия обладает значительными запасами угля, нефти и природного газа, правительство нашей страны также заявило о намерениях снижения выбросов CO₂ и достижения углеродной нейтральности к 2050 г. Парижское соглашение по климату вступило в силу для России 06.11.2019 г. Основными путями в этом процессе намечены повышение энергоэффективности, расширение использования ВИЭ, развитие водородной энергетики и электротранспорта. В Энергетической стратегии РФ до 2035 г. указывается на необходимость увеличения роли использования возобновляемых источников энергии в энергообеспечении страны³. Стоящие перед Россией, в соответствии с мировой тенденцией энергоперехода и декарбонизации экономики, задачи по развитию возобновляемой энергетики стали активно решаться в течение последних нескольких лет. В России благодаря государственной поддержке было создано отечественное производство высокоэффективных гетероструктурных солнечных модулей, работают предприятия по производству деталей ветроагрегатов. По программе ДПМ 2015 г. проводились ежегодные конкурсные отборы на строительство электростанций на ВИЭ. В результате суммарная мощность объектов ВЭ в рамках ДПМ-1 составила на 01.01.22 3609,2 МВт, в том числе 69 СЭС – 1654,6 МВт, 22 ВЭС – 1937,7 МВт, 3 МГЭС – 20,9 МВт⁴. Объем ввода в России мощностей по программе ВИЭ до 2024 г. запланирован в 5,4 ГВт, из них ВЭС – 3,4 ГВт, СЭС – 1,9 ГВт.

³ Правительство РФ. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 №1523-р. 2020.

⁴ НП Совет рынка. Перечень квалифицированных энергообъектов, функционирующих на основе ВИЭ. URL: <https://www.np-sr.ru/ru/market/vie/index.htm> (дата обращения: 10.03.22).

Актуальным представляется проведение оценок современной роли ВЭ в России в процессе энергетического перехода.

Для использования ВИЭ в России чрезвычайно важна инвестиционная привлекательность проектов, а она обусловлена в энергетической сфере, как показывает международный опыт⁵, степенью риска данных проектов [1]. В значительной степени природно-ресурсные риски работы фотоэлектрических станций определяются изменчивостью поступления солнечной радиации и другими природно-климатическими особенностями территории размещения этих станций. В настоящее время методы геоинформатики активно используются при изучении потенциала солнечной энергии и оценке рисков для различных территорий⁶ [2–5]. Геоинформационные системы (ГИС) открывают возможности для решения ряда важных задач, таких как визуализация ресурсов для расчета величин технического и экономического энергопотенциала по видам ВИЭ, анализ территорий по уровню обеспеченности ресурсами и возможности размещения на них объектов солнечной и ветровой энергетики применительно к разным масштабам территориальных исследований.

Методы и материалы

В данной статье представлены результаты исследований, выполненных с целью оценки роли солнечной энергетики в России в процессе снижения выбросов CO₂ и перехода к низкоуглеродной экономике и рисков выработки гарантированных объемов электроэнергии на СЭС в регионах страны. В связи с тем что в последние годы в России было сооружено более 65 солнечных электростанций, проводится анализ объема выработки электроэнергии на данных станциях и уровня использования установленных мощностей. На основании проведенного анализа с учетом характера региональных энергобалансов поставлена задача оценить возможный уровень объемов покрытия потребностей в электроэнергии гелиоэнергетикой в настоящее время. Проведение анализа данных о введенных в строй солнечных фотоэлектрических станциях в России послужило основой для оценок ежегодных размеров снижения выбросов углекислого газа в регионах, исходя из прогнозируемых объемов выработки электроэнергии на данных экологически безопасных энергообъектах. Для расчетов доли покрытия энергопотребления были проведены сопоставления объемов выработки электроэнергии на СЭС региона и объема энергопотребления субъекта РФ по данным Росстата⁷. Оценки потенциала сокращения выбросов парниковых газов за счет наращивания мощностей солнечных электростанций проведены из расчета, что производство

⁵ Solar Risk Assessment Report: Quantitative Insights from the Industry Experts. 2022. San Francisco: kWh Analytics. 25 p.

⁶ Accurate and efficient solar energy assessment. Solar GIS Brochure. Slovakia, Bratislava: Solargis, 2019. 9 p.

⁷ Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики (Росстат). URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_industrial (дата обращения: 10.03.2022).

электроэнергии в России в среднем сопровождается выбросами около 490 г CO₂/кВт·ч⁸. Однако если идет замещение угольных ЭС (выбросы около 900 г CO₂/кВт·ч), то при расчетах «невыбросов CO₂» вследствие получения электроэнергии на СЭС результаты расчетов необходимо увеличить. При выполнении оценочных расчетов нами также учитывались объемы эмиссии углекислого газа, связанные со всем «жизненным циклом» СЭС (производство фотоэлектрических модулей из высокоочищенного кремния, металлических рамок и стоек для солнечных панелей, утилизация и вторичная переработка панелей и др.). Анализ публикаций по данному вопросу показал, что за среднее значение выбросов фотоэлектрических станций может быть принято значение в 35 г CO₂-экв/кВт·ч вырабатываемой электроэнергии [5]. При этом удельные объемы выбросов CO₂ сокращаются, что обусловлено развитием технологий и снижением материалоемкости фотоэлектрических преобразователей и инверторов. СЭС при эксплуатации негативного влияния на окружающую среду не оказывают, занятые фотоэлектрическими панелями территории могут использоваться как пастбища (Solargrazing). Затенение от фотоэлектрических модулей, и, соответственно, незначительное охлаждение почвы, как правило, благоприятно влияет на экосистему и способствует увеличению биоразнообразия [6].

В статье для определения уровня надежности энергообеспечения от СЭС была применена разработанная авторами методика, предлагаемая для оценки рисков стабильности работы гелиоэнергетических станций с использованием геоинформационных технологий (ГИС), основанная на учете изменчивости поступления солнечной радиации [7]. В соответствии с данной методикой были проведены и расчеты статистических характеристик солнечной радиации по данным базы NASA POWER за десятилетний период (2009–2018 гг.)⁹ для целей оценки изменчивости во времени и пространстве поступления суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность. Массивы данных для выполнения расчетов были сформированы из указанных исходных материалов с шагом сетки 0,5×0,5°. Для определения уровня изменчивости прихода солнечной радиации на горизонтальную поверхность были проведены расчеты значений коэффициентов вариации (C_v) суточных и среднемесячных значений инсоляции¹⁰. Подробное описание методики расчетов представлено в [7].

Были выполнены вычисления среднегодовых значений коэффициентов вариации поступления солнечной радиации для каждого месяца и для года. Межгодовая изменчивость оценивалась по распределениям значений коэффициента вариации среднемесячных суточных сумм инсоляции (C_v мес).

⁸ Углеродоемкость электроэнергии в мире и России // Энергетический бюллетень Аналитического центра при Правительстве РФ. 2019. Вып. 72. С. 14–18. (In Russ.)

⁹ База данных NASAPOWER. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer> (дата обращения: 10.03.2022).

¹⁰ Там же.

Базируясь на полученных многолетних данных с применением ГИС-технологий, были построены карты распределения среднемесячных значений $C_{v \text{ мес}}$ за 10-летний период (2009–2018 гг.), оценивалась также и внутримесячная изменчивость путем расчетов $C_{v \text{ сут}}$ за каждый месяц десятилетнего периода. В данной статье представлены результаты расчетов и оценок рисков использования гелиоресурсов в Оренбургской области.

При проведении исследования применялись расчетные статистические методы, прогнозно-аналитические методы, экономико-географический анализ и экспертные оценки. Базой для проведения расчетов послужили материалы компаний – производителей энергии, Системного оператора Единой энергосистемы (СО ЕЭС) России, статистические данные Госкомстата РФ и НП «Совет рынка».

Результаты и их обсуждение

На основе расчетов суммарной установленной мощности солнечных фотоэлектрических станций, работающих в России на начало 2022 г. для регионов с суммарной мощностью СЭС более 5,0 МВт, проведено их ранжирование по уровню развития гелиоэнергетики (табл. 1). Для расчетов выработки электроэнергии в регионах было принято среднегодовое значение коэффициента использования установленной мощности ($K_{\text{иум}}$) 15,2 % по солнечным электростанциям РФ за 2020–2021 гг. согласно данным СО ЕЭС РФ¹¹.

Лидирующие места по установленной мощности СЭС в России занимают Оренбургская (360,0 МВт) и Астраханская (275,0 МВт) области, в которых доля солнечной ЭЭ в энергобалансах составляет соответственно 2,75 и 8,5 %. Солнечная гелиоэнергетика уже на современном этапе позволяет обеспечить 35,7 % энергопотребления в Республике Калмыкия и 23,2 % – в Республике Алтай. Это особенно важно для таких неравномерно заселенных регионов, где ранее энергообеспечение обеспечивалось преимущественно за счет топливных дизель-генераторов, причем в весьма лимитированных объемах и сроках. Доступность экологически чистой электроэнергии для потребителей позволяет также снизить потери в электросетях, поскольку в изношенных распределительных системах они могут составлять до 20 %. Значимые доли выработки солнечной энергии в энергобалансах можно отметить также в Республике Бурятия (3,0 %), в Ставропольском крае (1,3 %) и в Волгоградской области (1,0 %). В остальных регионах суммарная установленная мощность СЭС менее 100 МВт и доля в энергообеспечении – менее 1 %. Создание отечественного производства гетерогенных модулей в г. Новочеркасск обеспечивает дальнейшее успешное развитие солнечной электрогенерации в России. По выполненным расчетам производство электроэнергии на солнечных электростанциях уже на современном этапе позволяет ежегодно избежать выбросов в 1000 тыс. т углекислого газа в регионах России.

¹¹ Отчет о функционировании ЕЭС России в 2021 г. Системный оператор Единой энергосистемы. М.: Минэнерго, 2022. 33 с. Официальный сайт АО «СО ЕЭС». URL: <https://www.so-ups.ru> (дата обращения: 10.03.2022).

Таблица 1. Оценка потенциала сокращений выбросов CO₂ и производства электроэнергии на действующих СЭС в регионах России (по состоянию на 01.01.2022 г.)

| № | Субъект РФ | Установленная мощность СЭС на 01.01.22, МВт | Выработка ЭЭ за год, млн кВт*ч | Потребление ЭЭ в регионе 2020г., млн кВт*ч | Доля ЭЭ СЭС в энергобалансе, % | Сокращение выброса, CO ₂ , тыс. т |
|----|-------------------------|---|--------------------------------|--|--------------------------------|--|
| 1 | Оренбургская область | 360,0 | 479,35 | 17415,9 | 2,75 | 218,10 |
| 2 | Астраханская область | 275,0 | 366,17 | 4311,8 | 8,50 | 166,61 |
| 3 | Республика Калмыкия | 196,5 | 261,65 | 731,9 | 35,75 | 119,05 |
| 4 | Республика Алтай | 120,0 | 159,78 | 688,6 | 23,20 | 72,70 |
| 5 | Волгоградская область | 120,0 | 159,78 | 16423,2 | 0,97 | 72,70 |
| 6 | Республика Бурятия | 115,0 | 153,12 | 5057,2 | 3,03 | 69,67 |
| 7 | Ставропольский край | 100,0 | 133,15 | 10233,9 | 1,30 | 60,58 |
| 8 | Республика Башкортостан | 94,0 | 125,16 | 25280,2 | 0,50 | 56,95 |
| 9 | Самарская область | 75,0 | 99,86 | 24889,4 | 0,42 | 45,43 |
| 10 | Саратовская область | 70,0 | 93,20 | 12520,2 | 0,73 | 42,41 |
| 11 | Омская область | 60,0 | 79,89 | 10351,1 | 0,77 | 37,15 |
| 12 | Забайкальский край | 50,0 | 66,58 | 8192,5 | 0,81 | 30,29 |
| 13 | Республика Адыгея | 8,9 | 11,85 | 1649,0 | 0,72 | 5,39 |
| 14 | Республика Хакасия | 5,2 | 6,92 | 16468,5 | 0,04 | 3,46 |
| 15 | Чеченская Республика | 5,0 | 6,65 | 2904,0 | 0,23 | 3,15 |
| | <i>Итого</i> | 1654,6 | 2203,11 | – | – | 1002,42 |

Источник: составлено авторами с использованием данных: НП Совет рынка. Перечень квалифицированных энергообъектов, функционирующих на основе ВИЭ. URL: <https://www.np-sr.ru/ru/market/vie/index.htm> (дата обращения: 10.03.22); Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики (Росстат). URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_industrial (дата обращения: 10.03.2022).

Table 1. Assessment of the potential for reducing CO₂ emissions and electricity generation at existing SPP in the regions of Russia (for 01.01.2022)

| No. | Region | Installed SPP's capacity for 01.01.22, MWh | Production of energy for the year, mln kWh | Energy consumption for 2020, mln kWh | The share of energy from SPP in the energy balance, % | Reduction of CO ₂ emission, kilotons |
|-----|---------------------------|--|--|--------------------------------------|---|---|
| 1 | Orenburg region | 360.0 | 479.35 | 17415.9 | 2.75 | 218.10 |
| 2 | Astrakhan region | 275.0 | 366.17 | 4311.8 | 8.50 | 166.61 |
| 3 | Republic of Kalmykia | 196.5 | 261.65 | 731.9 | 35.75 | 119.05 |
| 4 | Altai Republic | 120.0 | 159.78 | 688.6 | 23.20 | 72.70 |
| 5 | Volgograd region | 120.0 | 159.78 | 16423.2 | 0.97 | 72.70 |
| 6 | Republic of Buryatia | 115.0 | 153.12 | 5057.2 | 3.03 | 69.67 |
| 7 | Stavropol' region | 100.0 | 133.15 | 10233.9 | 1.30 | 60.58 |
| 8 | Republic of Bashkortostan | 94.0 | 125.16 | 25280.2 | 0.50 | 56.95 |
| 9 | Samara region | 75.0 | 99.86 | 24889.4 | 0.42 | 45.43 |
| 10 | Saratov region | 70.0 | 93.20 | 12520.2 | 0.73 | 42.41 |
| 11 | Omsk region | 60.0 | 79.89 | 10351.1 | 0.77 | 37.15 |
| 12 | Zabaykalsky region | 50.0 | 66.58 | 8192.5 | 0.81 | 30.29 |
| 13 | Republic of Adygea | 8.9 | 11.85 | 1649.0 | 0.72 | 5.39 |
| 14 | Republic of Khakassia | 5.2 | 6.92 | 16468.5 | 0.04 | 3.46 |
| 15 | Chechen Republic | 5.0 | 6.65 | 2904.0 | 0.23 | 3.15 |
| | <i>Total</i> | 1654.6 | 2203.11 | – | – | 1002.42 |

Source: compiled by the authors using data: Association NP Market Council. List of qualified operating RES energy facilities in Russia. (In Russ.). Available from: <https://www.np-sr.ru/ru/market/vie/index.htm> (accessed: 10.03.2022); Official website of the Federal State Statistics Service (Rosstat) (In Russ.). Available from: https://rosstat.gov.ru/enterprise_industrial (accessed: 10.03.2022).

В настоящем исследовании рассмотрены результаты оценок рисков по предлагаемой методике для территорий Оренбургской области в сопоставлении с расчетными значениями коэффициента использования установленной мощности ($K_{иум}$) для действующих СЭС в 2019 г. по данным о выработке на СЭС ОАО «Авелар Солар Технолоджи» (Nevel) за период 2019–2020 гг. (табл. 2). Для интерпретации и визуализации результатов расчетов рисков неравномерности выработки электроэнергии на солнечных электростанциях Оренбургской области использованы ГИС-технологии (рис. 2).

Анализ развития гелиоэнергетики на территории Оренбургской области показал, что к началу 2022 г. в исследуемом регионе были смонтированы 14 солнечных электростанций, их суммарная установленная мощность составляет 360 МВт. Это более 22 % всех работающих в России СЭС. Электростанции построены из фотоэлектрических модулей, преимущественно гетероструктурных, производимых в России на заводе в Новочебоксарске. В рамках программы развития возобновляемой энергетики «Солнечная система» ГК «Т Плюс» реализовала проекты на четырех площадках общей мощностью 190 МВт. 8 СЭС были построены ОАО «Авелар Солар Технолоджи» (NEVEL), две из них (Плешановская и Грачевская) в конце 2017 г. были переданы в собственность ПАО «Фортум». Расчеты и анализ авторов о выработке электроэнергии на СЭС базировались на данных, опубликованных компанией NEVEL¹².



Рис. 2. Карта распределения значений $C_{гис}$ поступления суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность в Оренбургской области по данным базы NASA POWER за десятилетний период (2009–2018 гг.)

¹² Официальный сайт ГК ХЕВЕЛ. URL: <https://www.hevelsolar.com> (дата обращения: 10.03.2022).

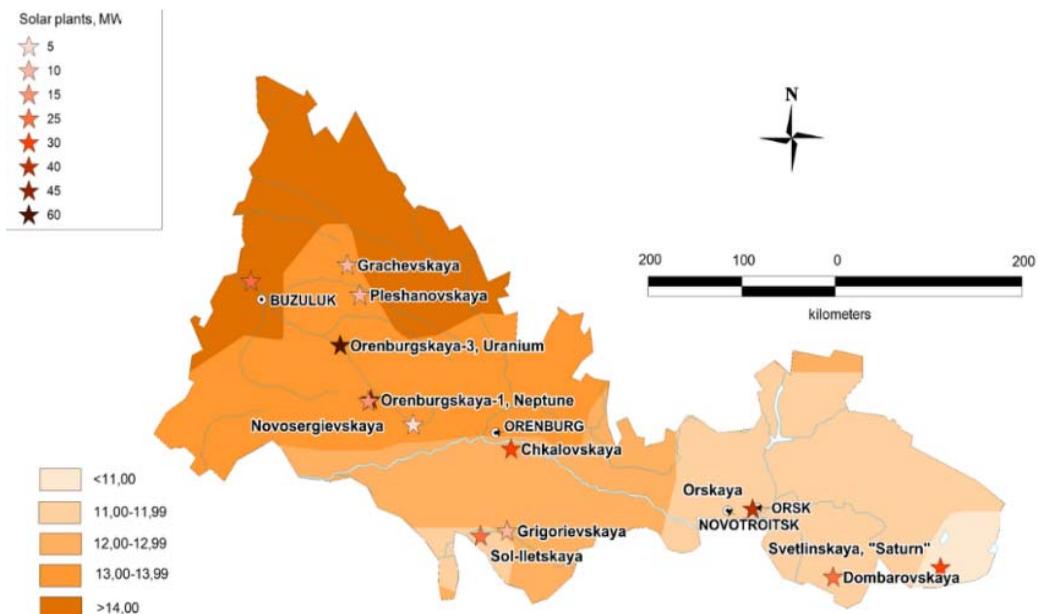


Figure 2. Distribution map of C_{vmonth} values of total solar radiation on a horizontal surface according to the NASA POWER database for a ten-year period (2009–2018)

Таблица 2. Результаты расчета эффективности работы СЭС Оренбургской области в 2019–2020 гг.

| СЭС | Мощность, МВт | Ввод в эксплуатацию | $K_{\text{инст}}$, % | | | | |
|---------------|---------------|---------------------|-----------------------|-----------------|----------------|---------------|----------|
| | | | II кв. 2019 г. | III кв. 2019 г. | IV кв. 2019 г. | I кв. 2020 г. | Ср. год. |
| Переволоцкая | 5 | 22.10.15 | 22,76 | 17,57 | 5,02 | 8,43 | 13,45 |
| Соль-Илецкая | 25 | 17.04.17 | 21,36 | 16,72 | 6,55 | 9,33 | 14,24 |
| Чкаловская | 30 | 21.02.19 | 22,73 | 17,44 | 5,22 | 9,41 | 13,72 |
| Григорьевская | 10 | 27.05.19 | 21,44 | 18,98 | 6,98 | 10,11 | 14,38 |
| Елшанская | 25 | 27.06.19 | – | 18,76 | 6,37 | 9,87 | – |
| Домбаровская | 25 | 28.11.19 | – | – | – | 7,96 | – |

Источник: расчеты авторов по данным: НП Совет рынка. Перечень квалифицированных энергообъектов, функционирующих на основе ВИЭ. URL: <https://www.np-sr.ru/ru/market/vie/index.htm> (дата обращения: 10.03.22); Официальный сайт ГК ХЕВЕЛ. URL: <https://www.hevelsolar.com> (дата обращения: 10.03.2022).

Table 2. The results of calculating the efficiency of the Orenburg region SPP in 2019–2020

| SPP name | Capacity, MW | Commissioning date | Installed power factor, % | | | | |
|----------------|--------------|--------------------|---------------------------|------------------|-----------------|----------------|--------|
| | | | II quarter 2019 | III quarter 2019 | IV quarter 2019 | I quarter 2020 | Annual |
| Perevolotskaya | 5 | 22.10.15 | 22.76 | 17.57 | 5.02 | 8.43 | 13.45 |
| Sol-Iletskaia | 25 | 17.04.17 | 21.36 | 16.72 | 6.55 | 9.33 | 14.24 |
| Chkalovskaya | 30 | 21.02.19 | 22.73 | 17.44 | 5.22 | 9.41 | 13.72 |
| Grigorievskaya | 10 | 27.05.19 | 21.44 | 18.98 | 6.98 | 10.11 | 14.38 |
| Elshanskaya | 25 | 27.06.19 | – | 18.76 | 6.37 | 9.87 | – |
| Dombarovskaya | 25 | 28.11.19 | – | – | – | 7.96 | – |

Source: authors' calculations based on data: Association NP Market Council. List of qualified operating RES energy facilities in Russia. (In Russ.). Available from: <https://www.np-sr.ru/ru/market/vie/index.htm> (accessed: 10.03.2022); The official website of the HEVEL Group of Companies. (In Russ.). Available from: <https://www.hevelsolar.com> (accessed: 10.03.2022)

Наиболее эффективно СЭС в Оренбургской области работали во II квартале, минимум выработки электроэнергии приходился на IV квартал (см. табл. 2). Во II квартале световой день уже достаточно длинный, но температуры воздуха еще не так высоки, как в июле-августе, – условия для генерации оптимальные. В зимний период длительность и интенсивность поступления солнечной радиации значительно ниже, часты снегопады, вьюги, туманы, эти факторы снижают генерацию электроэнергии фотоэлектрическими панелями в несколько раз по сравнению с апрелем-июнем. При оценках рисков работы СЭС необходимо учитывать и данные о распределении снеговых нагрузок на поверхности фотоэлектрических панелей в их наиболее неблагоприятных расчетных сочетаниях. Для прогнозов эффективности работы фотоэлектрических панелей важными характеристиками являются высота и продолжительность снежного покрова. Засыпание рабочей поверхности снегом приводит к значительному снижению расчетных значений мгновенного КПД модулей (более 35–40 %) [8; 9]. Расчеты $K_{\text{иум}}$ (см. табл. 2) показывают более высокую эффективность СЭС в центральных районах: СЭС Соль-Илецкая ($K_{\text{иум}} = 14,24 \%$) и СЭС Григорьевская ($K_{\text{иум}} = 14,38 \%$) расположены в зоне пониженной изменчивости поступления солнечной радиации – $C_{\text{v мес}}$ менее 12 % – зоне низких ресурсных рисков (см. рис. 2). Необходимо отметить, что выделение зон разной степени риска по предлагаемой методике зависит от физико-географических условий региона. Так, для СЭС в Астраханской области, где внутригодовые условия инсоляции более равномерные и практически отсутствуют длительные снегопады, также путем сопоставления значений $K_{\text{иум}}$ работающих СЭС и результатов расчетов и распределения по территории области значений $C_{\text{v мес}}$ нами были выделены следующие критерии риска получения гарантированной выработки на: $C_{\text{v мес}}$ – менее 11 % – низкие риски, от 11 до 12 % – средний уровень риска и более 12 % – наиболее высокие ресурсные риски.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет выделять в регионах на основе расчетов характеристик изменчивости поступления солнечной радиации на земную поверхность по дистанционным данным зоны разного уровня риска эффективности работы солнечных фотоэлектрических систем в плане стабильности выработки электроэнергии.

Заключение

Показана значимая роль гелиоэнергетики, как инструмента перехода к низкоуглеродному энергообеспечению, в ряде регионов России. Анализ данных о вводе в строй гелиоэнергетических станций в России по Программе поддержки возобновляемой энергетики ДПМ-1 показал, что к началу 2022 г. в стране эксплуатировались 69 СЭС в 15 регионах страны. Расчеты суммарной установленной мощности СЭС в каждом регионе и региональные оценки перспектив годового производства электроэнергии, исходя из среднегодовых значений коэффициента использования установленной мощности в

сопоставлении с энергопотреблением в регионах, позволили выполнить ранжирование регионов по объемам установленной мощности, а также по доле гелиоэнергии в энергобалансах субъектов РФ. Показано, что на лидирующих позициях по суммарной установленной мощности СЭС находятся Оренбургская и Астраханская области, соответственно – 360 и 275 МВт, а наибольшую долю в региональном энергопотреблении гелиоэнергетика обеспечивает в Республиках Калмыкия (35,75 %) и Алтай (23,2 %).

Базируясь на данных о средних для РФ выбросах углекислого газа при выработке электроэнергии и оценках значений эмиссии CO₂ в течение всего жизненного цикла СЭС, выполнены расчеты размеров эмиссии CO₂, которых удалось избежать благодаря вводу в строй солнечных фотоэлектрических станций, а не топливных ЭС. По нашим расчетам, общий ежегодный объем «невыбросов» составляет 1000 тыс. т углекислого газа в регионах России.

Для оценки природно-ресурсных рисков дальнейшего развития гелиоэнергетики в России на основе разработанной авторами методики проведены расчеты характеристик изменчивости поступления солнечной радиации и их анализ с применением ГИС-технологий. Сопоставление полученных результатов и данных об эффективности работы действующих СЭС в Оренбургской области позволило выделить зоны различного уровня риска эффективности работы солнечных фотоэлектрических систем в плане стабильности выработки электроэнергии.

Список литературы / References

- [1] Kozlova M, Collan M. Renewable energy investment attractiveness: Enabling multi-criteria cross-regional analysis from the investors' perspective. *Renewable Energy*. 2020;(150):382–400. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.134>
- [2] Kargashin P, Prasolova A, Novakovsky B, Rafikova Yu, Gorbunov R, Gorbunova T. Data processing as a critical part of GIS-based mapping of renewable energy perspectives. *MATEC Web of Conf.* 2018;178(09004). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817809004>
- [3] Choi Y, Suh J, Kim S-M. GIS-based solar radiation mapping, site evaluation, and potential assessment: A review. *Applied Sciences*. 2019;9(9):1960. <https://doi.org/10.3390/app9091960>
- [4] Garni A, Awasthi A, Ramli M. Optimal design and analysis of gridconnected photovoltaic under different tracking systems using HOMER. *Energy Convers. Manag.* 2018;155(1):42–57. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.090>
- [5] Gerbinet S, Belboom S, Léonard A. Life Cycle Analysis (LCA) of photovoltaic panels: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014;38:747–753. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.043>
- [6] Tawalbeh M, Al-Othman A, Kafiah F, Abdelsalam E, Almomani F, Alkasrawi M. Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of the Total Environment*. 2021;(759):143528. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/3/032086>
- [7] Nefedova LV, RafikovaYuYu, Soloviev DA. Application of climatic characteristics statistical assessments and GIS-technologies for solar energy systems development. *IOP*

Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021;1079(032086(1–6)):3. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/3/032086>

- [8] Andenæs E, Jelle B, Ramlo K, Kolas T, Selj J, Foss S. The influence of snow and ice coverage on the energy generation from photovoltaic solar cells. *Solar Energy*. 2018;159:318–328. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.10.078>
- [9] Kolomiets Yu, Tarasenko A, Tebuev V, Suleymanov M. Investigation of the influence of various pollution types on operational efficiency of solar power installations in Moscow. *Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*. 2018;(4–6):12–24. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2018.04-06.012-024>

Сведения об авторах:

Нефедова Людмила Вениаминовна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии, Географический факультет, Московский государственный университет М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, д. 1. ORCID: 0000-0002-6022-0617; eLIBRARY SPIN-код: 8763-9467. E-mail: nefludmila@mail.ru

Рафикова Юлия Юрьевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии, Географический факультет, Московский государственный университет М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, д. 1. ORCID: 0000-0003-3204-9135, eLIBRARY SPIN-код: 6001-7680. E-mail: ju.rafikova@mail.ru

Bio notes:

Liudmila V. Nefedova, PhD in Geography, Senior Researcher in Laboratory of Renewable Energy Sources, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory St, Moscow, 119991, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6022-0617; eLIBRARY SPIN-код: 8763-9467. E-mail: nefludmila@mail.ru.

Yulia Yu. Rafikova, PhD in Geography, Senior Researcher in Laboratory of Renewable Energy Sources, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory St, Moscow, 119991, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-3204-9135, eLIBRARY SPIN-код: 6001-7680. E-mail: ju.rafikova@mail.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-291-301

EDN: NENFHQ

УДК 504.05

Научная статья / Research article

Повторное использование бетонного и кирпичного лома в качестве заполнителей в бетон

И.С. Украинский  , Л.П. Майорова , Д.А. Саликов,
А.С. Шевчук, Г.А. Чайников

*Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ),
г. Хабаровск, Российская Федерация
006012@pnu.edu.ru*

Аннотация. Применение отходов промышленности в качестве заполнителей в бетон позволяет решить проблему утилизации этих отходов и одновременно снизить объемы добычи природных каменных материалов и, как следствие, уменьшить нагрузку на окружающую среду, сопряженную с их добычей. В связи с проведением специальной военной операции образуется большое количество бетонного и кирпичного лома от сноса аварийных зданий. Для обоснования возможности утилизации указанных строительных отходов путем применения их в качестве заполнителей в бетон авторами был произведен обзор научных работ по данному направлению, составлен план эксперимента, определены физико-механические характеристики щебня из исследуемых материалов и цементобетона на его основе. Проведен анализ результатов эксперимента и сформулированы выводы о возможности применения бетонного и кирпичного лома в качестве заполнителей в бетон.

Ключевые слова: заполнители в бетон, бетонный лом, лом керамического кирпича, лом силикатного кирпича

Вклад авторов: *И.С. Украинский* – планирование и проведение эксперимента, литературный обзор, анализ результатов эксперимента, написание статьи; *Л.П. Майорова* – концепция исследования, критический анализ текста, подготовка статьи к печати; *Д.А. Саликов* – отбор проб, проведение эксперимента, литературный обзор; *А.С. Шевчук* – отбор проб, проведение эксперимента, литературный обзор. Все авторы участвовали в обсуждении итогов и подготовке выводов; *Г.А. Чайников* – проведение эксперимента.

История статьи: поступила в редакцию 15.05.2023; доработана после рецензирования 15.06.2023; принята к публикации 20.06.2023.

© Украинский И.С., Майорова Л.П., Саликов Д.А., Шевчук А.С., Чайников Г.А., 2023



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

Для цитирования: Украинский И.С., Майорова Л.П., Саликов Д.А., Шевчук А.С., Чайников Г.А. Повторное использование бетонного и кирпичного лома в качестве заполнителей в бетон // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 291–301. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-291-301>

Reuse of concrete and brick scrap as aggregates

Ilya S. Ukrainskiy  , Lyudmila P. Mayorova , Denis A. Salikov, Alexandr S. Shevchuk, Gleb A. Chainikov

Pacific National University (PNU), Khabarovsk, Russian Federation

006012@pnu.edu.ru

Abstract. The use of industrial waste as concrete aggregates solves the problem of recycling these wastes and simultaneously reduces the volume of natural stone materials extraction and, consequently, decreases the environment load associated with their extraction. The special military operation caused a large amount of concrete and brick scrap from the emergency buildings demolition. To substantiate the possibility of recycling the mentioned construction wastes by means of their application as concrete aggregates, the authors have reviewed research works in this area, made a plan of the experiment, determined physical and mechanical characteristics of rubble from the studied materials and cement concrete on its basis. The results of the experiment have been analyzed and conclusions about possibility to use concrete and bricks scrap as aggregates in concrete have been formulated.

Keywords: concrete aggregates, concrete scrap, ceramic brick scrap, silicate brick scrap

Authors' contributions: *I.S. Ukrainskiy* – planning and conducting an experiment, literary review, analysis of the results of the experiment, writing an article; *L.P. Mayorova* – research concept, critical analysis of the text, preparation of the article for publication; *D.A. Salikov* – sampling, experiment, literature review; *A.S. Shevchuk* – sampling, experiment, literature review; *G.A. Chainikov* – conducting an experiment. All the authors participated in the summing up and preparation of the conclusion.

Article history: received 15.05.2023; revised 15.06.2023; accepted 20.06.2023.

For citation: Ukrainskiy IS, Mayorova LP, Salikov DA, Shevchuk AS, Chainikov GA. Reuse of concrete and brick scrap as aggregates. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):291–301. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-291-301>

Введение

Бетон – композитный материал, получаемый в результате твердения смеси из вяжущего и заполнителей. В теории в качестве заполнителей можно использовать всё что угодно в зависимости от требуемых показателей качества конечной продукции. Традиционно все заполнители подразделяются на природные и искусственные. Природные материалы – это инертные каменные материалы, которые участвуют в структурообразовании искусственного камня лишь как прочностной каркас, за редким исключением,

когда в качестве заполнителей используется щебень и песок из горных пород, обладающих пуццолановой активностью. Искусственные заполнители могут обладать химической активностью, что позволяет получать более высокие значения эксплуатационных качеств цементобетона. Однако искусственные заполнители в среднем дороже природных каменных материалов, в связи с этим их чаще применяют для создания бетонов специального назначения (с пористой структурой, обладающих низкой проницаемостью для ионизирующих излучений и т.п.).

Добыча природных каменных материалов сопряжена с вредом для окружающей среды. Добыча таких материалов ведется открытым способом, что подразумевает вывоз в отвал вскрышных пород. За 2021 г. отходы добывающей промышленности составили 7,7 млрд т, то есть более 90 % от общего количества отходов промышленности¹. Указанный факт обуславливает актуальность применения в качестве заполнителя в бетон отходов промышленности.

Наиболее актуальна проблема утилизации строительных отходов для районов недавних боевых действий [1; 2]. В таких районах имеется большое количество зданий и сооружений в аварийном состоянии, после сноса которых образуется большое количество бетонного и кирпичного лома. Одновременно с мероприятиями по сносу аварийных объектов необходимо вести строительные работы по восстановлению инфраструктуры, строительство жилья и т.п. Рациональное применение бетонного и кирпичного лома в качестве заполнителей в бетон поможет решить указанные задачи с уменьшением финансовых затрат на строительство.

Методы и материалы

Применение строительных отходов, таких как бетонный и кирпичный лом, в качестве заполнителя в бетон, исследовалось многими авторами. В ряде исследований авторами подразумевается, что применение отходов снижает качество бетона [3–5]. Другие авторы обосновывают эффективность применения подобных отходов для получения бетонов с повышенными показателями качества [6–8]. Существуют исследования, доказывающие положительный эффект при частичной замене заполнителей строительными отходами, и негативный при полной замене [9]. Авторами исследуется влияние применения заполнителей из бетонного и кирпичного лома на физико-химические процессы структурообразования искусственного камня. Исследовалась также возможность применения продуктов тонкого помола бетонного и кирпичного лома в качестве активной минеральной добавки к цементу, получения так называемого «наполненного вяжущего» [8; 10–12]. Были проведены исследования, в ходе которых подтверждено наличие пуццолановой

¹ О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад; Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова. М., 2022. 685 с.

активности у керамического боя [12]. Было доказано влияние применения заполнителя из бетонного и кирпичного лома на адгезию вяжущего к заполнителю, формирование микропористой структуры цементного камня, усадочные процессы, водопотребность бетонной смеси [4]. Ряд научных работ посвящен исследованию применения заполнителей из отходов строительства в самоуплотняющихся бетонах [13–16].

Анализируя работы других авторов, можно прийти к выводу, что результаты применения бетонного и кирпичного лома не всегда однозначны. Прежде всего это связано с применением местного сырья при производстве бетона и кирпича, различными сроками и условиями эксплуатации строительных конструкций до того момента, как они стали отходами. Указанный фактор не позволяет дословно экстраполировать опыт исследований других авторов в данном направлении, однако учет имеющихся результатов безусловно необходим.

Для обоснования возможности применения строительных отходов, а в частности вторичных материальных ресурсов (лома из бетона, силикатного и керамического кирпича), образовавшихся в результате разборки и частичного обрушения объектов имущественного комплекса ВГ NX в 15 км к юго-востоку от с. Дружба, Хабаровского района авторами исследования был запланирован эксперимент. Из отобранных проб материалов был изготовлен щебень путем дробления на лабораторной щековой дробилке (рис. 1).



Рис. 1. Оборудование и материалы для дробления /
Figure 1. Equipment and materials for crushing

Методика дробления, количество стадий дробления и зерновой состав получаемого из отходов щебня способны оказывать значительное влияние на качество бетона [3; 4; 17]. В данном исследовании дробление производилось в три стадии с просевом продуктов дробления через лабораторные сита (рис. 2).

Анализ результатов и обсуждение

Оценка пригодности использования щебня в качестве заполнителя в бетон проводилась в том числе по оценке плотности упаковки зерен, оцениваемой анализом гранулометрического состава. Результаты анализа приведены в табл. 1.



Рис. 2. Третья стадия дробления /
Figure 2. Third stage of crushing

Таблица 1. Гранулометрический состав щебня из бетонного и кирпичного лома

| Гранулометрические характеристики | Полные остатки, % | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------|------------------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|
| | 25 | 20 | 12.5 | 10 | 5 | 2.5 | <2.5 |
| Размер сит | 25 | 20 | 12.5 | 10 | 5 | 2.5 | <2.5 |
| Силикатный кирпич | 0 | 1,38 | 50,07 | 64,8 | 95,66 | 98,21 | 98,21 |
| Керамический кирпич | 0 | 0,97 | 53,05 | 66,15 | 96,61 | 98,89 | 100 |
| Бетонный лом | 0 | 1,31 | 48,66 | 63,93 | 95,59 | 99,04 | 99,99 |
| Требования ГОСТ 8267-93 | 1,25 D | D | 0.5 (d+D) | | d | | |
| | До 0.5 Up to 0.5 | До 10 Up to 10 | От 30 до 60 From 30 to 60 | | От 90 до 100 From 90 to 100 | | |

Table 1. Particle size distribution of crushed stone from concrete and brick scrap

| Granulometric characteristics | Total solid matter, % | | | | | | |
|---|-----------------------|----------|---------------|-------|----------------|-------|-------|
| | 25 | 20 | 12.5 | 10 | 5 | 2.5 | <2.5 |
| Sieve size | 25 | 20 | 12.5 | 10 | 5 | 2.5 | <2.5 |
| Silicate brick | 0 | 1.38 | 50.07 | 64.8 | 95.66 | 98.21 | 98.21 |
| Ceramic brick | 0 | 0.97 | 53.05 | 66.15 | 96.61 | 98.89 | 100 |
| Concrete scrap | 0 | 1.31 | 48.66 | 63.93 | 95.59 | 99.04 | 99.99 |
| Russian National Standard (GOST) 8267-93 requirements | 1.25 D | D | 0.5 (d+D) | | d | | |
| | Up to 0.5 | Up to 10 | From 30 to 60 | | From 90 to 100 | | |

Как видно из результатов анализа, гранулометрический состав щебня соответствует требованиям, предъявляемым к заполнителям в бетон.

Для расчета состава бетона по методу наименьших объемов были определены насыпные плотности заполнителей, плотности зерен (табл. 2). В качестве мелкого заполнителя использовался песок природный. Водоцементное отношение и расход цемента были приняты одинаковые для всех серий образцов.

Таблица 2. Характеристики заполнителей

| Наименование материала | Насыпная плотность, кг/м ³ | Плотность зерен, кг/м ³ |
|------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Силикатный кирпич | 973 | 2114 |
| Бетонный лом | 1142 | 2411 |
| Керамический кирпич | 867 | 1862 |

Table 2. Characteristics of aggregates

| Material | Bulk density, kg/m ³ | Grain density, kg/m ³ |
|-----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Silicate brick | 973 | 2114 |
| Concrete scrape | 1142 | 2411 |
| Ceramic brick | 867 | 1862 |

Результаты проектирования составов бетонной смеси на всех видах заполнителей приведены в табл. 3.

Из каждого состава была изготовлена серия из шести образцов. Образцы были подвергнуты испытанию на сжатие в возрасте 28 суток твердения в нормальных условиях. Результаты определения прочности на сжатие приведены в табл. 4.

Таблица 3. Опытные составы бетонной смеси

| Наименование материала | Расход компонента, кг/м ³ | | | | Расчетная плотность бетона, кг/м ³ | Фактическая плотность бетона, кг/м ³ |
|------------------------|--------------------------------------|------|-------|--------|---|---|
| | цемент | вода | песок | щебень | | |
| Силикатный кирпич | 391 | 200 | 795 | 781 | 2167 | 2232 |
| Керамический кирпич | 391 | 200 | 789 | 693 | 2073 | 2186 |
| Бетонный лом | 391 | 200 | 720 | 927 | 2238 | 2327 |

Table 3. Experimental compositions of concrete mixture

| Material | Component discharge, kg/m ³ | | | | Concrete estimated density, kg/m ³ | Concrete actual density, kg/m ³ |
|-----------------|--|-------|------|--------|---|--|
| | cement | water | sand | gravel | | |
| Silicate brick | 391 | 200 | 795 | 781 | 2167 | 2232 |
| Ceramic brick | 391 | 200 | 789 | 693 | 2073 | 2186 |
| Concrete scrape | 391 | 200 | 720 | 927 | 2238 | 2327 |

Таблица 4. Характеристики прочности и однородности цементобетона опытных образцов

| Наименование \ материала заполнителя | Наименование характеристики | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|----------|--|---------------------------|
| | Предел прочности при сжатии, МПа | СКО, МПа | Внутрисерийный коэффициент вариации, % | Класс бетона по прочности |
| Силикатный кирпич | 38,41 | 3,4 | 8,8 | B 30 |
| Керамический кирпич | 29,86 | 1,4 | 4,6 | B 25 |
| Бетонный лом | 33,81 | 4,3 | 12,8 | B 25 |

Table 4. Strength and homogeneity characteristics of cement concrete test samples

| Material | Characteristics | | | |
|-----------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| | Compression resistance, MPa | Standard deviation (SD), MPa | Within-run coefficient of variation | Strength grade of concrete |
| Silicate brick | 38.41 | 3.4 | 8.8 | B 30 |
| Ceramic brick | 29.86 | 1.4 | 4.6 | B 25 |
| Concrete scrape | 33.81 | 4.3 | 12.8 | B 25 |

Заключение

1. Расчетная плотность меньше фактической, полученной при изготовлении образцов (у бетона на основе щебня из силикатного кирпича на 2,91 %, керамического кирпича – на 5,17 %, бетонного боя – на 3,82 %). Снижение плотности объясняется поверхностной пористостью дробленого материала [5]. Поверхностные поры и трещины подсасывают влагу из цементного теста,

что приводит к уменьшению объема смеси в процессе изготовления и уплотнения. Этот фактор необходимо учитывать при проектировании состава смеси. В свою очередь, этот эффект увеличивает сцепление между цементным камнем и заполнителем, разрушение образцов происходит не по контакту *заполнитель – цемент* (рис. 3). Наибольшая разница между расчетной и фактической плотностью у наиболее пористого материала – керамики.



Рис. 3. Внешний вид разрушенных образцов /
Figure 3. Appearance of destroyed samples

2. При проектировании состава бетона принимался класс бетона по прочности В 30. Данного значения достиг только бетон на основе щебня из силикатного кирпича. Можно выдвинуть гипотезу, что компоненты силикатного кирпича – гидросиликаты кальция – являются активаторами твердения цемента, однако для подтверждения этой гипотезы необходимо провести дополнительные исследования. При этом бетонные смеси на основе щебня из керамического кирпича и бетонного боя показали небольшое снижение прочности (всего на один класс ниже – В 25). Можно утверждать, что при использовании модифицирующих добавок можно добиваться прочности бетонов на заполнителе из бетонного и кирпичного лома, не уступающей прочности бетона на основе заполнителей из природного камня.

3. Бетон на основе заполнителя из керамического кирпича продемонстрировал наибольшую однородность прочности. В первую очередь это связано с высокой степенью адгезии керамики к цементно-песчаному раствору, что обеспечивает высокую прочность контакта *вяжущее – заполнитель*. В свою очередь, прочность керамики сопоставима с прочностью цементного камня. Однородность прочности бетона на основе щебня из бетонного лома наиболее низкая, поскольку щебень на основе бетонного лома сам по себе не однороден, он состоит частично из природного камня, частично из искусственного. На сегодняшний день находятся в разработке технологии разделения бетонного лома на исходный заполнитель и цементный камень, что позволит осуществлять переработку и повторное применение этого материала более эффективно [18].

Таким образом, можно сделать обобщенный вывод о возможности повторного применения исследуемых материалов в строительстве в качестве заполнителя в бетон.

Список литературы

- [1] *Ахмед А.А., Лисейцев Ю.Л., Тимохин Р.А., Мурали Г.* Использование бетонного лома Ирака в качестве наполнителя и заполнителя тяжелого и легкого бетона // Строительные материалы и изделия. 2020. Т. 3, № 3. С. 28–39.
- [2] *Муртазаев С.-А.Ю., Хадисов В.Х., Хаджиев М.Р.* Использование керамического кирпичного боя для получения легких керамобетонов // Экология и промышленность России. Октябрь 2014. С. 22–25.
- [3] *Иванова Т.А., Колесникова Л.Г.* Оценка эффективности применения бетонного лома в качестве крупного заполнителя для бетона // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7530
- [4] *Киценко Т.П., Омелянович Д.С.* Использование крупного заполнителя из бетонного лома в тяжелых бетонах // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Современные строительные материалы. 2020. Вып. 1 (141). С. 99–103.
- [5] *Farid Debieb, Kenai S.* The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete // Construction and Building Materials. 2008. № 22. P. 886–893.
- [6] *Murtazaev S.-A. Yu., Saidumov M.S., Murtazaeva T.S.-A., Zaurbekov Sh.Sh., Alaskhanov A.Kh., Khadzhiyev M.R.* Impact of Technogenic Raw Materials on the Properties of High-Quality

- Concrete Composites // *Advances in Engineering Research*. Vol. 177. International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2018). pp. 275–279.
- [7] *Магсумов А.Н., Шарипьянов Н.М., Красиникова Н.М.* Использование бетонного лома в качестве крупного заполнителя для производства бетонных смесей // *Символ науки*. 2018. № 6. С. 29–33.
- [8] *Муртазаева Т.С.-А., Аласханов А.Х., Исмаилова З.Х., Габашев А.А.* Высококачественные бетоны на основе вторичного сырья в современном монолитном строительстве // *Миллионщиков-2020. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 100-летию ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова»*. Грозный, 2020. С. 218–225.
- [9] *Романенко И.И.* Применение лома глиняного кирпича в качестве крупного заполнителя бетонов // *Инженерный вестник Дона*. 2022. № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8051
- [10] *Муртазаева Т.С.-А., Аласханов А.Х., Магомадов Х.И., Сайдумов Ш.С.* Разработка рецептур высококачественного бетона на основе местного техногенного сырья // *ШАГ В НАУКУ. Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции с участием студентов*. Грозный, 2021. С. 336–341.
- [11] *Alsadey S., Omran A., Ali S.* Brick Dust and Limestone Powder as a Filler Material in Concrete: Sustainable Construction // *Environmental Research Journal*. 2021. Vol. 15. Issue 1. P. 7–10.
- [12] *Tkach E., Nurbaturov K., Kulibayev A.* Decorative coatings based on the processing of fine waste crushing concrete scrap // *MATEC Web of Conferences* 196, 04048 (2018) XXVII R-S-P Seminar 2018, теoretical Foundation of Civil Engineering/ <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819604048>
- [13] *Lihua Zhu, Zengmei Zhu.* Reuse of Clay Brick Waste in Mortar and Concrete // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 20. P. 1–11 <https://doi.org/10.1155/2020/6326178>
- [14] *Коровкин М.О., Шестернин А.И., Ерошкина Н.А.* Использование дробленого бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона // *Инженерный вестник Дона*. 2015. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090
- [15] *Monica Batista Leite, Marcela Crusoe Figueiredo.* An Experimental Study of Self-Compacting Concrete Made with Filler from Construction and Demolition Waste // *Open Journal of Civil Engineering*. 2020. No. 10. P. 364–384. URL: <https://www.scirp.org/journal/ojce>
- [16] *Adeyemi Adesina, Paul Awoyera.* Overview of trends in the application of waste materials in self-compacting concrete production // *SN Applied Sciences*. 2019. Vol. 1. P. 62. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1012-4>
- [17] *Чурсин С.И., Лобзанов Е.А.* Бетоны с использованием заполнителя из лома бетона // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2018. Вып. 4 (132). С. 216–220.
- [18] *Чайников Г.А., Чайников Г.А., Каменчуков Ю.В., Дерюгина И.А.* Рециклирование бетона в целях его повторного использования в асфальтобетоне // *Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплекса: материалы национальной научно-практической конференции*. Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2022. Вып. 22. С. 107–111.

References

- [1] Akhmed AA, Liseitsev YuL, Timokhin RA, Murali G. Use of Iraqi concrete scrap as a filler and aggregate for heavy and lightweight concrete. *Construction Materials and Products*. 2020;3(3):28–39. (In Russ.)
- [2] Murtazayev S-AYu, Khadisov VH, Khadziyev MR. The Usage of Ceramics Broken Brick for Obtaining of Light Ceramoconcrete. *Ecology and Industry of Russia*. 2014;(10):22–25. (In Russ.). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2014-10-22-25>
- [3] Ivanova TA., Kolesnikova LG. Evaluation of the effectiveness of the use of concrete scrap as a large aggregate for concrete. *Engineering Journal of Don*. 2022;3. (In Russ.). Available from: <http://www.ivdon.ru/en/magazine/archive/n3y2022/7530>
- [4] Kitsenko TP, Omelyanovich DS. Use of coarse concrete scrap aggregate in heavy concrete. *Proceedings of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Modern building materials*. 2020;1(141):99–103. (In Russ.)
- [5] Debieb F, Kenai S. The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*. 2008;22:886–893.
- [6] Murtazaev S-A Yu, Saidumov MS, Murtazaeva T S-A, Zaurbekov Sh Sh, Alaskhanov AKh, Khadzhiev MR. Impact of technogenic raw materials on the properties of high-quality concrete composites. *Advances in Engineering Research*, 177. International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES), 2018:275–279.
- [7] Magsumov AN, Sharipyanov NM, Krasnikova NM. Use of concrete scrap as a coarse aggregate for concrete mixes production. *Symbol of Science*. 2018;6:29–33. (In Russ.)
- [8] Murtazaeva TC-A, Alaskhanov AT, Ismailova ZKh, Gabashev AA. Highquality concretes based on recycled raw materials in modern monolithic construction. *Millionshchikov-2020. Proceedings of the III All-Russian Scientific Conference of Students, Post-Graduate Students and Young Scholars with International Participation to mark the Centenary of the Grozny State Technical University after Acad. M.D. Millionshchikov, Grozny*. 2020:218–225. (In Russ.)
- [9] Romanenko II. The use of clay brick scrap as a coarse concrete aggregate. *Engineering Journal of Don*. 2022;12. (In Russ.). Available from: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8051
- [10] Murtazaeva TC-A, Alaskhanov AKh, Magomedov KhI, Saidumov ShS. Recipes of high-quality concrete on the basis of local technogenic materials. *The Step into Science. Materials of the IV International Scientific Conference with Students Participation. Grozny*, 2021:336–341. (In Russ.)
- [11] Salahaldein A, Abdelnaser O, Salwa A. Brick Dust and Limestone Powder as a Filler Material in Concrete: Sustainable Construction. *Environmental Research Journal*. 2021;15(1):7–10.
- [12] Tkach E, Nurbaturov K, Kulibayev A. Decorative coatings based on the processing of fine waste crushing concrete scrap. *MATEC Web of Conferences 196, 04048 (2018) XXVII R-S-P Seminar 2018, Theoretical Foundation of Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819604048>
- [13] Zhu L, Zhu Z. Reuse of Clay Brick Waste in Mortar and Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2020, Article ID 6326178, 11. <https://doi.org/10.1155/2020/6326178>
- [14] Korovkin MO, Shesterin AI, Eroshkina NA. The use of crushed concrete scrap as filler for self-compacting concrete. *Engineering Journal of Don*. 2015;3. (In Russ.). Available from: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090
- [15] Leite MB, Figueiredo MC. An experimental study of self-compacting concrete made with filler from construction and demolition waste. *Open Journal of Civil Engineering*. 2020;10:364–384. Available from: <https://www.scirp.org/journal/ojce>

- [16] Adeyemi A, Awoyera P. Overview of trends in the application of waste materials in self-compacting concrete production. *SN Applied Sciences*. 2019;1:962. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1012-4>
- [17] Chursin SI, Lobzanov IA. Concrete using filler from scrap concrete. Proceedings of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. 2018;4(132):216–220. (In Russ.)
- [18] Chaynikov GA, Ukrainskiy IS, Kamenchukov YuV, Deryugina IA. Concrete recycling for its reuse in asphalt concrete. The Far East: problems of architectural – construction and transportation complexes: Proceedings of National Scientific Conference. Khabarovsk: National Pacific University. 2022;22:107–111. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Украинский Илья Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог, Тихоокеанский государственный университет, 680035, Россия, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136. ORCID: 0000-0003-1958-9540, eLIBRARY SPIN-код: 7380-4175. E-mail: 006012@pnu.edu.ru

Майорова Людмила Петровна, доктор химических наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой экологии, ресурсопользования и безопасности жизнедеятельности, Тихоокеанский государственный университет, 680035, Россия, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136. ORCID: 0000-0002-6326-982X, eLIBRARY SPIN-код: 5904-3031. E-mail: 000318@pnu.edu.ru

Саликов Денис Алексеевич, аспирант, Тихоокеанский государственный университет, 680035, Россия, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, eLIBRARY SPIN-код: 1375-5159. E-mail: 2019105234@pnu.edu.ru

Шевчук Александр Сергеевич, студент, Тихоокеанский государственный университет, 680035, Россия, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, eLIBRARY SPIN-код: 2303-5147. E-mail: 2017103250@pnu.edu.ru

Чайников Глеб Александрович, аспирант, Тихоокеанский государственный университет, 680035, Россия, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, eLIBRARY SPIN-код: 6325-0800. E-mail: 2017102322@pnu.edu.ru

Bio notes:

Ilya S. Ukrainskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Highways Chair, Pacific National University, 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, 680035, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-1958-9540, eLIBRARY SPIN-code: 7380-4175. E-mail: 006012@pnu.edu.ru

Ljudmila P. Mayorova, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Acting Head of Ecology, Land Management and Life Safety Chair, Pacific National University, 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, 680035, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6326-982X, eLIBRARY SPIN-code: 5904-3031. E-mail: 000318@pnu.edu.ru

Denis A. Salikov, postgraduate, Pacific National University, 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, 680035, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 1375-5159. E-mail: 2019105234@pnu.edu.ru

Alexandr S. Shevchuk, student, Pacific National University, 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, 680035, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 2303-5147. E-mail: 2017103250@pnu.edu.ru

Gleb A. Chainikov, postgraduate, Pacific National University, 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, 680035, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 6325-0800. E-mail: 2017102322@pnu.edu.ru

НОВОСТИ

NEWS

Всемирный день охраны труда

Всемирный день охраны труда, или О востребованности на рынке труда выпускника института экологии: эколог vs специалист по охране труда, промышленной и пожарной безопасности, охране окружающей среды (EHS-специалист)

28 апреля отмечается Всемирный день охраны труда, ежегодно проводимая на международном уровне кампания по содействию безопасным, здоровым и достойным условиям труда. В Российском университете дружбы народов им. Патриса Лумумбы вопросы охраны труда находятся на высоте – приводятся необходимые инструктажи (вводные, первичные на рабочем месте, по пожарной безопасности), тренировки по эвакуации и другие мероприятия, направленные на обеспечение безопасности сотрудников и студентов, а также на базе института экологии осуществляется профессиональная подготовка кадров – EHS-специалистов как в рамках магистерской программы «HSE-менеджмента», так и деятельности ПСО (профессионального студенческого объединения) «Школа EHS-менеджмента» (EHS – Environmental, Health and Safety).



Все больше внимания уделяется не только вопросам охраны окружающей среды, но и смежным областям – охране труда, промышленной и пожарной безопасности. И нередко экологи работают в крупных компаниях EHS-специалистами.

Прокомментировал востребованность EHS-специалистов на рынке труда доцент института экологии РУДН им. Патриса Лумумбы, кандидат экологических наук **Пинаев Владимир**:

«Печальная статистика как на промышленных, так и на гражданских объектах говорит о том, что управление вопросами охраны труда, промышленной и пожарной безопасности, охраны окружающей среды (EHS-management – Management of Environment, Health and Safety) все еще далека от совершенства и в XXI в. Вы спросите, а какое ко всему этому имеют отношение выпускники-экологи? Самое прямое. Выпускник института экологии РУДН, особенно программы «HSE-менеджмента», может успешно работать по специальности, в том числе специалистом по охране труда, и будет востребован – рынок труда не пересыщен.

Помимо позиций в профильных министерствах и ведомствах, например Минприроды России, МЧС России, Департаменте природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, имеются экологические или EHS-службы на всех крупных предприятиях, а специалисты по охране труда, на которых возлагаются и вопросы по охране окружающей среды и пожарной безопасности, даже на мелких – от 50 человек численностью.

Имеются подходящие EHS-специалистам позиции в консалтинговых компаниях, как чисто экологических, так и специализирующихся на вопросах охраны труда, промышленной и пожарной безопасности».

Таким образом, можно сделать вывод о том, что специалист, готовый развиваться в смежных направлениях, имеет больше шансов на успешную карьеру. Для развития компетентностей в полном спектре EHS-менеджмента и формирования профессиональных навыков, а точнее погружения в профессиональную среду, создано ПСО «Школа EHS-менеджмента»: общение со специалистами-практиками и экспертами в сфере EHS, участие студентов в профессиональных мероприятиях и посещение консалтинговых компаний данного профиля – приближает к реалиям жизни.

Поздравляем специалистов по охране труда с наступившим Всемирным днем охраны труда и желаем никогда не оказываться участником происшествия на рабочем месте, как, впрочем, и в быту. Берегите себя!

Справочно:

Профессиональное студенческое объединение «Школа EHS-менеджмент» (EHS – Environmental, Health and Safety) создано на кафедре прикладной экологии экологического факультета РУДН в 2017 г., с 2021 г. находится на базе департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции института экологии РУДН.

Руководитель: кандидат экологических наук, доцент ПИНАЕВ Владимир Евгеньевич.
Председатель: Фадеев Владислав Викторович.

Цель ПСО «Школа EHS-менеджмент» – формирование профессиональных навыков экологов на предприятиях в управлении вопросами охраны окружающей среды, охраны труда, промышленной и пожарной безопасности; погружение в профессиональную среду и повышение компетенций; лоббирование экологических инициатив.

Приглашаем всех желающих присоединиться к деятельности ПСО «Школа EHS-менеджмент»!



Контакты:

E-mail: hse@hse-man.ru

Тел.: 8 985 425-13-35

Ссылка: https://vk.com/pso_hseman



Непрерывное экологическое образование: РУДН разработал новые программы в области низкоуглеродного развития

Российским университетом дружбы народов (РУДН) и Национальным институтом аккредитации Росаккредитации (НИАР) при поддержке Минприроды России и Федеральной службы по аккредитации в течение 2023 г. будет реализован комплекс образовательных мероприятий по профессиональной переподготовке и повышению квалификации, ориентированных на разные категории и уровни подготовки кадров в сфере зеленой экономики.

«С учетом вступления в силу новых нормативных правовых актов и национальных стандартов в области ограничения выбросов парниковых газов нами разработан комплекс образовательных программ, который позволяет предприятиям подготовить на нашей базе специалистов, способных на местах выполнять конкретные практические задачи по реализации политики низкоуглеродного развития», – Елена Савенкова, директор института экологии РУДН.

Занятия по программам стартуют на единой образовательной платформе национальной системы аккредитации в апреле и пройдут в два потока.

В рамках обучения, организованного при поддержке Департамента международного сотрудничества и климатических изменений Минприроды России, слушатели получают актуальную информацию и практические знания по количественному определению объемов выбросов и поглощений парниковых газов, планированию и организации деятельности по предотвращению изменения климата, формированию и предоставлению углеродной отчетности.

При рассмотрении вопросов аккредитации органов по валидации и верификации парниковых газов экспертами Национального института аккредитации Росаккредитации особое внимание будет уделено требованиям ГОСТ Р ИСО/МЭК 17029-2022 «Оценка соответствия. Общие принципы и требования к органам по валидации и верификации», подготовленного Национальным институтом аккредитации Росаккредитации на основе выполненного им же официального перевода на русский язык англоязычной версии международного стандарта ISO/IEC 17029:2019 «Conformity assessment — General principles and requirements for validation and verification bodies».

Справочно: вниманию слушателей будет представлен следующий комплекс образовательных мероприятий по профессиональной переподготовке и повышению квалификации, ориентированных на разные категории и уровни подготовки кадров в сфере зеленой экономики:

- программа профессиональной переподготовки «Управление парниковыми газами». URL: <https://training.niakk.ru/greenhouse-managment-module/module/>;
- дополнительная профессиональная программа повышения квалификации «Требования к органам по валидации и верификации парниковых газов». URL: https://training.niakk.ru/greenhouse-managment-module/module_1/;

- дополнительная профессиональная программа повышения квалификации «Формирование углеродной отчетности организации. Количественное определение объемов выбросов и поглощений парниковых газов». URL: https://training.niakk.ru/greenhouse-managment-module/module_2;
- дополнительная профессиональная программа повышения квалификации «Количественное определение, мониторинг и составление отчетной документации на проекты сокращения выбросов парниковых газов или увеличения их поглощения». URL: https://training.niakk.ru/greenhouse-managment-module/module_3;
- дополнительная профессиональная программа повышения квалификации «Количественное определение углеродного следа продукции». URL: https://training.niakk.ru/greenhouse-managment-module/module_4.