



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

2022 Том 30 № 3

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3

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

Научный журнал
Издается с 1993 г.

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

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

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

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

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Периодичность: ежеквартально

Языки публикаций: русский, английский.

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

Цели и тематика

Целями журнала «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности» являются повышение эффективности научных исследований в области охраны окружающей среды и экологии человека, а также 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 статей, научных сообщений, библиографических обзоров 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. В журнале могут публиковаться результаты оригинальных научных исследований представителей высших учебных заведений и научных центров России и зарубежных стран в виде научных статей, научных сообщений по тематике, соответствующей направлениям журнала.

Основные рубрики журнала: экология, безопасность деятельности человека, защита окружающей среды, экология человека, биогеохимия, геоэкология, биологические ресурсы, проблемы экологического образования.

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

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

Редактор И.Л. Панкратова
Редактор англоязычных текстов М.М. Редина
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 01.09.2021. Выход в свет 09.09.2021. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 20,13. Тираж 500 экз. Заказ № 827. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов»
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

2022 VOLUME 30 No. 3

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3

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

Founded in 1993

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

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, Peoples' Friendship University of Russia (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, Peoples' Friendship University of Russia (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, Peoples' Friendship University of Russia (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, Peoples' Friendship University of Russia (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, Peoples' Friendship University of Russia (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, Peoples' Friendship University of Russia (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, Borekov 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, Peoples' Friendship University of Russia (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, Peoples' Friendship University of Russia (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 RUDN University, Moscow, Russia

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

Frequency: Quarterly

Publication languages: Russian, English

The Journal is indexed: *Russian Index of Science Citation, EBSCOhost, 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 results of fundamental and applied research of scientists, professors, postgraduate students are published in the journal in the form of scientific articles, scientific reports and bibliographic reviews. Papers are focused on general ecology, environmental management, sustainable development, environmental safety, environmental protection, human ecology, environmental impact assessment, radioecology and radiation monitoring and ecological education.

The results of original research of universities staff and Russian and foreign countries scientific centers in the form of scientific articles, scientific reports can be published in the journal. Subject of studies have to correspond to the journal scopes.

Main thematic sections: ecology, the safety of human activity, environmental defence, human ecology, biogeochemistry, geoecology, biological resources and problems of environmental education.

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

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

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

Copy Editor *I.L. Pankratova*
English text editor *M.M. Redina*
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
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

© Peoples' Friendship University of Russia, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ

- Клубов С.М., Третьяков В.Ю.** Сток биогенных элементов и загрязняющих веществ с городских водосборов..... 217
- Перминов В.В., Воробьев Д.С., Касымов Д.П., Перминова В.В.** Технологии предотвращения и тушения природных пожаров в России и мире: динамика патентной активности, патентологические перспективы..... 227
- Обуздина М.В., Руш Е.А.** Моделирование сорбционных процессов очистки сточных вод модифицированными цеолитами..... 240
- Пичугина Е.К., Мазина С.Е.** Ламповая флора как результат оборудования карстовых пещер для экскурсий..... 250
- Акбаева Л.Х., Мельдешова А.Б., Макажанов Е.Ж.** Антропогенное влияние на талдыкольскую систему озер в городе Нур-Султан..... 266

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

- Дахова Е.В., Майорова Л.П., Лукьянов А.И.** Оценка фитотоксичности золошлаковых отходов от котельных малой мощности и индивидуальных отопительных систем на примере пгт. Шахтерск Сахалинской области..... 280
- Егорова Н.А., Шошин А.В.** Биологические отходы рыбоводства и перспективы их переработки с помощью дождевого червя *Eisenia foetida* (Savigny, 1826)..... 292
- Вышкваркова Е.В., Рыбалко Е.А., Марчукова О.В., Баранова Н.В.** Проекция условий влагообеспеченности в Севастопольском регионе для выращивания винограда..... 300

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

- Тимофеева С.С., Тимофеев С.С., Тюкалова О.В.** Оценка потенциальных рисков для здоровья населения Байкальского региона при употреблении продуктов, загрязненных антибиотиками 312
- Ledashcheva T.N., Kukhtina T.Yu., Pinaev V.E.** Public hearings for environmental impact assessment in Russia – changes in legislation and practice of performance 2021–2022 (Общественные обсуждения при оценке воздействия на окружающую среду в России – изменения в законодательстве и практика проведения 2021–2022)..... 326

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Волкова В.Н., Головин В.Л., Кириченко К.Ю.** Доочистка бытовых сточных вод на фильтрах с песчаной загрузкой от биогенных элементов..... 332
- Губарь Е.В., Тупицына О.В.** Многопараметрический подход к оценке экологической эффективности объектов нефтегазодобычи..... 345

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

- Лукьянова Т.С., Ларионов М.В., Крючков С.А.** Обзор качества питьевой воды в северных районах Московской области на основе данных Роспотребнадзора и частных лабораторий..... 357
- Саласар Флорес К.А., Курбатова А.И., Михайличенко К.Ю.** Оценка качества питьевой воды с помощью индекса качества воды и оценки риска для здоровья населения: на примере кантона Педро Висенте Мальдонадо, Республика Эквадор 373
- Макаров Д.А., Балагула Т.В., Лаврухина О.И., Ширкин Л.А.** Риск-ориентированный подход при проведении мониторинга безопасности пищевой продукции: алгоритмы ранжирования химических загрязнителей..... 393
- Лукьянов А.И., Дахова Е.В., Майорова Л.П.** Оценка загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами как один из методов мониторинга атмосферного воздуха на примере населенных пунктов Дальнего Востока 407
- Gubasheva V.E., Idrissova G.Z., Tumenov A.N., Miftakhov R.R.** Assessment of the degree of air pollution by fluctuating asymmetry of leaves of various tree species (Оценка степени загрязнения воздушной среды по флуктуирующей асимметрии листьев различных древесных пород) 417

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

- Guslyakova A.V., Guslyakova N.I., Valeeva N.G.** Ecological reflection and its verbalization in the Russian, English and French media discourse space: a comparative approach (Экологическая рефлексия и ее вербализация в российском, англоязычном и французском медиадискурсивном пространстве: сопоставительный аспект)..... 428

CONTENTS

ECOLOGY

- Klubov S.M., Tretyakov V.Yu.** Runoff of nutrients and pollutants from urban watersheds..... 217
- Perminov V.V., Vorobiev D.S., Kasymov D.P., Perminova V.V.** Technologies for the prevention and extinguishing of wildfires in Russia and the world: the dynamics of patent activity and patentological prospects..... 227
- Obuzhdina M.V., Rush E.A.** Simulation of sorption processes of wastewater treatment by modified zeolites ... 240
- Pichugina E.K., Mazina S.E.** Lampenflora as a result of karst cave equipment for excursions..... 250
- Akbayeva L.Kh., Meldeshova A.B., Makazhanov Y.Zh.** Anthropogenic impact on the taldykol lake system in the city of Nur-Sultan..... 266

BIOLOGICAL RESOURCES

- Dakhova E.V., Mayorova L.P., Lukyanov A.I.** Assessment of phytotoxicity of ash and slag waste from low-capacity boiler houses and individual heating systems on the example of the town Shakhtersk, Sakhalin region..... 280
- Egorova N.A., Shosin A.V.** Biological wastes of aquaculture and possibility of its disposal by use of *Eisenia foetida* earthworms (Savigny, 1826) 292
- Vyshkvarkova E.V., Rybalko E.A., Marchukova O.V., Baranova N.V.** Projections of moisture conditions in the Sevastopol region for grapes growing..... 300

HUMAN ECOLOGY

- Timofeeva S.S., Timofeev S.S., Tyukalova O.V.** Assessment of potential risks to the health of the population of the Baikal region when using products contaminated with antibiotics..... 312
- Ledashcheva T.N., Kukhtina T.Yu., Pinaev V.E.** Public hearings for environmental impact assessment in Russia – changes in legislation and practice of performance 2021–2022..... 326

INDUSTRIAL ECOLOGY

- Volkova V.N., Golovin V.L., Kirichenko K.Yu.** Purification of domestic wastewater with a sand filter from biogenic elements..... 332
- Gubar E.V., Tupitsyna O.V.** A multi-parameter approach to assessing the environmental performance of oil and gas production facilities..... 345

ENVIRONMENTAL MONITORING

- Lukyanova T.S., Larionov M.V., Kryuchkov S.A.** Review of drinking water quality in the northern regions of the Moscow region based on data from Rospotrebnadzor and private laboratories 357
- Salazar Flores C.A., Kurbatova A.I., Mikhaylichenko K.Yu.** Drinking water quality assessment according to water quality index and health risk assessment: a case study of Pedro Vicente Maldonado canton, Ecuador... 373
- Makarov D.A., Balagula T.V., Lavrukhina O.I., Shirkin L.A.** Risk-based approach in food safety monitoring: algorithms for chemical pollutants ranking..... 393
- Lukyanov A.I., Dakhova E.V., Mayorova L.P.** Assessment of snow cover pollution by heavy metals as one of the methods of atmospheric air monitoring on the example of settlements in the Far East..... 407
- Gubasheva B.E., Idrissova G.Z., Tumenov A.N., Miftakhov R.R.** Assessment of the degree of air pollution by fluctuating asymmetry of leaves of various tree species..... 417

ENVIRONMENTAL EDUCATION

- Guslyakova A.V., Guslyakova N.I., Valeeva N.G.** Ecological reflection and its verbalization in the Russian, English and French media discourse space: a comparative approach..... 428



ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-217-226

УДК 504.61.054(470.23-25)+614.7

Научная статья / Research article

**Сток биогенных элементов и загрязняющих веществ
с городских водосборов****С.М. Клубов^{1,2}✉, В.Ю. Третьяков^{1,3}**¹*Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург, Российская Федерация*²*Государственное бюджетное учреждение дополнительного образования
Дворец творчества «У Вознесенского моста» Адмиралтейского района,
Санкт-Петербург, Российская Федерация*³*Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Российская Федерация*

✉klubov_stepan@mail.ru

Аннотация. Сток загрязняющих веществ и биогенных элементов (азота и фосфора) с урбанизированных территорий – важнейший источник токсического загрязнения и эвтрофирования водных объектов, который трудно поддается учету. Приведен обзор результатов определения модулей стока загрязняющих веществ и биогенных элементов с водосборов различной степени урбанизации. Модули стока для водосборных бассейнов рек Волковки и Охты Санкт-Петербурга получены с использованием авторской методики. Выполнено сравнение этих величин с результатами других исследований. Показано, что урбанизация оказывает существенное влияние на поступление биогенных элементов и загрязняющих веществ в водные объекты. Рассеянный поверхностный сток является основным источником поступления в водные объекты токсических веществ и соединений азота и фосфора с городских территорий.

Ключевые слова: урбанизация, поверхностный сток, модуль стока, эвтрофирование, загрязнение водных объектов

Вклад авторов: С.М. Клубов – сбор и обработка материала, проведение расчетов, написание текста статьи; В.Ю. Третьяков – разработка методики, критический анализ текста статьи.

© Клубов С.М., Третьяков В.Ю., 2022

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

История статьи: поступила в редакцию 23.02.2022; принята к публикации 15.05.2022.

Для цитирования: Клубов С.М., Третьяков В.Ю. Сток биогенных элементов и загрязняющих веществ с городских водосборов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 217–226. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-217-226>

Runoff of nutrients and pollutants from urban watersheds

Stepan M. Klubov^{1,2}✉, Victor Yu. Tretyakov^{1,3}

¹ Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russian Federation

² State Budgetary Institution of Additional Education, Palace of Child Youth Art «At the Voznesensky Bridge» of the Admiralteyskiy district, Saint-Petersburg, Russian Federation

³ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation

✉klubov_stepan@mail.ru

Abstract. Runoff of nutrients (nitrogen and phosphorus) and toxic pollutants from urbanized areas is significant source of toxic contamination and anthropogenic eutrophication of water bodies. It is difficult to calculate the surface runoff value. Overview of the runoff modules from urban watersheds with various degrees of urbanization is presented. Some results of our evaluation of the values for the watersheds of the Volkovka and Okhta rivers of St. Petersburg are considered. The evaluation was carried out with usage of our own methodology. The results of our research are compared with ones of other researches. The comparison demonstrates that urbanization significantly influences at intakes of the nutrients and pollutants into water object. The surface runoff is the main source of the pollutants and nutrients intakes into water objects from urban areas.

Keywords: Urbanization, surface runoff, runoff modules, eutrophication, toxic pollution of water objects

Authors' contributions: S.M. Klubov – collection and processing of material, calculations, writing the text of the article; V.Yu. Tretyakov – development of methodology, critical analysis of the text of the article.

Article history: received 23.02.2022; accepted 15.05.2022.

For citation: Klubov SM, Tretyakov VYu. Runoff of nutrients and pollutants from urban watersheds. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):217–226. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-217-226>

Введение

Активизация урбанизации началась в XVIII в. К 2021 г. доля городского населения в мире превысила 56 % и может к 2030 г. возрасти до 60 %. В России доля городского населения составляет около 75 %¹. Вместе с численностью городского населения увеличивается площадь городов и возрастает антропогенная нагрузка на окружающую среду.

¹Gks.ru [интернет]. Сайт федеральной службы государственной статистики РФ. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения 27.03.2021).

Существует необходимость оценки антропогенного влияния на водные экосистемы. Урбанизированные территории оказывают влияние на водные объекты поступлением в них сточных вод и рассеянного поверхностного стока с водосбора. По результатам наших исследований в пределах Санкт-Петербурга происходит увеличение массы переносимых рекой Невой субстанций. Так, общая масса поверхностно-активных веществ увеличивается на 5 %, а цинка – на 220 % [1]. Последний феномен может быть объяснен поступлением соединений цинка из оцинкованных кровельных листов в историческом центре города. Загрязняющие токсические вещества и соединения азота и фосфора поступают с урбанизированных территорий в водные объекты главным образом в составе рассеянного поверхностного стока.

При определении допустимой антропогенной нагрузки на водные экосистемы используются величины модулей стока различных субстанций. Модуль стока какого-либо вещества – это отношение массы этой субстанции, поступающей с водосборного бассейна в речную сеть за единицу времени, к его площади. То есть это поступление субстанции с единичной площади водосбора за определенный промежуток времени, обычно за год.

При оценке антропогенной нагрузки на речную сеть Санкт-Петербурга существует одна важная проблема – это недостаточный охват государственной сетью экологического мониторинга водных объектов. Гидрографическая сеть города насчитывает около 47 водотоков. Северо-западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СЗУГМС) выполняет ежемесячные исследования качества воды на 13 водотоках в пределах Санкт-Петербурга. Большинство водотоков оказываются неохваченными сетью мониторинга [2]. В связи с этим существует настоятельная необходимость оценки поступления субстанций с городских водосборов, сток с которых не учитывается в программе государственного мониторинга.

Цель исследования – сравнение модулей стока ряда субстанций с водосборных бассейнов рек Волковки и Охты Санкт-Петербурга, определенных нами, с модулями, полученными в результате других исследований стока с урбанизированных водосборов.

Обзор проблемы в литературе

Основной вклад в загрязнение водных объектов вносят сбросы недостаточно очищенных сточных вод и поступающий с водосборной площади загрязненный рассеянный поверхностный сток. Роль последнего пока изучена недостаточно в связи с объективными трудностями измерений и расчетов.

В статье коллег из Румынии [3] приведено сравнение концентраций субстанций в поверхностном стоке по результатам их исследований с данными, полученными в других странах (табл. 1). Также в табл. 1 приведены среднегодовые концентрации некоторых субстанций в поверхностном стоке, поступившем в реку Волковку в 2017–2019 гг. по данным ГУП «Водоканал СПб».

Из табл. 1 видно, что среднегодовая концентрация общего азота в поверхностном стоке с водосборного бассейна реки Волковки превышает это

значение в реках США, Малайзии и ряда стран Европы и сопоставима с концентрацией общего азота в поверхностном стоке в Иране.

Таблица 1

Осредненные концентрации ряда загрязняющих веществ, азота и фосфора в поверхностном стоке с урбанизированных водосборов [3]

Показатель	США	ФРГ	Румыния	Франция	Дания	Финляндия	Малайзия	Иран	Р. Волковка
Общ. азот, мг/л	1,2–1,9	2,4	–	2,8	1,1	1,8	–	6,7	5,6
Общ. фосфор, мг/л	0,3–0,4	0,4	–	0,8	0,3	0,2	0,4–1,0	0,3	0,4
Свинец, мкг/л	6,0–140,0	118,0	1,0	27,0–133,0	6,0	11,4	190,0	278,0	–
Цинк, мкг/л	70,0–200,0	275,0	79,0	270,0–550,0	60,0	232,0	50,0	342,0	40
Медь, мкг/л	12,0–33,0	48,0	51,0	55,0–61,0	11,0	34,0	–	–	5,5

Table 1

Averaged concentrations of pollutants, nitrogen and phosphorus in surface runoff from urbanized watersheds [3]

Parameter	USA	Germany	Romania	France	Danmark	Finland	Malaysia	Iran	Volkovka riv.
Total. nitrogen, mg/l	1.2–1.9	2.4	–	2.8	1.1	1.8	–	6.7	5.6
Total. phosph. mg/l	0.3–0.4	0.4	–	0.8	0.3	0.2	0.4–1.0	0.3	0.4
Lead. mcg/l	6.0–140.0	118.0	1.0	27.0–133.0	6.0	11.4	190.0	278.0	–
Zinc. mcg/l	70.0–200.0	275.0	79.0	270.0–550.0	60.0	232.0	50.0	342.0	40
Copper. mcg/l	12.0–33.0	48.0	51.0	55.0–61.0	11.0	34.0	–	–	5.5

Среднегодовые концентрации общего фосфора в поверхностном стоке с водосборного бассейна реки Волковки близки аналогичным величинам в других странах. А среднегодовые концентрации цинка и меди в поверхностном стоке с водосборного бассейна реки Волковки оказываются значительно ниже, чем в других странах.

Очевидно, что концентрации загрязняющих веществ и соединений азота и фосфора в бытовых и промышленных сточных водах на порядок выше, чем в поверхностном рассеянном стоке, поступающем в водные объекты через ливневую канализацию. Но значительно большие объемы поступления поверхностного стока в водные объекты и отсутствие очистки делают этот источник основным в загрязнении водных объектов.

Материалы и методы

Разработанная нами методика определения объемов поступления веществ с поверхностным стоком в городские водотоки опробована на водосборных бассейнах рек Волковки и Охты Санкт-Петербурга. Методика

основана на разработках ФГУП НИИ «Водгео» для расчетов переноса субстанций с поверхностным стоком [4]. Нами с использованием геоинформационной системы ArcGIS и цифровой модели рельефа (ЦМР) ASTER были определены границы водосборных бассейнов изученных водотоков. Данные ЦМР «ASTER» были нами существенно модифицированы для исключения искажений, вызванных поступлением отраженного радиолокационного сигнала от зданий и сооружений. В границах выделенных водосборных бассейнов для определения соотношения площадей различного хозяйственного использования нами была выполнена классификация территории на основании спутниковых снимков Sentinel-2².

Расчеты годового поступления загрязняющих веществ и биогенных элементов L в тоннах с водосборов рек Волковки и Охты производились по формуле [4]

$$L = L_c + L_p, \quad (1)$$

где L_c – годовое поступление с рассеянным поверхностным стоком, т; L_p – годовое поступление с выпусками сточных вод, т.

Годовое поступление с поверхностным стоком L_c рассчитывалось по формуле [4]

$$L_c = \Sigma (C_i \cdot 10y_i\psi_iA_i / 1000), \quad (2)$$

где C_i – среднегодовая концентрация субстанции в поверхностном стоке, мг/л; y_i – слой стока, мм; ψ_i – коэффициент стока для разных типов подстилающей поверхности; A_i – площадь того или иного типа поверхности, км².

Расчет по формуле (2) производился для каждого типа подстилающей поверхности водосборов. Площадь каждого типа поверхности рассчитывалась после классификации территорий на спутниковых снимках Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м/пиксель. Для классификации типов поверхностей на снимках использовался модуль Quantum GIS «Dzetsaka classification dock».

Слой стока y_i рассчитывался с использованием данных метеорологических наблюдений за 2017–2019 гг.³ Коэффициент стока ψ_i показывает, какая доля атмосферных осадков превращается в поверхностный сток. Чем он выше, тем большая часть выпадающих атмосферных осадков превращается в речной сток. Для определения коэффициентов стока для поверхностей разных типов использовалась справочная таблица из методики ФГУП НИИ «Водгео» [4].

Расчет годовой нагрузки от выпусков сточных вод L_p , т, производился по формуле [4]

² Сайт геологической службы США. URL: [http://www. Earthexplorer.usgs.gov/](http://www.Earthexplorer.usgs.gov/) (дата обращения: 07.04.2021).

³ Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26063> (дата обращения: 15.08.2021).

$$L_p = C_{\text{ср}}V_k/1000, \quad (3)$$

где $C_{\text{ср}}$ – средняя концентрация субстанции в сточных водах в соответствии с отчетностью водопользователя; V_k – объем сбрасываемых сточных вод в соответствии с отчетностью водопользователя.

Для расчетов использовались отчетные материалы водопользователей, сбрасывающих сточные воды в исследованные водные объекты. В отчетных материалах водопользователей содержится информация о химическом составе и объемах сбрасываемых сточных вод за 2017–2019 гг.

Методики расчетов поступления биогенных элементов (азота и фосфора) и загрязняющих токсических веществ с поверхностным стоком, применяемые российскими и иностранными коллегами, имеют некоторые отличия от предложенной нами методики. Во многом это зависит от объекта исследования. Менее всего отличий в методике модели Institute Limnology Load Model (ILLM), разработанной в Институте озероведения РАН под руководством С.А. Кондратьева [5]. По сравнению с нашей методикой основным преимуществом данной модели является ее универсальность. В отличие от нашей методики модель ILLM применима для больших по площади водосборов с высоким разнообразием типов подстилающей поверхности. Также здесь существует возможность расчетов биогенной нагрузки с сельскохозяйственных территорий. В нашей методике такая возможность не предусмотрена в связи с отсутствием на исследованных городских водосборах сельскохозяйственных угодий. Но у модели ILLM есть и недостатки:

- 1) требуется использование большого количества осредненных данных, полученных по литературным источникам;
- 2) применение платного программного обеспечения.

Результаты и обсуждение

Весьма интересны результаты сравнения значений модулей стока биогенных элементов (общего азота и фосфора) и загрязняющих веществ с водосборных бассейнов городских рек Санкт-Петербурга и ряда других водосборов (табл. 2). Очевидны существенные различия значений. Они связаны как с природными особенностями различных водосборов, так и степенью их антропогенного освоения. Необходимо отметить, что модули стока в Англии и США рассчитаны по результатам осреднения данных по нескольким городам в первой половине 1980-х гг. [6].

Определенные по результатам наших исследований модули стока субстанций с водосборных бассейнов рек Волковки и Охты сопоставимы с аналогичными показателями для других водосборов.

Необходимо отметить, что модули стока общего азота и фосфора максимальны на частном водосборе реки Охты в ее нижнем течении в пределах Санкт-Петербурга. Здесь модуль стока азота превышает среднее значение этого показателя по всей российской части водосбора Финского залива более чем в 19 раз, а модуль стока фосфора – более чем в 31 раз. Также превышение наблюдается и для частных водосборов рек Невы и Волковки. Поступление

биогенных элементов в Балтийское море контролируется международным сообществом в рамках Хельсинской комиссии по охране Балтийского моря (Helsinki). Из-за избыточного поступления биогеогенных элементов (общего азота и фосфора) Балтийскому морю угрожает антропогенное эвтрофирование, ставящее под угрозу благополучие морской среды Балтийского региона. Но как видно из табл. 2, поступление азота и фосфора с российской части водосборного бассейна Финского залива не превышает максимально допустимого уровня в соответствии с рекомендацией Helsinki. Модули стока субстанций с водосборных бассейнов рек Волковки и Охты в значительной степени соответствуют значениям, полученным в результате исследований в Великобритании и отчасти в США. Более низкие значения модулей стока субстанций с водосбора оз. Неро (Ярославская обл., г. Ростов Великий) и водосбора Онежского озера в черте города Петрозаводска, вероятно, объясняются более низкой плотностью населения по сравнению с Санкт-Петербургом.

Таблица 2

Модули стока загрязняющих веществ и биогеогенных элементов, т/км²

Регион	Вещество					Источник
	Фосфор общ.	Азот общ.	Взвешенные вещества	Медь	Цинк	
Р. Волковка	0,104	1,295	4,814	0,001	0,009	Собственные расчеты
Р. Охта	0,134	1,799	7,724	0,002	0,015	
Р. Нева (частный водосбор)	0,144	0,696	–	–	–	[10]
Усредненные данные по российскому водосбору Финского залива	0,009	0,189	–	–	–	[8]
Максимально допустимые значения для водосбора Финского залива по рекомендации HELCOM	0,011	0,236	–	–	–	[3]
Петрозаводск	0,042	2,608	–	–	–	[11]
Оз. Неро (Ярославская обл.)	0,052	0,585	–	–	–	[8]
Сент-Пол (Миннесота, США)	0,047	0,230	–	–	–	[12]
Англия (города)	0,180	0,900	4,870	–	0,012	[9]
США (города)	0,330	0,800	–	–	–	[13]

Table 2

Runoff modules of pollutants and biogenic elements, tons / square kilometer

Place	Substance					Source
	Total phosphorus	Total nitrogen	Suspended solids	Copper	Zinc	
Volkovka river	0.104	1.295	4.814	0.001	0.009	Own calculations
Ohta river	0.134	1.799	7.724	0.002	0.015	
Neva river (partial watershed)	0.144	0.696	–	–	–	[10]
Averaged data on the Russian catchment area of the Gulf of Finland	0.009	0.189	–	–	–	[8]
Maximum allowable values for the Gulf of Finland catchment area according to the HELCOM recommendation	0.011	0.236	–	–	–	[3]
Petrozavodsk	0.042	2.608	–	–	–	[11]
Lake Nero (Yaroslavl region)	0.052	0.585	–	–	–	[8]
Saint Paul (Minnesota, USA)	0.047	0.230	–	–	–	[12]
England (cities)	0.180	0.900	4.870	–	0.012	[9]
USA (cities)	0.330	0.800	–	–	–	[13]

Городская среда изменяет состав поверхностного стока в сторону увеличения содержания загрязняющих веществ и биогенных элементов (азота и фосфора). Сравнение фоновых концентраций биогенных элементов (азота и фосфора) и ряда загрязняющих веществ, а также концентраций этих субстанций в поверхностном стоке с урбанизированных территорий представлено в табл. 3.

Таблица 3

Фоновые концентрации биогенных элементов (азота и фосфора) в поверхностном стоке, и концентрации в реке Волковке, мг/л

Регион	Вещество		
	Фосфор общ.	Азот общ.	Источник
р. Волковка	0,44	5,58	данные ГУП Водоканал СПб в 2017–2019 гг.
р. Охта	0,41	5,08	
Водосбор Финского залива	0,05	0,70	[5]
Водосбор Онежского озера	0,04	0,47	[8]
Лес	0,05	0,70	[5]
Поля и луга	0,08	3,10	

Table 3

Background concentrations of biogenic elements (nitrogen and phosphorus) in surface runoff, and concentrations in the Volkovka River, mg/l

Place	Substance		
	Total Phosphorus	Total nitrogen	Source
Volkovka river	0.44	5.58	Vodokanal Saint-Petersburg data 2017–2019
Ochta river	0.41	5.08	
Finnish Gulf watershed	0.05	0.70	[5]
Onega Lake watershed	0.04	0.47	[8]
Forest	0.05	0.70	[5]
Fields and meadows	0.08	3.10	

Из табл. 3 видно, что фоновая составляющая в концентрациях общего азота и фосфора в поверхностном стоке с водосборов рек Волковки и Охты составляет около 10 %.

Несмотря на геохимические особенности различных регионов, содержание общего азота и фосфора в поверхностном стоке с водосборов урбанизированных территорий определяется главным образом условиями городской среды, а не природными климатическими и ландшафтными особенностями.

Выводы

1. Модули стока общего азота и фосфора с городских водосборов рек Волковки и Охты превышают значения модулей стока этих элементов для всего частного водосбора реки Невы.

2. Модули стока общего азота и фосфора с частного водосбора реки Невы, в пределах которого расположен Санкт-Петербург, значительно превышают средние значения для российской части водосбора Финского залива.

3. Средние модули стока общего азота и фосфора с российской части водосбора Финского залива не превышают значений, рассчитанных на основании предельно допустимых нагрузок на экосистему Финского залива в соответствии с решениями Helcom.

4. Модули стока общего азота и фосфора с урбанизированных водосборных бассейнов в различных странах близки по своим значениям.

5. Как правило, основным источником поступления в водные объекты загрязняющих веществ и биогенных элементов (азота и фосфора) с урбанизированных водосборных бассейнов является рассеянный поверхностный сток.

6. Фоновая составляющая в концентрациях общего азота и фосфора в поверхностном стоке с водосборных бассейнов рек Волковки и Охты составляет около 10 %.

7. Химический состав поверхностного стока с водосборов урбанизированных территорий в основном определяется условиями городской среды, а не природными климатическими и ландшафтными особенностями.

8. Результаты наших исследований могут быть использованы для определения осредненных значений модулей стока ряда субстанций с урбанизированных водосборов. При недостаточности данных мониторинга эти значения могут использоваться при оценке антропогенной нагрузки на водные объекты в пределах урбанизированных территорий.

Список литературы

- [1] Klubov S.M., Tretyakov V.Yu. Influence of St. Petersburg urban rivers on the inflow of pollutants into the Baltic Sea // *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 163. P. 1–5.
- [2] Серебрицкий И.А., Григорьев И.А. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге. СПб.: Сезам-принт, 2018.
- [3] Radulescu D., Racoviteanu G., Swamikannu X. Comparison of urban residential storm water runoff quality in Bucharest with int. data // *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 85. P. 1–9.
- [4] Швецов В.Н. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий. М.: Издательство ВСТ, 2006.
- [5] Кондратьев С.А. Оценка биогенной нагрузки на Финский залив Балтийского моря с российской части водосбора // *Водные ресурсы*. 2011. Т. 38. № 1. С. 56–64.
- [6] Butler D., Digman C., Makropoulos C., Davies J.W. *Urban Drainage*. 4th ed. London: CRC Press, 2018.
- [7] Ершова А.А. Комплексная оценка поступления биогенных веществ с водосбора реки Невы в восточную часть Финского залива: дис. ... канд. географ. наук. Санкт-Петербург, 2013. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22342854> (дата обращения: 12.11.2021).
- [8] Лозовик П.А., Бородулина Г.С., Карпечко Ю.В., Кондратьев С.А., Литвиненко А.В., Литвинова И.А. Биогенная нагрузка на Онежское озеро по данным натурных наблюдений // *Труды Карельского научного центра РАН*. 2016. № 5. С. 35–52.
- [9] Janke Benjamin D., Finlay Jacques C., Hobbie Sarah E., Baker Larry A., Sterner Robert W., Nidzgorzski D. Contrasting influences of stormflow and baseflow pathways on nitrogen and phosphorus export from an urban watershed // *Biogeochemistry*. 2014. Vol. 121. P. 209–228

- [10] Jolankai G. Modelling of non-point source pollution // *Ecological Modelling in Environmental Management*. 1983. Vol. 5. P. 283–285.

References

- [1] Klubov SM, Tretyakov VYu. Influence of St. Petersburg urban rivers on the inflow of pollutants into the Baltic Sea. *E3S Web of Conferences*. 2020;163:1–5.
- [2] Serebritckiy IA, Grigoriev IA. *Environmental protection, nature management and environmental safety in St. Petersburg*. St. Petersburg: Sezam-print Publ.; 2018. (In Russ.)
- [3] Radulescu D, Racoviteanu G, Swamikannu X. Comparison of urban residential storm water runoff quality in Bucharest with int. data. *E3S Web of Conferences*. 2018;85:1–9.
- [4] Shvecov VN. *Recommendations for the calculation of systems for collecting, diverting and cleaning surface runoff from residential areas*. Moscow: VST Publishing House; 2006. (In Russ.)
- [5] Kondratiev SA. Assessment of the biogenic load on the Gulf of Finland of the Baltic Sea from the Russian part of the catchment area. *Water resources*. 2011;38(1):56–64. (In Russ.)
- [6] Butler D, Digman C, Makropoulos C, Davies JW. *Urban Drainage*. 4th ed. London: CRC Press Publ.; 2018.
- [7] Ershova AA. *Complex assessment of the transfer of biogenic substances from the Neva River watershed to the eastern part of the Gulf of Finland* [dissertation]. Saint Petersburg; 2013. (In Russ.) Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22342854>
- [8] Lozovik PA, Borodulina GS, Karpechko YuV, Kondratiev SA, Litvinenko AV, Litvinova IA. Biogenic load on Lake Onega according to field observations. *Proceedings of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences*. 2016;5:35–52. (In Russ.)
- [9] Janke Benjamin D, Finlay Jacques C, Hobbie Sarah E, Baker Larry A, Sterner Robert W, Nidzgorski D. Contrasting influences of stormflow and baseflow pathways on nitrogen and phosphorus export from an urban watershed. *Biogeochemistry*. 2014;121:209–228.
- [10] Jolankai G. Modelling of non-point source pollution. *Ecological Modelling in Environmental Management*. 1983;5:283–285.

Сведения об авторах:

Клубов Степан Максимович, аспирант Российского государственного гидрометеорологического университета, Российская Федерация, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 98, педагог дополнительного образования ГБУДО ДТ «У Вознесенского моста» Адмиралтейского района Санкт-Петербурга. eLIBRARY SPIN-код: 3247-3114. E-mail: klubov_stepan@mail.ru

Третьяков Виктор Юрьевич, кандидат географических наук, доцент Российского государственного гидрометеорологического и Санкт-Петербургского государственного университетов. Российская Федерация, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 98; Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9. eLIBRARY SPIN-код: 1716-5118. E-mail: v_yu_tretyakov@mail.ru

Bio notes:

Stepan M. Klubov, graduate student Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky Ave., St. Petersburg, 195196, Russian Federation, teacher State budgetary institution of additional education, Palace of Child Youth Art “At the Voznesensky Bridge”. eLIBRARY SPIN-code:3247-3114. E-mail: klubov_stepan@mail.ru.

Victor Yu. Tretyakov, PhD, Associate Professor Russian State Hydrometeorological University and Saint Petersburg State University, 98 Malookhtinsky Ave., St. Petersburg, 195196, Russian Federation, 7–9 Universitetskaya Naberezhnaya St, St. Petersburg, 199034, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code:1716-5118. E-mail: v_yu_tretyakov@mail.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-227-239

УДК 608.630

Научная статья / Research article

Технологии предотвращения и тушения природных пожаров в России и мире: динамика патентной активности, патентологические перспективы

В.В. Перминов  , Д.С. Воробьев ,
Д.П. Касымов , В.В. Перминова 

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск, Российская Федерация
 ya.vladperminov2013@yandex.ru*

Аннотация. Изложены основные результаты патентного обзора технологий предотвращения и тушения природных пожаров в Российской Федерации и в мире за 30 лет. Анализ патентных документов показал, что суммарная изобретательская активность находится на уровне около 300 заявок на патенты в год на протяжении всего исследуемого периода. Наибольшее количество патентных семейств принадлежит патентным ведомствам Китая и США. При этом Китай обладает большим количеством патентов с небольшим объемом правовой охраны для защиты конкретных технических решений. В Российской Федерации разработки в области предотвращения и тушения природных пожаров сосредоточены в научно-исследовательских организациях в регионах с обширным лесным фондом и сложной пожарной обстановкой. Технические решения российских разработчиков являются актуальными, так как соответствуют мировым трендам патентования, а также отличаются высокой степенью проработки материалов заявок. Однако российские патентообладатели испытывают трудности при внедрении своих разработок в гражданский оборот, что приводит к снижению количества действующих охраняемых документов. Отмечена необходимость развития трансфера технологий предотвращения и тушения лесных пожаров. Выявлены основные технологические области применения «Экологические технологии», «Контроль», «Транспорт», «Измерение», «Компьютерные и телекоммуникационные технологии». Распределение показывает, что совершенствуются традиционные способы борьбы с пожарами, преимущественно противопожарная техника, наиболее активно развиваются технологии обнаружения, мониторинга и контроля лесных пожаров, в том числе дистанционные и с применением роботизированной техники. Дополнительно проведен поиск и анализ записей о зарегистрированных в Российской Федерации программных продуктах, предназначенных для предотвращения и тушения природных пожаров. Дана оценка перспектив

© Перминов В.В., Воробьев Д.С., Касымов Д.П., Перминова В.В., 2022



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

патентования в области предотвращения и тушения природных пожаров, указаны особенности проведения патентного поиска по данной тематике.

Ключевые слова: лесные пожары, природные пожары, лес, патент, патентный обзор, тушение пожаров, профилактика пожаров, патентология, патентологические перспективы исследований

Благодарности и финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-90078.

Вклад авторов: В.В. Перминов – проведение патентного поиска, анализ полученных данных, написание текста; Д.С. Воробьев – концепция и дизайн исследования; Д.П. Касымов – анализ полученных данных, написание текста; В.В. Перминова – технический перевод, написание текста.

История статьи: поступила в редакцию 21.05.2022; принята к публикации 27.05.2022.

Для цитирования: Перминов В.В., Воробьев Д.С., Касымов Д.П., Перминова В.В. Технологии предотвращения и тушения природных пожаров в России и мире: динамика патентной активности, патентологические перспективы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 237–239. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-227-239>

Technologies for the prevention and extinguishing of wildfires in Russia and the world: the dynamics of patent activity and patentological prospects

Vladislav V. Perminov^{ID}✉, Danil S. Vorobiev^{ID},
Denis P. Kasymov^{ID}, Vladislava V. Perminova^{ID}

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

✉ya.vladperminov2013@yandex.ru

Abstract. Presents a patent review of technologies for the prevention and extinguishing of wildfires in the Russian Federation and the world over the last 30 years. The analysis of patent documents shows that there have been around 300 patent applications per year throughout the study period. The patent offices of China and the United States possess the largest number of patent families. In addition, China has a large number of patents with little legal protection, i.e. to protect specific technical solutions. In the Russian Federation, research organizations in the regions with extensive forest resources and a complex fire situation focus on developments in the field of prevention and extinguishing of wildfires. Technical solutions of Russian developers are relevant since they correspond to global patenting trends and have the thoroughly studied application materials. However, Russian patent holders experience difficulties when their developments enter into civil circulation, which decreases the number of valid protective documents. Thus, the transfer of technologies for the prevention and extinguishing of forest fires needs to be developed. The main technological areas of application are Environmental Technologies, Control, Transport, Measurement, and Computer and Telecommunication Technologies. The distribution shows that traditional ways of fighting fires are being improved, mainly fire-fighting equipment with the most active development of technologies for detecting, monitoring and controlling forest fires. Additional analysis of records has identified software products, registered in the Russian Federation, which are

designed to prevent and extinguish wildfires. The prospects of patenting have been assessed and the features of conducting a patent search on this subject have been indicated.

Keywords: forest fires, wildfire, forest, patent, patent review, fire-fighting, fire prevention, patentology, patent research perspectives

Acknowledgements and Funding: The reported study was funded by RFBR, project number 20-34-90078.

Authors' contributions: *V.V. Perminov* – conducting a patent search, analyzing the data obtained, writing the text; *D.S. Vorobiev* – research concept and design; *D.P. Kasymov* – analysis of the received data, writing the text; *V.V. Perminova* – technical translation, writing the text.

Article history: received 21.05.2022; accepted 27.05.2022.

For citation: Perminov VV, Vorobiev DS, Kasymov DP, Perminova VV. Technologies for the prevention and extinguishing of wildfires in Russia and the world: the dynamics of patent activity and patentological prospects. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):227–239. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-227-239>

Введение

На долю Российской Федерации приходится 22 % всех мировых лесных ресурсов, в том числе более половины бореальных лесов планеты, именно поэтому ей принадлежит особая роль в сохранении мирового биоразнообразия лесов и выполнении ими экосистемных функций [1]. Лесистость территории России одна из самых высоких в мире, составляет по данным различных источников от 45,4 до 46,4 %. При такой обширной покрытой лесами территории столкновение с проблемой природных пожаров неизбежно.

На сегодняшний день неизменной остается проблема ведения официальной статистики количества и площади пожаров различными государственными структурами в России [2]. Научным сообществом регулярно вносятся предложения, которые направлены на предотвращение дальнейшей деградации лесов России [1–4]. В основе этих предложений лежат совершенствование законодательной базы, разработка современных методов и технологий мониторинга, охраны, защиты, использования и воспроизводства лесных ресурсов, которые обобщенно можно назвать «технологиями предотвращения и тушения природных пожаров», а также формирование механизмов внедрения и применения таких разработок.

Патентами охраняются только те достижения и инновации, суть которых соответствует критериям патентоспособности, а результаты, содержащиеся в патентах, публикуется раньше, чем в других источниках научно-технической информации. Именно поэтому патентный поиск является одним из инструментов для изучения развития науки и техники для объективной оценки собственных разработок. Проведение своевременных и качественных патентных поисков в области технологий предотвращения и тушения природных пожаров позволит избежать принятия затратных решений, не учитывающих современные знания о лесах и не базирующихся на современных методах и технологиях.

Объекты и методы исследования

Поиск патентной документации осуществляли в патентной базе данных Orbit компании Questel, доступ к которой осуществляется по национальной подписке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ). Подбор ключевых слов осуществляли, учитывая ранее опубликованный патентный обзор по аналогичной тематике за период 1996 по 2016 г. [4]. С целью совершенствования поиска был добавлен термин «ландшафтный пожар», официально закрепленный в законодательстве Российской Федерации в 2020 г.

Последовательно провели запросы за период с 01.01.1992 г. по 31.12.2021 г. включительно:

(1) Поисковой запрос, включающий термин «ландшафтный (природный) пожар».

(2) Поисковой запрос по п. 1, исключая патентные документы Китая, кроме поданных по международной патентной системе (PCT).

(3) Поисковой запрос по п. 1, включающий только патентные документы Китая, кроме поданных по системе PCT.

(4) Скорректированный поисковой запрос по п. 1, ограничив территорию Российской Федерацией, включая патентные документы по системе PCT.

Количество релевантных патентов представлено в табл. 1. Результаты каждого из запросов проанализировали инструментами базы данных Orbit.

Таблица 1

Поисковые запросы и количество релевантных документов в области технологий предотвращения и тушения природных пожаров

№	Образ поискового запроса	Кол-во результатов	Доля, %	Условное обозначение поискового запроса
1	wildfire+ or ((fire+) d (forest+ or steppe+ or prairie+ or (wooded area)))/TI/AB/CLMS/DESC/ODES	23 749	100	Коллекция
2	wildfire+ or ((fire+) d (forest+ or steppe+ or prairie+ or (wooded area)))/TI/AB/CLMS/DESC/ODES AND (RU OR US OR DE OR KR OR CA OR JP OR IN OR EP OR AU OR WO)/PN	8 039	–	Некитайский сегмент коллекции
3	wildfire+ or ((fire+) d (forest+ or steppe+ or prairie+ or (wooded area)))/TI/AB/CLMS/DESC/ODES AND (CN)/PN	15 836	52,1	Китайский сегмент
4	wildfire+ or ((fire+) d (forest+ or steppe+ or prairie+ or (wooded area)))/TI/AB/CLMS/DESC/ODES AND (SU OR RU)/PN	993	4,2	Российский сегмент коллекции

Table 1

Search queries and the number of relevant documents in the field of wildfire prevention and extinguishing technologies

№	Search query image	Number of results	%	Search query symbol
1	wildfire+ or ((fire+) d (forest+ or steppe+ or prairie+ or (wooded area)))/TI/AB/CLMS/DESC/ODES	23 749	100	Collection
2	wildfire+ or ((fire+) d (forest+ or steppe+ or prairie+ or (wooded area)))/TI/AB/CLMS/DESC/ODES AND (RU OR US OR DE OR KR OR CA OR JP OR IN OR EP OR AU OR WO)/PN	8 039	–	Non CN segment
3	wildfire+ or ((fire+) d (forest+ or steppe+ or prairie+ or (wooded area)))/TI/AB/CLMS/DESC/ODES AND (CN)/PN	15 836	52.1	CN segment
4	wildfire+ or ((fire+) d (forest+ or steppe+ or prairie+ or (wooded area)))/TI/AB/CLMS/DESC/ODES AND (SU OR RU)/PN	993	4.2	RU segment

Дополнительно проведен поиск и обзор зарегистрированных программных продуктов Федеральной службой по интеллектуальной собственности (Роспатент). Всего по запросу «природный пожар» найдено 204 записи, из которых 77,3 % относятся к программам для ЭВМ, остальные – к базам данных.

Результаты и обсуждение

Анализ коллекции из 23 749 документов показал, что ведущими странами в области разработок предотвращения и тушения природных пожаров можно назвать Китай – абсолютный лидер с количеством 15 836 результатов, США – 4 096, Корею – 1555, Российская Федерация занимает 6-е место – 993 результата (рис. 1).



Рис. 1. География патентования, источник Questel /
Figure 1. Geography of patenting, source Questel

На рис. 2 показан график патентной активности за последние 12 лет, который говорит о неуклонном росте подачи заявок до 2017 г. включительно. Основной причиной позитивной характеристики общей динамики, а также резкого роста изобретательской активности начиная с 2011 г. является Китай, который характеризуется значительным ростом показателей подачи заявок. Патентная активность без учета Китая – суммарная изобретательская активность на уровне около 300 заявок на патенты в год. Данный факт говорит об актуальности направления для изобретателей во всем мире, а также высокой проработанности его технологической базы, обеспечивающей возможность постепенного улучшения существующих технологий предотвращения и тушения природных пожаров.

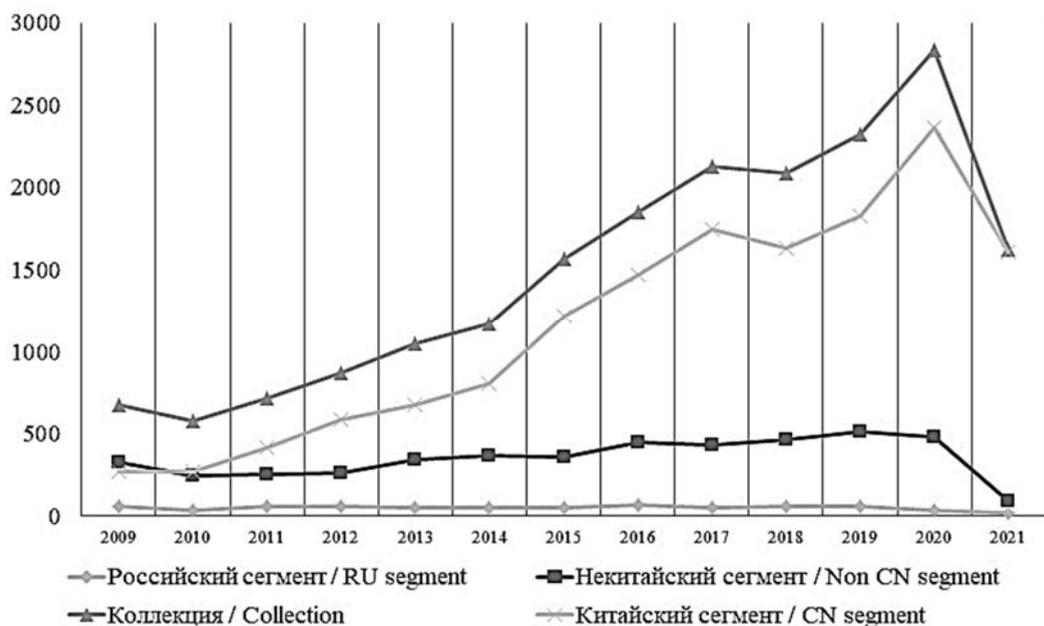


Рис. 2. Динамика подачи заявок на патенты 2009–2021 гг. /
Figure 2. Dynamics of inventiveness of the portfolio studied, 2009–2021

Анализ правового статуса изученных патентов позволяет оценить зрелость разработок, а также заинтересованность патентообладателей в поддержке своих прав. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Правовой статус релевантных патентных документов, %

Статус патентных документов	Патентные семейства			
	Российский сегмент	Некитайский сегмент	Коллекция	Китайский сегмент
Выдан патент	37,6	38,6	39,3	41,9
Не действует	59,7	40,7	35,1	38,2
Заявка	1,3	17,3	18,2	19,9
Заявка отозвана	1,4	3,5	7,5	8,0

Table 2

Legal status of relevant patent documents, %

Legal status	Patent families			
	RU segment	Non CN segment	Collection	CN segment
Granted	37.6	38.6	39.3	41.9
Dead	59.7	40.7	35.1	38.2
Application	1.3	17.3	18.2	19.9
Revoked	1.4	3.48	7.45	8.0

Следует отметить достаточно низкий процент отказов в российском и некитайском сегментах коллекции, свидетельствующий о том, что возможность получения патента на разработки в данной области достаточно высока. Однако для разработок из китайского сегмента ситуация обратная: высокий процент отказов при большом количестве заявок, то есть многие технические решения не соответствуют критериям патентоспособности.

Общим для всех сегментов коллекции является высокий показатель патентов со статусом «не действует», что может свидетельствовать о зрелости разработок в области предотвращения и тушения природных пожаров. Ведущие организации-правообладатели в России преимущественно не поддерживают правовой статус своих патентных портфелей. География патентования широка, что может говорить о том, что изобретатели ориентированы на региональные потребности и в основном сосредоточены в регионах с обширными землями лесного фонда (табл. 3).

Таблица 3

Ведущие держатели патентов российского сегмента коллекции, их местоположение и объем лесного фонда территорий в 2020 г.

Патентообладатель	Местоположение	Земли лесного фонда	
		тыс. га	%
ВНИИПОМлесхоз; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева	Красноярский край	155 622,6	65,8
Братский государственный университет (БГУ)	Иркутская область	62 000,0	83,5
Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ)	Хабаровский край	73 663,8	95,4
Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ)	Республика Марий Эл	1 277,0	54,6
Томский государственный университет (ТГУ); Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева (ИОА СО РАН); Томский политехнический университет (ТПУ)	Томская область	28 683,6	91,2

Table 3

Leading patent inventor of the RU segment of the collection, their location and the volume of the forest fund of the territories, 2020

Inventor	Location	The forest fund	
		ths. ha	%
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology	Krasnoyarsk region	155 622.6	65.8
Bratsk State University	Irkutsk region	62 000.0	83.5
Pacific National University	Khabarovsk region	73 663.8	95.4
Volga State University of Technology	Mari El Republic	1 277.0	54.6
Tomsk State University; V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics Russian Academy of Sciences, Siberian Branch; Tomsk Polytechnic University	Tomsk region	28 683.6	91.2

В российском сегменте коллекции преобладают семейства, в которых не поддерживаются патенты, – 59,7 %, разработки не поддерживают даже профильные организации. Например, Московский институт леса, Братский государственный университет (Иркутская область), имеющий научное направление «Экология и рациональное лесопользование северных территорий»; Тихоокеанский государственный университет (Хабаровский край), одним из научных приоритетов которого является изучение современного состояния и перспектив использования пихтово-еловых лесов Северного Сихотэ-Алиня, а также разработка и развитие теоретико-методологических основ управления лесосечными процессами и агрегатами.

Среди коммерческих предприятий лидером патентования в исследуемой области является ООО НПО «Современные пожарные технологии», поддерживающий 100 % своих технических решений. Как заявляет само предприятие, его созданию предшествовала многолетняя работа совместно с представителями ряда институтов оборонной промышленности. Еще одной коммерческой организацией, поддерживающей в силе патенты, является ООО «НПП «Тензосенсор», основной вектор разработок – роботизированные технологии тушения лесных пожаров. Нельзя не отметить, что такой современный статус российских патентов вполне иллюстрирует последствия ликвидации единственного в России научно-исследовательского института пожарной охраны лесов (ВНИИПОМлесхоз, г. Красноярск), который являлся ведущим патентообладателем, а накопленная интеллектуальная собственность осталась невостребованной.

Для всей коллекции технологий предотвращения и тушения природных пожаров характерно то, что основной сферой применения являются такие технологические области, как «Экологические технологии», «Контроль», «Транспорт», «Измерение», «Компьютерные и телекоммуникационные технологии» (рис. 3). В период до 2011 г. выделялась только область экологических технологий. Распределение показывает, что продолжают активно развиваться технологии обнаружения, мониторинга и контроля лесных пожаров, в том числе дистанционные и с применением роботизированной техники, а также совершенствуются традиционные способы борьбы с пожарами – противопожарная техника [5].

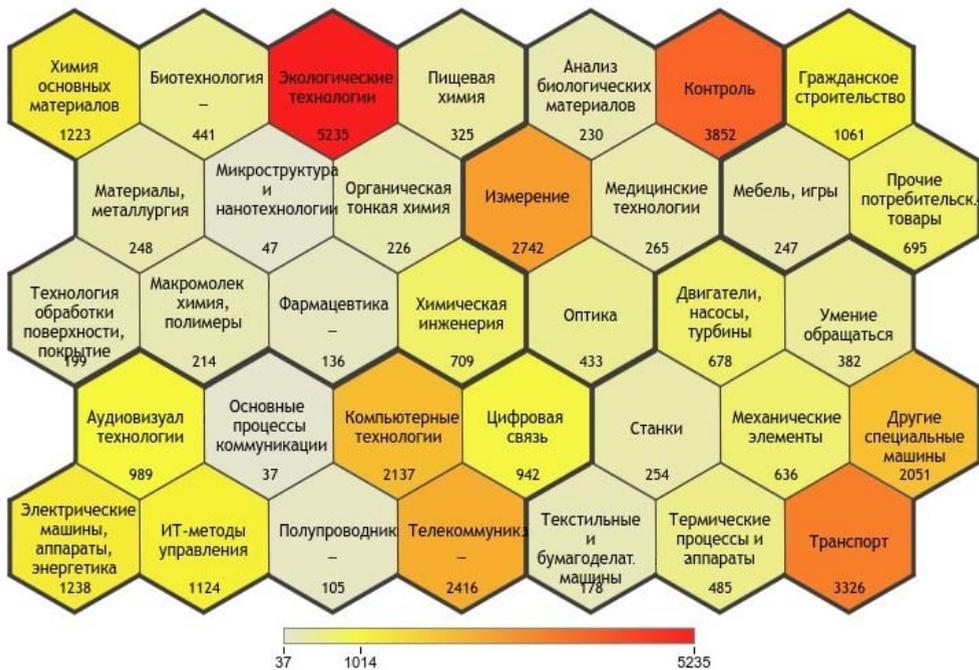


Рис. 3. Сферы применения технологий предотвращения и тушения природных пожаров за 30 лет, источник Questel

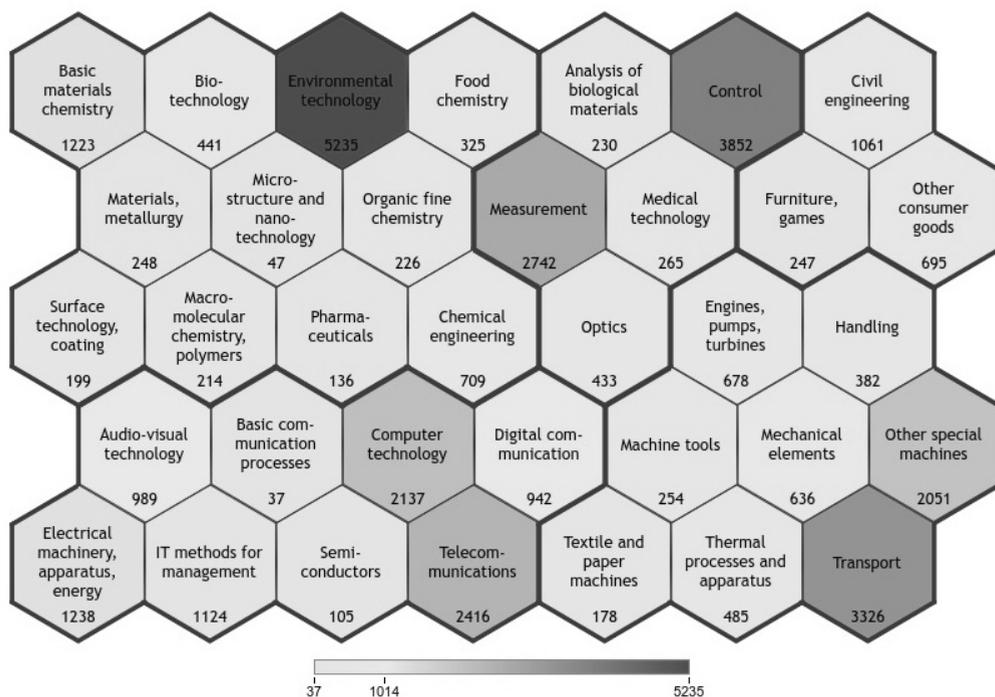


Figure 3. Technology domain (for 30 years), source Questel

Необходимо отметить широкий разброс областей применения, что подтверждает важность пожаров и пожарной безопасности в различных сферах жизни. Учитывая, что именно патенты китайского сегмента определяют основное направление разработок, следует полагать, что Китай обладает большим количеством патентов с небольшим объемом правовой охраны, то есть для защиты конкретных технических решений.

Для понимания сути охраняемых технических решений следует рассмотреть распределение по классам Международной патентной классификации (МПК), подробное описание которых указано в табл. 4. Следует учитывать, что один патентный документ может относиться к нескольким классам МПК.

Распределение по классам МПК позволяет сделать вывод о том, что большая часть технологий предотвращения и тушения лесных пожаров воплощена в виде специальных летательных аппаратов, имеет функции распознавания образов, передача которых между устройствами осуществляется в замкнутой телевизионной системе.

Анализ программных продуктов, зарегистрированных в реестре Роспатента, предназначенных для предотвращения и тушения природных пожаров, показал, что 34,3 % относятся к результатам фундаментальных научных исследований и представляют собой, например, программы для теоретического моделирования (симуляции) процессов горения, а также базы данных гарей, динамики пожаров и иной информации о пожарах и их последствиях. Можно

выделить кластер программных продуктов, предназначенных для организации управления в области лесного хозяйства и принятия решений в процессе ликвидации лесных пожаров – 20 % подборки. Непосредственно к обнаружению природных пожаров относятся 11,3 % документов, к мониторингу – 22,6 %, к тушению ландшафтных пожаров – 10 %. Программный продукт, с одной стороны, может являться самостоятельной единицей для выполнения функций, а также быть частью устройства или способа. Очевидно, что применение одного только программного продукта не приводит к тушению пожара, следовательно, технологии тушения природных пожаров являются наименее автоматизированными.

Таблица 4

Расшифровка кодов и распределение патентов по кодам МПК в области технологий предотвращения и тушения природных

Класс, расшифровка		Количество документов
A62C Способы и устройства для предотвращения пожара или сдерживания огня	A62C-003/02 Предупреждение пожаров, сдерживание огня или тушение пожаров на особых объектах или местностях, при возгораниях на больших площадях, например лесных или подземных пожаров	6901
	A62C-027/00 Пожарные наземные транспортные средства	2372
B64C Самолеты; вертолеты	B64C-039/02 Конструктивные и аэродинамические элементы летательных аппаратов...	6254
G06K Считывание графических данных	G06K-009/00 Способы или устройства для распознавания образов	4843
G08B Сигнальные устройства или устройства вызова; командные телеграфные аппараты; системы тревожной сигнализации	G08B-017/00 Пожарная сигнализация; сигнализация, реагирующая на взрывы	4891
	G08B-017/12 Включение сигнализации при наличии излучения или элементарных частиц...	3545
H04N Передача изображений, например телевидение	H04N-007/18 Телевизионные системы, замкнутые телевизионные системы...	4592

Table 4

International Patent Classification – IPC

Class, description		Number of documents
A62C Fire-fighting	A62C-003/02 Fire prevention, containment or extinguishing specially adapted for particular objects or places for area conflagrations, e.g. forest fires, subterranean fires	6901
	A62C-027/00 Fire-fighting land vehicles	2372
B64C Aeroplanes; helicopters	B64C-039/02 Aircraft not otherwise provided for characterised by special use	6254
G06K Graphical data reading	G06K-009/00 Methods or arrangements for recognising patterns	4843
G08B Signalling or calling systems; order telegraphs; alarm systems	G08B-017/00 Fire alarms; Alarms responsive to explosion	4891
	G08B-017/12 Actuation by presence of radiation or particles...	3545
H04N Pictorial communication, e.g. television	H04N-007/18 Television systems. Closed-circuit television systems...	4592

Заключение

Проблема лесных пожаров является широко обсуждаемой в мировом научном обществе, имеет высокую социальную значимость и подвержена пристальному общественному вниманию. Мировая изобретательская активность складывается в основном из патентных документов, принадлежащих Китаю. Рост патентной активности в области предотвращения и тушения природных пожаров начался в 2011 г., достиг первого максимума в 2017 г., второго – в 2020 г.

Российские разработки в области предотвращения и тушения природных пожаров, сосредоточенные в регионах с обширным лесным фондом и сложной пожарной обстановкой, являются актуальными, так как соответствуют мировым трендам патентования. Несмотря на высокий уровень экспертизы Роспатента, процент отзыва заявок достаточно мал. Следовательно, даже многотысячный пул патентных семейств китайского сектора несущественно влияет на качество российских технических решений в области предотвращения и тушения природных пожаров.

В числе ведущих российских правообладателей университеты и другие государственные учреждения, которые в большинстве своем не поддерживают действие патентов. Возможно, решения о прекращении поддержания патентов в силе связаны с тем, что между научно-исследовательскими организациями и коммерческими компаниями отсутствует взаимодействие и затраты на поддержание патентов расцениваются университетами как нецелесообразные.

Перспективы дальнейшего патентования в области предотвращения и тушения природных пожаров в мире, вероятно, существенно не изменятся, активность без учета китайского сегмента коллекции будет составлять 300–350 заявок в год. Учитывая наиболее развивающиеся области патентования, российским разработчикам целесообразно обратить внимание на собственные программные продукты, а также рассмотреть возможность их адаптации для применения в областях обнаружения, мониторинга и контроля лесных пожаров, в том числе дистанционных, с использованием роботизированной техники.

Общее снижение патентной активности в России в рамках исследуемой тематики ассоциируется со снижением финансирования бюджетных организаций, что является следствием губительной реорганизации лесоуправления в России, включающей принятие в 2006 г. нового Лесного кодекса. Однако есть менее очевидный вывод, что результаты интеллектуальной деятельности достаточно редко являются обязательными показателями результативности научных проектов, выполняемых университетами и НИИ. Авторы выражают уверенность, что ситуация изменится – в связи с инициацией Минобрнауки России создания Национальной системы оценки результативности научных исследований значимость таких показателей, как уровень использования результатов исследований в промышленности, патентная активность, наличие совместных исследований с бизнес-компаниями, будет стремительно возрастать.

Список литературы

- [1] Лукина Н.В., Исаев А.С., Крышень А.М., Онучин А.А., Сирин А.А., Гагарин Ю.Н., Барталев С.А. Приоритетные направления развития лесной науки как основы устойчивого управления лесами // Лесоведение. 2015. № 4. С. 243–254.
- [2] Брюханов А.В. «Лесопожарный ликбез»: 12 ошибочных мнений о природных пожарах // Устойчивое лесопользование. 2011. № 3 (28). С. 11–21.
- [3] Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Кракснер Ф., Онучин А.А. Переход к устойчивому управлению лесами в России: теоретико-методические предпосылки // Сибирский лесной журнал. 2017. № 6. С. 3–25.
- [4] Кураков Ф.А. Технологии тушения ландшафтных пожаров как возможный научно-технологический приоритет РФ // Экономика науки. 2017. Т. 3. № 3. С. 214–226.
- [5] Евстропов В.М., Пушенко С.Л. Инновационные технологии тушения природных пожаров: патентологические перспективы // Безопасность техногенных и природных систем. 2020. № 1. С. 16–22. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-1-16-22>
- [6] Карпилович А.И., Гордеева Е.М. Международно-правовые принципы устойчивого управления лесами, экологический аспект // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 3. С. 77–81.
- [7] Соколов В.А., Онучин А.А. О реорганизации лесопользования в России // Экономическое возрождение России. 2019. № 4 (62). С. 93–104.

References

- [1] Lukina NV, Isaev AS, Kryshen AM, Onuchin AA, Sirin AA, Gagarin YuN, Bartalev SA. Research priorities in forest science – the basis of sustainable forest management. *Forestry*. 2015;(4):243–254. (In Russ.).
- [2] Bryukhanov AV. “Forest fire educational program”: 12 erroneous opinions about natural fires. *Sustainable Forest management*. 2011;(3):11–21. (In Russ.)
- [3] Shvidenko AZ, Schepaschenko DG, Kraxner F, Onuchin AA. Transition to sustainable forest management in Russia: theoretical and methodological backgrounds. *Siberian Forest Journal*. 2017;(6):3–25.
- [4] Kurakov FA. Landscapes fire-fighting technologies as a possible scientific-technological priority for Russian Federation. *Economics of science*. 2017;3(3):214–226. (In Russ.).
- [5] Evstropov VM, Pushenko SL. Innovative fire-fighting technologies: patentological prospects. *Safety of technogenic and natural systems*. 2020;(1):16–22. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-1-16-22> (In Russ.).
- [6] Karpilovich AI, Gordeyeva EM. International law principles of sustainable management of forests, ecological aspect. *Theoretical and applied ecology*. 2010;(3):77–81. (In Russ.)
- [7] Sokolov VA, Onuchin AA. On reorganization of forestry management in Russia. *Russia's Economic Revival*. 2019;(4):93–104. (In Russ.).

Сведения об авторах:

Перминов Владислав Валерьевич, аспирант кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства, Биологический институт, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Российская Федерация, 634050, Томск, пр-т Ленина, д. 36. ORCID: 0000-0001-5393-1851, eLIBRARY SPIN-код: 3195-3938. E-mail: ya.vladperminov2013@yandex.ru

Воробьев Данил Сергеевич, доктор биологических наук, доцент, Биологический институт, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Российская Федерация, 634050, Томск, пр-кт Ленина, д. 36. ORCID: 0000-0003-4397-4406, eLIBRARY SPIN-код: 2837-9800. E-mail: danilvorobiev@yandex.ru

Касымов Денис Петрович, кандидат физико-математических наук, доцент, механико-математический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Российская Федерация, 634050, Томск, пр-кт Ленина, д. 36. ORCID: 0000-0003-3449-788X, eLIBRARY SPIN-код: 6627-2434. E-mail: denkasymov@gmail.com

Перминова Владислава Владимировна, аспирант кафедры ихтиологии и гидробиологии, Биологический институт, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Российская Федерация, 634050, Томск, пр-кт Ленина, д. 36. ORCID: 0000-0002-5991-9455. E-mail: vladaperm18@yandex.ru

Bio notes:

Vladislav V. Perminov, postgraduate student, Department of Forestry and Landscape Construction, Biological Institute, National Research Tomsk State University, 36 Lenin Prospekt, Tomsk, 634050, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5393-1851, eLIBRARY SPIN-code: 3195-3938. E-mail: ya.vladperminov2013@yandex.ru

Danil S. Vorobiev, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Biological Institute, National Research Tomsk State University, 36 Lenin Prospekt, Tomsk, 634050, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4397-4406, eLIBRARY SPIN-code: 2837-9800. E-mail: danilvorobiev@yandex.ru

Denis P. Kasymov, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Faculty of Mechanics and Mathematics, National Research Tomsk State University, 36 Lenin Prospekt, Tomsk, 634050, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-3449-788X, eLIBRARY SPIN-code: 6627-2434. E-mail: denkasymov@gmail.com

Vladislava V. Perminova, postgraduate student, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Biological Institute, National Research Tomsk State University, 36 Lenin Prospekt, Tomsk, 634050, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-5991-9455. E-mail: vladaperm18@yandex.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-240-249

УДК 544.723

Научная статья / Research article

Моделирование сорбционных процессов очистки сточных вод модифицированными цеолитами

М.В. Обуздина  , Е.А. Руш

Иркутский государственный университет путей сообщения,

Иркутск, Российская Федерация

 obuzdina_mv@mail.ru

Аннотация. На основе результатов экспериментальных исследований сорбционной очистки сточных вод разработана математическая модель регрессионного типа, адекватно описывающая влияние всех параметров проводимого процесса на сорбционную активность цеолита: исходной концентрации, времени сорбции, температуры проведения процесса и pH среды. Впервые в исследованиях использовали обобщенный критерий согласованности поведения и ширины области определения модели. Изучены процессы вовлечения многотоннажных отходов химических производств для получения адсорбционных материалов, эффективных для извлечения ионов тяжелых металлов из промышленных сточных вод. В качестве исходной матрицы использовались природные цеолиты, основным компонентом которых является клиноптилолит. В качестве модификатора предложен серный полимер, получаемый из отходов производства эпихлоргидрина с основным компонентом 1,2,3-трихлорпропан. Закрепление модификатора на поверхности цеолита, а также эффективная адсорбция ионов металлов доказаны методами ИК-спектроскопии и энергодисперсионного анализа.

Ключевые слова: сорбция, сточные воды, цеолиты, ионы тяжелых металлов, моделирование

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, выполнение лабораторных опытов и сбор данных и их интерпретация; *Е.А. Руш* – концептуализация исследований, критический анализ теста.

История статьи: поступила в редакцию 08.04.2022; принята к публикации 11.05.2022.

© Обуздина М.В., Руш Е.А., 2022



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

Для цитирования: Обуздина М.В., Руш Е.А. Моделирование сорбционных процессов очистки сточных вод модифицированными цеолитами // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 240–249. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-240-249>

Simulation of sorption processes of wastewater treatment by modified zeolites

Marina V. Obuzdina  , Elena A. Rush

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

obuzdina_mv@mail.ru

Abstract. Based on the results of experimental studies of sorption wastewater treatment, a regression-type mathematical model has been developed that adequately describes the effect of all parameters of the ongoing process on the sorption activity of zeolite: initial concentration, sorption time, process temperature, and medium pH. For the first time in research, a generalized criterion for the consistency of behavior and the width of the domain of definition of the model was used. The processes of involving large-tonnage wastes of chemical production to obtain adsorption materials effective for the extraction of heavy metal ions from industrial wastewater have been studied. Natural zeolites were used as the initial matrix, the main component of which is clinoptilolite. A sulfur polymer obtained from epichlorohydrin production wastes with the main component 1,2,3-trichloropropane is proposed as a modifier. Fixation of the modifier on the surface of the zeolite, as well as the effective adsorption of metal ions, have been proven by IR spectroscopy and energy dispersive analysis.

Keywords: sorption, waste water, zeolites, ions of heavy metals, simulation

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, laboratory experiments and data collection and interpretation; *E.A. Rush* – conceptualization of research, critical analysis of the test.

Article history: received 08.04.2022; accepted 11.05.2022.

For citation: Obuzdina MV, Rush EA. Simulation of sorption processes of wastewater treatment by modified zeolites. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(1):240–249. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-240-249>

Введение

На окружающую среду Приангарья, в том числе на водные ресурсы, оказывается существенное воздействие различными антропогенными источниками. Предприятия железнодорожного транспорта, нефтехимической и химической, металлургической и химической отраслей образуют существенное количество сточных вод поликомпонентного состава, одним из основных компонентов которых являются ионы тяжелых металлов, такие как никель, цинк, медь [1].

Цель исследования – решение задачи исключения экологического риска и снижения уровня техногенного воздействия на водную среду, что требует применения системного подхода, включающего математическое моделирование процессов очистки сточных вод. С учетом различного химического состава, а также жесткого регламентирования нормативных значений по содержанию веществ в сбрасываемых очищенных сточных водах продолжается потребность поиска эффективных адсорбционных материалов, обладающих подходящими физико-химическими характеристиками, низкой стоимостью и высокой степенью очистки сточных вод от различных загрязнителей [2]. Важным моментом является моделирование сорбционных процессов для установления зависимости между адсорбционной емкостью и влияющими на нее факторами.

Материалы и методы

В Восточном Забайкалье располагаются значительные запасы природного минерального сырья, пригодного для получения на его основе новых сорбционных материалов для очистки промышленных сточных вод от ионов тяжелых металлов.

В составе природного минерала содержится 60–66 % клиноптилолита, что и определяет его адсорбционные свойства за счет каркасной структуры в виде сочлененных между собой тетраэдров $\text{Si}(\text{Al})\text{O}_4$. Оставшееся процентное содержание минерала представлено рентгеноаморфной фазой 10–12 %, а также микролином, монтмориллонитом и кварцем с содержанием каждого в количестве 3–5 %. Кристобалит присутствует до 2–10 %.

Нами разработан новый способ утилизации отходов производства эпихлоргидрина, основным компонентом которого является 1,2,3-трихлорпропан, с получением адсорбционного материала.

Приготовление образца модифицированного цеолита (20 г) с размером частиц 5 мм происходило посредством его модифицирования серой (0,125 моль) при перемешивании в течение 3,5 ч при 60 °С. Серу предварительно растворяли в системе моноэтаноламин–гидразингидрат (0,21 моль и 0,0021 моль). При этом на поверхности цеолита появлялись анионы S^{2-} , с участием которых происходила дальнейшая поликонденсация при добавлении в смесь 1,2,3-трихлорпропана (0,042 моля). Оптимальное соотношение по массе цеолит: S = 5:1. Дальнейшее перемешивание смеси составило 3 часа. После чего осадок подвергали дальнейшему фильтрованию и фракционированию.

В состав адсорбента входят такие органические элементы, как C, H, N, S, Cl с преобладанием серы 31,07 и 22, 19 % для фракции № 1 и № 2 с размером частиц 1–2-мм и 2,5–5 мм соответственно. Установлено, что предпочтительнее использовать более мелкую фракцию № 1. Определено, что при исходной концентрации ионов тяжелых металлов в модельном растворе 5000 мг/л адсорбционная емкость составила 398 мг/г по Ni^{2+} ; 268 мг/г по Zn^{2+} ; мг/г Cu^{2+} .

Результаты исследования и их обсуждение

Установлено, что адсорбент клиноптилолитового типа, модифицированный серным полимером, эффективен по извлечению ионов тяжелых металлов из сточных вод. Степень очистки может достигать 99–100 %. При этом при взаимодействии с серой тяжелых металлов получают гидрофобные сульфиды. Величина адсорбции в 1,5 раза превышает значение предельной адсорбции на немодифицированном цеолите [3].

На адсорбционное равновесие существенное влияние оказывает температурный режим проведения процесса. Построены изотермы адсорбции Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} на цеолите, модифицированном серным полимером (рис. 1). Установлено, что высокий процент степень извлечения Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} проявляется при повышенных температурах.

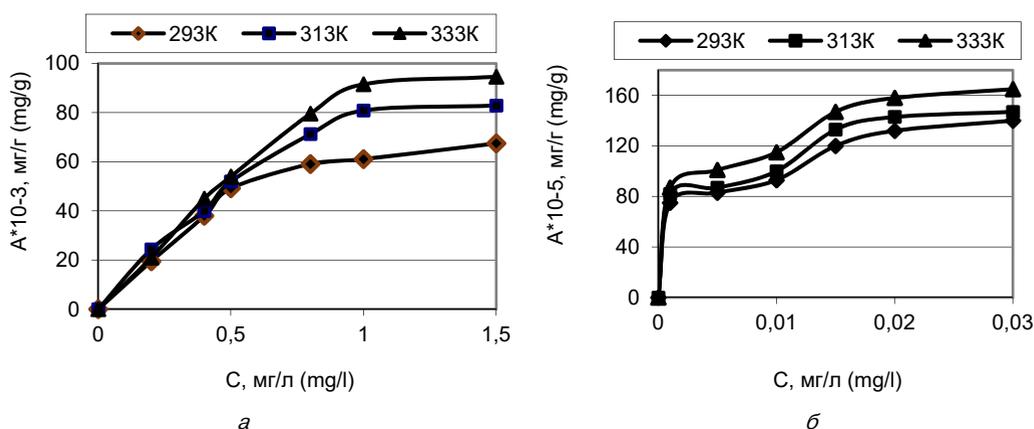


Рис. 1. Изотермы адсорбционного извлечения Zn^{2+} (а), Ni^{2+} (б) на цеолите, модифицированном серным полимером, зависимости от температурного режима проведения процесса /

Figure 1. Adsorption extraction isotherms of Zn^{2+} (a), Ni^{2+} (b) on zeolite modified with a sulfur polymer, depending on the temperature regime of the process

В целях доказательства адсорбционной активности полученного материала и установления механизма адсорбции тяжелых металлов использовали методы ИК-спектроскопии и энергодисперсионного рентгеновского анализа [4; 5].

Фиксация серного полимера на поверхности природного цеолита характеризуется появлением новых полос поглощения $2954,89 \text{ см}^{-1}$ и $2903,08 \text{ см}^{-1}$, относящихся к связям С-Н (рис. 2).

Полоса поглощения при $1052,41 \text{ см}^{-1}$ природного цеолита, модифицированного серным полимером, смещается в высокочастотную область и появляется при $1074,15 \text{ см}^{-1}$, $1077,16 \text{ см}^{-1}$, $1071,85 \text{ см}^{-1}$ в спектрах цеолита после адсорбции Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} соответственно. Полученные данные свидетельствуют о донорно-акцепторном механизме адсорбции. Также наблюдается адсорбция молекул H_2O , которая на ИК-спектрах характеризуется появлением

колебаний ОН-групп при 3624 см^{-1} (Ni^{2+} ; Cu^{2+}) и 3622 см^{-1} (Zn^{2+}) после адсорбции ионов тяжелых металлов. В результате образования сульфидов при адсорбции наблюдается смещение полос поглощения $716,41\text{--}723,29\text{ см}^{-1}$ для Cu^{2+} , $716,41\text{--}720,33\text{ см}^{-1}$ для Ni^{2+} , $716,41\text{--}725,42\text{ см}^{-1}$ для Zn^{2+} .

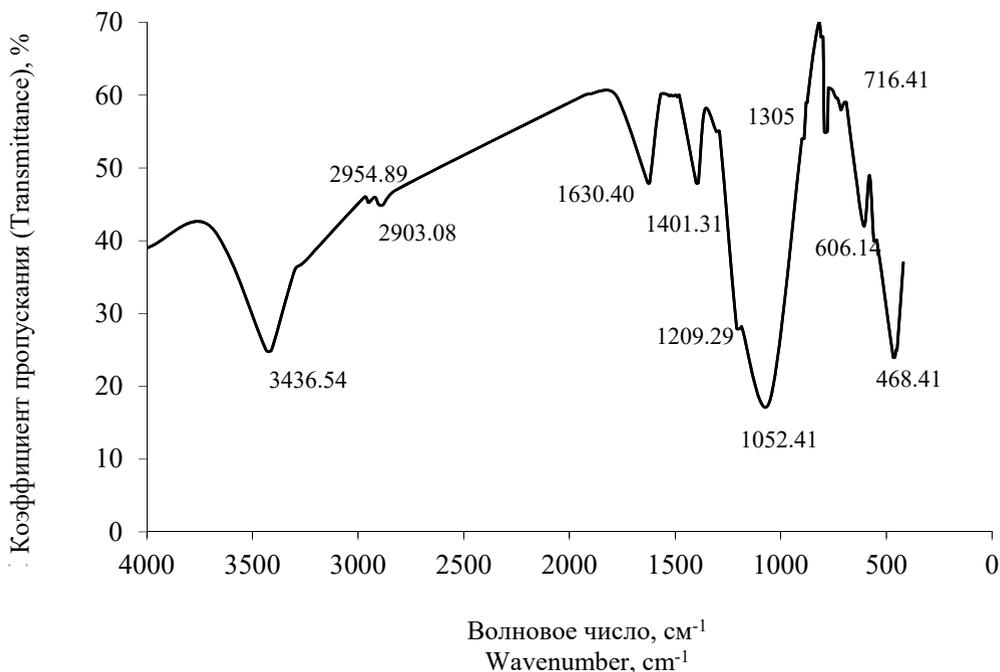


Рис. 2. Инфракрасный спектр цеолита, модифицированного серным полимером /
Figure 2. IR spectrum of zeolite, modified with a sulfur polymer

По данным энергодисперсионных рентгеновских спектров, полученный адсорбент на основе цеолита включает в себя следующие элементы: O, S, C, Si, Al, Cl, K, Ca, Na, Mg. При извлечении меди на поверхности адсорбента цеолитового типа в спектрах обнаруживаются пики Cu^{2+} в количестве 1,3 % мас. (рис. 3), которые исчезают после проведения десорбции.

Результаты экспериментальных исследований послужили основой для разработки математической модели, устанавливающей связь адсорбционной емкости относительно ионов тяжелых металлов, таких как Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} с параметрами проводимого процесса: исходной концентрации, времени сорбции, температуры проведения процесса и pH среды. Впервые в исследованиях использовали обобщенный критерий согласованности поведения и ширины области определения модели.

При моделировании процесса адсорбционной очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов модифицированными цеолитами использовался метод наименьших модулей, который относится к антиробастным методам [6–8].

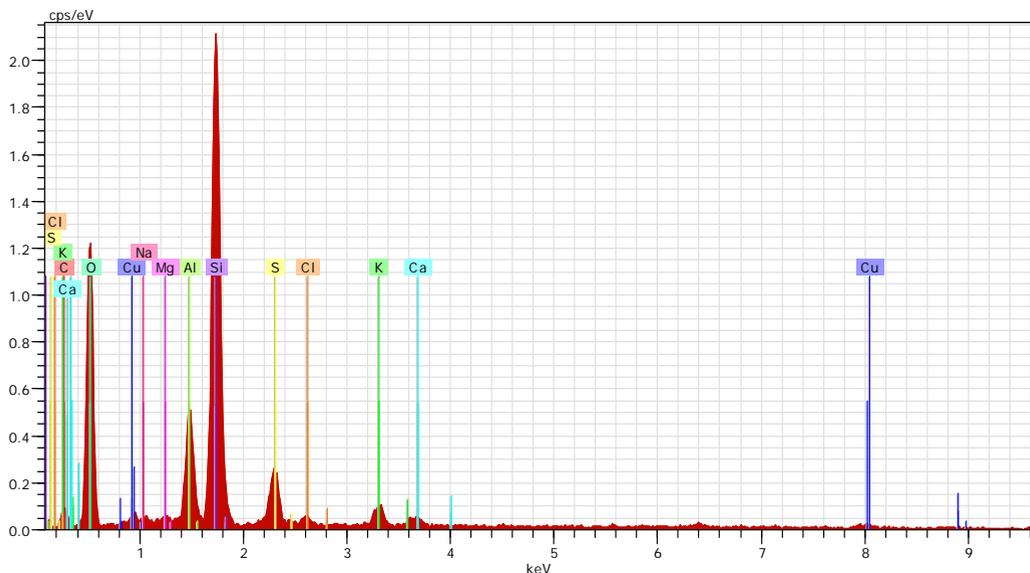


Рис. 3. Энергодисперсионный рентгеновский спектр цеолита, модифицированного серным полимером, после сорбции Cu^{2+} /
 Figure 3. Energy dispersive X-ray spectrum of zeolite, modified with a sulfur polymer, after sorption of Cu^{2+}

Введем следующие обозначения: y (зависимая переменная) – адсорбционная емкость цеолита, мг/г. Независимые переменные: x_1 – начальная концентрация, мг/л; x_2 – время адсорбции, час; x_3 – температура проведения процесса, К; x_4 – значение pH. В каждом из 35 наблюдений присутствует комбинация из переменных (y, x_1, x_2, x_3, x_4). Всего 595 пар наблюдений, которые оценивались по обобщенному критерию согласованности поведения (Φ).

Регрессионная модель разрабатывалась в классе аддитивных функций, общий вид которой характеризуется следующей формулой:

$$y_k = a_0 + \sum_{i=1}^4 \alpha_i g_{ji}(x_{ki}) + \varepsilon_k, k = \overline{1, 35}, \quad (1)$$

где $g_{ji}(x_{ki})$ – j -е преобразование i -й независимой переменной, выбранное из набора

$$G(z) = \left\{ z, \frac{1}{z}, \sqrt{z}, z^2, z^3, \exp z, \ln z, \frac{1}{\exp z}, \frac{1}{\ln z} \right\}. \quad (2)$$

Был проведен конкурс моделей для уравнения (1) из $9^4 + 2 = 6563$ его альтернативных вариантов. При построении каждого варианта использовалась вся выборка. Таким образом, для каждой переменной используют 9 возможных преобразований, что является стандартным набором преобразований, используемым при реализации конкурса моделей. Степень 4 обозначает

число переменных (x_1, x_2, x_3, x_4). Слагаемое 2 характеризует методы наименьших квадратов и модулей.

Проведенный конкурс моделей с применением метода уступок основан на использовании следующих критериев: Фишера (F); Стьюдента ($T = (t_0, t_1, t_2, t_3, t_4)$); Дарбина – Уотсона (DW); множественной детерминации (R); средней относительной ошибки аппроксимации (E) (обычно применяемый в инженерных расчетах показатель):

$$E = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left| \frac{y_k - \hat{y}_k}{y_k} \right| \cdot 100\%, \quad (3)$$

где \hat{y}_k – расчетные значения y ,

Впервые использовались для моделирования очистки сточных вод обобщенный критерий согласованности поведения Φ (число совпадений знаков приращений фактических и расчетных значений зависимой переменной, в % к общему количеству пар наблюдений выборки); ширина области определения модели L (чем она больше, тем большими прогностическими возможностями обладает модель).

Параметры модели рассчитывались с помощью методов наименьших квадратов и модулей [7], антиробастного оценивания [6]. В результате получена наиболее точная модель вида

$$y = 0,001 + 0,026x_1 + 0,000388\sqrt{x_2} + 1,35 \cdot 10^{-11}(x_3)^3 - \frac{0,00069}{x_4}. \quad (4)$$

$$R = 0,94, F = 114,43, DW = 1,81, E = 6,44 \%, \Phi = 89 \%,$$

$$T = (1,17, 16,02, 4,89, 6, -7,73).$$

Значения критериев адекватности модели (4) указывают на высокую точность модельного описания исследуемого процесса. Для построения данной модели было задействовано 6563 альтернативных варианта.

Приемлемым диапазоном значений для обобщенного критерия согласованности поведения Φ является 75–100 %. Таким образом, полученный результат $\Phi = 89 \%$ удовлетворяет нормативным требованиям и показывает высокую точность полученного модельного описания адсорбционного процесса. Это означает, что из рассматриваемых 595 пар наблюдений совпадает по знакам приращения 89 %.

По степени влияния на выходной фактор независимые переменные в соответствии со значениями критерия Стьюдента можно расположить следующим образом:

$$x_1 \succ x_4 \succ x_3 \succ x_2. \quad (5)$$

Множество D устанавливает допустимые пропорции между компонентами вектора (x_1, x_2, x_3, x_4) . В основу формирования области D положена специально разработанная регрессионная модель, которую можно условно представить в виде

$$a \in [x_1 + c_1, x_1 + c_2], \quad (6)$$

где

$$x_1 = 0,00126\sqrt{x_2} + 1,508 \cdot 10^{-10}(x_3)^3 - \frac{0,00179}{x_4} + \delta, \quad (7)$$

где δ – ошибка аппроксимации. При этом оказалось, что минимальная на выборке данных ошибка равна $c_1 = -0,006$, а максимальная $c_2 = 0,026$.

Таким образом, область определения модели (2) имеет вид

$$D = \{(x_1, x_2, x_3, x_4) \mid x_1 \in [0,00126\sqrt{x_2} + 1,508 \cdot 10^{-10}(x_3)^3 - \frac{0,00179}{x_4} - 0,0069, 0,00126\sqrt{x_2} + 1,508 \cdot 10^{-10}(x_3)^3 - \frac{0,00179}{x_4} + 0,026]\}, L = 107\%. \quad (8)$$

Таким образом, полученное значение $L = 107\%$ доказывает большие прогностические возможности разработанной модели.

Выводы

Разработана адекватная математическая модель регрессионного типа, устанавливающая связь адсорбционной емкости цеолита с факторами, на нее влияющими: исходной концентрации, времени сорбции, температуры проведения процесса и pH среды. Для оценки параметров регрессионной модели были выбраны методы наименьших квадратов и модулей, антиробастного оценивания.

В основу математической модели заложены результаты экспериментальных исследований процессов адсорбции тяжелых металлов модифицированными цеолитами. Доказана возможность вовлечения отходов химической отрасли промышленности в технологию создания сорбционных материалов для извлечения Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} из водных сред, что позволяет решить одновременно две экологические задачи: утилизации отходов и снижения техногенной нагрузки на водные объекты.

При использовании в качестве модификатора серного полимера происходит гидрофобизация поверхности адсорбента, что улучшает итоговую степень очистки сточных вод в 1,5 раза по сравнению природным цеолитом.

На полученных ИК-спектрах после модификации цеолита появляются новые полосы поглощения, характеризующие закрепление серного полимера на поверхности. При адсорбции металлов происходит смещение полос поглощения в более высокочастотные области. Адсорбция осуществляется по комплексному координационному механизму.

Список литературы

- [1] Inamuddin D., Mohammad L. Ion Exchange Technology. Theory and Materials. Springer Science & Business Media Springer. Dordrecht. Heidelberg. New York. London, 2012. 550 p.
- [2] Dabrowski A., Hubicki Z., Podkoscielny P., Robens E. Selective removal of the heavy metal ions from waters and wastewaters by ion-exchange method // *Chemosphere*. 2004. Vol. 56. Issue 2. P. 91–106.
- [3] 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.
- [4] Ross J. *Microelectronics Failure Analysis Desc Reference*. Sixth Edition. USA: ASMInternational, 2011. 660 p.
- [5] Синдо Д., Оикава Т. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия. М.: Техносфера, 2006. 256 с.
- [6] Носков С.И. Метод антиробастного оценивания параметров линейной регрессии: число максимальных по модулю ошибок аппроксимации // *Южно-Сибирский научный вестник*. 2020. № 1. С. 51–54.
- [7] Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д., Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с
- [8] Statkus M., Tsysin G. I. Mathematical modeling of sorption preconcentration in flow analysis system // *Moscow University Chemistry Bulletin*. 2009. Vol. 64. Issue 4. P. 192–197.

References

- [1] Inamuddin D, Mohammad L. Ion Exchange Technology. Theory and Materials. *Springer Science & Business Media Springer*. Dordrecht. Heidelberg. New York. London; 2012.
- [2] Dabrowski A, Hubicki Z, Podkoscielny P, Robens E. Selective removal of the heavy metal ions from waters and wastewaters by ion-exchange method. *Chemosphere*. 2004;56(2);91–106.
- [3] 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.)
- [4] Ross J. *Microelectronics Failure Analysis Desc Reference*. Sixth Edition. USA: ASMInternational; 2011.
- [5] Shindo D, Oikawa T. *Analytical transmission electron microscopy*. Moscow: Technosphere; 2006. (In Russ.)
- [6] Noskov SI. The method of anti-robust estimation of linear regression parameters: the number of maximum approximation errors in modulus. *South Siberian Scientific Bulletin*. 2020;1;51–54. (In Russ.)

- [7] Aivazyan SA, Enyukov IS, Meshalkin LD. Applied Statistics. *Classification and dimension reduction*. Moscow: Finance and statistics; 1989. (In Russ.)
- [8] Statkus M, Tsysin GI. Mathematical modeling of sorption preconcentration in flow analysis system. *Moscow University Chemistry Bulletin*. 2009;64(4);192–197.

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

Руш 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 Department for 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 Department for Technosphere Safety, Irkutsk State Transport University, 15 Chernyshevsky St, Irkutsk, 664074, Russian Federation. E-mail: lrush@mail.ru.



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-250-265

УДК 502.53

Обзорная статья / Review article

Ламповая флора как результат оборудования карстовых пещер для экскурсий

Е.К. Пичугина¹✉, С.Е. Мазина^{1,2,3,4,5}

¹Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Москва, Российская Федерация

³Федеральное государственное унитарное предприятие Научно-технический центр
радиационно-химической безопасности и гигиены

Федерального медико-биологического агентства, Москва, Российская Федерация

⁴Российский государственный аграрный заочный университет,
Балашиха, Российская Федерация

⁵Государственный университет по землеустройству, Москва, Российская Федерация
✉e-mailpichugina94@inbox.ru

Аннотация. Данный обзор посвящен проблеме развития «ламповой флоры» – фототрофных сообществ обрастаний на участках с искусственным освещением в карстовых пещерах, используемых в туристических целях. Опыт отечественных и зарубежных коллег помогает разобраться в причинах ее возникновения, условиях формирования и развития сообществ; описываются механизмы адаптации отдельных видов и сообществ к сложным условиям подземных экосистем. Ламповая флора не характерна для пещерной среды, в связи с чем обнаруживаются неблагоприятные последствия ее присутствия в виде воздействия на местную биоту и абиотические параметры среды. В обзоре приводится сравнение ламповой флоры и естественных сообществ фототрофов входных освещенных солнечным светом зон пещер.

Ключевые слова: карстовые пещеры, ламповая флора, фототрофные сообщества, входные зоны пещер, экотоны

Вклад авторов: Е.К. Пичугина – анализ литературы и подготовка текста статьи; С.Е. Мазина – общее руководство направлением исследования, критический анализ текста статьи.

История статьи: поступила в редакцию 16.03.2022; принята к публикации 01.06.2022.

© Пичугина Е.К., Мазина С.Е., 2022



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

Для цитирования: Пичугина Е.К., Мазина С.Е. Ламповая флора как результат оборудования карстовых пещер для экскурсий // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 250–265. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-250-265>

Lampenflora as a result of karst cave equipment for excursions

Elizaveta K. Pichugina¹✉, Svetlana E. Mazina^{1,2,3,4,5}

¹*RUDN University, Moscow, Russian Federation*

²*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

³*Federal State Unitary Enterprise Research and Technical Center
or Radiation-Chemical Safety and Hygiene, Moscow, Russian Federation*

⁴*Russian State Agrarian Correspondence University, Balashikha, Russian Federation*

⁵*State University of Land Use Planning, Moscow, Russian Federation*

✉e-mailpichugina94@inbox.ru

Abstract. This review is devoted to the problem of the development of “lampenflora” – phototrophic fouling communities in karst caves’ areas with artificial lighting used for tourism purposes. The experience of domestic and foreign colleagues helps to understand the causes of its occurrence, the conditions for the formation and development of communities; describes the mechanisms of adaptation of individual species and communities to the complex conditions of underground ecosystems. Lampenflora is not typical for the cave environment, and in this regard, the adverse consequences of its presence are found in the form of an impact on the local biota and abiotic parameters of the environment. The review compares lampenflora and natural communities of phototrophs in the entrance zones of caves illuminated by sunlight.

Keywords: karst caves, lampenflora, phototrophic communities, cave entrance areas, ecotones

Authors’ contributions: E.K. Pichugina – literature analysis and preparation of the text of the article; S.E. Mazina – general management of the research direction, critical analysis of the text of the article.

Article history: received 16.03.2022; accepted 01.06.2022.

For citation: Pichugina EK, Mazina SE. Lampenflora as a result of karst cave equipment for excursions. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(1):250–265. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-250-265>

Карстовые пещеры являются природными достопримечательностями и объектами научного интереса, вследствие чего антропогенная нагрузка на них увеличивается [1]. Природные среды, присущие любым карстовым формам рельефа, в том числе и пещерам, отличаются особой уязвимостью к воздействиям извне, что обусловлено особыми параметрами подземной среды, такими как своеобразный замкнутый микроклимат (отсутствие освещения, низкая положительная температура воздуха, высокая влажность воздуха и грунта), олиготрофность, низкое биоразнообразие [2; 3]. Карстовые экосистемы, в том числе пещеры, относятся к невозобновляемым природным ресурсам, что делает актуальным их исследование, защиту и охрану [2; 4].

Антропогенное воздействие на карстовые экосистемы

Экологические параметры пещерной среды характеризуются стабильностью, по сравнению с поверхностью [5], в то же время разнонаправленные антропогенные воздействия на карстовые экосистемы, внешние и внутренние, могут наносить им значительный урон.

Первые могут быть связаны с разработкой горных пород, оказывающей влияние на геологию и гидрологию карстового массива, а также с загрязнением верхних слоев почвы, поверхностных и подземных вод [6]. Внутренние воздействия на пещерные среды связаны с посещением пещер людьми в целях туризма, рекреационной и исследовательской деятельности [7]. Массовый пещерный туризм, зародившись во второй половине XIX в., повлек за собой создание коммерческих предприятий, включающих открытие крупных пещер для посещений и их оборудование пешеходными тропами и системами освещения. Недостаточное изучение влияния внешних и антропогенных факторов на подземные экосистемы привело к тому, что неконтролируемый туризм и связанные с ним мероприятия необратимо изменяли пещерные экосистемы [1].

Комплекс изменений пещер-музеев включает изменение температуры, относительной влажности, концентрации углекислого газа в воздухе, уровня освещенности, от которых зависит состояние взаимозависимых живых систем, и абиотических объектов – водных потоков, минеральных поверхностей и образований (спелеотем) [1]. Спелеотемы (т.е. сталактиты, сталагмиты, гуровые ванночки и др.) представляют собой уникальные вторичные минеральные образования карстовых полостей. Основным фактором их образования является деятельность фильтрационных вод – межпластовых вод и осадков с поверхности, которые, просачиваясь сквозь почву и трещины горных пород, насыщаются углекислотой и растворенными минералами и отвечают за процесс растворения известняковых пород с образованием кальцита. Также на процесс образования спелеотем влияют занос минеральных и детритовых частиц внутрь пещер ветром или потоками воды [8], состав почвы поверхности и ее микробная активность, тип поверхностной растительности и скорость протекания химических процессов [9]. Сформированные таким образом натечные образования в совокупности создают неповторимые интерьеры пещер, притягивающие внимание людей.

Широкий интерес к посещению подземных полостей носит неоднозначный характер. С одной стороны, привлечение внимания полезно с точки зрения признания карстовых пещер экосистемами, требующими детального изучения и охраны, а с другой – становится причиной ряда экологических проблем.

Феномен «ламповой флоры»

Одной из главных экологических и эстетических проблем гипогенных экосистем остается проблема биозагрязнения, появившаяся в результате оборудования первых экскурсионных пещер источниками электрического света

[10]. В ее основе лежит развитие на минеральных поверхностях под действием искусственного освещения фототрофных сообществ, состоящих преимущественно из цианобактерий, водорослей и мохообразных – «ламповой флоры» [11–13].

Многочисленные исследования ламповой флоры посвящены причинам ее появления и условиям развития [14; 15], определению видового состава [16] и его сравнению с составом фототрофных сообществ входных зон пещер [17; 18], динамике изменений экосистем при появлении ламповой флоры [19; 20] и методам борьбы с ней [21–23].

Ламповая флора пещер представляет собой неспецифичные фототрофные сообщества, видовой состав которых формируется посредством заноса в полости с поверхности активных клеток микроорганизмов, их спор, семян и талломов [7]. В заносе участвуют потоки фильтрационных вод из эпикарста, потоки воды и воздуха, проходящие через входы пещер, перемещение с пещерной фауной [13], а также человеком [11; 19]. Отдельно можно выделить способность микрофлоры распространяться непосредственно внутри полостей при помощи живых организмов, в том числе людей [24], и циркуляции воздуха. Хотя воздушные потоки в основном зависят от естественных климатических изменений, в пещерах образуются локальные движения воздуха вследствие его нагрева от осветительных приборов [13]. В работе [11] предлагается обратить внимание на искусственные потоки воздуха и их закономерности в целях борьбы с распространением ламповой флоры в пространстве пещер.

Колонизация пространства пещер

Попадая в благоприятные для роста условия, занесенные микроорганизмы начинают заселять поверхности пород и отложений. Ламповая флора колонизирует всю поверхность стен пещер, от пола до потолка, причем сосудистые растения предпочитают более горизонтальные поверхности, тогда как мохообразные, водоросли и цианобактерии могут располагаться на вертикальных и отрицательных формах рельефа [22]. Чаще всего объектами колонизации становятся осадочные породы, глинистые отложения и кальцитовые образования за счет их пористости, гигроскопичности и влажности. Отмечалась приуроченность мохообразных и папоротников, нуждающихся в постоянной высокой влажности субстратов, к пористым трещиноватым породам и глинам. Многие виды мхов демонстрируют высокую засухоустойчивость благодаря различным защитным морфологическим и физиологическим механизмам [25]. В исследовании [26] сообщалось, что представители микромицетов в основном занимают поверхности стен и спелеотем вне зависимости от их минерального состава, что может быть связано с наличием на них органического вещества. Альгофлора обнаруживалась на влажных глинистых, кальцитовых и известняковых субстратах [14; 18; 27]. В то же время водоросли могут выживать на недостаточно увлажненных участках, склонных

к периодическому высыханию [28]. Способностью переносить периоды высыхания, не погибая, как в качестве отдельных клеток, так и в составе биопленок отличаются цианобактерии [29].

Формирование видового состава сообществ ламповой флоры

Ламповая флора чаще всего представлена биопленками, причем водоросли и цианобактерии часто в литофильных сообществах образуют биопленки благодаря выделению экзополисахаридов [15; 18] и становятся доминантными группами сложных сообществ. Многие виды космополиты поселяются на безжизненных субстратах, нетребовательны к уровню освещения и количеству питательных веществ и обладают хорошей адгезией [13].

Существует мнение, что на начальном этапе зарастания видовой состав ламповой флоры формируется случайно посредством стохастического распределения организмов в пространстве полостей [24], однако с течением времени он трансформируется – менее устойчивые виды замещаются более устойчивыми [13]. Состав биопленок, изначально представленный одноклеточными фототрофными видами, в ходе развития усложняется посредством присоединения бактерий, простейших, грибов и лишайников [14; 30], а на более поздних стадиях развития – мхов, папоротников и проростков сосудистых растений [13; 15]. В конечном итоге видовой состав сложных сообществ может регулироваться косвенной конкуренцией [23], трофическими взаимодействиями внутри биопленок [30], сукцессией и экологическими воздействиями [15].

Естественная микробиота пещер

Помимо неспецифичных фототрофов пещеры изначально могут быть заселены гетеротрофными и хемоавтотрофными бактериями, например, протеобактериями и актинобактериями [31] и грибами – аскомицетами и зигомицетами, объединяющимися в биопленки в целях выживания в олиготрофных условиях. Микромицеты, обитающие в пещерах, обычно представлены детритофагами и паразитами пещерной фауны [32; 33], которая является активным переносчиком спор грибов в пространстве полостей [34].

В условиях отсутствия первичных продуцентов пещерные микробные сообщества напрямую зависят от органических веществ, доставляемых водными потоками, фильтрационными водами и фауной с поверхности [35]. Часто происходит формирование хемотрофных сообществ, получающих энергию за счет использования химических веществ минеральных субстратов, что делает подобные сообщества пещер участниками биогеохимических циклов углерода, серы и т.д. [36]. Микробиота пещер, несмотря на ее адаптацию к олиготрофным условиям [16], неустойчива и может сильно изменяться в результате антропогенного вмешательства [11], пополняясь новыми видами, в том числе фототрофными [37]. Появление и развитие в пещерах

неспецифичных видов увеличивает биоразнообразие экосистемы, одновременно необратимо изменяя ее трофические связи. Биопленки ламповой флоры являются конкурентами и могут вытеснять аборигенные микробные сообщества, поскольку фототрофные сообщества являются самоподдерживающимися и более устойчивыми за счет использования световой энергии для продукции органических веществ [15].

Взаимодействие организмов в биопленках

Состав организмов, выполняемые ими функции и результат их взаимодействий в биопленках оказывают прямое влияние на устойчивость сообщества [37]. В биопленках поддержка менее приспособленных видов более приспособленными помогает консорциям выдерживать стрессовые воздействия и иметь конкурентное преимущество перед другими сообществами в борьбе за ресурсы [32]. Фототрофы в составе биопленок обеспечивают фотосинтетическую функцию и, как следствие, фиксацию CO₂ и накопление органических веществ для поддержания гетеротрофных участников [29]. Наличие в биопленках цианобактерий-азотфиксаторов решает проблему недостатка азота для литофильных сообществ [24; 38]. Кроме того, виды цианобактерий имеющие внеклеточный матрикс, выступающий в качестве резервуара воды, способствуют накоплению и удержанию влаги в биопленках [39]. Данная способность препятствует высыханию биопленок, хотя уровень влажности в гипогенной среде часто высок, вплоть до уровня насыщения [13], и поддерживается наличием постоянных или временных пещерных потоков и фильтрационных вод, но изредка бывают периоды засух. Внутренние области пещер отличаются большей стабильностью уровня увлажнения, нежели области, контактирующие с поверхностью и за счет этого подверженные сезонным колебаниям уровня влажности [40].

Влияние света и температуры на развитие ламповой флоры

В непосещаемых пещерах уровень влажности обратно пропорционален уровню освещенности: входные зоны характеризуются достаточной освещенностью для поддержания роста и развития фотосинтетических организмов, при продвижении внутрь пещеры количество света снижается вплоть до полного отсутствия [41]. Интенсивность света является основным фактором, определяющим состав биологических сообществ [29], поэтому фотические зоны пещер, породы и отложения характеризуются обилием фототрофных образований и их высоким биоразнообразием (цианобактерии, водоросли, мхи, папоротники, цветковые растения), в то время как в афотической зоне обитают гетеротрофные сообщества. Исключения могут представлять некоторые цианобактерии, например, отряда *Nostocales*, которые обнаруживались преимущественно в глубине пещер [42].

Посещаемые пещеры оборудованы постоянной системой освещения. Осветительные приборы, закрепленные на стенах пещер, обычно работают на

протяжении многих часов в течение дня, что сдвигает относительно стабильные температурные условия в сторону увеличения и является первостепенным для образования и развития фотосинтетических биопленок, которые в другом случае не могли бы существовать [11; 13; 15]. В благоприятных условиях биопленки образуют трехмерную структуру: нижний, крепящийся к субстрату слой, представлен первичными колонизаторами, в среднем слое помимо цианобактерий и микроводорослей обнаруживаются лишайники, а в верхнем они занимают доминирующее положение вместе с грибами. Многоклеточное многослойное сообщество, состоящее из комбинации автотрофных, гетеротрофных или миксотрофных участников, имеет больше шансов на выживание за счет своей более сложной архитектуры и способности сменить тип питания при ухудшении экологических условий. Устойчивость биопленок зависит от интенсивности освещения, поэтому при снижении уровня света они становятся более тонкими и стратифицируются по принципу расположения групп организмов в трехмерной биопленке [43].

Адаптация фототрофов к нехватке света

В литературе отмечены различные механизмы адаптации фототрофов к условиям пещер. Цианобактерии в условиях ограниченного освещения способны использовать ближнее инфракрасное излучение для кислородного фотосинтеза благодаря наличию фотосинтетических пигментов – хлорофилла типов d и f, которые способны захватывать волны света длиной до 780 нм. Осуществление фотосинтеза цианобактериями возможно даже в удаленных от входа зонах пещер благодаря отражательной способности известняка [44]. Другие пигменты цианобактериальных клеток, фикобилины, способны расширять спектр поглощения света и обеспечивать выживание в условиях ниже световой точки компенсации [21]. Еще одним механизмом адаптации цианобактерий и некоторых диатомовых водорослей является миксотрофия, что позволяло обнаруживать их в наиболее удаленных от входа частях пещер, где биоразнообразие ввиду ухудшения условий среды заметно снижалось [45]. Отмечалась способность цианобактерий кальцифицировать свои оболочки посредством отложения на их внешней части кристаллов CaCO_3 из карбонатных субстратов. Предполагается, что карбонатные оболочки могут способствовать эндолитной колонизации поверхностей ламповой флорой и служить для нее защитным механизмом от неблагоприятных внешних воздействий [46]. У мхов в условиях низкой освещенности может увеличиваться расстояние между побегами и листьями, уменьшается количество листьев или увеличивается их размер, увеличивается количество хлоропластов в клетках и площадь занимаемой ими поверхности для максимального использования поступающего света [19]. Несмотря на возможность использования ламповой флорой широкого диапазона освещения, существует мнение, что продолжительность периода освещения в большей степени способствует ее общему биоразнообразию и скорости процесса сукцессии [47], хотя связи между

определенными биологическими отделами и длительностью освещения обнаружено не было [13].

Несмотря на то, что свет является лимитирующим фактором распространения фототрофов в пространстве пещеры и влияет на формирование видового состава [29], его наличие – не единственное жизненно важное условие существования ламповой флоры. Другие параметры окружающей среды, от которых зависит колонизация пещер, могут оказываться для организмов стратегически важнее доступа света, поэтому не всегда можно наблюдать зависимость между наиболее освещенными поверхностями и наиболее сильным заселением. Фототрофные сообщества могут отдавать предпочтение поверхностям, покрытым органическим веществом, как внутрипещерного (водные потоки и фильтрационные воды с растворенными органическими и неорганическими веществами [3], пещерные отложения [13], экскременты и трупы пещерной фауны [5]), так и поверхностного, в том числе антропогенного происхождения (ворс, частицы кожи и волос, органические молекулы, детрит различного происхождения [23]).

Концентрация CO₂ в воздухе экскурсионных пещер

Воздушные потоки с поверхности в комплексе с рядом факторов (эмиссия CO₂ из почвенного слоя, трещин и пор породы, разложение органических веществ и другие окислительные процессы, сульфатная редукция, процессы термической диффузии) [48] могут влиять на концентрацию и перераспределение диоксида углерода в пространстве полостей. Наряду с этим свой вклад в изменение газового состава пещер может вносить антропогенное воздействие [49]. Оценка и отслеживание уровня CO₂ не уступает в важности оценке параметров освещенности, влажности и температуры для развития сообществ ламповой флоры [50]. В экскурсионных пещерах концентрация CO₂ сдвигается в сторону ее повышения, которое происходит вследствие дыхания большого числа посетителей внутри пещер [27]. Данный процесс благотворно сказывается на росте автотрофных организмов, которые являются активными поглотителями углерода на протяжении всех сезонов года [51]. Увеличение концентрации углекислого газа в воздухе пещер в том числе может провоцировать деградацию минеральных образований под действием уголекислоты, которая образуется в результате взаимодействия CO₂ и пещерной воды [47].

Биодеградация поверхностей пещер

Ламповая флора в процессе своей жизнедеятельности сильно изменяет структуру и внешний вид поверхностей, на которых обитает [15; 33]. Некоторые авторы отмечали роль актинобактерий в растворении породы и потенциальном отложении спелеотем в результате использования бактериями диоксида углерода воздуха в целях образования CaCO₃ в условиях недостатка влаги [52]. Однако другие авторы связи между биодеградацией

поверхностей и присутствием на них актинобактерий не находили [53]. Другими задокументированными причинами биоразрушения являются выделение микроорганизмами органических кислот, растворяющих породы и спелеотемы [24], и их разрушение внеклеточными полимерными веществами, удерживающими микроорганизмы в биопленке вместе и способствующими ее прикреплению к субстрату, в процессе адсорбции растворенных органических молекул и катионов с поверхности [54].

С эстетической точки зрения происходят изменения естественного цвета породы, в частности спелеотем, которые освещаются чаще других участков за счет большего интереса к ним со стороны туристов. Биопленки придают им различную окраску в зависимости от ее видового состава: сообщества с доминированием цианобактерий и водорослей ответственны за зеленый цвет поверхностей, большое количество диатомовых водорослей и пигменты в клетках грибов и бактерий образуют коричневый налет [13; 55].

Известные способы химической очистки поверхностей от ламповой флоры, пригодные для частичного исправления визуального ущерба, не могут остановить структурные изменения поверхностей, которые протекают в результате эндолитической колонизации – прорастания ламповой флоры в поровые пространства осадочной породы [29; 56]. Процесс биодegradации не завершается даже после отмирания организмов, инкрустированных в субстрат [13]. Более того, после гибели мхов их органическое вещество, разлагаемое под действием кислот, выделяемых ими при жизни, преобразуется в плодородный почвенный слой [24], который, в свою очередь, становится привлекательным источником питательных веществ для других живых организмов [57], как и мертвое органическое вещество биопленок [23; 35].

Сравнение ламповой флоры и фототрофных сообществ входных зон пещер

Сообщества обрастания фотических зон пещер аналогичны ламповой флоре [58] с основным отличием в том, что для своего роста они используют естественный солнечный свет. Во входных зонах континуальное распространение фототрофных сообществ определяется неравномерными градиентами экологических параметров [51] и особенностями микрорельефа поверхности и поэтому мозаично [59]. Градиент освещения обуславливает постепенное снижение разнообразия [60] и смещение состава сообществ обрастаний с преобладанием фототрофов в сторону гетеротрофной составляющей при продвижении в глубь пещеры [55]. Несмотря на то, что входные зоны, в отличие от удаленных от входов участков, подвержены влиянию поверхностной окружающей среды и в них наблюдаются выраженные суточные и сезонные колебания экологических параметров [41], сообщества фотических зон представляют собой сукцессии на конечной стадии развития [42], то есть более стабильные по сравнению с сообществами ламповой флоры [58]. Проводимые микробиологические исследования ламповой флоры и фототрофных

сообществ входных зон показывают, что ламповая флора также уступает в видовом разнообразии сообществам входных зон [11; 13; 41]. Сообщалось о некотором различии видовых составов, что можно объяснить разницей в микроклимате [17; 41]. Во входных зонах часто регистрировалось доминирование цианобактерий, зеленых и диатомовых водорослей в связи с хорошей освещенностью [37; 58; 61], а обилие грибов, в частности аскомицетов и зигомицетов, связывалось с наличием достаточного количества органических веществ [17; 25; 33]. Отмечалось, что входные зоны разных пещер могут поддерживать разные виды в своих сообществах в связи с разницей микроклиматических параметров, часто определяющихся сезонностью [35; 62], размером и морфологией входов [37; 58]. Различие в условиях сред обитания может не только корректировать видовой состав, но и влиять на неорганическое содержимое биопленок, например на содержание неорганических веществ и воды, наибольшее количество которых отмечалось в образцах ламповой флоры и фототрофных обрастаний входных зон соответственно [18].

Экотоны подземных полостей

По своим характеристикам входные зоны пещер являются экотонами – переходными зонами между смежными экосистемами, способными к динамическим изменениям в пространстве и времени и вещественно-энергетическому взаимообмену [51]. Определение входных зон в качестве экотонов является справедливым, так как они соответствуют их признакам, в числе которых ограниченность масштаб, геологические и экологические градиентные условия среды, осуществление контактной и барьерной функции при движении потоков энергии, быстрая реакция на внешние нарушения и динамика изменений [63]. Однако при более широком рассмотрении эти признаки можно соотнести со всей протяженностью пещеры и предполагать, что не только входные зоны пещер, но и пещеры полностью являются экотонами с разницей в характере и силе проявления переходных признаков. Экотоны входных зон сопровождаются изменениями растительного покрова, который отсутствует в глубоких частях пещер [64], и отличаются более высоким энергетическим уровнем и количеством ресурсов соответственно. Ресурсное обилие может стать причиной перемещения организмов из соседних сред обитания и, как результат, высокой концентрации живых организмов и высокого уровня биоразнообразия на территории экотона [41], хотя это не является обязательным правилом. Непосредственно входные зоны пещер скорее будут характеризоваться промежуточным биоразнообразием, так как их территория является смежной для богатой видами поверхностной среды и бедной пещерной. Перемещение живых организмов происходит не хаотично, а под контролем контактной и барьерной функции экотона. Он выступает в качестве мембраны или фильтра, который выборочно пропускает живые организмы, теоретически адаптированные к другим условиям, из поверхностной среды в подземную, и наоборот. Главными различиями между этими средами является

экологическая стабильность и наличие ресурсов – если поверхность характеризуется ресурсным изобилием при нестабильности условий, то подземные среды смогут предоставить своим обитателям стабильное существование при недостатке питательных веществ [41]. Таким образом, пещеры по всей своей протяженности, включая входные зоны [51], могут служить рефугиумами для живых организмов, нашедших укрытие в подземных полостях при ухудшении внешних экологических условий, благодаря своей обособленности от поверхности.

Заключение

Музеефикация пещер влечет за собой ряд последствий для подземных экосистем, в числе которых выделяется биозагрязнение неспецифичными фототрофными видами – ламповой флорой. Развитие фототрофных сообществ под действием искусственного освещения изменяет естественные трофические связи и концентрацию углекислого газа в воздухе пещер, приводит к биодеградации минеральных поверхностей и вторичных отложений и ухудшению их эстетического вида.

Часто ламповая флора представлена био пленками, объединяющими автотрофных и гетеротрофных представителей, что повышает их устойчивость к воздействиям окружающей среды. Обитанию в сложных подземных условиях также способствуют механизмы адаптации фототрофов, в числе которых использование для процесса фотосинтеза ближнего инфракрасного излучения и запасание воды цианобактериями, кальцифицирование внешних оболочек водорослями, изменение вегетативных органов мхами.

Для более полного понимания процесса развития ламповой флоры, от заноса фототрофов в пространства пещер и колонизации ими минеральных поверхностей до создания более-менее устойчивых сообществ, проводятся сравнительные исследования ламповой флоры и сообществ обрастания входных зон пещер. Глубинные участки пещер предлагают более стабильные условия существования, тем не менее фототрофные сообщества фотических зон отличаются большими биоразнообразием и устойчивостью, несмотря на то, что входные зоны, будучи экотонами, подвержены сезонным колебаниям и динамическим изменениям параметров среды [63; 65]. Возможно, по этой причине они остаются менее изученными, нежели удаленные от входа области пещер [62]. Важность исследований входных зон пещер заключается в возможности диагностики возникновения и динамики экологических изменений, определения состояния соседних экосистем и предотвращения их нарушения в независимости от их природного или антропогенного характера [41]. Мониторинг карстовых природных систем особенно актуален для часто посещаемых экскурсионных пещер [66], расположенных на территориях ООПТ, в целях отслеживания состояния экосистем, объектами которых часто являются реликтовые виды живой природы [4].

References / Список литературы

- [1] Silviu C, Mirea IC, Petculescu A, Arghir RA, Măntoiu DS, Kenesz M. Monitoring human impact in show caves. A study of four Romanian caves. *Sustainability*. 2022;13(4):1619. <https://doi.org/10.3390/su13041619>
- [2] Mammola S, Cardoso P, Culver DC, Deharveng L, Ferreira RL, Fišer C. Scientists' warning on the conservation of subterranean ecosystems. *BioScience*. 2019;69(8):641–650. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz064>
- [3] Culver DC, Pipan T. *The biology of caves and other subterranean habitats*. Oxford University Press; 2019.
- [4] Liu R, Zhang Z, Shen J, Wang Z. Bryophyte diversity in karst sinkholes affected by different degrees of human disturbance. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 2019;88(2). <https://doi.org/10.5586/asbp.3620>
- [5] Gunn J, Hardwick P, Wood PJ. The invertebrate community of the Peak–Speedwell cave system, Derbyshire, England—pressures and considerations for conservation management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 2000;10(5):353–369. [https://doi.org/10.1002/1099-0755\(200009/10\)10:5<353::AID-AQC413>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/1099-0755(200009/10)10:5<353::AID-AQC413>3.0.CO;2-S)
- [6] Hubelova D, Maja J, Kozumplikova A, Schrimpelova K, Hornova H, Janal P. Influence of Human Activity on Surface Water Quality in Moravian karst. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2020;29(5):3153–3162. <https://doi.org/10.15244/pjoes/114233>
- [7] Zhelyazkova V, Hubancheva A, Radoslavov G, Toshkova N, Puechmaille SJ. Did you wash your caving suit? Cavers' role in the potential spread of *Pseudogymnoascus destructans*, the causative agent of White-Nose Disease. *International Journal of Speleology*. 2020;49(2):7. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.49.2.2326>
- [8] Feinberg JM, Hobart KK. Attraction in the dark: the magnetism of speleothems. *Elements: An International Magazine of Mineralogy, Geochemistry, and Petrology*. 2021;17(2):113–118. <https://doi.org/10.2138/gselements.17.2.113>
- [9] Jaqueto P, Ricardo I, Trindade F, Feinberg JM, Carmo J, Novello VF, Strikis NM. Magnetic mineralogy of speleothems from tropical-subtropical sites of South America. *Frontiers in Earth Science*. 2021;9:278. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.634482>
- [10] Mulec J, Glažar S. First results on use of a hydrogen peroxide solution in Postojnska Jama (Slovenia) to remove lampenflora. *Proceedings of the 6th ISCA Congress, SNC of Slovak Republic, Slovak Caves Administration*. 2011.
- [11] Burgoyne J, Crepeau R, Jensen J, Smith H, Baker G, Leavitt SD. Lampenflora in a Show Cave in the Great Basin Is Distinct from Communities on Naturally Lit Rock Surfaces in Nearby Wild Caves. *Microorganisms*. 2021;9(6):1188. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9061188>
- [12] Cigna AA. The problem of lampenflora in show caves. *Acta Carsologica Slovaca*. 2012;50(1):5–10.
- [13] Mulec J. Lampenflora. *Encyclopedia of caves*. Academic Press Publ.; 2019.
- [14] Mazina SE, Koncevova AA. Peculiarities of the formation of lampflora in the excursion caves of the Crimea. *Geoecology and nature management: topical issues of science, practice and education*. 2018. p. 205–207. (In Russ.)
Мазина С.Е., Концевова А.А. Особенности формирования ламповой флоры в экскурсионных пещерах Крыма // Геоэкология и природопользование: актуальные вопросы науки, практики и образования. 2018. С. 205–207.
- [15] Havlena Z, Kieft TL, Veni G, Horrocks RD, Jones DS. Lighting effects on the development and diversity of photosynthetic biofilm communities in Carlsbad Cavern, New Mexico. *Applied and Environmental Microbiology*. 2021;87(6):e02695-20. <https://doi.org/10.1128/AEM.02695-20>

- [16] Czerwik-Marcinkowska J. Observations on aerophytic cyanobacteria and algae from ten caves in the Ojców National Park. *Acta Agrobotanica*. 2013;66(1):39–51.
- [17] Mazina SE, Kozlova EV. Lampenflora of Lipska Cave, Montenegro. *Journal of Cave and Karst Science*. 2018;45(3):128–132.
- [18] Nikolić N, Zarubica N, Gavrilović B, Predojević D, Trbojević I, Simić GS. Lampenflora and the entrance biofilm in two show caves: Comparison of microbial community, environmental, and biofilm parameters. *Journal of Cave and Karst Studies*. 2020;82(2):69–81. <https://doi.org/10.4311/2018EX0124>
- [19] Mulec J, Vaupotič J, Walochnik J. Prokaryotic and eukaryotic airborne microorganisms as tracers of microclimatic changes in the underground (Postojna Cave, Slovenia). *Microbial ecology*. 2012;64(3):654–667. <https://doi.org/10.1007/s00248-012-0059-1>
- [20] Šebela S, Baker G, Luke B. Cave Temperature and Management Implications in Lehman Caves, Great Basin National Park, USA. *Geoheritage*. 2019;11(3):1163–1175. <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00367-0>
- [21] Bruno L, Valle V. Effect of white and monochromatic lights on cyanobacteria and biofilms from Roman Catacombs. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2017;123:286–295. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.07.013>
- [22] Trinh DA, Trinh QH, Tran N, Guinea JG, Matthey D. Eco-friendly remediation of lampenflora on speleothems in tropical karst caves. *Journal of Cave & Karst Studies*. 2018;80(1):1–12. <https://doi.org/10.4311/2017ES0101>
- [23] Estevez CB, Merino LM, Almudena de la Losa Román, Durán-Valsero JJ. The lampenflora in show caves and its treatment: an emerging ecological problem. *International Journal of Speleology*. 2019;48(3):249–277. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.48.3.2263>
- [24] Cao W, Xiong Y, Zhao D, Tan H, Qu J. Bryophytes and the symbiotic microorganisms, the pioneers of vegetation restoration in karst rocky desertification areas in southwestern China. *Applied microbiology and biotechnology*. 2020;104(2):873–891. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10235-0>
- [25] Wasti IG, Anwarali-Khan FA, Bernard H, Hassan NH, Fayle T, Sathiya-Seelan JS. Fungal communities in bat guano, speleothem surfaces, and cavern water in Madai cave, Northern Borneo (Malaysia). *Mycology*. 2021;12(3):188–202. <https://doi.org/10.1080/21501203.2021.1877204>
- [26] Popkova AV, Mazina SE. Microbiota of Otap Head Cave. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2019;75(3):71–82. <https://doi.org/10.5755/j01.erem.75.3.21106>
- [27] Grobbelaar JU. Lithophytic algae: A major threat to the karst formation of show caves. *Journal of Applied Phycology*. 2000;12(3–5):309–315. <https://doi.org/10.1023/A:1008172227611>
- [28] Büdel B, Bendix J, Bicker FR, Allan Green TG. Dewfall as a water source frequently activates the endolithic cyanobacterial communities in the granites of Taylor Valley, Antarctica 1. *Journal of Phycology*. 2008;44(6):1415–1424. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2008.00608.x>
- [29] Albertano P. Cyanobacterial biofilms in monuments and caves. *Ecology of cyanobacteria II*. Springer, Dordrecht; 2012. https://doi.org/10.1007/978-94-007-3855-3_11
- [30] Piano E, Nicolosi G, Isaia M. Modulating lighting regime favours a sustainable use of show caves: A case study in NW-Italy. *Journal for Nature Conservation*. 2021:126075. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.126075>
- [31] Jurado V, Rosal Y, Gonzalez-Pimentel JL, Hermosin B, Saiz-Jimenez C. Biological control of phototrophic biofilms in a show cave: The case of Nerja Cave. *Applied Sciences*. 2020;10(10):3448. <https://doi.org/10.3390/app10103448>

- [32] Turrini P, Tescari M, Visaggio D, Pirolo M, Lugli GA, Ventura M. The microbial community of a biofilm lining the wall of a pristine cave in Western New Guinea. *Microbiological Research*. 2020;241:126584. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126584>
- [33] Dominguez-Moñino I, Jurado V, Rogerio-Candelera MA, Hermosin B, Saiz-Jimenez C. Airborne fungi in show caves from Southern Spain. *Applied Sciences*. 2021;11(11):5027. <https://doi.org/10.3390/app11115027>
- [34] Vanderwolf KJ, McAlpine DF. Hibernacula microclimate and declines in overwintering bats during an outbreak of white-nose syndrome near the northern range limit of infection in North America. *Ecology and Evolution*. 2021;11(5):2273–2288. <https://doi.org/10.1002/ece3.7195>
- [35] Jurado V, Rosal YD, Liñan C, Martin-Pozas T, Gonzalez-Pimentel JL, Saiz-Jimenez C. Diversity and seasonal dynamics of airborne fungi in Nerja Cave, Spain. *Applied Sciences*. 2021;11(13):6236. <https://doi.org/10.3390/app11136236>
- [36] Simon KS, Benfield FE. Leaf and wood breakdown in cave streams. *Journal of the North American Benthological Society*. 2001;20(4):550–563. <https://doi.org/10.2307/1468087>
- [37] Popović SS, Petrović KM, Trnavac-Bogdanović DS, Milošević DL, Graovac AD, Trbojević IS. Cyanobacteria and algae from biofilm at the entrance zone of Petnica Cave. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*. 2021;(140):71–84. <https://doi.org/10.2298/ZMSPN2140071P>
- [38] Lamprinou V, Danielidis DB, Economou-Amilli A, Pantazidou A. Distribution survey of Cyanobacteria in three Greek caves of Peloponnese. *International Journal of Speleology*. 2012;41(2):267–272. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.41.2.12>
- [39] Keshari N, Adhikary SP. Characterization of cyanobacteria isolated from biofilms on stone monuments at Santiniketan, India. *Biofouling*. 2013;29(5):525–536. <https://doi.org/10.1080/08927014.2013.794224>
- [40] Mammola S, Isaia M. Day–night and seasonal variations of a subterranean invertebrate community in the twilight zone. *Subterranean Biology*. 2018;27:31–51. <https://doi.org/10.3897/subtbiol.27.28909>
- [41] Prous X, Ferreira RL, Jacobi CM. The entrance as a complex ecotone in a Neotropical cave. *International Journal of Speleology*. 2015;44(2):177–189. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.44.2.7>
- [42] Alaoui-Sosse B, Ozaki S, Barriquand L, Luca DD, Cennamo P, Vallot B. Does Microbial Diversity of Cave Ecosystems Differ from Outside? The Case of the Azé Show Cave (France). 2021. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-471958/v1>
- [43] Roldán M, Hernández-Mariné M. Exploring the secrets of the three-dimensional architecture of phototrophic biofilms in caves. *International Journal of Speleology*. 2009;38(1):41–53. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.38.1.5>
- [44] Behrendt L, Trampe EL, Nord NB, Nguyen J, Kühl M, Lonco D. Life in the dark: far-red absorbing cyanobacteria extend photic zones deep into terrestrial caves. *Environmental microbiology*. 2020;22(3):952–963. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14774>
- [45] Abdullin ShR, Bagmet VB. Мyxотрофия цианобактерий и водорослей в условиях пещер // Журнал общей биологии. 2016. Т. 77. № 1. С. 54–62. *Абдуллин Ш.Р., Багмет В.Б. Миксотрофия цианобактерий и водорослей в условиях пещер // Журнал общей биологии. 2016. Т. 77. № 1. С. 54–62.*
- [46] Mulec J, Kosi G. Lampenflora algae and methods of growth control. *Journal of cave and karst studies*. 2009;71(2):109–115.
- [47] Borderie F, Tête N, Cailhol D, Alaoui-Sehmer L, Faisal Boustia, Dominique Rieffel. Factors driving epilithic algal colonization in show caves and new insights into

- combating biofilm development with UV-C treatments. *Science of the Total Environment*. 2014;484:43–52. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.043>
- [48] Benavente J, Vadillo I, Carrasco F, Soler A, Liñán C, Moral F. Air carbon dioxide contents in the vadose zone of a Mediterranean karst. *Vadose Zone Journal*. 2010;9(1):126–136. <https://doi.org/10.2136/vzj2009.0027>
- [49] Novas N, Gazquez JA, MacLennan JA, García RM, Fernández-Ros M, Manzano-Agugliario F. A real-time underground environment monitoring system for sustainable tourism of caves. *Journal of Cleaner Production*. 2017;142(4):2707–2721. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.005>
- [50] Guirado E, Ramos-López D, Maldonado AD, Moreno-Balcazar JJ, Calaforra J. Modeling carbon dioxide for show cave conservation. *Journal for nature conservation*. 2019;49:76–84. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.03.002>
- [51] Mazina SE, Popkova AV. Distribution of photosynthetic species in grotto type caves of different regions. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(3):275–284.
- [52] Maciejewska M, Adam D, Naômé A, Martinet L, Tenconi E, Całusińska M. Assessment of the potential role of *Streptomyces* in cave moonmilk formation. *Frontiers in microbiology*. 2017;8:1181. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01181>
- [53] Wiseschart A, Mhuantong W, Tangphatsornruang S, Chantasingh D, Pootanakit K. Shotgun metagenomic sequencing from Manao-Pee cave, Thailand, reveals insight into the microbial community structure and its metabolic potential. *BMC microbiology*. 2019;19(1–14) <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1521-8>
- [54] Albertano P, Moscone D, Palleschi G, Hermosin B, Saiz-Jimenez C, Sanchez-Moral S. Cyanobacteria attack rocks (CATS): control and preventive strategies to avoid damage caused by cyanobacteria and associated microorganisms in Roman hypogean monuments. *Molecular biology and cultural heritage*. 2003.
- [55] De Luca D, Caputo P, Perfetto T, Cennamo P. Characterisation of Environmental Biofilms Colonising Wall Paintings of the Fornelle Cave in the Archaeological Site of Cales. *International journal of environmental research and public health*. 2021;18(15):8048. <https://doi.org/10.3390/ijerph18158048>
- [56] Slađana P, Nataša N, Dragana P, Olga J, Tonči R, Ana A. Endolithic phototrophs: Examples from cave-like environments. *Kragujevac Journal of Science*. 2021;(43):123–137. <https://doi.org/10.5937/KgJSci2143123P>
- [57] Xu C, Zhao L, Du W, Zhang S, Wu Y, Zhou F. Food sources and trophic levels of terrestrial cave fauna in Yuping Town, Libo County, Guizhou Province. *Biodiversity Science*. 2021;29(8):1108–1119. <https://doi.org/10.17520/biods.2021086>
- [58] Kozlova EV, Mazina SE, Vladimir Pešić. Biodiversity of phototrophs in illuminated entrance zones of seven caves in Montenegro. *Ecologica Montenegrina*. 2019;20:24–39. <https://doi.org/10.37828/em.2019.20.3>
- [59] Kozlova EV, Mazina SE. Mosaicity of photic zones' phytocenoses on the example of caves of Montenegro. *Problems of Regional Ecology*. 2020;(1):27–33. (In Russ.)
- [60] Ren H, Wang F, Ye W, Zhang Q, Han T, Huang Y. Bryophyte diversity is related to vascular plant diversity and microhabitat under disturbance in karst caves. *Ecological Indicators*. 2021;120:106947. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106947>
- [61] Hajong P, Wanlambok Sanglyne M, Dirborne CM, Koch U, Ramanujam P. Diversity and distribution of algae in cave ecosystems of Meghalaya: An overview. *International Journal of Botany Studies*. 2021;6(2):589–596
- [62] Popović S, Krizmanić J, Vidaković D, Jakovljević O, Trbojević I, Predojević D. Seasonal dynamics of cyanobacteria and algae in biofilm from the entrance of two caves. *Geomicrobiology Journal*. 2020;37(4):315–326. <https://doi.org/10.1080/01490451.2019.1700322>

- [63] Andreeva VL, Kovalevskaya OM. Analytical review of the history of ecotone studies. *Bulletin of Berdyansk State Pedagogical University Series*. 2017;3(1):46–53. (In Russ.) Андреева В.Л., Ковалевская О.М. Аналитический обзор истории изучения экотон-ов // Весці БДПУ. Серыя. 2017. Т. 3. № 1. С. 46–53.
- [64] Moseley M. Are all caves ecotones. *Cave and karst science*. 2009;36 (2):53–58.
- [65] Smith AJ, Goetz EM. Climate change drives increased directional movement of landscape ecotones. *Landscape Ecology*. 2021;(36):3105–3116. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01314-7>
- [66] Li Y, Li M, Ding Z. Study on methodology of assessing synergy between conservation and development of karst protected area in the case of the Dichong Bridge Scenic Area of Jiuxiang Gorge Cave Geopark, Yunnan, China. *Environment, Development and Sustainability*. 2022;(24):5867–5886. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01688-3>

Сведения об авторах:

Пичугина Елизавета Константиновна – аспирант департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции Института экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: pichugina94@inbox.ru

Мазина Светлана Евгеньевна – доцент департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции Института экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; старший научный сотрудник химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 3, ГСП-1, МГУ, химический факультет; старший научный сотрудник Федерального государственного унитарного предприятия Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства, Российская Федерация, 123182, Москва, ул. Щукинская, д. 40; доцент кафедры земледелия и растениеводства, Российский государственный аграрный заочный университет, Российская Федерация, 143907, Московская область, г. Балашиха, ул. Шоссе Энтузиастов, д. 50; старший научный сотрудник, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный университет по землеустройству», Российская Федерация, 105064, Москва, ул. Казакова, д. 15. E-mail: conophytum@mail.ru

Bio notes:

Elizaveta K. Pichugina, postgraduate student of Department of Environmental Safety and Product Quality Management of RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: pichugina94@inbox.ru

Svetlana E. Mazina – Associate Professor of Department of Environmental Safety and Product Quality Management of RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; Senior Researcher at the Department of Chemistry, Lomonosov Moscow State University, 1, build. 3, Leninskie Gory, GSP-1, Moscow State University, Faculty of Chemistry, Moscow, 119991, Russian Federation; Senior Researcher at the Federal State Unitary Enterprise Research and Technical Center or Radiation-Chemical Safety and Hygiene, 40 Schukinskaya St, Moscow, 123182, Russian Federation; Associate Professor in the Department of Agriculture and Crop Production at the Russian State Agrarian Correspondence University; 50 Shosse Entuziastov St, Balashikha, Moscow region, 143907, Russian Federation; Senior Researcher, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “State University of Land Use Planning”, 15 Kazakov St, Moscow, 105064, Russian Federation. E-mail: conophytum@mail.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-266-279

УДК 574

Научная статья / Research article

Антропогенное влияние на талдыкольскую систему озер в городе Нур-Султан

Л.Х. Акбаева¹, А.Б. Мельдешова¹, Е.Ж. Макажанов²

*Евразийский национальный университет имени Льва Николаевича Гумилева,
Нур-Султан, Казахстан*

*Неправительственный экологический фонд имени В.И. Вернадского
в Республике Казахстан, Нур-Султан, Казахстан*

akbaeva659@mail.ru

Аннотация. Изучена гидрохимия Талдыкольской системы озер, состоящей из озер Большой и Малый Талдыколь, в городе Нур-Султан. Цель исследования – оценка антропогенного влияния на экосистему степных водно-болотных угодий, расположенных в центре развивающейся столицы. Отбор проб был проведен с 8 участков озерной системы осенью 2020 года. Результаты гидрохимического анализа проб воды позволили оценить уровень химической загрязненности и антропогенное влияние на экосистему, которому, в связи со стремительной урбанизацией, озера подвергаются на протяжении десятков лет. На данный момент вследствие искусственной фрагментации озер нарушено поверхностное сообщение между участками, о чем свидетельствует разный состав поллютантов в водоемах. Тем не менее для составления полной картины и оценки антропогенного влияния на озерную экосистему Талдыколь необходимо рассматривать результаты комплексного исследования озер, включающего ряд дополнительных работ.

Ключевые слова: экосистема, водно-болотные угодья, урбанизация, озеро Талдыколь, гидрохимия, загрязнение воды

Благодарности и финансирование: Работа профинансирована и выполнена в рамках общественной экологической экспертизы по оценке состояния Талдыкольской системы озер при содействии учреждения неправительственная организация «Экосервис».

Вклад авторов: Л.Х. Акбаева – руководитель работы, анализ результатов, автор текста статьи; А.Б. Мельдешова – полевые работы, отбор проб, выполнение анализов; Е.Ж. Макажанов – полевые работы, пробоотбор, анализ результатов

© Акбаева Л.Х., Мельдешова А.Б., Макажанов Е.Ж., 2022



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 01.03.2022; принята к публикации 22.05.2022.

Для цитирования: Акбаева Л.Х., Мельдешова А.Б., Макажанов Е.Ж. Антропогенное влияние на талдыкольскую систему озер в городе Нур-Султан // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 266–279. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-266-279>

Anthropogenic impact on the Taldykol lake system in the city of Nur-Sultan

Lyailya Kh. Akbaeva¹  , Assem B. Meldeshova¹ , Yerlan Zh. Makazhanov² 

*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan
Public Foundation “V.I. Vernadsky Non-Governmental Ecological Foundation
in the Republic of Kazakhstan”, Nur-Sultan, Kazakhstan
akbaeva659@mail.ru*

Abstract. The article describes study of the hydrochemistry of Taldykol lake system, consisting of the Big and Small Taldykol lakes, in the city of Nur-Sultan. The aim of the work is to assess the anthropogenic impact on the ecosystem of steppe wetlands located in the center of the developing capital. Sampling was carried out from 8 sites of the lake system in autumn 2020. The results of hydrochemical analysis of water samples made it possible to assess the level of chemical pollution and anthropogenic impact on the ecosystem, which, due to rapid urbanization, the lakes have been exposed to for decades. Now, due to the artificial fragmentation of lakes, the surface communication between the sites is disrupted, as evidenced by the different composition of pollutants in water bodies. Nevertheless, to draw up a complete picture and assess the anthropogenic impact on the Taldykol lake ecosystem, it is necessary to consider the results of a comprehensive study of lakes, which includes a number of additional works.

Keywords: ecosystem, wetlands, urbanization, lake Taldykol, hydrochemistry, water pollution

Acknowledgements and Funding: The study was funded and carried out as part of a public environmental review to assess the state of Taldykol lake system with the assistance of the NGO Ecoservice

Authors' contributions: *L.Kh. Akbaeva* – leader of the work, analysis of the results, author of the text of the article; *A.B. Meldeshova* – field work, sampling, analysis; *Y.Zh. Makazhanov* – field work, sampling, analysis of results.

Article history: received 01.03.2022; accepted 22.05.2022.

For citation: Akbaeva LKh, Meldeshova AB, Makazhanov YZh. Anthropogenic impact on the Taldykol lake system in the city of Nur-Sultan. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):266–279. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-266-279>

Введение

Талдыкольская система озер объединяет озера Малый и Большой Талдыколь, расположенные в юго-западной части столицы Казахстана. Эти природные водоемы относятся к категории водно-болотных угодий, которые

в соответствии с Рамсарской конвенцией должны находиться под особой защитой и управляться согласно принципам разумного и рационального использования природных ресурсов [1]. Система озер Талдыколь находится на пути естественной миграции десятков видов перелетных водоплавающих птиц, и сложившиеся здесь условия сформировали для птиц благоприятную среду для питания, гнездования и выведения птенцов, образовав уникальную для столицы природную экосистему [2]. На протяжении последних 50 лет озера Талдыкольской системы подвергались воздействию ряда различных антропогенных факторов: Большой Талдыколь использовали в качестве накопителя сточных вод, на водоемах производили сброс и забор воды, устраивали несанкционированные свалки, через озера провели дороги, в результате чего они оказались фрагментированы, а в настоящее время на территории Малого Талдыколя ведется масштабная застройка и засыпка. Подобные воздействия повлияли на всю экосистему озер и нанесли определенный ущерб – строительство дорог и проведенные работы по водопонижению озер привели к фрагментации озера Малый Талдыколь на 7 отдельных водоемов, частичной деградации и сокращению водосообщения между частями озер [3; 4].

В рамках проведенной работы была исследована гидрохимия воды озер Малый и Большой Талдыколь с целью анализа полученных результатов для оценки антропогенного воздействия на систему озер [4].

Материалы и методы исследования

Гидрохимическое исследование было проведено осенью 2020 г. Отбор проб проводили 15 октября 2020 г., в соответствии с Санитарными правилами «Санитарно-эпидемиологические требования к водоисточникам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов», утвержденными приказом МНЭ РК от 16.03.15 № 209, а также СТ РК ГОСТ 51592–03 Вода. Общие требования к отбору проб.

Были соблюдены условия хранения (термосумки) и транспортировки – автотранспорт. Условия проведения испытаний: температура 21 °С, влажность 42 %.

Для проведения анализа на гидрохимию были выбраны показатели, представленные в табл. 1. Исследования проводились в санитарно-гигиенической лаборатории Национального центра Экспертизы КККБТУ МЗ РК.

Пробы отбирались на каждом участке по принципу конверта (пять проб) и смешивались в один образец. Участки отбора проб указаны на карте (рис. 1).

Первый и второй участки (на карте № 1 и № 2) отбора проб воды находятся в Большом Талдыколе – бывшем накопителе сточных вод. Участок № 3 расположен в районе жилых домов между улицами Кайыма Мухамедханова и улицей Е-10. Участок № 4 расположен южнее улицы Е-10 слева. Участок № 5 – южнее улицы Е-10 справа. Улица Е-22 отделила соответственно участки № 6 (слева) и № 7 (справа). Участки № 8 и № 9 отделены южнее

улицей – продолжением проспекта Улы Дала. Участок № 4, отмеченный на карте на момент взятия пробы, практически высох, воду с этого участка собрать не удалось.

Таблица 1

**Перечень гидрохимических показателей
для исследования проб воды озер Талдыколь**

Наименование показателей		Нормативные документы, методы исследования
Запах. Интенсивность в баллах		МСТ 3351–74 (ГОСТ)
Цветность в градусах		МСТ 31868–2012 (ГОСТ)
Прозрачность		Лурье Ю. Ю. Унифицированные методы анализа вод
Муть, осадок (описать)		визуальный
Плавающие примеси, пленка мг/дм ³		Лурье Ю. Ю. Унифицированные методы анализа вод
Цвет (описать)		визуальный
Водородный показатель (рН)		МСТ 26449.1–85 (ГОСТ)
Окисляемость мгО ₂ /дм ³		МСТ 26449.1–85(ГОСТ)
Щелочность, мг/-эquiv/дм ³		МСТ 26449.1–85 (ГОСТ)
Общая жесткость мг/-эquiv/дм ³		МСТ 31954–2012 (ГОСТ)
Сухой остаток, мг/дм ³		МСТ 26449.1–85 (ГОСТ)
Кальций, мг/дм ³		МСТ 26449.1–85 (ГОСТ)
Магний, мг/дм ³		МСТ 26449.1–85 (ГОСТ)
Калий, натрий, мг/дм ³		расчетный
Хлориды, мг/дм ³		МСТ 26449.1–85 (ГОСТ)
Сульфаты, мг/дм ³		МСТ 31940–2013 (ГОСТ)
Азот	Аммиак, мг/дм ³	МСТ 33045–2014 (ГОСТ)
	Нитриты, мг/дм ³	МСТ 33045–2014 (ГОСТ)
	Нитраты, мг/дм ³	МСТ 33045–2014 (ГОСТ)
Медь, мг/дм ³		МСТ 26449.1–85 (ГОСТ)
Железо, мг/дм ³		МСТ 26449.1–85 (ГОСТ)
Свинец, мг/дм ³		ГОСТ 31870-2012
Мышьяк, мг/дм ³		ГОСТ 31870-2012
Кадмий, мг/дм ³		ГОСТ 31870-2012
Цинк, мг/дм ³		ГОСТ 31870-2012
Кобальт, мг/дм ³		ГОСТ 31870-2012
Никель, мг/дм ³		ГОСТ 31870-2012
Селен, мг/дм ³		ГОСТ 31870-2012
АПВ, мг/дм ³		МСТ 31857–2012 (ГОСТ)
Полифосфаты, мг/дм ³		МСТ 18309–2014 (ГОСТ)
Марганец, мг/дм ³		МСТ 4974–2014 (ГОСТ)
Нефтепродукты, мг/дм ³		ПНД.Ф 14.1:2:4.128-98 (KZ 07.00.01667–2017)
Взвешенные вещества, мг/дм ³		МСТ 26449.1–85 (ГОСТ)
Растворенный кислород, мг/дм ³		KZ 07.00.01228-2015 (РД 52.24.419–2005)
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³		СТ РК ИСО5815-2–2010 ҚР СТ ИСО5815-2-2010
ХПК, мгО ₂ /дм ³		ПНД.Ф 14.1:2:4.190-2003 (KZ 07.00.01689–2013)
Бор, (В), мг/дм ³		МСТ 5121-2003ҰСТ РК ГОСТ РК
Молибден, мг/дм ³		МСТ 18308-72 (ГОСТ)

Расчет Индекса загрязнения воды. Для контролируемых водных объектов области рассчитывался индекс загрязненности вод (ИЗВ), применяемый для оценки их качества. В расчет ИЗВ входят показатели уровня кислородного режима водоема и биологическое потребление кислорода, кратность превышения по сульфатам, относящимся к разряду главных ионов,

определяющих химический состав вод, также в расчет ИЗВ входят тяжелые металлы, относящиеся к разряду загрязняющих (марганец, медь, цинк):

$$\text{ИЗВ} = \sum(C_{1-6}/\text{ПДК}_{1-6})/6,$$

где $C/\text{ПДК}$ – относительная (нормированная) среднегодовая концентрация; 6 – строго лимитируемое количество показателей (ингредиентов, берущихся для расчета и имеющих наибольшие относительные среднегодовые концентрации ИЗВ), позволяет устанавливать степень загрязнения воды по семи классам (табл. 2).

Table 1

List of hydrochemical indicators for the study
of water samples from Taldykol lakes

The name of indicators		Regulatory documents, research methods
Smell. Intensity in points		GOST 3351-74
Water colour		GOST 31868-2012
Transparency		Lurie. Unified methods for water analysis
Turbidity, sediment (description)		Visual
Floating impurities, film, mg/dm ³		Lurie. Unified methods for water analysis
Colour (description)		Visual
Hydrogen indicator (pH)		GOST 26449.1-85
Oxidability, mgO ₂ /dm ³		GOST 26449.1-85
Alkalinity, mg/-eq/dm ³		GOST 26449.1-85
Overall rigidity, mg/-eq/dm ³		GOST 31954-2012
Dry residue, mg/dm ³		GOST 26449.1-85
Calcium, mg/dm ³		GOST 26449.1-85
Magnesium, mg/dm ³		GOST 26449.1-85
Potassium, sodium, mg/dm ³		Estimated
Chlorides, mg/dm ³		GOST 26449.1-85
Sulfates, mg/dm ³		GOST 31940-2013
Nitrogen	Аммиак, mg/dm ³	GOST 33045-2014
	Nitrites, mg/dm ³	GOST 33045-2014
	Nitrates, mg/dm ³	GOST 33045-2014
Cuprum, mg/dm ³		GOST 26449.1-85
Ferrum, mg/dm ³		GOST 26449.1-85
Lead, mg/dm ³		GOST 31870-2012
Arsenic, mg/dm ³		GOST 31870-2012
Cadmium, mg/dm ³		GOST 31870-2012
Zinc, mg/dm ³		GOST 31870-2012
Cobalt, mg/dm ³		GOST 31870-2012
Nickel, mg/dm ³		GOST 31870-2012
Selenium, mg/dm ³		GOST 31870-2012
AS, mg/dm ³		GOST 31857-2012
Polyphosphates, mg/dm ³		GOST 18309-2014
Manganese, mg/dm ³		GOST 4974-2014
Oil products, mg/dm		PND.F 14.1:2:4.128-98 (KZ 07.00.01667–2017)
Suspended solids, mg/dm ³		GOST 26449.1-85
Dissolved oxygen, mg/dm ³		KZ 07.00.01228-2015 (RD 52.24.419–2005)
BOD ₅ , mgO ₂ /dm ³		ST ISO5815-2-2010
COD, mgO ₂ /dm ³		PND.F 14.1:2:4.190-2003 (KZ 07.00.01689–2013)
Bohr (B), mg/dm ³		GOST 5121-2003
Molybdenum, mg/dm ³		GOST 18308-72



Рис. 1. Точки отбора проб для анализов воды водоемов системы озер Талдыколь /
Figure 1. Sampling points for water analysis of reservoirs of the Taldykol wetlands

Таблица 2

Классы качества вод в зависимости от значения индекса загрязнения воды

Воды	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Очень чистые	до 0,2	I
Чистые	0,2–1,0	II
Умеренно загрязненные	1,0–2,0	III
Загрязненные	2,0–4,0	IV
Грязные	4,0–6,0	V
Очень грязные	6,0–10,0	VI
Чрезвычайно грязные	> 10,0	VII

Table 2

Water quality classes depending on the value of the water pollution index

Water	WPI values	Water quality classes
Very clean	< 0.2	I
Pure	0.2–1.0	II
Moderately polluted	1.0–2.0	III
Polluted	2.0–4.0	IV
Dirty	4.0–6.0	V
Very dirty	6.0–10.0	VI
Extremely dirty	> 10.0	VII

Результаты и обсуждение

Участок № 1

Находится в северной половине большого Талдыколя – бывшем накопителе сточных вод.

По результатам анализов, в воде запах незначительный речной – 1 балл, цветность воды оценивается в 31°. В пробе присутствует незначительный хлопьевидный черный осадок. Общий цвет воды желтый – обнаруживается в

столбике воды 10 см. Водородный показатель (рН) в норме – 8,37. Окисляемость 19,2 мг О₂/дм³, щелочность 2,95 мг-экв/дм³, общая жесткость 26,25 мг-экв/дм³.

Сухой остаток составил 2545,99, что является превышением ПДК в 2,5 раза. Выше нормы кальций 290,58 мг/дм³ (1,6ПДК), магний 142,88 мг/дм³ (3,6ПДК), калий+натрий 402 мг/дм³ (2 ПДК), хлориды 1023 мг/дм³ (2,92 ПДК), общая жесткость 26,25 мг/дм³ (3,8 ПДК). Сульфаты в верхней границе нормы – 507,58 мг/дм³. Азот, медь, АПАВ, полифосфаты, нефтепродукты, растворенный кислород, БПК₅, бор, молибден не превышают уровни ПДК.

Наблюдается превышение норм по железу – 1,63 мг/дм³ (5,43ПДК), марганцу – 0,29 мг/дм³ (2,9 ПДК), ХПК – 61,3 мгО₂/дм³ (2,04ПДК для 2-й категории).

ИЗВ на участке № 1 составляет 1,39, что соответствует III классу качества вод – умеренно загрязненные.

Участок № 2

Данным участком обозначена южная половина большого Талдыколя.

По результатам анализов в воде запах незначительный речной – 1 балл, цветность воды оценивается в 30°, прозрачность – 15,8. В пробе присутствует незначительный хлопьевидный осадок. Общий цвет воды желтый – обнаруживается в столбике воды 10 см. Водородный показатель (рН) в пределах нормы – 8,41. Окисляемость 20,96 мгО₂/дм³, щелочность 3,75 мг-экв/дм³, общая жесткость 27,5 мг-экв/дм³.

Сухой остаток составил 2501,75 мг/дм³, что является превышением ПДК в 2,5 раза. Кальций составил 310,62 мг/дм³ (1,7 ПДК), магний – 145,92 мг/дм³ (3,6 ПДК), калий + натрий 349,25 мг/дм³ (1,7 ПДК), хлориды присутствуют в избытке – 976,5 мг/дм³ (2,79 ПДК). Сульфаты в верхней границе нормы – 490,67 мг/дм³. Азот в целом (аммиак, нитриты, нитраты) не превышает ПДК. Также не превышают нормативные уровни медь, АПАВ, полифосфаты, нефтепродукты, растворенный кислород, БПК₅, бор, молибден. Общая жесткость 27,5 мг/дм³ (3,8 ПДК).

Наблюдается превышение норм по железу – 0,46 мг/дм³ (1,5 ПДК), марганцу – 0,38 мг/дм³ (3,8 ПДК), ХПК – 58,4 мг О₂/дм³ (1,9 ПДК для 2-й категории).

ИЗВ на участке № 2 составляет 1,25, что соответствует III классу качества вод – умеренно загрязненные.

Участок № 3

Является самым северным участком Малого Талдыколя, расположен в районе жилых домов улиц Кайыма Мухамедханова и Е-10.

Запах оценивается как речной – 1 балл, цветность воды – 26°, в пробе присутствует незначительный хлопьевидный осадок. Плавающих примесей, пленки нет. Общий цвет воды светло-желтый – обнаруживается в столбике

воды 10 см. Водородный показатель (рН) – 8,92. Окисляемость 25,6 мгО₂/дм³, щелочность 4,3 мг-экв/дм³, общая жесткость 115,0 мг-экв/дм³ (16,4 ПДК).

Сухой остаток составил 12 802,0, что является превышением ПДК в 12,8 раза. В избытке присутствуют: кальций – 448,9 мг/дм³ (2,5 ПДК), магний – 650,2 мг/дм³ (16,3 ПДК), калий и натрий – 5897,6 мг/дм³ (29,5 ПДК), цинк – 5 (55,55 ПДК), хлориды – 4704,0 мг/дм³ (13,44 ПДК), сульфаты – 3577,0 мг/дм³ (7,15 ПДК), свинец – 0,224 (7,5 ПДК), марганец – 1,650 мг/дм³ (16,5 ПДК). Азот в целом (аммиак, нитриты, нитраты) не превышает ПДК. Также не превышают нормативные уровни медь, железо, АПАВ, полифосфаты, нефтепродукты, БПК₅, бор, молибден.

Наблюдается превышение норм по ХПК – 82,3 мгО₂/дм³ (2,74 ПДК для 2-й категории). Показатель взвешенных частиц значительно превышает норму – 130,7 мг/дм³.

ИЗВ на участке № 3 составляет 4,29, что соответствует V классу качества вод – грязные.

Участок № 5

Расположен южнее улицы Е-10, с правой стороны.

По результатам анализов в воде запах речной – 2 балла, при норме не более 2 баллов. Цветность воды оценивается в 29°. Прозрачность – 15,7. В пробе присутствует незначительный песчаный осадок. Плавающие примеси, пленка отсутствуют. Общий цвет воды светло-желтый – обнаруживается в столбике воды 10 см. Водородный показатель (рН) – 8,72, что указывает на слабощелочную среду. Окисляемость высокая – 78,4 мгО₂/дм³, щелочность – 2,3, общая жесткость 165,0 мг-экв/дм³ (23 ПДК).

Сухой остаток составил 23 091,0, значительно превышая норму, в 23 раза. Превышают норму: кальций – 714,6 мг/дм³ (3,97 ПДК), магний – 1356 мг/дм³ (33,9 ПДК), калий и натрий – 7956,8 мг/дм³ (39,78 ПДК). Также в избытке содержатся хлориды – 7595,0 мг/дм³ (21,7 ПДК), сульфаты – 7509,0 мг/дм³ (15 ПДК), свинец – 0,083 (2,8 ПДК), марганец – 1,283 мг/дм³ (12,83 ПДК) и нефтепродукты – 0,18 мг/дм³ (1,8 ПДК).

Показатели азота в пределах нормы. Также не превышают нормативные уровни медь, железо, цинк, АПАВ, полифосфаты, растворенный кислород, БПК₅, бор, молибден.

Наблюдается превышение нормы ХПК – 125,9 мгО₂/дм³ (24,2 ПДК). Показатель взвешенных веществ также превышает норму – 27,0 мг/дм³ при норме не более 0,75 мг/дм³.

ИЗВ на участке № 5 составляет 5,07, что соответствует V классу качества вод – грязные.

Участок № 6

Находится южнее улицы Е-22.

Запах воды речной – 2 балла. Цветность воды составляет 26°, прозрачность – 17,6. В пробе присутствует незначительный песчаный осадок.

Плавающие примеси, пленка отсутствуют. Общий цвет воды светло-желтый – обнаруживается в столбике воды 10 см. Водородный показатель – 8,02. Окисляемость 8,64 мгО₂/дм³, щелочность 3,3 мг-экв/дм³, общая жесткость 49,8 мг-экв/дм³.

Сухой остаток составил 5183,0 мг/дм³, что превышает норму (5,2 ПДК). В избытке содержатся кальций – 275,55 мг/дм³ (1,5 ПДК), магний – 321,4 мг/дм³ (8 ПДК), а также в совокупности калий и натрий – 1422 мг/дм³ (7,11 ПДК). Хлориды составляют 2069,0 мг/дм³, превышают норму в 5,9 раза. Также превышают нормативные уровни сульфаты – 1392,62 мг/дм³ (2,8 ПДК), свинец – 0,226 (7,5 ПДК), марганец – 0,153 мг/дм³ (1,5 ПДК), БПК₅ – 7,2 мгО₂/дм³, ХПК – 54,5 мгО₂/дм³ (1,8 ПДК для 2-й категории).

Азот (аммиак, нитриты, нитраты) не превышает норму. Также не превышают нормативные показатели медь, железо, АПАВ, полифосфаты, нефтепродукты, бор и молибден.

Наблюдается превышение нормы взвешенных веществ – 174,7 мг/дм³.

ИЗВ на участке № 6 составляет 1,24, что соответствует III классу качества вод – умеренно загрязненные.

Участок № 7

Расположен южнее улицы Е-22, восточнее участка № 6.

По результатам анализов в воде запах речной – 2 балла, цветность воды оценивается в 26°, прозрачность 17,8. В пробе присутствует незначительный песчаный осадок. Цвет воды светло-желтый – обнаруживается в столбике воды 10 см. Водородный показатель (рН) слегка щелочной – 8,71, при норме 6,5–8,5. Окисляемость 8,48 мгО₂/дм³, щелочность 5,2 мг-экв/дм³, общая жесткость 50,0 мг-экв/дм³.

Сухой остаток составил 4702,6 мг/дм³, что является превышением ПДК в 4,7 раза. Норму превышают показатели кальция – 210,42 мг/дм³ (1,2 ПДК), магния – 237,12 мг/дм³ (5,9 ПДК), калия и натрия – 1192 мг/дм³ (7 ПДК). Также в избытке содержатся хлориды – 1715,0 мг/дм³ (4,9 ПДК), сульфаты – 1169,0 мг/дм³ (2,33 ПДК), свинец – 0,207 (6,9 ПДК) и в незначительной степени железо – 0,33 мг/дм³ (1,1 ПДК). Показатели содержания азота не превышают норму. Не превышают ПДК также медь, АПАВ, полифосфаты, марганец, нефтепродукты, бор и молибден.

Наблюдается превышение норм показателей взвешенных веществ – 19,0 мг/дм³, БПК₅ – 8,2 мгО₂/дм³, ХПК – 80 мгО₂/дм³ (2,7 ПДК для 2 категории).

ИЗВ на участке № 7 составляет 1,05, что соответствует III классу качества вод – умеренно загрязненные.

Участок № 8

Находится южнее продолжения проспекта Улы Дала – западный водоем.

По результатам анализов в воде запах речной – 2 балла, цветность воды составляет 28°. Прозрачность до 15,4. В пробе присутствует незначительный

хлопьевидный осадок. Плавающие примеси, пленка отсутствуют. Цвет воды светло-желтый – обнаруживается в столбике воды 10 см. Водородный показатель (рН) не превышает норму – 8,22. Окисляемость 26,72 мгО₂/дм³, щелочность 6,2 мг-экв/дм³, общая жесткость 82,0 мг-экв/дм³.

Сухой остаток составил 8386,32, что превышает норму в 8,3 раза. Кальций, магний, калий и натрий в пределах нормы, хлориды содержатся в значительном избытке – 4475,6 мг/дм³ (12,78 ПДК). Азот не превышает ПДК. Также не превышают нормативные уровни медь, АПАВ, полифосфаты, марганец, нефтепродукты, БПК₅, бор, молибден.

Сульфаты превышают норму – 599,48 мг/дм³ (1,2 ПДК), также наблюдается незначительное превышение норм по железу – 0,33 мг/дм³ (1,1 ПДК). ХПК превышает норму – 61,9 мгО₂/дм³ (2 ПДК).

ИЗВ на участке № 8 составляет 0,52, что соответствует II классу качества вод – чистые.

Участок № 9

Находится, как и участок № 8, южнее улицы Е-22, но является восточным водоемом.

По результатам анализов в воде запах речной – 2 балла, цветность воды оценивается в 26⁰. Осадки, плавающие примеси, пленка в пробе отсутствуют. Общий цвет воды светло-желтый – обнаруживается в столбике воды 10 см. Водородный показатель (рН) в норме – 8,28. Окисляемость составляет 7,4 мгО₂/дм³, щелочность 6,8 мг/-экв/дм³, общая жесткость 100,00 мг/-экв/дм³.

Сухой остаток составил 5515 мг/дм³, что является превышением ПДК в 5,5 раза. В избытке присутствуют кальций – 1187,37 мг/дм³ (6,6 ПДК), магний – 495,52 мг/дм³ (12,4 ПДК), калий и натрий – 1570,37 мг/дм³ (7,85 ПДК). Также превышает норму содержание хлоридов – 2034,4 мг/дм³ (5,8 ПДК) и сульфатов – 522,72 мг/дм³ (1,04 ПДК).

Не превышают норму показатели азота, меди, железа, АПАВ, полифосфатов, нефтепродуктов, растворенного кислорода, бора и молибдена.

Наблюдается превышение норм по взвешенным веществам – 22,0 мг/дм³, БПК₅ – 7,0 мгО₂/дм³ при норме не более 6,0 мгО₂/дм³ для водоемов 2-й категории, ХПК – 79 мгО₂/дм³ (2,63 ПДК для 2-й категории).

ИЗВ на участке № 8 составляет, что соответствует II классу качества вод – чистые.

Обобщая данные по характеру загрязнения, можно отметить, что основными химическими показателями, превышающими предельно допустимые концентрации, являются сухой остаток, кальций, магний, калий+натрий, общая жесткость, хлориды, сульфаты, железо, марганец. Поллютанты варьируют в разных озерах. Таким образом, воду в водоемах можно характеризовать как жесткую. Почти во всех водоемах обнаруживается желтый цвет в столбике 10 см. Цветность воды варьирует от 26 до 31⁰; часто присутствуют хлопьевидные осадки, рН вод в среднем ближе к норме, но местами склоняется к щелочной. Особых примесей не замечено, но показатели взвешенных

частиц бывают высокими. Запах вод около 1 (из максимально двух) баллов – речной. Практически во всех водоемах наблюдается превышение норм по ХПК, что свидетельствует об избытке в воде органических веществ.

В табл. 3 представлены данные по индексу загрязнения вод водоемов системы озер Талдыколь. Отслеживается стойкая тенденция загрязнения системы озер с севера на юг (рис. 2).

Таблица 3

Индексы загрязнения воды по водоемам системы озер Талдыколь

Номер участка (водоема)	ИЗВ	Класс качества воды
1	1,39	III класс – умеренно загрязненные
2	1,25	III класс – умеренно загрязненные
3	4,29	V класс – грязные
4	-	Воды нет
5	5,07	V класс – грязные
6	1,24	III класс – умеренно загрязненные
7	1,05	III класс – умеренно загрязненные
8	0,52	II класс – чистые
9	0,66	II класс – чистые

Table 3

Indices of water pollution by reservoirs of the Taldykol lake system

Site number	WPI	Water quality class
1	1.39	III class – moderately polluted
2	1.25	III class – moderately polluted
3	4.29	V class – dirty
4	-	No water
5	5.07	V class – dirty
6	1.24	III class – moderately polluted
7	1.05	III class – moderately polluted
8	0.52	II class – pure
9	0.66	II class – pure

Самые грязные участки – № 3 и № 5, где качество воды относится к V классу – грязные. Южные участки № 8 и № 9 являются практически чистыми здоровыми водоемами.

Стойкое закономерное различие в уровне загрязнения вод также может свидетельствовать о слабой или практически отсутствующей связи между водоемами. Если бы водоемы сообщались, то они бы были равны по гидрохимическому загрязнению [4; 5].

Заключение

Таким образом, дороги, проведенные по акватории озер Талдыкольской системы, фрагментировали озеро Малый Талдыколь на 7 отдельных водоемов, вследствие чего было нарушено естественное водосообщение. Результаты проведенного гидрохимического исследования показали, что большинство участков озер имеют класс качества воды – умеренно загрязненные и чистые, что характерно при нахождении их внутри большого города [6; 7]. Направление распространения химических веществ позволяет сделать вывод, что загрязнение озер идет со стороны города [8]. Однако преграды в виде дорог препятствуют проникновению загрязнения между разделенными частями водоемов.



Рис. 2. Направление распространения химического загрязнения между участками озер Талдыколь

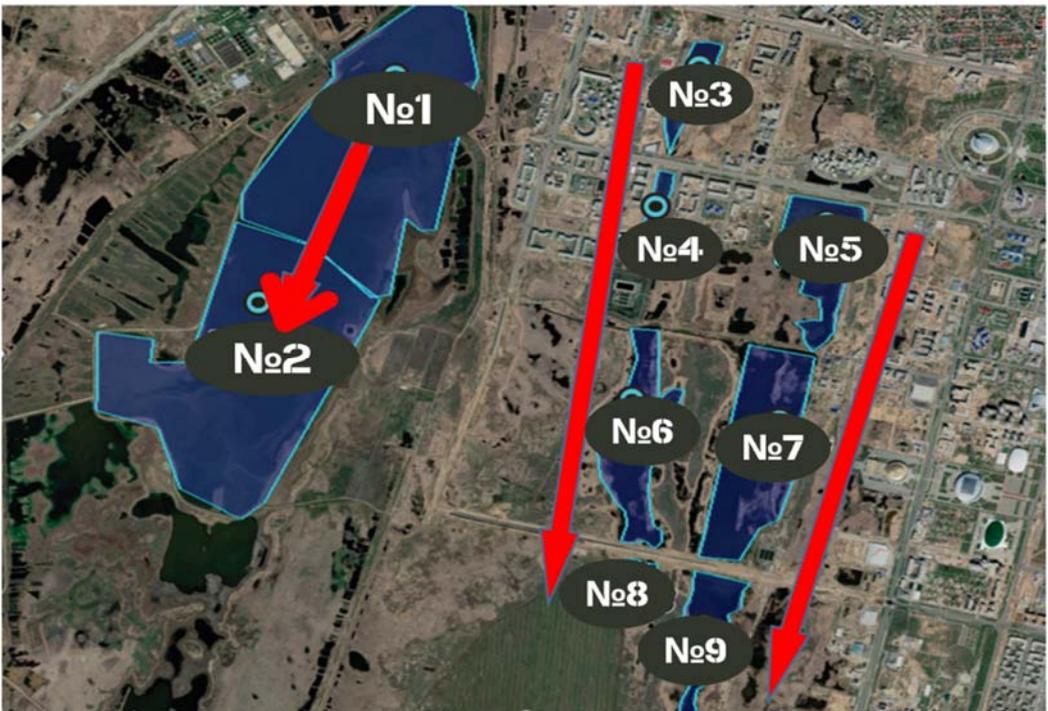


Figure 2. Direction of spread of chemical pollution between areas of Taldykol lakes

Для составления полной картины и оценки антропогенного влияния на озерную экосистему Галдыколь необходимо рассматривать результаты комплексного исследования озер, включающего целый ряд работ. Тем не менее очевидно, что система степных водно-болотных угодий подверглась негативным воздействиям вследствие нерационального использования природных ресурсов и градостроительства. На данный момент для восстановления природной экосистемы необходимо, в первую очередь, наладить сообщения между фрагментированными участками водоемов [9; 10].

References / Список литературы

- [1] Anand V, Oinam B. Future land use land cover prediction with special emphasis on urbanization and wetlands. *Remote Sensing Letters*. 2019 Dec 24;11(3):225–34.
- [2] Zurell D, Graham CH, Gallien L, Thuiller W, Zimmermann NE. Long-distance migratory birds threatened by multiple independent risks from global change. *Nature Climate Change*. 2018 Oct 22;8(11):992–6.
- [3] Novoa V, Rojas O, Ahumada-Rudolph R, Sáez K, Fierro P, Rojas C. Coastal Wetlands: Ecosystems Affected by Urbanization? *Water*. 2020 Mar 4;12(3):698.
- [4] Scott R, Goulden T, Letman M, Hayward J, Jamieson R. Long-term evaluation of the impact of urbanization on chloride levels in lakes in a temperate region. *Journal of Environmental Management*. 2019 Aug 15;244:285–93.
- [5] Gallant K, Withey P, Risk D, van Kooten GC, Spafford L. Measurement and economic valuation of carbon sequestration in Nova Scotian wetlands. *Ecological Economics*. 2020 May 17;1:106619.
- [6] Furaca NB, Hogue AM, Mackay F, Willemse M, Langa AA. Exploring urbanization and critical habitat loss through land cover change around the Bons Sinais Estuary, Mozambique. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*. 2021 Dec 23;(1/2021):43–58.
- [7] Nguyen H, Recknagel F, Meyer W. Water Quality Control Options in Response to Catchment Urbanization: A Scenario Analysis by SWAT. *Water*. 2018 Dec 13;10(12):1846.
- [8] Xia W, Wang R, Zhu B, Rudstam LG, Liu Y, Xu Y, et al. Heavy metal gradients from rural to urban lakes in central China. *Ecological Processes*. 2020 Sep 15;9(1).
- [9] Singh NK, Gourevitch JD, Wemple BC, Watson KB, Rizzo DM, Polasky S, et al. Optimizing wetland restoration to improve water quality at a regional scale. *Environmental Research Letters*. 2019 May 29;14(6):064006.
- [10] Qu Y, Sun G, Luo C, Zeng X, Zhang H, Murray NJ, et al. Identifying restoration priorities for wetlands based on historical distributions of biodiversity features and restoration suitability. *Journal of Environmental Management*. 2019 Feb 23;1:1222–31.

Сведения об авторах:

Акбаева Ляйля Хамидуллаевна, и.о. профессора кафедры управления и инжиниринга в сфере охраны окружающей среды Евразийского Национального университета им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, 010000, Нур-Султан, ул. Сатпаева, д. 2, кандидат биологических наук. ORCID: 0000-0002-2192-454X. E-mail: akbaeva659@mail.ru

Мельдешова Асем Бахытовна, магистрант факультета естественных наук Евразийского Национального университета им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, 010000, Нур-Султан, ул. Сатпаева, д. 2. ORCID: 0000-0001-6464-8824. E-mail: asem.meldesheva@gmail.com

Макажанов Ерлан Жумабаевич, научный руководитель общественного фонда «Неправительственный экологический фонд имени В.И. Вернадского в Республике Казахстан», Казахстан, Нур-Султан, район Есиль, проспект Қабанбай Батыр, д. 40. ORCID: 0000-0003-0921-7532. E-mail: makazhanov82@mail.ru

Bio notes:

Lyailya Kh. Akbaeva, acting Professor of the Department of Management and Engineering in the Field of Environmental Protection of the Eurasian National University. L.N. Gumilyov, 2 Satpaev St, Nur-Sultan, 010000, Kazakhstan, Ph.D. ORCID: 0000-0002-2192-454X. E-mail: akbaeva659@mail.ru

Assem B. Meldeshova, master student of the Faculty of Natural Sciences of the Eurasian National University. L.N. Gumilyov, 2 Satpaev St, Nur-Sultan, 010000, Kazakhstan. ORCID: 0000-0001-6464-8824. E-mail: asem.meldesheva@gmail.com

Yerlan Zh. Makazhanov, Scientific Supervisor of the Public Foundation “V.I. Vernadsky Non-Governmental Ecological Foundation in the Republic of Kazakhstan”, 40 Kabanbai Batyr avenue, Yesil district, Nur-Sultan, Kazakhstan. ORCID: 0000-0003-0921-7532. E-mail: makazhanov82@mail.ru



БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

BIOLOGICAL RESOURCES

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-280-291

УДК 504.064.2

Научная статья / Research article

Оценка фитотоксичности золошлаковых отходов от котельных малой мощности и индивидуальных отопительных систем на примере пгт. Шахтерск Сахалинской области

Е.В. Дахова  , Л.П. Майорова , А.И. Лукьянов *Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ), Хабаровск, Российская Федерация*
✉010770@pnu.edu.ru

Аннотация. Актуальность работы обусловлена исследованием вопроса по утилизации и возможному использованию золошлаковых отходов в условиях малых городов, в частности на территории Дальнего Востока, где преобладающими типами отопления являются котельные малой мощности либо индивидуальные отопительные системы. Наиболее простыми и наглядными методами оценки воздействия образующихся отходов на окружающую среду являются биоиндикационные методы, в частности оценка фитотоксичности. Проведен анализ фитотоксического эффекта золошлаковых отходов разного происхождения и различных сроков лежалости, а также образцов угля в условиях пгт. Шахтерск Сахалинской области, по отношению к травянистым растениям различных систематических групп в рамках постановки ряда лабораторных экспериментов. Определен фитотоксический эффект рассматриваемых образцов путем сопоставления показателей тест-функции контрольных и опытных семян. Показана зависимость величины фитотоксического эффекта от срока лежалости и типа происхождения золошлаковых отходов. Полученные данные являются основой для проведения дополнительных опытов и изучения, а также определения химического состава рассматриваемых образцов.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, ЗШО, печное отопление, котельное отопление, фитотоксичность, фитотоксический эффект

© Дахова Е.В., Майорова Л.П., Лукьянов А.И., 2022

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

Вклад авторов: *Е.В. Дахова* – отбор проб, проведение опыта, обработка полученных данных и их интерпретация, написание текста; *Л.П. Майорова* – концепция исследования, методология, критический анализ текста; *А.И. Лукьянов* – обработка полученных данных и их интерпретация, написание текста. Все авторы участвовали в обсуждении итогов и подготовке заключения.

История статьи: поступила в редакцию 12.04.2022; принята к публикации 13.05.2022.

Для цитирования: *Дахова Е.В., Майорова Л.П., Лукьянов А.И.* Оценка фитотоксичности золошлаковых отходов от котельных малой мощности и индивидуальных отопительных систем на примере пгт. Шахтерск Сахалинской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 280–291. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-280-291>

Assessment of phytotoxicity of ash and slag waste from low-capacity boiler houses and individual heating systems on the example of the town Shakhtersk, Sakhalin region

Ekaterina V. Dakhova  , Ludmilla P. Mayorova , Alexey I. Lukyanov 

Pacific National University (PNU), Khabarovsk, Russian Federation

010770@pnu.edu.ru

Abstract. The relevance of the work is due to the study of the issue of disposal and possible use of ash and slag waste in small towns, in particular in the Far East, where the predominant types of heating are low-power boilers or individual heating systems. The simplest and clearest methods for assessing the impact of generated waste on the environment are bioindicative methods, in particular, the assessment of phytotoxicity. The analysis of the phytotoxic effect of ash and slag wastes of various origins and different periods of storage, as well as coal samples in the conditions of urban settlements, was carried out in the town Shakhtersk, Sakhalin region, in relation to herbaceous plants of various systematic groups in the framework of a number of laboratory experiments. The phytotoxic effect of the considered samples was determined by comparing the parameters of the test function of the control and experimental seeds. The dependence of the magnitude of the phytotoxic effect on the shelf life and the type of origin of ash and slag waste is shown. The data obtained are the basis for carrying out additional experiments and studies, as well as determining the chemical composition of the samples under consideration.

Keywords: ash and slag waste, ASW, stove heating, boiler heating, phytotoxicity, phytotoxic effect

Authors' contributions: *E.V. Dakhova* – sampling, conducting experiments, processing of the received data and their interpretation, writing the text; *L.P. Mayorova* – research concept, methodology, critical analysis of the text; *A.I. Lukyanov* – processing of the received data and their interpretation, writing the text. All the authors participated in the discussion of the results and the preparation of the conclusion.

Article history: received 12.04.2022; accepted 13.05.2022.

For citation: Dakhova EV, Mayorova LP, Lukyanov AI. Assessment of phytotoxicity of ash and slag waste from low-capacity boiler houses and individual heating systems on the example of the town Shakhtersk, Sakhalin region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):280–291. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-280-291>

Введение

В процессе использования угля в качестве топлива образуются золошлаковые отходы, которые могут отличаться по фракционному и химическому составу, объему и прочим показателям в зависимости от технологии сжигания и состава угля.

Рядом авторов описываются проблема воздействия отходов ТЭЦ на окружающую среду, а также возможность и особенности складирования, утилизации и переработки золошлаков (Черенцова А.А. 2013, Качаев Г.В. 2014, Таскин А.В. 2017 и др.) [1; 2]. Позитивными моментами данных исследований можно считать высокую степень изученности вопроса в условиях средних, больших, крупных и крупнейших городов (т.е. с численностью населения от 50 тысяч до 1 миллиона жителей)¹. Тем не менее, подавляющее большинство городов России относится к категории малых (793 из 1117 на 2019 г., а также входящие в эту категорию поселки городского типа)², в условиях которых проблемы качества окружающей среды часто носят менее обсуждаемый характер. Кроме того, ряд технологических решений, применяемых в крупных населенных пунктах, нерентабелен либо невозможен по ряду причин для малых городов и более мелких муниципальных образований, таких как сельские поселения. Вопрос специфики влияния золошлаковых отходов от котельных малых мощностей и от индивидуальных отопительных систем на компоненты окружающей среды актуален для территории большей части Дальнего Востока.

Воздействию отходов от сжигания угля подвергаются все компоненты природной среды. Наиболее нагружаемой является почва, обладающая депонирующими свойствами. С использованием методов биотестирования представляется возможным в достаточно сжатые сроки определить степень воздействия потенциально негативного фактора на тест-объект и, как следствие, на природные среды. Полученные экспериментальным путем данные позволяют сделать вывод о токсичности анализируемой пробы. Приоритетность данного метода в приведенном исследовании обусловлена такими причинами, как техническая доступность, малозатратность, возможность наблюдения за действием потенциального загрязнителя на разные виды растений.

¹ СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений // АО «Кодекс» – компьютерная справочная правовая система. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054209> (дата обращения: 25.04.2022).

² Малые города в России // Сайт Города-Россия.рф 2011-2022. URL: <https://inlnk.ru/3ZxGeK> (дата обращения: 25.04.2022).

Материалы и методы исследования

В работе определялся фитотоксический эффект образцов золошлаковых отходов различного времени лежалости от котельной малой мощности и от отопительных систем индивидуального жилого сектора в условиях пгт. Шахтерск Сахалинской области. Отбор проб золошлаковых отходов (ЗШО) произведен в местах нерегламентированного хранения, что обусловлено отсутствием специализированных площадок для этой цели. Пробы отбирались согласно общим методикам для последующего фитотестирования методом проростков с целью определения наличия токсического эффекта (ГОСТ 32627-2014, ГОСТ 17.4.4.02-2017, МР 2.1.7.2297-07, ГОСТ 12071-2014)³.

Использованы золошлаковые отходы: ЗШО печного отопления (частный сектор), котельного отопления лежалостью 1–3 и 3–6 месяцев и 3 года, образцы угля. Контрольной средой выступают почва без внесения загрязнителя и дистиллированная вода.

В эксперименте использованы неповрежденные откалиброванные семена всхожестью не менее 95%. Путем сопоставления показателей тест-функции контрольных и опытных семян определялась степень фитотоксического эффекта.

Экспериментальные исследования проводились в два этапа: учитывались всхожесть и энергия прорастания семян, затем параметры фитотоксичности, исходя из ростовых показателей анализируемых растений. Энергия прорастания рассчитывалась как количество нормально проросших семян в течение установленного срока (на третьи сутки), выраженное в процентах от количества семян, взятых для определения всхожести.

Определение фитотоксического эффекта проводилось путем сопоставления показателей тест-функции (LCP) контрольных и опытных семян. Величина показателя вычислялась по формуле как среднее арифметическое

³ ГОСТ 32627-2014 Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Наземные растения. Испытание на фитотоксичность // АО «Кодекс» – компьютерная справочная правовая система. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115810> (дата обращения: 25.04.2022).

ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа // АО «Кодекс» – компьютерная справочная правовая система. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158951> (дата обращения: 25.04.2022).

Методические рекомендации МР 2.1.7.2297-07 Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности // АО «Кодекс» – компьютерная справочная правовая система. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200061157> (дата обращения: 25.04.2022).

ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов // АО «Кодекс» – компьютерная справочная правовая система. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200116021> (дата обращения: 25.04.2022).

из совокупности данных о длине корней проростков, полученных в трех повторностях эксперимента:

$$E_{\text{ср}} = \frac{\sum L_i}{n}, \quad (1)$$

где L_i – длина максимального корня каждого семени, мм; n – общее количество семян, взятых в опыт.

Величина эффекта торможения (фитотоксичность) рассчитывалась по формуле⁴

$$E_{\text{т}} = \frac{L_{\text{к}} - L_{\text{оп}}}{L_{\text{к}}} \cdot 100, \quad (2)$$

где $E_{\text{т}}$ – эффект торможения, %; $L_{\text{оп}}$ – средняя длина корней в опыте, мм; $L_{\text{к}}$ – средняя длина корней в контроле, мм [3].

Опыты проводились в трехкратной повторности (по 25 семян в каждой пробе). Проращивание семян осуществлялось при температуре 18–20 °С в течение 7 дней в чашках Петри. Посев производился на образцы золошлаковых отходов, а также на водную вытяжку образцов, показавших повышенные показатели фитотоксичности.

Растения тест-объекты: клевер луговой (лат. *Trifolium pratense*); овес посевной (*Avena sativa*); редис (раннеспелый, сорт Жара) (*Raphanus sativus* var. *Radicula*). Взятые растения различных систематических групп, что дает более широкий диапазон оценки потенциального отклика на анализируемый образец. Ряд видов являются классическими образцами для данного типа исследований и иных исследований в рамках биомониторинга. Клевер, как представитель сем. Бобовые, вступает в симбиоз с бактериями рода *Rhizodium*, что можно расценивать как дополнительный компонент для оценки токсичности отходов [4].

Статистическая обработка выполнена с использованием надстройки Excel «Пакет анализа» и метода Boxplots (Ящик с усами, диаграмма размаха).

Результаты и обсуждение

Пгт. Шахтерск расположен в западной части о. Сахалин вдоль побережья Татарского пролива (рис. 1). Отопление жилых домов производится от котельной (часть населенного пункта с многоквартирными домами) и индивидуальных отопительных систем в районе ИЖС с использованием угольного топлива.

Рельеф местности низкогорный. Населенный пункт имеет относительную географическую разобщенность и протяженность. Многоквартирные

⁴ Методические рекомендации МР 2.1.7.2297-07 Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности // АО «Кодекс» – компьютерная справочная правовая система. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200061157> (дата обращения: 25.04.2022).

дома расположены в юго-западном направлении на естественной возвышенности, компактно. Частный сектор (ИЖС) находится преимущественно в распадке, имеет большую протяженность по отношению к многоквартирной части. Следует отметить, что в населенном пункте отсутствует регламентированное место для хранения золошлаковых отходов. Проблема актуальна как для многоквартирных домов, так и для частных строений.

С целью дальнейшего развития исследования в рамках разработки предложений по использованию, хранению, утилизации золошлаковых отходов различного происхождения в условиях малых городов, на примере пгт. Шахтерск Сахалинской области, проведен ряд опытов по изучению потенциальной фитотоксичности рассмотренных ниже образцов.

Скученность точек отбора проб в локации частного сектора обусловлена наличием золошлаковых отходов (ЗШО) длительной лежалости со стихийными площадками хранения, а также необходимостью непосредственного отбора проб ЗШО индивидуального печного отопления (рис. 1).

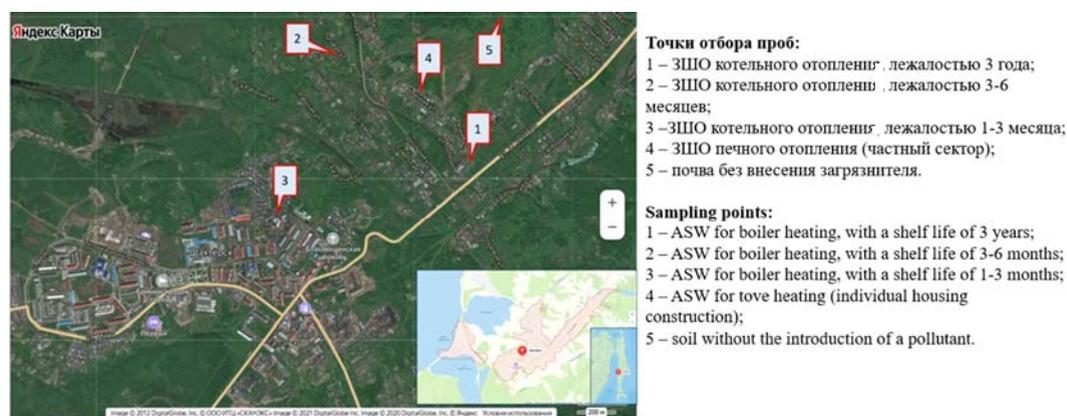


Рис. 1. Расположение точек отбора проб золошлаковых отходов, пгт. Шахтерск Сахалинской области /

Figure 1. Location of ash and slag waste sampling points, town Shakhtersk, Sakhalin region

Образцы ЗШО и контрольных сред на местности представлены на рис. 2. На поверхности ЗШО котельного отопления лежалостью 3 года можно наблюдать процесс естественного заселения растительностью. Визуальный анализ фракционного состава поверхностного слоя свидетельствует об отсутствии/минимальном содержании мелких и пылеватых частиц, что может давать определенную картину при рассмотрении растворения веществ и их дальнейшей миграции как в естественных условиях, так и в ходе лабораторного эксперимента.

Был поставлен ряд опытов на пробах золошлаковых отходов различной лежалости. Средами сравнения выступали образцы незагрязненной почвы, отобранной в условиях пгт. Шахтерск, дистиллированная вода и уголь, использующийся в качестве топлива. Размеры проростков, рассмотренных в опыте растений на различных образцах ЗШО, представлены на рис. 3–5.

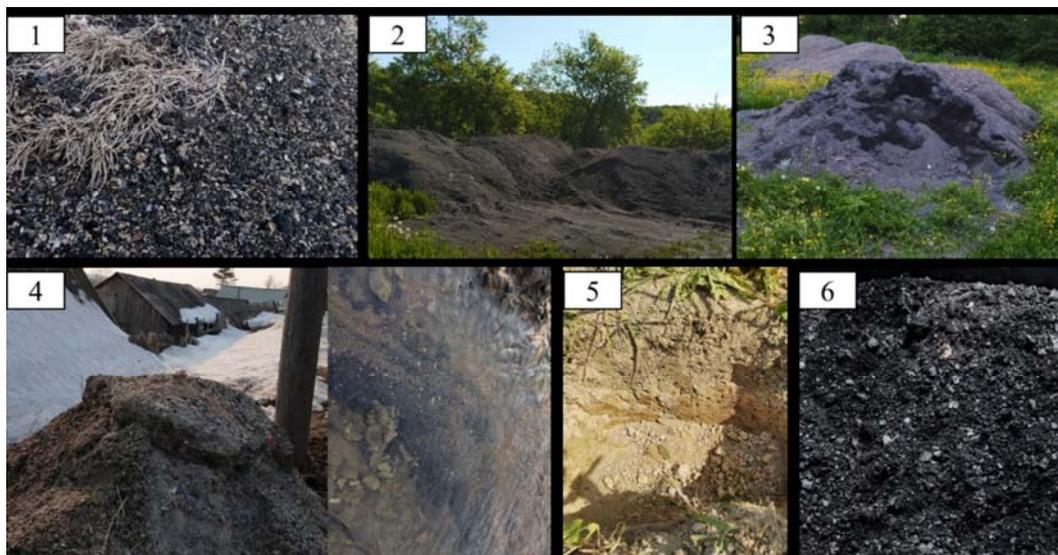
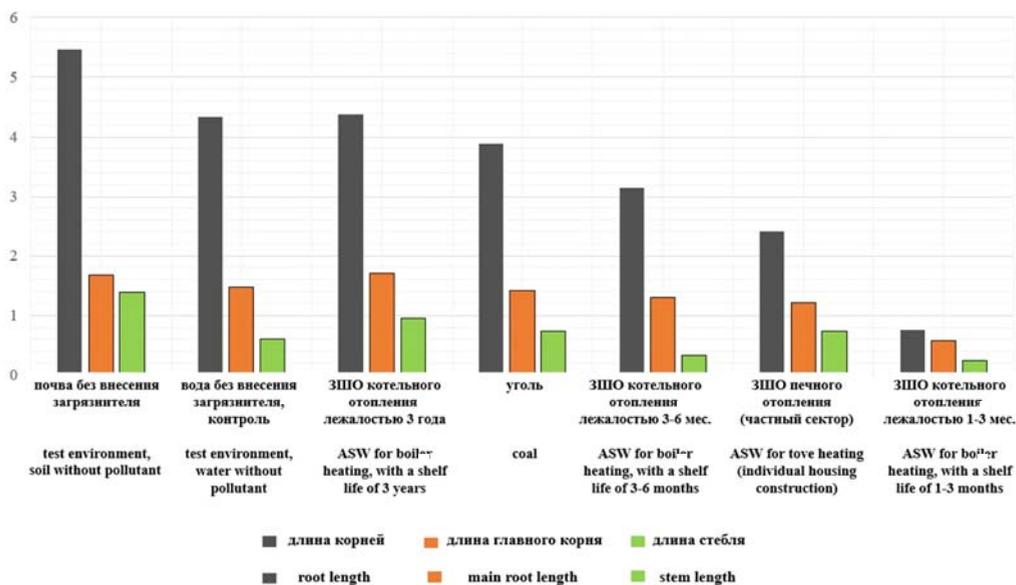


Рис. 2. Образцы золошлаковых отходов и контрольных сред:
 1 – ЗШО котельного отопления лежалостью 3 года; 2 – ЗШО котельного отопления лежалостью 3–6 месяцев; 3 – ЗШО котельного отопления лежалостью 1–3 месяца; 4 – ЗШО печного отопления (частный сектор); 5 – почва без внесения загрязнителя; 6 – уголь /
Figure 2. Samples of ash and slag waste and test medium:
 1 – ASW for boiler heating, with a shelf life of 3 years; 2 – ASW for boiler heating, with a shelf life of 3–6 months; 3 – ASW of boiler heating with a shelf life of 1–3 months; 4 – ASW for stove heating (individual housing construction); 5 – soil without pollutant application; 6 – coal



**Рис. 3. Динамика ростовых показателей семян овса посевного (*Avena sativa*) /
 Figure 3. Dynamics of growth parameters of oat (*Avena sativa*)**

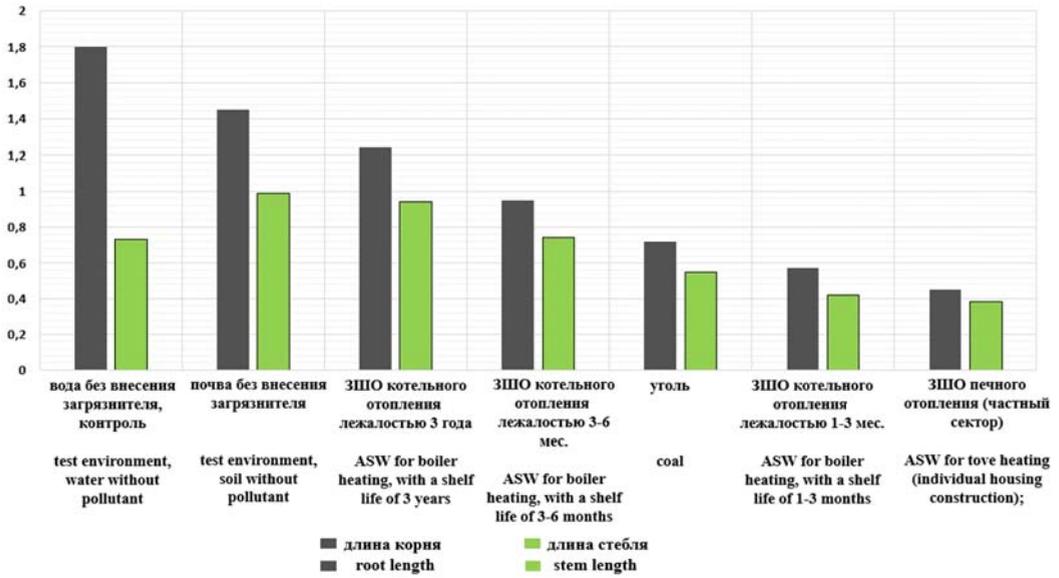


Рис. 4. Динамика ростовых показателей семян клевера лугового (*Trifolium pratense*) / Figure 4. Dynamics of growth parameters of seeds of red clover (*Trifolium pratense*)

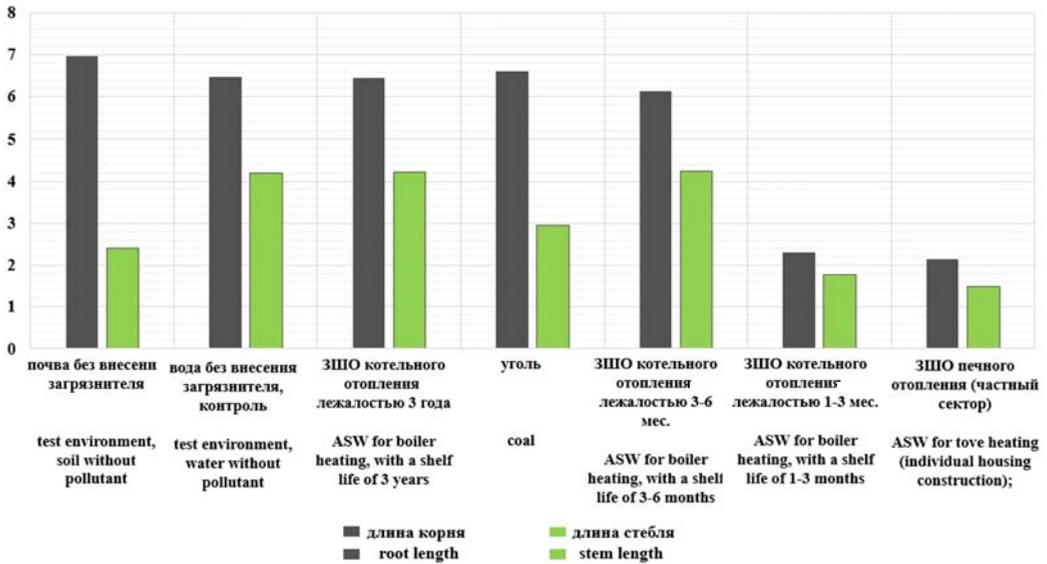


Рис. 5. Динамика ростовых показателей семян редиса (*Raphanus sativus var. radicola*) / Figure 5. Dynamics of growth parameters of radish seeds (*Raphanus sativus var. radicola*)

По результатам анализа выявлено потенциальное увеличение фитотоксичности при снижении времени лежалости шлаков (табл. 1).

Кроме того, подобную динамику имеет показатель энергии прорастания семян. Снижен общий процент всходов, отмечено замедление прорастания на всех тест-объектах. Зависимость всхожести и энергии прорастания семян от степени лежалости и вида субстрата представлены на показателях клевера, как на тест-объекте, показавшем наибольший отклик (рис. 6).

Таблица 1

Фитотоксичность золошлаковых отходов различной лежалости

Вид отхода	Вид растений		
	Овес (<i>Avena sativa</i>)	Клевер (<i>Trifolium pratense</i>)	Редис (<i>Raphanus sativus var. radicula</i>)
ЗШО котельного отопления лежалостью 3 года	-2,39	14,48	7,37
ЗШО котельного отопления лежалостью 3–6 месяцев	22,16	34,48	12,18
ЗШО котельного отопления лежалостью 1–3 месяца	27,55	60,69	67,05
ЗШО печного отопления (частный сектор)	65,87	68,97	69,08

Примечание. Оценка фитотоксичности < 20 % – норма; 20–40 – слабая фитотоксичность; 40–60 – средняя фитотоксичность; > 60 % – сильная фитотоксичность.

Цветом обозначены: слабая фитотоксичность, сильная фитотоксичность.

Table 1

Phytotoxicity of ash and slag wastes of different storage life

Waste type	Plant species		
	Oats (<i>Avena sativa</i>)	Clover (<i>Trifolium pratense</i>)	Radish (<i>Raphanus sativus var. radicula</i>)
ASW for boiler heating, with a shelf life of 3 years	-2.39	14.48	7.37
ASW for boiler heating, with a shelf life of 3–6 months	22.16	34.48	12.18
ASW for boiler heating, with a shelf life of 1–3 months	27.55	60.69	67.05
ASW for tove heating (individual housing construction)	65.87	68.97	69.08

Note. Phytotoxicity estimate <20% is the norm; 20–40 – weak phytotoxicity; 40–60 – medium phytotoxicity; > 60% – strong phytotoxicity.

Color indicates: weak phytotoxicity, strong phytotoxicity.

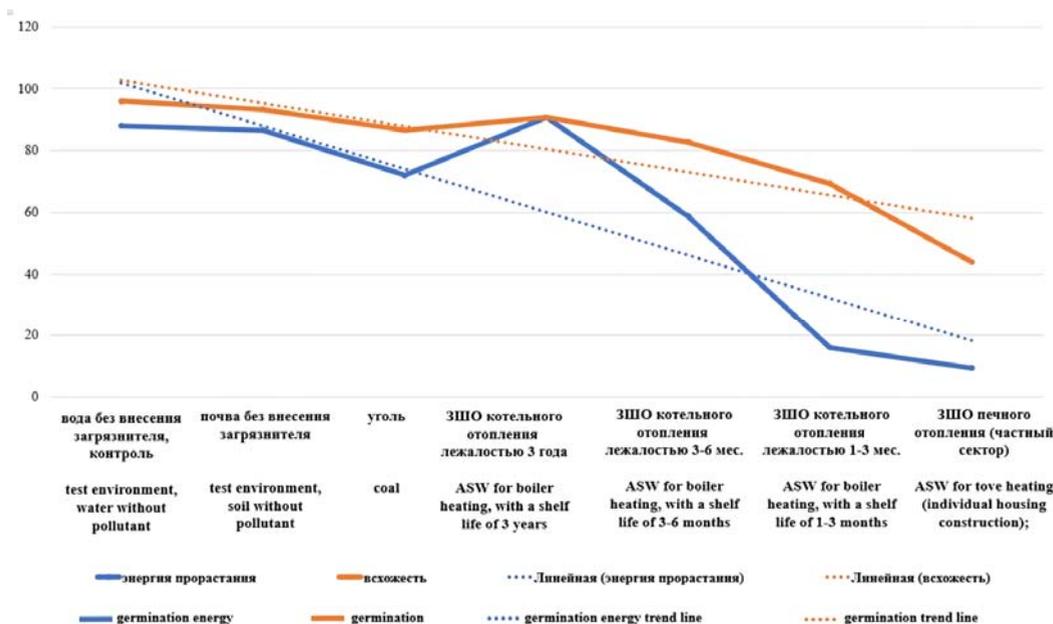


Рис. 6. Динамика энергии прорастания и всхожести семян клевера (*Trifolium pratense*) на различных видах ЗШО / Figure 6. Dynamics of germination energy and germination of clover (*Trifolium pratense*) seeds on various types of ASW

У проростков овса отмечается отсутствие или снижение количества корневых волосков, общее угнетение, потемнение главного корня. Корни клевера имеют перемычки, утолщения. Наблюдается угнетение корневых волосков, потемнение.

Представленные нарушения, вероятно, связаны с наличием в исследуемых образцах металлов и их соединений (так, подобные изменения наблюдаются при интенсивном воздействии железа, меди, марганца), а также определенном значении pH [5]. Результаты анализа фитотоксичности указывают на наличие эффекта торможения. Сильная фитотоксичность определена в образцах ЗШО печного отопления и ЗШО котельного отопления лежалостью не более 3 месяцев на всех тест-объектах.

Таким образом, можно предположить, что срок лежалости золошлаковых отходов влияет на его потенциальные токсические свойства. Зависимость всхожести и энергии прорастания от срока лежалости золошлаковых отходов подтверждена наличием высокой отрицательной коррелятивной связи (рис. 7).

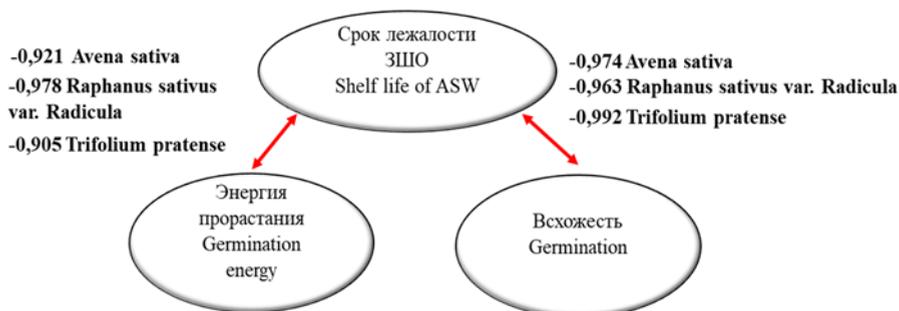


Рис. 7. Корреляционная связь между показателями (значения коэффициента корреляции Пирсона) / Figure 7. Correlation between indicators (values of the Pearson correlation coefficient)

Для дальнейшей оценки были отобраны два образца с наиболее высоким фитотоксическим эффектом: золошлаковые отходы котельного отопления лежалостью 1–3 месяца и отходы печного топления от индивидуальных отопительных систем частного сектора минимальной лежалости. Посев семян проводился на вышеобозначенные образцы в различной смесовой части с почвой естественного происхождения. Результаты опыта представлены в табл. 2.

Таблица 2

Фитотоксичность золошлаковых отходов в смеси с почвой

Доля ЗШО, %	Вид ЗШО					
	ЗШО котельного отопления (1–3 мес.)			ЗШО печного отопления		
	Овес	Клевер	Редис	Овес	Клевер	Редис
100	51,03	69,33	65,22	63,45	75,46	67,54
50	18,62	50,92	14,21	28,28	69,33	14,99
25	-5,52	14,11	-6,18	-5,51	66,87	2,63
12,5	-5,52	0,61	-8,19	-8,96	4,91	2,01
6,25	-11,03	-0,61	-3,86	-11,72	3,68	3,55

Примечание. Оценка фитотоксичности <20 % – норма; 20–40 – слабая фитотоксичность; 40–60 – средняя фитотоксичность; > 60 % – сильная фитотоксичность. Цветом обозначены: слабая фитотоксичность, средняя фитотоксичность, сильная фитотоксичность.

Table 2

Phytotoxicity of ash and slag waste mixed with soil

Share of ASW, %	Type of ASW					
	ASW for boiler heating, with a shelf life of 1-3 months			ASW for tove heating (individual housing construction)		
	Oats	Clover	Radish	Oats	Clover	Radish
100	51,03	69,33	65,22	63,45	75,46	67,54
50	18,62	50,92	14,21	28,28	69,33	14,99
25	-5,52	14,11	-6,18	-5,51	66,87	2,63
12,5	-5,52	0,61	-8,19	-8,96	4,91	2,01
6,25	-11,03	-0,61	-3,86	-11,72	3,68	3,55

Note. Phytotoxicity estimate < 20% is the norm; 20–40 – weak phytotoxicity; 40–60 – medium phytotoxicity; > 60 % – strong phytotoxicity. Color indicates: weak phytotoxicity, medium phytotoxicity, strong phytotoxicity.

Максимальный фитотоксический эффект отмечен у ЗШО без смешения с почвой. Наиболее чувствительным тест-объектом является клевер.

Заключение

Таким образом, определено наличие максимального фитотоксического эффекта в образцах ЗШО печного отопления и свежих ЗШО (лежалость 1–3 месяца) при использовании различных тест-объектов. Фитотоксический эффект снижается и входит в нормативные показатели при содержании в смеси с почвой менее 12,5 %. Полученные данные являются основой для проведения дополнительных опытов и изучения химического состава рассматриваемых образцов.

Список литературы

[1] Черенцова А.А. Оценка воздействия золоотвалов на окружающую среду: на примере Хабаровской ТЭЦ-3: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Хабаровск, 2013. 296 с.

[2] Качаев Г.В. Восстановление степных экосистем в зоне добычи бурого угля (на основе золошлаковых отходов ОАО «Березовская ГРЭС-1»): дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Красноярск, 2014. 141 с.

[3] Абасева А.Ю., Супрунова А.А., Артемьева И.В., Майорова Л.П. Оценка фитотоксичности фильтрата комплекса по обезвреживанию отходов близ С. Ильинка Хабаровского края // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: материалы VIII Международной научно-практической конференции, Хабаровск, 30 апреля 2019 года. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2019. С. 149–153.

[4] Майорова Л.П., Лукьянов А.И., Дахова Е.В. Влияние золошлаковых отходов и угля на морфологические признаки травянистых растений // Наукосфера. 2021. № 8–2. С. 1–5.

[5] Дахова Е.В., Майорова Л.П., Лукьянов А.И. Биотестирование золошлаковых отходов пгт. Шахтерск Сахалинской области // Ученые заметки ТОГУ. 2022. Т. 13. № 1. С. 102–105.

References

[1] Cherentsova AA. Assessment of the impact of ash dumps on the environment: on the example of Khabarovsk CHP-3 (dissertation of Candidate of Biological Sciences). Khabarovsk; 2013. (In Russ.)

- [2] Kachaev GV. Restoration of steppe ecosystems in the zone of brown coal mining (based on ash and slag waste from JSC “Berezovskaya GRES-1”) (dissertation of Candidate of Biological Sciences). Krasnoyarsk; 2014. (In Russ.)
- [3] Abaseva AYu, Suprunova AA, Artemyeva IV, Mayorova LP. Estimation of phytotoxicity of the leachate of the waste disposal complex near village Ilyinka, Khabarovsk Territory. *Philosophy of modern environmental management in the Amur River basin: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference, Khabarovsk, April 30, 2019*. R Khabarovsk: Pacific National University; 2019. p. 149–153. (In Russ.)
- [4] Mayorova LP, Lukyanov AI, Dakhova EV. Effect of ash and slag waste and coal on the morphological characteristics of herbaceous plants, *Naukosphere Publ.* 2021;(8)2:1–5. (In Russ.)
- [5] Dakhova EV, Mayorova LP, Lukyanov AI. Biotesting of ash and slag wastes of the town. Shakhtyorsk, Sakhalin Oblast. *Scientific notes of Togu.* 2022;13(1):102–105. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Дахова Екатерина Валерьевна, преподаватель кафедры экологии, ресурсопользования и безопасности жизнедеятельности, Тихоокеанский государственный университет, Российская Федерация, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136. ORCID: 0000-0003-0179-8563, eLIBRARY SPIN-код: 6871-2827. E-mail: 010770@pnu.edu.ru

Майорова Людмила Петровна, доктор химических наук, доцент, и.о. завкафедрой кафедры экологии, ресурсопользования и безопасности жизнедеятельности, Тихоокеанский государственный университет, Российская Федерация, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136. ORCID: 0000-0002-6326-982X, eLIBRARY SPIN-код: 5904-3031. E-mail: 000318@pnu.edu.ru

Лукьянов Алексей Игоревич, преподаватель кафедры экологии, ресурсопользования и безопасности жизнедеятельности, Тихоокеанский государственный университет, Российская Федерация, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136. ORCID: 0000-0002-6936-6807, eLIBRARY SPIN-код: 6952-7589. E-mail: 008362@pnu.edu.ru

Bio notes:

Ekaterina V. Dahova, Lecturer of the Department of Ecology, Resource Management and Life Safety, Pacific National University, 136 Pacific St, Khabarovsk, 680035, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0179-8563, eLIBRARY SPIN-code: 6871-2827. E-mail: 010770@pnu.edu.ru

Lyudmila P. Mayorova, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Department of Ecology, Resource Management and Life Safety, Pacific National University, 136 Pacific St, Khabarovsk, 680035, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6326-982X, eLIBRARY SPIN-code: 5904-3031. E-mail: 000318@pnu.edu.ru

Alexey I. Lukyanov, Lecturer of the Department of Ecology, Resource Management and Life Safety, Pacific National University, 136 Pacific St, Khabarovsk, 680035, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6936-6807, eLIBRARY SPIN-code: 6952-7589. E-mail: 008362@pnu.edu.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-292-299

УДК 639.3.05

Научная статья / Research article

Биологические отходы рыбоводства и перспективы их переработки с помощью дождевого червя *Eisenia foetida* (Savigny, 1826)

Н.А. Егорова✉, А.В. Шошин

Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉BuffooNEW@yandex.ru

Аннотация. Предложено применение технологии вермикомпостирования с помощью дождевого червя *Eisenia foetida* для переработки биологических отходов предприятий товарной аквакультуры. В ходе исследования проведен эксперимент: изучена эффективность использования дождевых червей *Eisenia foetida* (гибрид «Старатель») на действующем рыбоводном предприятии. Результаты фактически подтвердили возможность применения вермикомпостирования на предприятиях товарной аквакультуры России, а также доказали перспективность данного метода переработки биологических отходов в рыбоводной отрасли сельского хозяйства.

Ключевые слова: вермикультивирование, вермикомпостирование, вермитехнология, вермикомпост, аквакультура

Вклад авторов: Н.А. Егорова – проведение эксперимента по теме, интерпретация результатов эксперимента, написание текста; А.В. Шошин – концепция исследования.

История статьи: поступила в редакцию 10.12.21; принята к публикации 23.05.22.

Для цитирования: Егорова Н.А., Шошин А.В. Биологические отходы рыбоводства и перспективы их переработки с помощью дождевого червя *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 292–299. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-292-299>

© Егорова Н.А., Шошин А.В., 2022



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

Biological wastes of aquaculture and possibility of its disposal by use of *Eisenia foetida* earthworms (Savigny, 1826)

Natalia A. Egorova✉, Aleksandr V. Shosin

Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russian Federation
✉BuffooNEW@yandex.ru

Abstract. Presented article outlines the proposals for biological wastes of aquaculture disposal by use of *Eisenia foetida* earthworms. In the duration of this study an experiment was carried out: productivity of *Eisenia foetida* earthworm's biological wastes disposal was studied on the example of existing aquaculture facility. Results of research presented point on actual recyclability of aquaculture biological wastes into vermicompost by use of earthworms and also prove the practical possibility of vermicomposting as biological wastes of aquaculture disposal method.

Keywords: vermiculture, vermicomposting, earthworm cultivation, vermicompost, aquaculture

Authors' contributions: *N.A. Egorova* – conducting a topic-related experiment, interpretation of conducted experiment results, writing of the text; *A.V. Shosin* – the concept of the study.

Article history: received 10.12.21; accepted 23.05.22.

For citation: Egorova NA, Shosin AV. Biological wastes of aquaculture and possibility of its disposal by use of *Eisenia foetida* earthworms (Savigny, 1826). *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):292–299. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-292-299>

Введение

Богатый фонд водных ресурсов, развитие и распространение технологий рыборазведения, а также относительно высокая их окупаемость способствовали значительному распространению товарной аквакультуры в России: объемы его продукции с 143,4 тыс. тонн в 2010 г. увеличились до 232,2 тыс. тонн в 2020 г. (рис. 1) [1].

Стремительное развитие товарного сектора рыборазведения и увеличение объемов его продукции привело, в свою очередь, к увеличению образования большого объема биологических отходов – фекалий рыб, остатков корма – на рыбоводных предприятиях. На сегодняшний день переработка и утилизация данного типа отходов на рыбоводных хозяйствах либо не производится, либо производится неэффективно, в результате чего недоеденные производственные корма и экскременты объектов выращивания попадают в водоемы либо непосредственно (при садковом и прудовом типах разведения), либо после незначительной очистки (при разведении в УЗВ) [2; 3].

Таким образом, поиск и разработка эффективной методики переработки биологических отходов предприятий товарной аквакультуры актуальны в данной сфере, в связи с чем **основная цель** исследования – доказательство

перспективности использования дождевого червя *Eisenia foetida* для переработки биологических отходов рыбоводства.

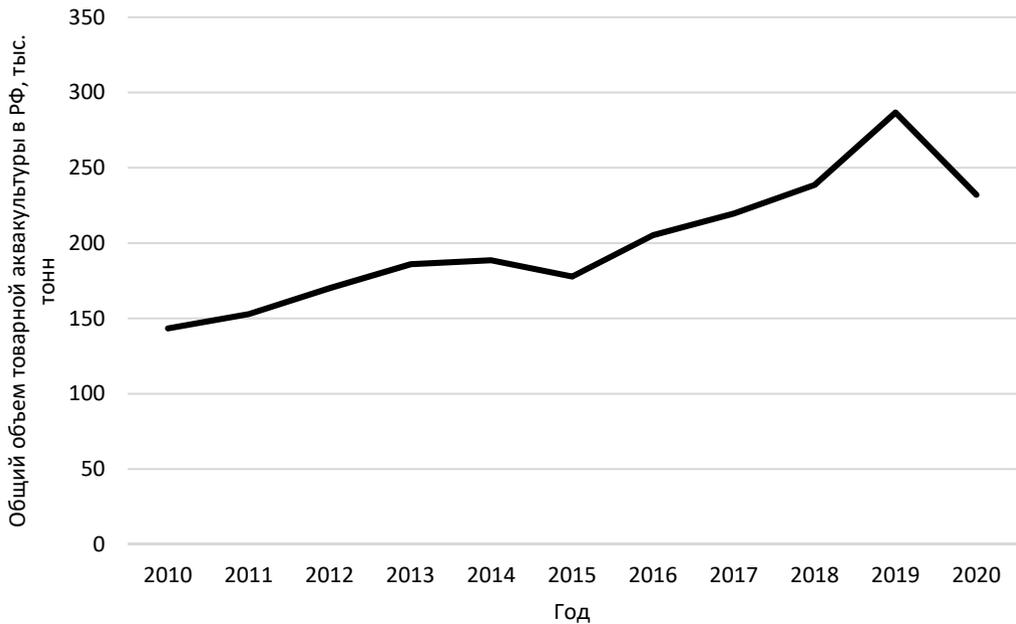


Рис. 1. Общий объем продукции товарной аквакультуры в России в 2010–2020 гг., тыс. тонн [1]

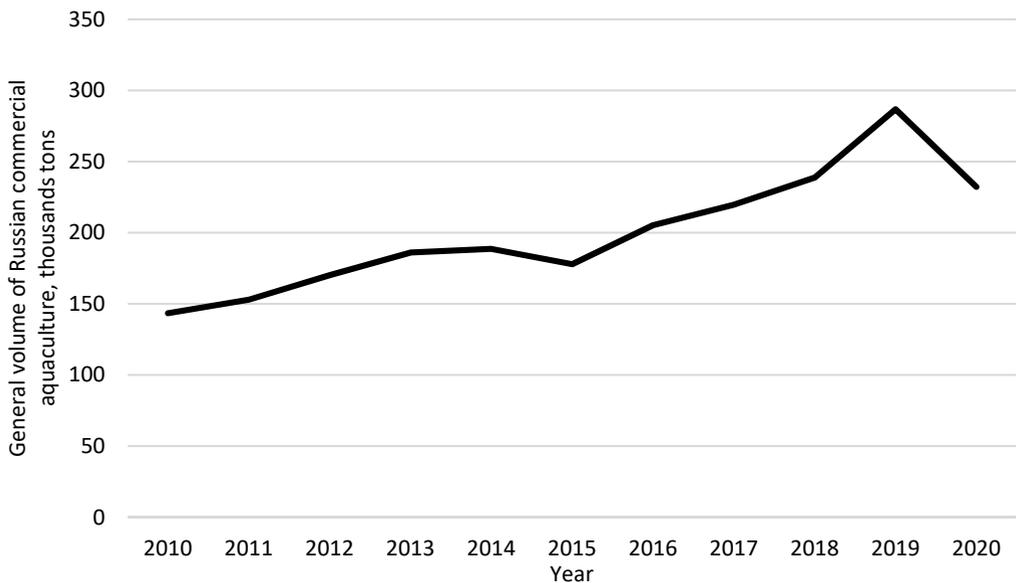


Figure 1. General volume of Russian commercial aquaculture in 2010–2020 years, thousands tons [1]

Пример прогрессивной технологии переработки биологических отходов сельского хозяйства можно наблюдать в животноводстве, где навоз скота эффективно перерабатывается с помощью вермикомпостирования. Вермикомпостирование – переработка органических веществ (фекалий рыб, помета

птиц, навоза, отходов коммунального хозяйства, пищевой и плодоовощной промышленности, остатков сена, листового опада) с помощью червей сем. *Lumbricidae*, с образованием биогумуса (вермикомпоста), продукта жизнедеятельности червей [4].

Этот способ переработки имеет ряд преимуществ, важнейшее из которых – образование в процессе вермикомпостирования биогумуса (вермикомпоста), являющегося биоудобрением. Так, процесс экологически безопасной утилизации фекалий сопровождается получением продукта, пригодного для использования и продажи.

Дождевой червь вида *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) имеет несколько выведенных гибридов, имеющих более высокую продуктивность в сравнении с диким червем. Так, на территории России предлагается использовать гибрид *Eisenia foetida* – «Старатель», выведенный в 1980-е гг. в СССР. Именно этот гибрид имеет широкие пределы температурной выносливости: 8–29 °С.

Некоторые показатели продуктивности гибрида «Старатель» указаны в таблицах (табл. 1, 2).

Таблица 1

Выход продукции биогумуса и биомассы червя *Eisenia foetida* (гибрид «Старатель»), кг из 1 тонны компоста

Выход продукции	Биогумус, кг	Биомасса <i>Eisenia foetida</i> (червь "Старатель"), кг
Из 1 тонны компоста	600	10–15

Table 1

Mass of vermicompost and *Eisenia foetida* («Staratel» hybrid) earthworm biomass, kg produced from 1 ton of compost

Produced From	Vermicompost, kg	Biomass of <i>Eisenia foetida</i> ("Staratel" hybrid), kg
1 ton of compost	600	10–15

Таблица 2

Производительность червя *Eisenia foetida* (гибрид «Старатель»)

<i>Eisenia foetida</i> (червь "Старатель")	Продукция биогумуса при содержании в оптимальных условиях, кг	Продолжительность жизни, лет
1 особь	100	4–16

Table 2

Productivity of *Eisenia foetida* earthworm («Staratel» hybrid)

<i>Eisenia foetida</i> ("Staratel" hybrid)	Biomass of vermicompost produced in optimal conditions, kg	Lifespan, years
1 specimen	100	4–16

Несмотря на широкое применение дождевых червей для переработки биологических отходов животноводства, в аквакультуре данная технология практически не применяется, при условии что биологические отходы рыбоводных предприятий могут быть использованы червями в качестве питательного субстрата.

Наиболее заметные работы, посвященные применению дождевых червей в аквакультуре, рассматривают данный вопрос с точки зрения удобрения рыбоводных водоемов готовым вермикомпостом, подготовленным на питательном субстрате других отраслей сельского хозяйства, либо с точки зрения

использования биомассы дождевых червей в качестве корма основных объектов разведения. Лишь единичные работы посвящены применению вермикомпостирования для экологически безопасной переработки биологических отходов товарной аквакультуры [5–7].

Использование технологии вермикомпостирования на рыбоводных хозяйствах России может сделать их работу более эффективной посредством снижения воздействия предприятий на окружающую среду, а также посредством образования дополнительных объектов для использования и продажи: вермикомпоста и непосредственно биомассы червей.

Наиболее эффективно производить переработку биологических отходов рыб на рыбоводных предприятиях индустриального типа – установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), так как на них возможно легко обеспечить сбор экскрементов.

Следует отметить, что образующаяся при вермикомпостировании биомасса червей также может быть использована в аквакультуре в качестве корма основного объекта выращивания [4].

Методы исследования

В период с марта по апрель 2021 г. на рыбоводном хозяйстве ИП «Акваферма», расположенном в Ленинградской области, поселок Тяглино, в качестве эксперимента производилась переработка продуктов жизнедеятельности рыб с помощью дождевых червей (рис. 2)¹.



Рис. 2. Черви в субстрате, ИП «Акваферма» /
Figure 2. *Eisenia foetida* earthworms («Staratel» hybrid) on the substrate, «Aquaferma» aquaculture facility

¹ Официальный сайт ИП «Акваферма». URL: <https://aquafarmspb.ru/> (дата обращения: 29.10.21).

Эксперимент проводился с использованием биологических отходов основного объекта разведения хозяйства – русского осетра. В качестве объекта переработки использовали кольчатых червей вида *Eisenia foetida* (гибрид «Старатель»).

В ходе эксперимента использовались различные соотношения осетровых фекалий (питательный субстрат) и чернозема (нейтральный субстрат) в качестве субстрата (2:1, 1:1, 1:2), помещенные в ящики объемом 27,6 л. Предварительного компостирования биологических отходов не производилось.

Результаты и обсуждение

По завершении эксперимента, проводившегося в рыбоводном хозяйстве ИП «Акваферма», была подтверждена успешная переработка биологических отходов аквакультуры (осетровых фекалий) на всех типах субстратов, образование коконов наблюдалось независимо от соотношения питательного и нейтрального субстратов (чернозема и фекалий)².

Таким образом, вермикомпостирование может быть успешно применено для эффективной переработки отходов аквакультуры.

Таблица 3

Оптимумы параметров субстрата для гибрида «Старатель» вида *Eisenia foetida*

Параметр	Оптимум
Температура, °С	15–25
Относительная влажность, %	70–80
pH	5–8
Соотношение C/N	20

Table 3

Limits of some substrate parameters for *Eisenia foetida* earthworm («Staratel» hybrid)

Parameter	Optimum
Temperature, °C	15–25
Humidity, %	70–80
pH	5–8
C/N ratio	20

Подготовка питательного субстрата, сформированного биологическими отходами рыбоводных предприятий, для дождевых червей *Eisenia foetida* имеет ряд особенностей. Так, соотношение углерода к азоту в исходном субстрате для дождевых червей должен составлять около 20 (табл. 3), в то время как в биологических отходах рыбоводства, в значительной степени состоящих из непереваренных остатков продукционных кормов, этот показатель равен от 6 до 9, то есть слишком высокое для *Eisenia foetida* [4; 8]. Таким образом, обозначена необходимость увеличения содержания углерода в исходном субстрате, чего можно достичь добавлением в него мелких сухих растительных остатков (опилок, макулатуры, картона) [9]. Также одним из необходимых для эффективной деятельности дождевых червей условий является влажность исходного субстрата, которая должна составлять 70–80 % (табл. 3). Однако биологические отходы товарной аквакультуры имеют большую влажность (до 99% влажности), что подразумевает необходимость осушивания субстрата перед внесением для переработки *Eisenia foetida* [4].

² Официальный сайт ИП «Акваферма». URL: <https://aquafarmspb.ru/> (дата обращения: 29.10.21).

Заключение

Успешный опыт использования вермикомпостирования в животноводстве, а также успешный опыт ИП «Акваферма» подразумевают, что с учетом обозначенных проблем биологических отходов аквакультуры как субстрата для *Eisenia foetida* (повышенной влажности и несоответствующего соотношения углерода к азоту) данная технология переработки биологических отходов может быть эффективно применена на хозяйствах товарной аквакультуры России, что значительно снизит загрязнение поверхностных вод, подвергнутых воздействию сточных вод рыбоводных предприятий, а также позволит перерабатывать отходы производства в побочный продукт, биогумус, который можно использовать в качестве биологически чистого удобрения.

Список литературы

- [1] О развитии и поддержке аквакультуры (рыбоводства) в Российской Федерации: информ. изд. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 164 с.
- [2] Вавилкин А.С. Основы ихтиологии и рыбоводства. М.: Пищевая промышленность, 1974. 168 с.
- [3] Ворошилина З.П. Товарное рыбоводство. Калининград: Изд-во КГТУ, 2006. 275 с.
- [4] Методики и технологии вермикультивирования червя «Старатель». URL: <http://www.green-pik.ru/> (дата обращения: 08.11.21).
- [5] Chakrabarty D., Sanjib Kumar Das. Application of Vermitechnology in Aquaculture. West Bengal, India, 2009.
- [6] Thongam Ibemcha Chanu, Arun Sharma. Vermicompost Production Technology for Organic Aquaculture. Balabhadrapuram, India, 2017.
- [7] Yeo S.E., Binkowski F.P. Processing Aquaculture System Biosolids by Worm Composting. Vermicomposting. Iowa, USA, 2010.
- [8] Шилин М.Б., Саранчова О.Л. Полярная аквакультура. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2005. 172 с.
- [9] Биофлок технология в рыбоводстве. URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-Z12093608.pdf (дата обращения: 07.11.21).

References

- [1] Progress and governmental support of aquaculture in Russian Federation. Moscow: Rosinformagrotech Publ.; 2020. (In Russ.)
- [2] Vavilkin AS. *Basics of ichthyology and aquaculture*. Moscow: Piscevaya promislinnost Publ.; 1974. (In Russ.)
- [3] Voroshilin ZP. *Marketable aquaculture*. Kaliningrad: KGTU Publ.; 2006. (In Russ.)
- [4] Methodology and technology of *Eisenia foetida* cultivation. (In Russ.) Available from: <http://www.green-pik.ru>
- [5] Chakrabarty D, Sanjib Kumar D. *Application of Vermitechnology in Aquaculture*. West Bengal, India; 2009.
- [6] Thongam Ibemcha Chanu, Arun Sharma. *Vermicompost Production Technology for Organic Aquaculture*. Balabhadrapuram, India; 2017.
- [7] Yeo SE, Binkowski FP. *Processing Aquaculture System Biosolids by Worm Composting. Vermicomposting*. Iowa, USA; 2010.

- [8] Shilin MB, Saranchova OL. *Polar aquaculture*. Saint-Petersburg: Russian State Hydrometeorological University Publ.; 2005. (In Russ.)
- [9] Biofloc technology in aquaculture. (In Russ.) Available from: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-Z12093608.pdf

Сведения об авторах:

Егорова Наталья Андреевна, магистрант, кафедра прикладной и системной экологии, экологический факультет, Российский государственный гидрометеорологический университет, Российская Федерация, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 98. E-mail: BuffooNEW@yandex.ru

Шошин Александр Владимирович, кандидат биологических наук, доцент, кафедра водных биоресурсов, аквакультуры и гидрохимии, экологический факультет, Российский государственный гидрометеорологический университет, Российская Федерация, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 98. E-mail: trilobus@mail.ru

Bio notes:

Natalia A. Egorova, MA student in Environmental Sciences, Department of Applied and Systemic Ecology, Faculty of Ecology, Russian State Hydrometeorological University, 98 Maloochtinsky Pr, Saint-Petersburg, 195196, Russian Federation. E-mail: BuffooNEW@yandex.ru

Aleksandr V. Shosin, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Aquatic biological resources, Aquaculture and Hydrochemistry, Faculty of Ecology, Russian State Hydrometeorological University, 98 Maloochtinsky Pr, Saint-Petersburg, 195196, Russian Federation. E-mail: trilobus@mail.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-300-311

УДК 631.111:551.583

Научная статья / Research article

Проекции условий влагообеспеченности в Севастопольском регионе для выращивания винограда

Е.В. Вышкваркова^{1,2}, Е.А. Рыбалко³,
О.В. Марчукова¹, Н.В. Баранова³

¹ Институт природно-технических систем, Севастополь, Российская Федерация

² Севастопольский государственный университет, Севастополь, Российская Федерация

³ Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства
и виноделия «Магарач» РАН, Ялта, Российская Федерация

aveiro_7@mail.ru

Аннотация. Климатические и орографические особенности Севастопольского региона являются основой развития виноградарства, виноделия и получения широкой палитры вин высокого качества. Виноградарство является специализацией сельского хозяйства в Севастопольском регионе. Наблюдаемые и прогнозируемые изменения климата приводят к смещению благоприятных зон для выращивания винограда. Количество атмосферных осадков является ключевым параметром, наравне с температурой воздуха, для получения винограда высокого качества, а в дальнейшем вина. Потребности винограда в воде меняются в зависимости от сезона и фазы развития растения. Проведена оценка возможных изменений условий влагообеспеченности Севастопольского региона для выращивания винограда. Используются данные численных расчетов глобальных климатических моделей проекта СМIP6 при неблагоприятном сценарии концентрации парниковых газов SSP5-8.5. Оценка проведена с использованием двух агроклиматических индексов – гидротермический коэффициент Селянинова и индекс сухости, к середине и концу XXI века. Согласно прогнозируемым величинам агроклиматических индексов к середине и концу века Севастопольский регион останется в зоне, где выращивание винограда будет возможно без орошения. Полученные результаты показали вероятность увеличения засушливости региона в будущие периоды, особенно к концу века, что повлечет дополнительный стресс для винограда. Для минимизации неблагоприятных условий потребуются принятие мер адаптации, таких как выбор засухоустойчивых сортов винограда, изменений в системе обработки почвы, размещение виноградников на северных склонах.

Ключевые слова: виноград, климат, осадки, прогноз, Севастопольский регион

© Вышкваркова Е.В., Рыбалко Е.А., Марчукова О.В., Баранова Н.В., 2022



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

Благодарности и финансирование: Работа выполнена в рамках госзадания ИПТС (№ государственной регистрации 121122300072-3).

Вклад авторов: *Е.В. Вышкваркова* – концепция и дизайн исследования, написание текста; *Е.А. Рыбалко* – анализ полученных данных, визуализация результатов; *О.В. Марчукова* – сбор и обработка данных; *Н.В. Баранова* – сбор и обработка данных.

История статьи: поступила в редакцию 21.03.2022; принята к публикации 17.05.2022.

Для цитирования: *Вышкваркова Е.В., Рыбалко Е.А., Марчукова О.В., Баранова Н.В.* Проекция условий влагообеспеченности в Севастопольском регионе для выращивания винограда // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 300–311. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-300-311>

Projections of moisture conditions in the Sevastopol region for grapes growing

Elena V. Vyshkvarkova^{1,2}  , Evgeniy A. Rybalko³ ,
Olesia V. Marchukova¹ , Natalia V. Baranova³ 

¹ *Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Russian Federation*

² *Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation*

³ *All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking 'Magarach' RAS, Yalta, Russian Federation*

 aveiro_7@mail.ru

Abstract. The climatic and orographic features of the Sevastopol region are the basis for the development of viticulture, winemaking and obtaining a wide range of high-quality wines. Viticulture is a specialization of agriculture in the Sevastopol region. Observed and predicted climate changes lead to a shift in favorable zones for growing grapes. The amount of precipitation is a key parameter, along with air temperature, for obtaining high quality grapes, and later wine. The water requirements of grapes vary with the season and phase of plant development. The article assesses the possible changes in the conditions of moisture conditions in the Sevastopol region for the grapes growing. The work uses data from numerical calculations of global climate models of the CMIP6 project under an unfavorable scenario of greenhouse gas concentrations SSP5-8.5. The assessment was carried out using two agroclimatic indices – the Selyaninov hydrothermal coefficient and the dryness index, by the middle and end of the 21st century. According to the predicted values of agroclimatic indices, by the middle and the end of the century, the Sevastopol region will remain in the zone where the cultivation of grapes will be possible without irrigation. The results obtained showed the likelihood of an increase in the aridity of the region in future periods, especially towards the end of the century, which will entail additional stress for the grapes. Adaptation measures such as selection of drought-tolerant grape varieties, changes in tillage systems, and placement of vineyards on northern slopes will be required to minimize unfavorable conditions.

Keywords: grapes, climate, precipitation, forecast, Sevastopol region

Acknowledgements and Funding: The study was supported by state assignment of Institute of natural and technical systems (Project Reg. No. 121122300072-3).

Authors' contributions: E.V. Vyshkvarkova – research concept and design, text writing; E.A. Rybalko – formal analysis, visualization; O.V. Marchukova – data collection and processing; N.V. Baranova – data collection and processing.

Article history: received 21.03.2022; accepted 17.05.2022.

For citation: Vyshkvarkova EV, Rybalko EA, Marchukova OV, Baranova NV. Projections of moisture conditions in the Sevastopol region for grapes growing. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):300–311. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-300-311>

Введение

Температура воздуха и атмосферные осадки являются основными метеорологическими параметрами для выращивания винограда (*Vitis Vinifera* L.). Многочисленные исследования о влиянии температурных условий на развитие виноградной лозы, созревание ягод и качество вина проведены для многих винодельческих районов мира (например, [1–3]). Влиянию количества осадков на виноградарство посвящено меньше работ, а роли отдельных характеристик осадков на фенологию винограда еще меньше [4]. Необходимость в осадках и их количестве изменяется в зависимости от сезона и фазы развития виноградного растения. Осадки оказывают существенное влияние на водный баланс почвы, определяя доступность воды для растений [5]. Осадки необходимы в зимне-весенний период для накопления воды в почве [6], а в начале вегетации для развития соцветий [7]. В период цветения и созревания ягод наоборот нужны сухие атмосферные условия [8]. Избыточное количество осадков может увеличить урожай, однако снизить содержание сахара в ягодах, чрезмерные дожди могут вызвать грибковые заболевания и прервать опыление цветов, а также задержать сбор урожая. В то же время дефицит осадков отрицательно сказывается на растении, нарушая процесс созревания, и, как следствие, снижает качество вина [7; 9].

Наблюдаемое потепление климата привело к сдвигу климатических зон, в первую очередь в виде увеличения засушливости климата [10]. Наряду с этим, по данным наблюдений, произошел рост экстремальных событий, связанных с осадками и этот рост, как показывают расчеты глобальных моделей, в будущем сохранится [11]. На Европейской территории России в летний сезон наблюдается уменьшение количества осадков, существенное в южных областях [12]. По данным IPCC, изменение атмосферных осадков при дальнейшем потеплении не будет однородным [11]. При неблагоприятном сценарии концентрации парниковых газов (RCP8.5) во многих засушливых регионах средних широт и в субтропиках среднее количество осадков, вероятно, уменьшится, в то время как во многих влажных регионах в средних широтах к концу этого столетия оно, вероятно, возрастет. В XXI в. осадки на территории России в целом будут возрастать, причем наиболее значительный их рост ожидается зимой. К середине XXI в. на юге Европейской части России ожидается тенденция к уменьшению количества осадков в летний сезон [12].

Виноградарство является специализацией сельского хозяйства Севастопольского региона. На конец 2020 г. общая площадь виноградных насаждений составила в регионе более 5,9 тыс. га, из них плодоносящих – свыше 4,7 тыс. га. В регионе ведется работа над реализацией приоритетного проекта «Терруар Севастополь», который предполагает развитие винодельческой инфраструктуры и увеличение площадей виноградников до 10 тыс. га к 2030 г. [13]. Виноградарство в регионе неполивное. По данным метеорологических наблюдений, Севастопольский регион обладает достаточными тепловыми условиями для выращивания винограда всех сроков созревания [14].

Цель работы – оценка возможных изменений влагообеспеченности Севастопольского региона к середине и концу XXI в.

Материалы и методы

Будущие изменения влагообеспеченности региона оценивались на основе данных результатов моделирования глобальных климатических моделей проекта CMIP6 [15]. Для шестой фазы проекта CMIP разработан новый набор сценариев, которые отражают различные социально-экономические изменения (SSP – Shared Socioeconomic Pathways), а также различные пути антропогенного изменения концентрации парниковых газов в атмосфере [16]. В работе использованы данные расчетов при сценарии SSP5-8.5. Сценарий SSP5-8.5 – это крайний сценарий, который считается самым неблагоприятным. Радиационное воздействие к 2100 г. при таком сценарии составляет 8,5 Вт/м², а концентрация парниковых газов – 1100 ppm [17], инновации и технологии растут за счет интенсивного использования природного ископаемого топлива [18].

Для получения оценок будущих изменений условий влагообеспеченности региона использован ансамбль из результатов моделирования шести моделей: ACCESS-CM2, CMCC-CM2-SR5, HadGEM3-GC31-LL, INM-CM4-8, KACE-1-0-G, NESM3. Использование ансамбля результатов моделей позволяет уменьшить неопределенность, связанную с отдельной моделью [19]. Анализ основан на первом члене ансамбля (`member_id = r1i1p1f1`) каждой модели. Интерполяция данных из узлов сетки моделей в район Севастопольского региона выполнена методом линейной интерполяции.

За исторический (базовый) период принят 1981–2014, и два будущих периода – 2021–2050 и 2051–2080. Выбраны 30-летние периоды, так как период обновления виноградной лозы составляет 25–30 лет.

В статье проанализированы следующие параметры влагообеспеченности региона: 1) количество осадков за вегетационный период (мм), определяется как сумма осадков за вегетационный период (с апреля по октябрь в Северном полушарии) и дает информацию о влиянии осадков за этот период на фенологию и созревание ягод, что, в свою очередь, влияет на качество винограда и здоровье виноградной лозы [20]; 2) гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) [21]; 3) индекс сухости (`dryness index – DI`) [22].

Формулы для расчета индексов:

$$\text{ГТК} = \frac{P \cdot 10}{\sum t}, \quad (1)$$

$$DI = W_0 + DI = W_0 + \sum_{1 \text{ Apr}}^{31 \text{ Oct}} [P - (E_t + E_s)], \quad (2)$$

где P – осадки, мм; W_0 – начальная влажность почвы, мм; $\sum t$ – сумма температур выше 10°C ; E_t – потеря воды через транспирацию, E_s – количество воды, испаряющейся с поверхности земли.

Значения гидротермического коэффициента больше 1,0 свидетельствуют о достаточном увлажнении территории, в то время как меньше 1,0 – о недостаточном соответственно. Индекс сухости делится на четыре класса: DI+2 «очень сухой» со значениями меньше -100 мм; DI+1 – «умеренно сухой», от -100 до 50 мм; DI–1 «умеренно влажный», от 50 до 150 мм и DI–2 – «влажный», с величинами индекса более 150 мм.

Материалами служили векторная карта Крымского полуострова, цифровая модель рельефа SRTM-3, климатическая модель Worldclim 2.0. Моделирование пространственного распределения величины гидротермического коэффициента Селянинова осуществлялось на основе раздельного моделирования двух климатических факторов, формирующих данный коэффициент – суммы активных температур выше 10°C (с использованием формулы Софрони–Энтензона с предложенными для территории Крымского полуострова поправками [23]) и суммы осадков за вегетационный период (на основе модели Worldclim 2.0). Моделирование пространственного варьирования индекса сухости также основано на модели Worldclim 2.0. При этом начальное значение водного баланса (W_0) для исследуемого региона принято за 200 мм, а потенциальная эвапотранспирация – 5 мм/сут. Для моделирования агроклиматических индексов и визуализации результатов использован ArcGIS.

Результаты и обсуждение

Сравнение данных наблюдений и ансамбля климатических моделей по температуре воздуха показало высокую связь (коэффициент корреляции составил $0,88$). Значения атмосферных осадков по данным моделирования имеют низкие значения корреляции с данными наблюдений. Это ожидаемый результат, поскольку ежедневные осадки характеризуются сильной пространственной неоднородностью. Проведено сравнение линейных трендов данных наблюдений осадков и ансамбля из моделей, которое показало совпадение тенденций в данных за исторический период. Проведенные тесты позволяют использовать ансамбль модельных данных для дальнейших расчетов индексов влагообеспеченности региона.

Для базового периода 1981 – 2014 получено количество осадков за вегетационный период – 224 мм. При сценарии SSP5-8.5 ожидается сначала рост в первый будущий период до 227 мм (выше, чем в базовый период 1981 – 2014), а затем уменьшение до 195 мм. В целом в Севастопольском

регионе наблюдается динамика к уменьшению суммы осадков за вегетационный период к середине и концу XXI в.

Гидротермический коэффициент. ГТК показывает уровень влагообеспеченности региона [21], используется в агрономии для общей оценки климата и выделения зон различного уровня влагообеспеченности с целью определения целесообразности выращивания тех или иных сельскохозяйственных культур. Изменение значений гидротермического коэффициента по территории Севастопольского региона на два будущих периода при сценарии SSP5-8,5 относительно базового периода (1981–2014) представлено на рис. 1. Как видно, в будущие периоды наблюдается увеличение площади региона со значениями ГТК менее 0,6 за счет уменьшения площадей с другими интервалами коэффициента. В первый будущий период процент площади региона с недостаточным увлажнением (ГТК < 1,0) возрастает до 96,2 %, в то время как в исторический период он составлял 94,3 %. Во второй будущий период процент площади региона с достаточным увлажнением (ГТК > 1,0) сокращается до 2 %.

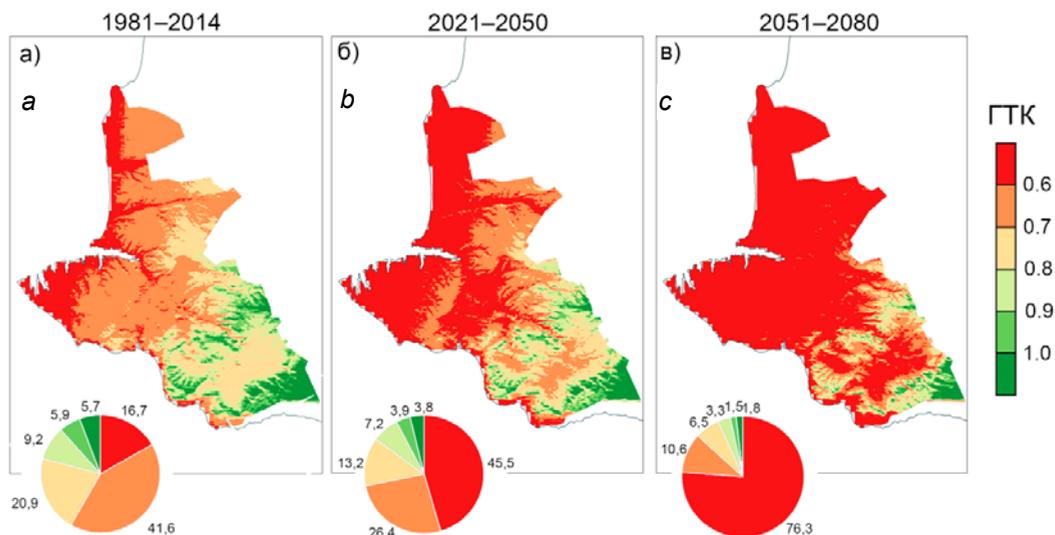


Рис. 1. Гидротермический коэффициент (ГТК) для территории Севастопольского региона для исторического (а) и будущих периодов (б, в) при сценарии SSP5-8,5 и диаграммы распределения площадей (в %) /

Figure 1. Hydrothermal coefficient (HTC) for the territory of the Sevastopol region for the historical (a) and future periods (b, c) under the SSP5-8.5 scenario and the area distribution diagram (in %)

Значение ГТК, равное 0,5, считается границей для возделывания винограда без орошения в богарной зоне [24; 25]. В современный период и в будущие периоды Севастопольский регион по значениям ГТК остается в зоне, в которой возделывание винограда возможно без искусственного орошения. Снижение уровня обеспеченности территории осадками в период роста и созревания ягод винограда обнаружено в агроэкологических регионах промышленного виноградарства Краснодарского края и Ростовской области (Россия) [26].

Индекс сухости (DI). Индекс сухости – это климатический индекс, используемый в виноградарстве для характеристики водной составляющей региона, тесно связанной с качественными характеристиками винограда и вина [27]. Индекс учитывает климатические требования виноградника, испарение с открытой почвы, количество осадков без вычета поверхностного стока или дренажа. Он указывает на потенциальную доступность воды в почве, связанную с уровнем засушливости в регионе. По значениям индекса сухости вся территория Севастопольского региона в первый и второй будущие периоды будет находиться в классе DI+1 “умеренно сухой” виноградарского климата, при котором виноградная лоза потенциально может столкнуться с определенным уровнем сухости. Это класс с большим интервалом значений от 50 до –100 мм [22]. Мы разделили этот класс на небольшие интервалы с шагом в 20 мм, чтобы посмотреть динамику изменения индекса к середине и концу века. Как видно на рис. 2, увеличивается процент площади с преобладающими значениями индекса сухости от –80 до –100. Эти регионы можно классифицировать как климат средиземноморского типа с дефицитом воды летом [22]. Таким образом территория Севастопольского региона к концу второго будущего периода находится на грани перехода в класс DI+2.

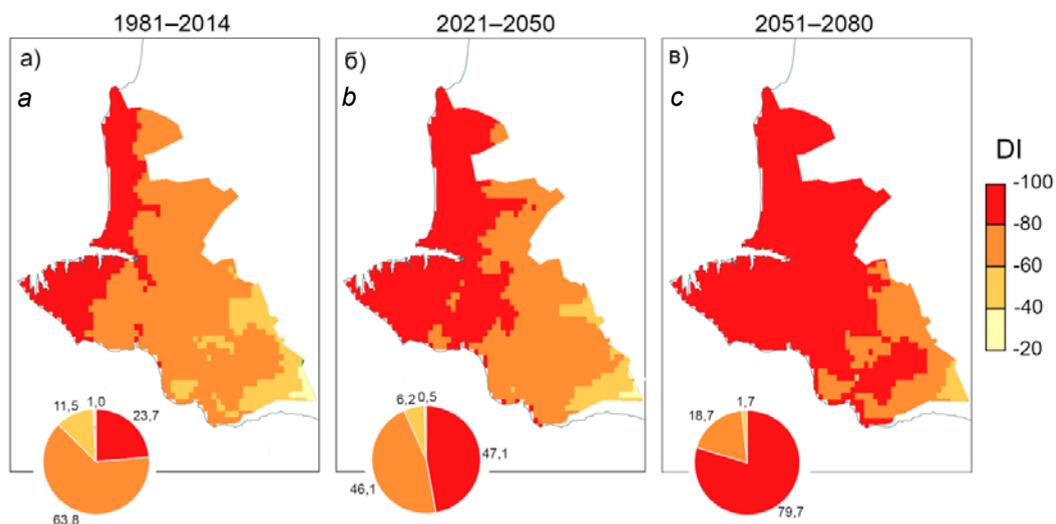


Рис. 2. Индекс сухости (мм) для территории Севастопольского региона для исторического (а) и будущих периодов (б, в) при сценарии SSP5-8,5 и диаграммы распределения площадей (в %) / Figure 2. Dryness index (mm) for the territory of the Sevastopol region for the historical (a) and future periods (b, c) under the SSP5-8.5 scenario and area distribution diagrams (in %)

Наши результаты согласуются с ранее полученными, например, в работе [28] в период 2071–2100 территория Крымского полуострова будет находиться в этом классе DI. Использование биоклиматических индексов для оценки будущих изменений условий влагообеспеченности в будущем проведено для некоторых винодельческих районов Европы и мира. В целом для винодельческих районов Европы характерно увеличение засушливости в будущем, что особенно будет выражено на юге (Средиземноморская часть).

Заключение

В работе по данным результатов моделей проекта СМIP6 получены оценки возможных изменений условий влагообеспеченности Севастопольского региона к середине и концу XXI в. Для этого использованы два индекса, основанных на атмосферных осадках – гидротермический коэффициент и индекс сухости. Гидротермический коэффициент (ГТК), предложенный Г.Т. Селяниновым, наиболее полно характеризует условный баланс влаги и тепла. Результаты показали увеличение площади региона с показателями ГТК менее 0,6, что свидетельствует об увеличении засушливости региона. По нашим расчетам Севастопольский регион в будущие периоды будет находиться в классе «умеренно сухо» по значениям индекса сухости.

Ожидаемые тенденции к потеплению и увеличению засушливости могут создать дополнительные проблемы для выращивания винограда. Прогнозируемое уменьшение осадков, более высокие температуры воздуха и почвы, более частые и продолжительные экстремальные климатические явления (например, волны тепла, экстремальная засуха) негативно скажутся на виноградарстве. Подобные климатические изменения приведут к увеличению теплового стресса и водного дефицита, что потребует изменений в системе обработки почвы, выбору более устойчивых к засухе подвоев, увеличению потребности растений в воде и необходимости орошения, а также использования видового разнообразия винного винограда. Полученные результаты важны для выбора мер адаптации к текущим и будущим климатическим изменениям и будущим. Исследование требует продолжения ввиду прогрессирующих изменений климата.

Список литературы

- [1] *Venios X., Korkas E., Nisiotou A., Banilas G.* Grapevine Responses to Heat Stress and Global Warming // *Plants*. 2020. Vol. 9. 1754. <https://doi.org/10.3390/plants9121754>
- [2] *Fraga H., Pinto J.G., Santos J.A.* Climate change projections for chilling and heat forcing conditions in European vineyards and olive orchards: A multi-model assessment // *Climat Changing* 2019. Vol. 152. P. 179–193. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2337-5>
- [3] *Gutiérrez-Gamboa G., Zheng V., Toda M.* Current viticultural techniques to mitigate the effects of global warming on grape and wine quality: A comprehensive review // *Food Research International*. 2021. Vol. 139. 109946. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109946>
- [4] *Carlo P., Aruffo E., Brune W.H.* Precipitation intensity under a warming climate is threatening some Italian premium wines // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 685. P. 508–513. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.449>
- [5] *Santos J.A., Fraga H., Malheiro A.C., Moutinho-Pereira J., Dinis L.-T., Correia C., Moriondo M., Leolini L., Dibari C., Costafreda-Aumedes S., Kartschall T., Menz C., Molitor D., Junk J., Beyer M., Schultz H.R.* A Review of the Potential Climate Change Impacts and Adaptation Options for European Viticulture // *Applied Science* 2020. Vol. 10. 3092. <https://doi.org/10.3390/app10093092>
- [6] *Gladstones J.* *Wine, Terroir and Climate Change*. Wakefield Press: Kent Town South Australia. 2011. 280 p.

- [7] Novikova L.Yu., Naumova L.G. Dependence of Fresh Grapes and Wine Taste Scores on the Origin of Varieties and Weather Conditions of the Harvest Year in the Northern Zone of Industrial Viticulture in Russia // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. P. 1613. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101613>
- [8] Jones G.V., Davis R.E. Climate Influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France // *Am. J. Enol. Vitic.* 2000. Vol. 51. P. 249–261.
- [9] de Orduña M.R. Climate change associated effects on grape and wine quality and production // *Food Res. Int.* 2010. Vol. 43. P. 1844–1855.
- [10] Jia G., Shevliakova E., Artaxo P., Noblet-Ducoudré D., Houghton R., House J., Kitajima K., Lennard C., Popp A., Sirin A. Land-climate interactions // *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems* / Shukla P.R., Skea J., Buendia E.C., Masson-Delmotte V., Pörtner H.-O., Roberts D.C., Zhai P., Slade R., Connors S., van Diemen R. (eds.). 2019.
- [11] AR6 Climate change 2022. Impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers. 2022, in press.
- [12] Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет. 2014. 56 с.
- [13] Стратегия социально-экономического развития города Севастополя до 2030 года. Закон города Севастополя. Севастополь, 2017. 171 с.
- [14] Vyshkvarkova E.V., Rybalko E.A., Baranova N.V., Voskresenskaya E.N. Favorability Level Analysis of the Sevastopol Region's Climate for Viticulture // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. 1226. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091226>
- [15] Eyring V., Bony S., Meehl G.A., Senior C.A., Stevens B., Stouffer R.J., Taylor K.E. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization // *Geosci. Model Dev.* 2016. Vol. 9. P. 1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
- [16] Meinshausen M., Nicholls Z.R.J., Lewis J., Gidden M.J., Vogel E., Freund M., Beyerle U., Gessner C., Nauels A., Bauer N., Canadell J.G., Daniel J.S., John A., Krummel P.B., Luderer G., Meinshausen N., Montzka S.A., Rayner P.J., Reimann S., Smith S.J., van den Berg M., Velders G.J.M., Vollmer M.K., Wang R.H.J. The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500 // *Geosci. Model Dev.* 2020. Vol. 13. P. 3571–3605. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>
- [17] O'Neill B.C., Tebaldi C., van Vuuren D.P., Eyring V., Friedlingstein P., Hurtt G., Knutti R., Kriegler E., Lamarque J.-F., Lowe J., Meehl G.A., Moss R., Riahi K., Sanderson B.M. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6 // *Geosci. Model Dev.* 2016. Vol. 9. P. 3461–3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
- [18] Riahi K., van Vuuren D.P., Kriegler E., Edmonds J., O'Neil B., Fujimori S., Bauer N., Calvin K. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview // *Global Environmental Change*. 2017. Vol. 42. P. 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- [19] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections; National Center for Atmospheric Research. Boulder: CO, USA, 2010.
- [20] Cabré F., Nuñez M. Impacts of climate change on viticulture in Argentina // *Regional Environmental Change*. 2020. Vol. 20. 12. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01607-8>

- [21] *Селянинов Г.Т.* Агроклиматическая карта мира. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 12 с.
- [22] *Tonietto J., Carbonneau A.* A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2004. Vol. 124 (1–2). P. 81–97.
- [23] *Рыбалко Е.А.* Адаптация математической модели пространственного распределения теплообеспеченности территории с целью эффективного размещения промышленных виноградников на территории Крымского полуострова // *Магарач. Виноградарство и виноделие*. 2014. № 2. С. 10–11.
- [24] *Виноградарство: учебник / К.В. Смирнов, Л.М. Малтабар, А.К. Раджабов, Н.В. Матузок, Л.П. Трошин; под ред. К.В. Смирнова. М.: Изд-во МСХА. 2017. 510 с.*
- [25] *Давитая Ф.Ф.* Климатические зоны винограда СССР. Москва: Пищепромиздат, 1948. 192 с.
- [26] *Петров В.С., Алейникова Г.Ю.* Влияние изменений климата на фенологию винограда // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2019. № 57 (03). С. 29–50. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2019-3-57-29-50>
- [27] *Tonietto J., Ruiz V.S., Gomez-Miguel V.D., editors.* *Clima, Zonification y Tipicidad del Vino en Regiones Vitivinícolas Iberoamericanas*. Madrid: CYTED, 2012.
- [28] *Malheiro A.C., Santos J.A., Pinto J.G., Jones G.V.* European viticulture geography in a changing climate // *Bulletin de l'OIV*. 2012. Vol. 85. № 971-972-973. P. 15–22.

References

- [1] Venios X, Korkas E, Nisiotou A, Banilas G. Grapevine Responses to Heat Stress and Global Warming. *Plants*. 2020;9:1754. <https://doi.org/10.3390/plants9121754>
- [2] Fraga H, Pinto JG, Santos JA. Climate change projections for chilling and heat forcing conditions in European vineyards and olive orchards: A multi-model assessment. *Clim. Chang*. 2019;152:179–193. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2337-5>
- [3] Gutiérrez-Gamboa G, Zheng V, Toda M. Current viticultural techniques to mitigate the effects of global warming on grape and wine quality: A comprehensive review. *Food Research International*. 2021;139:109946. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109946>
- [4] Carlo P, Aruffo E, Brune WH. Precipitation intensity under a warming climate is threatening some Italian premium wines. *Science of the Total Environment*. 2019;685:508–513. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.449>
- [5] Santos JA, Fraga H, Malheiro AC, Moutinho-Pereira J, Dinis L-T, Correia C, Moriondo M, Leolini L, Dibari C, Costafreda-Aumedes S, Kartschall T, Menz C, Molitor D, Junk J, Beyer M, Schultz HR. A Review of the Potential Climate Change Impacts and Adaptation Options for European Viticulture. *Appl. Sci*. 2020;10:3092. <https://doi.org/10.3390/app10093092>
- [6] Gladstones J. *Wine, Terroir and Climate Change*. Wakefield Press: Kent Town South Australia; 2011.
- [7] Novikova LYu, Naumova LG. Dependence of Fresh Grapes and Wine Taste Scores on the Origin of Varieties and Weather Conditions of the Harvest Year in the Northern Zone of Industrial Viticulture in Russia. *Agronomy*. 2020;10:1613. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101613>
- [8] Jones GV, Davis RE. Climate Influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *Am. J. Enol. Vitic*. 2000;51:249–261.
- [9] de Orduña MR. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Res. Int*. 2010;43:1844–1855.
- [10] Jia G, Shevliakova E, Artaxo P, Noblet-Ducoudré D, Houghton R, House J, Kitajima K, Lennard C, Popp A, Sirin A. Land–climate interactions. In: *Climate Change and Land*:

- An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Shukla PR, Skea J, Buendia EC, Masson-Delmotte V, Pörtner H-O, Roberts DC, Zhai P, Slade R, Connors S, van Diemen R, editors. 2019. in press.
- [11] AR6 Climate change 2022. Impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers. 2022, in press.
- [12] Second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Moscow: Rosgidromet; 2014. (In Russ).
- [13] Strategy for socio-economic development of the city of Sevastopol until 2030. Law of the city of Sevastopol. Sevastopol; 2017. (In Russ).
- [14] Vyshkvarkova EV, Rybalko EA, Baranova NV, Voskresenskaya EN. Favorability Level Analysis of the Sevastopol Region's Climate for Viticulture. *Agronomy*. 2020;10:1226. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091226>
- [15] Eyring V, Bony S, Meehl GA, Senior CA, Stevens B, Stouffer RJ, Taylor KE. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geosci. Model Dev*. 2016;9:1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
- [16] Meinshausen M, Nicholls ZRJ, Lewis J, Gidden MJ, Vogel E, Freund M, Beyerle U, Gessner C, Nauels A, Bauer N, Canadell JG, Daniel JS, John A, Krummel PB, Luderer G, Meinshausen N, Montzka SA, Rayner PJ, Reimann S, Smith SJ, van den Berg M, Velders GJM, Vollmer MK, Wang RHJ. The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geosci. Model Dev*. 2020;13:3571–3605. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>
- [17] O'Neill BC, Tebaldi C, van Vuuren DP, Eyring V, Friedlingstein P, Hurtt G, Knutti R, Kriegler E, Lamarque J-F, Lowe J, Meehl GA, Moss R, Riahi K, Sanderson BM. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geosci. Model Dev*. 2016;9:3461–3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
- [18] Riahi K, van Vuuren DP, Kriegler E, Edmonds J, O'Neil B, Fujimori S, Bauer N, Calvin K. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*. 2017;42:153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- [19] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections; National Center for Atmospheric Research. Boulder: CO; 2010.
- [20] Cabré F, Nuñez M. Impacts of climate change on viticulture in Argentina. *Regional Environmental Change*. 2020;20:12. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01607-8>
- [21] Selyaninov GT. Agro-climatic map of the world. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1966. (In Russ).
- [22] Tonietto J, Carbonneau A. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2004;124(1–2):81–97.
- [23] Rybalko EA. Adaptation of the mathematical model of the spatial distribution of the heat supply of the territory in order to effectively locate industrial vineyards on the territory of the Crimean Peninsula. *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie*. 2014;2:10–11. (In Russ).
- [24] Smirnov KV, Maltabar LM, Radzhabov AK, Matuzok NV, Troshin LP. *Vinogradarstvo: uchebnik*. Moscow: Izd-vo MSHA; 2017. (in Russ).
- [25] Davitaya FF. Climatic zones of grapes of the USSR. Moscow: Pishhepromizdat; 1948. (In Russ).

- [26] Petrov VS, Aleynikova GYu. The influence of climate changes the grape phenology. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Juga Rossii*. 2019;57(03):29–50. (In Russ). <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2019-3-57-29-50>
- [27] Tonietto J, Ruiz VS, Gomez-Miguel VD, editors. *Clima, Zonification y Tipicidad del Vino en Regiones Vitivinícolas Iberoamericanas*. Madrid: CYTED; 2012.
- [28] Malheiro AC, Santos JA, Pinto JG, Jones GV. European viticulture geography in a changing climate. *Bulletin de l'OIV*. 2012;85:15–22.

Сведения об авторах:

Вышкваркова Елена Васильевна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы и изменений климата, ФГБУН «Институт природно-технических систем», Российская Федерация, 299011, Севастополь, ул. Ленина, д. 28; доцент кафедры Мониторинг и теория климата, Севастопольский государственный университет, Российская Федерация, 299053, Севастополь, ул. Университетская, д. 33. ORCID: 0000-0002-4890-3247. E-mail: aveiro_7@mail.ru

Рыбалко Евгений Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий сектором агроэкологии, ФГБУН «Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН, Российская Федерация, 298600, Ялта, ул. Кирова, д. 31. ORCID: 0000-0002-4579-3505. E-mail: agroeco-magarach@yandex.ru

Марчукова Олеся Владимировна, младший научный сотрудник лаборатории крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы и изменений климата, ФГБУН «Институт природно-технических систем», Российская Федерация, 299011, Севастополь, ул. Ленина, д. 28. ORCID: 0000-0001-6205-9946. E-mail: olesjath@mail.ru

Баранова Наталья Валентиновна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория агроэкологии, ФГБУН «Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН, Российская Федерация, 298600, Ялта, ул. Кирова, д. 31. ORCID: 0000-0002-2588-360X. E-mail: natali.v.0468@mail.ru

Bio notes:

Elena V. Vyshkvarkova, PhD (Geogr.), Leading Researcher, Laboratory Large-scale Interaction Atmosphere and Ocean and Climate Change, Institute of Natural and Technical Systems, 28 Lenina St, Sevastopol, 299011, Russian Federation; Associate Professor, Department of Monitoring and Theory of Climate, Sevastopol State University, 33 Universitetskaya St, Sevastopol, 299053, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-4890-3247. E-mail: aveiro_7@mail.ru

Evgeniy A. Rybalko, PhD (Agric.), Head of Agroecology Sector, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking «Magarach» of Russian Academy of Sciences, 31 Kirova St, Yalta, 298600, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-4579-3505. E-mail: agroeco-magarach@yandex.ru

Olesia V. Marchukova, junior researcher, Laboratory Large-scale Interaction Atmosphere and Ocean and Climate Change, Institute of Natural and Technical Systems, 28 Lenina St, Sevastopol, 299011, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6205-9946. E-mail: olesjath@mail.ru

Natalia V. Baranova, PhD (Agric.), Leading Researcher, Laboratory Agroecology, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking «Magarach» of Russian Academy of Sciences, 31 Kirova St, Yalta, 298600, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2588-360X. E-mail: natali.v.0468@mail.ru



ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

HUMAN ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-312-325

УДК 613/614-1

Научная статья / Research article

Оценка потенциальных рисков для здоровья населения Байкальского региона при употреблении продуктов, загрязненных антибиотиками

С.С. Тимофеева  , С.С. Тимофеев  , О.В. Тюкалова*Иркутский национальный исследовательский технический университет,**Иркутск, Российская Федерация* ssstimofeeva@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены современные экологические проблемы – загрязнение природной среды антибиотиками и устойчивость к противомикробным препаратам, когда микроорганизмы мутируют и теряют восприимчивость к антибиотикам. Причины этого опасного явления заключаются в постоянно растущем и неконтролируемом применении антибиотиков в медицине, ветеринарии и сельском хозяйстве. Большинство антибиотиков полностью не метаболизируются у людей и животных, значительная часть вводимых лекарств попадает в воду и почву через городские сточные воды, навоз животных и осадок сточных вод, транспортируемый на сельскохозяйственные поля в качестве удобрений, и создают экологические риски для здоровья человека. Оценка экологических рисков от накопления антибиотиков в природных водах и продуктах питания крайне важна для Байкальской природной территории. Это территория, которая включает озеро Байкал (объект всемирного наследия), водоохранную зону, прилегающую к озеру Байкал, его водосборный бассейн на территории Российской Федерации, природные зоны преимущественной охраны, прилегающие к озеру Байкал, а также территорию шириной около 200 км, прилегающую к озеру Байкал к западу и северо-западу от него. Она может подвергнуться потенциальному риску как в отношении эндемичных видов озера Байкал, так и для населения в случае хронического воздействия и накопления антибиотиков в объектах окружающей среды. Целью настоящей работы являлась

© Тимофеева С.С., Тимофеев С.С., Тюкалова О.В., 2022

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

прогнозная оценка экологического риска для здоровья населения при прямом пероральном потреблении воды, мяса и других продуктов, выращенных на территории, загрязненной антибиотиками. Исходными данными служили результаты мониторинга качества пищевых продуктов, поступающих в розничную сеть Иркутской области. Установлено, что в среднем ежедневно взрослый человек – житель региона получает 0,5718 мг/кг антибиотиков вместе с пищевыми продуктами. Ребенок в возрасте от 6 до 12 лет получает 1,3803 мг/кг антибиотика с пищей, а ребенок в возрасте от 2 до 6 лет – 2,6686 мг/кг вещества. У жителей Байкальского региона, взрослого населения и детей в возрасте от 2 до 12 лет, потенциальный экологический риск для здоровья в результате воздействия антибиотиков, поступающих с продуктами питания, на организм на порядок выше безопасного уровня и необходимо предпринимать действия, направленные на минимизацию таких рисков.

Ключевые слова: антибиотики, загрязнение, продукты питания, экологический риск, здоровье

Благодарности и финансирование: Работа выполнена при поддержке Ученого совета ИРНИТУ гранта № 18РАН_2020 «Техногенные риски Байкальского региона».

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

История статьи: поступила в редакцию 01.03.2022; принята к публикации 04.05.2022.

Для цитирования: *Тимофеева С.С., Тимофеев С.С., Тюкалова О.В.* Оценка потенциальных рисков для здоровья населения Байкальского региона при употреблении продуктов, загрязненных антибиотиками // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2022. Т. 30. № 3. С. 312–325. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-312-325>

Assessment of potential risks to the health of the population of the Baikal region when using products contaminated with antibiotics

Svetlana S. Timofeeva[✉], Semyen S. Timofeev^{ORCID}, Olga V. Tyukalova

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

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

Abstract. Modern ecological problems are considered – pollution of the natural environment with antibiotics and resistance to antimicrobial drugs, when microorganisms mutate and lose susceptibility to antibiotics. The reasons for this dangerous phenomenon are the ever-growing and uncontrolled use of antibiotics in medicine, veterinary medicine and agriculture. Most antibiotics are not completely metabolized in humans and animals, a significant part of the injected drugs enters the water and soil through urban wastewater, animal manure and sewage sludge transported to agricultural fields as fertilizers and pose environmental risks to human health. Assessment of environmental risks from the accumulation of antibiotics in natural waters and food is extremely important for the Baikal natural territory. This is an area that includes Lake Baikal (a World Heritage site), a water protection zone adjacent to Lake Baikal, its catchment basin on the territory of the Russian Federation, natural zones of primary protection adjacent to Lake Baikal, as well as an area about 200 km wide

adjacent to Lake Baikal to the west and northwest of it. It may be at potential risk both for endemic species of Lake Baikal and for the population in case of chronic exposure and accumulation of antibiotics in environmental objects. The purpose of this work was a predictive assessment of the environmental risk to public health with direct oral consumption of water, meat and other products grown in an area contaminated with antibiotics. The initial data were the results of monitoring the quality of food products entering the retail network of the Irkutsk region. It was found that on average, an adult resident of the region receives 0.5718 mg/kg of antibiotics daily with food. A child aged 6 to 12 years receives 1.3803 mg/kg of antibiotic daily with food, and a child aged 2 to 6 years receives 2.6686 mg/kg of the substance. Residents of the Baikal region, adults and children aged 2 to 12 years, have a potential environmental health risk as a result of exposure to antibiotics coming with food on the body an order of magnitude higher than the safe level and it is necessary to take actions aimed at minimizing such risks.

Keywords: antibiotics, pollution, food, environmental risk, health

Acknowledgements and Funding: The work was carried out with the support of the Scientific Council of IRNTU grant No. 18RAN_2020 “Technogenic risks of the Baikal region”.

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

Article history: received 01.03.2022; accepted 04.05.2022.

For citation: Timofeeva SS, Timofeev SS, Tyukalova OV. Assessment of potential risks to the health of the population of the Baikal region when using products contaminated with antibiotics. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):312–325. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-312-325>

Широкое применение антибиотиков в современном мире и их накопление в экосистемах привело к глобальной проблеме устойчивости к противомикробным препаратам, когда микроорганизмы мутируют и теряют восприимчивость к антибиотикам, которые ранее успешно применялись для лечения инфекций. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) включила бактериальную резистентность в список десяти наиболее значимых рисков для человечества [1]. Практически ежегодно из-за антибиотикоустойчивости в мире умирают до 700 тысяч человек. По оценкам экспертов, к 2050 г. число смертей, вызванных устойчивостью к антибиотикам, может увеличиться до 10 миллионов, причем 2,4 миллиона из них – в странах с высоким уровнем развития [2].

Ежегодно в России регистрируется до 2,3 миллиона случаев внутрибольничных инфекций [3; 4]. При лечении таких инфекций на первый план выходит проблема бактериальной резистентности. Среди наиболее распространенных: внутрибольничная пневмония, внутрибрюшные инфекции, инфекции мочевыводящих путей. Расходы на противомикробную терапию составляют более 30 % бюджетных средств медицинских организаций. Около 50 % пациентов в отделениях интенсивной терапии страдают инфекциями, половина из которых приобретена в больнице. Инфекции повышают риск смерти в отделениях интенсивной терапии в 2,5 раза.

Причиной высокой устойчивости к антибиотикам является не только применение антибиотиков в медицине, но и растущее и плохо контролируемое их применение в ветеринарии и сельском хозяйстве. Длительный период практически бесконтрольного применения антибиотиков в здравоохранении, ветеринарии и сельском хозяйстве привел к распространению генетически модифицированных форм инфекционных агентов, устойчивых к противомикробным препаратам, и вызвал глобальные экологические проблемы, в первую очередь загрязнение антибиотиками объектов окружающей среды: атмосферы, воды, почвы, продуктов питания, как животного, так и неживотного происхождения, и, следовательно, экологические риски для населения [5–7].

Лекарственные препараты после выполнения терапевтических функций выводятся из организма человека и животных в результате естественного выведения. Поскольку большинство антибиотиков полностью не метаболизируется у людей и животных, значительная часть вводимых лекарств попадает в воду и почву через городские сточные воды, навоз животных и осадок сточных вод, транспортируемый на сельскохозяйственные поля в качестве удобрений. Установлено, что от 30 до 90 % перорально принимаемых лекарственных средств попадают во внешнюю среду с мочой в виде активных метаболитов (в среднем от 64 до 27 %), с калом (в среднем от 35 до 26 %). В биологических очистных сооружениях антибиотики, как правило, не разрушаются, транзитом проходят через них и представляют потенциальную экологическую угрозу для здоровья населения [8–10].

При оценке экологических рисков для водохранилища Циншитань, расположенного выше по течению реки Гантанг и снабжающего питьевой водой город Гуйлинь, Гуанси, с использованием метода коэффициента риска (RQ) установлено, что потенциальный риск остатков антибиотиков в водных экосистемах средний [11]. В провинции Аньхой на юго-востоке Китая, в бассейнах рек Янцзы, Хуай и Синьань, экологические риски от таких антибиотиков, как ципрофлоксацин, эритромицин, офлоксацин, энрофлоксацин и тетрациклин, варьируются в диапазоне от среднего до высокого уровня [12].

Основным источником неконтролируемого поступления антибиотиков в организм человека являются продукты питания, в первую очередь животного происхождения [13; 14], такие как мясо, мясные продукты, птица, рыба, яйца, молоко, сметана, йогурты и другие молочные продукты. Присутствие в молочных продуктах антибиотиков обусловлено неконтролируемым применением стрептомицина, пенициллина и др. антибиотиков для лечения животных, а также использования их в качестве кормовых добавок для ускорения роста животных и предотвращения инфекций. Загрязненные антибиотиками продукты питания являются источниками потенциального экологического риска для здоровья человека.

В соответствии с установленным регламентом проводится мониторинг содержания антибиотиков в продуктах питания испытательными лабораториями Роспотребнадзора и Россельхознадзора, ежегодно исследуется не менее

20 тысяч проб. Анализы показывают, что наиболее часто фиксируется наличие антибиотиков в молочных продуктах, их содержание достигает 1,1%, наименьшее – в продуктах детского питания (менее 0,1 %).

Высокий уровень антибиотикоустойчивости, большие экономические потери при лечении инфекционных заболеваний и интенсивное загрязнение объектов окружающей среды требуют принятия незамедлительных организационных мер как по оценке экологических рисков для здоровья населения, так и разработке эффективных мер технологий ревитализации загрязненных территорий.

Оценка экологических рисков от накопления антибиотиков в природных водах и продуктах питания крайне важна для Байкальской природной территории, включающей озеро Байкал (объект всемирного наследия), водоохранную зону, прилегающую к озеру Байкал, его водосборный бассейн на территории Российской Федерации, а также территорию шириной около 200 км, прилегающую к озеру Байкал к западу и северо-западу от него. Она может подвергнуться потенциальному риску как в отношении эндемичных видов озера Байкал, так и для населения в случае хронического воздействия и накопления антибиотиков в объектах окружающей среды.

В ИРНТУ в течение многих лет реализуется проект «Техногенные риски Байкальского региона» составлен реестр рисков и установлено, что одним из малоизученных являются риски, обусловленные неконтролируемым оборотом антибиотиков в регионе. Учеными ИРНТУ обобщены накопленные знания о судьбе антибиотиков в экосистемах, методы распознавания и идентификации антибиотиков в воде, почве, продуктах питания и других объектах [15; 16], разработана методология прогнозирования потенциальных рисков для населения региона.

Целью настоящей работы являлась прогнозная оценка экологического риска для здоровья населения при прямом пероральном потреблении воды, мяса и других продуктов, выращенных на территории, загрязненной антибиотиками.

Объекты и методы исследования

Потенциальные экологические риски направлены на население Байкальского региона, получающее избыточные неконтролируемые дозы антибиотиков с продуктами питания и водой.

Исходными данными служили результаты мониторинга качества пищевых продуктов, поступающих в розничную сеть Иркутской области.

Согласно данным ветеринарной лаборатории, в пробах пищевых продуктов обнаруживаются антибиотики тетрациклиновой и пенициллиновой групп (табл. 1). Максимальная концентрация данных групп антибиотиков обнаружена в субпродуктах убойных животных охлажденных и замороженных, а минимальная концентрация обнаружена в мясе птицы всех видов.

**Содержание антибиотиков в пищевых продуктах,
потребляемых населением Байкальского региона**

№	Объект исследования	Вещество	Содержание, мг/кг
1	Блоки из мяса	Окситетрациклин	22,5
2	Колбасные изделия, копчености, кулинарные изделия с использованием мяса птицы	Доксициклин	8,5
3	Колбасные изделия, продукты из мяса всех видов убойных животных, кулинарные изделия из мяса	Доксициклин Окситетрациклин Тетрациклин	23,82 17,53 4,05
5	Мед и продукты пчеловодства	Доксициклин	54
6	Молоко сырое	Окситетрациклин Тетрациклин	5 23,72
7	Молочная продукция	Доксициклин Окситетрациклин Тетрациклин	9,35 2,9 1,78
8	Мясо замороженное	Бензилпенициллин Доксициклин Окситетрациклин Тетрациклин	1,6 16 45,25 6,35
9	Мясо птицы	Доксициклин Окситетрациклин	22 18,22
10	Мясо птицы всех видов	Доксициклин	1,3
11	Полуфабрикаты бескостные	Окситетрациклин Доксициклин	52,44 11,70
12	Полуфабрикаты всех видов продуктивных животных охлажденные и замороженные	Окситетрациклин Доксициклин	23 8
13	Полуфабрикаты всех видов продуктивных животных охлажденные и замороженные рубленные	Окситетрациклин Тетрациклин Доксициклин	22,97 4,37 11
14	Полуфабрикаты из птицы рубленные (охлажденные, подмороженные, замороженные)	Окситетрациклин	4
15	Продукты переработки растительных масел и животных жиров	Окситетрациклин	12
16	Субпродукты убойных животных охлажденные и замороженные	Окситетрациклин	239,45
17	Хлебобулочные изделия	Доксициклин	4,3
18	Яйцо, меланж, порошок яичный, яйцопродукция	Окситетрациклин	3,38

Table 1

The content of antibiotics in food consumed by the population of the Baikal region

№	Object of study	Substance	Content, mg/kg
1	Meat Blocks	Oxytetracycline	22.5
2	Sausages, smoked meats, culinary products using poultry mea	Doxycycline	8.5
3	Sausage products, products from meat of all types of slaughter animals, culinary products from meat	Doxycycline Oxytetracycline Tetracycline	23.82 17.53 4.05
5	Honey and bee products	Doxycycline	54
6	Raw milk	Oxytetracycline Tetracycline	5 23.72
7	Dairy products	Doxycycline Oxytetracycline Tetracycline	9.35 2.9 1.78
8	Frozen meat	Benzylpenicillin Doxycycline Oxytetracycline Tetracycline	1.6 16 45.25 6.35
9	Poultry meat	Doxycycline Oxytetracycline	22 18.22
10	Poultry meat of all kinds	Doxycycline	1.3
11	Semi-finished boneless products	Oxytetracycline Doxycycline	52.44 11.70

Table 1, ending

№	Object of study	Substance	Content, mg/kg
12	Semi-finished products of all types of productive animals, chilled and frozen	Oxytetracycline Doxycycline	23 8
13	Semi-finished products of all types of productive animals, chilled and frozen chopped	Oxytetracycline Tetracycline Doxycycline	22.97 4.37 11
14	Semi-finished products from poultry, chopped (chilled, slightly frozen, frozen)	Oxytetracycline	4
15	Processed products of vegetable oils and animal fats	Oxytetracycline	12
16	Offal of slaughter animals, chilled and frozen	Oxytetracycline	239.45
17	Bakery products	Doxycycline	4.3
18	Egg, melange, egg powder, egg products	Oxytetracycline	3.38

Оценку потенциального экологического риска для здоровья населения проводили по методике оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920-04) [17].

Оценка риска для здоровья человека представляет собой процедуру количественной и/или качественной характеристики вредных эффектов, развивающихся в результате воздействия факторов среды обитания человека на конкретную группу людей при специфических условиях экспозиции [18]. Принято различать вещества канцерогенного и неканцерогенного действия, и каждая группа веществ оценивается по определенным показателям. Химические канцерогены оказывают генотоксическое действие, могут возникать при любой дозе. Для неканцерогенных веществ существуют пороговые уровни, ниже которых вредные эффекты не возникают. Поскольку канцерогенность антибиотиков не доказана, то для них оценивается неканцерогенный риск.

Неканцерогенный риск для отдельных веществ определяется коэффициентом опасности воздействия вещества:

$$HQ = C/RfC, \quad (1)$$

где HQ – коэффициент опасности; C – средняя концентрация, мг/м³; RfC – референтная (безопасная) концентрация, мг/м³.

Установлены следующие критерии: риск незначительный, допустимый, если коэффициент опасности (HQ) вещества менее единицы; риск значимый, опасный, если HQ больше 1. Вероятность возникновения вредных эффектов у человека возрастает пропорционально увеличению HQ .

Комбинированный риск развития неканцерогенных эффектов оценивается индексом опасности (HI), который для условий одновременного поступления нескольких веществ одним и тем же путем (например, ингаляционным или пероральным) рассчитывается по формуле

$$HI = \sum i = \ln HQ_i, \quad (2)$$

где HQ_i – коэффициент опасности для отдельных компонентов смеси воздействующих веществ. Если значения коэффициента опасности не превышают единицы, вероятность развития у человека вредных эффектов при ежедневном поступлении вещества в течение жизни незначительна, и такое

воздействие также характеризуется как допустимое. При коэффициенте опасности выше единицы вероятность возникновения вредных эффектов у человека возрастает пропорционально увеличению HQ_i , однако точно указать величину этой вероятности невозможно.

Вычисление количества токсиканта, поступившего в организм, ведется по эмпирическим формулам.

Для общего случая количество вещества, поступившего в организм человека оральным путем, определяется по формуле

$$I = \frac{C \cdot CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}, \quad (3)$$

где I – поступление вещества в организм за день определяют в миллиграммах на килограмм веса тела, мг/кг·день; C – концентрация токсичного вещества в точке воздействия, мг/кг – для пищи, мг/дм³ для воды; CR – количество смеси, поступившей в организм за день, кг/день – для пищи, дм³/день – для воды; EF – частота поступления или контакта в течение года, дней/год; ED – продолжительность воздействия или экспозиции, лет; BW – вес тела, кг; AT – продолжительность воздействия токсиканта на организм, дней.

Таблица 2

Стандартные параметры для расчета доз и поступления токсичных веществ в организм человека

Параметр	Взрослые	Дети от 6 до 12 лет	Дети от 2 до 6 лет
BW – вес тела, кг	70	29	16
S – площадь кожного покрова, см ²	18150	10470	6980
CR – количество вещества поступающего в организм:			
поступление воды – дм ³ /день	2	2	1
поступление пищи – кг/день	1	1	0,5
поступление воздуха – м ³ /ч	0,83	0,46	0,25
поступление пыли – мг/день	100	100	200
EF – частота поступления или контакта в течение года (дней/год) для постоянно проживающих	365	365	365

Table 2

Standard parameters for calculating doses and intake of toxic substances in the human body

Parameter	Adults	Children from 6 to 12 years old	Children from 2 to 6 years old
BW – body weight, kg	70	29	16
S – area of the skin, cm ²	18150	10470	6980
CR – the amount of substance entering the body:			
Water inflow – dm ³ /day	2	2	1
Food intake – kg/day	1	1	0.5
Air intake – m ³ /h	0.83	0.46	0.25
Dust intake – mg/day	100	100	200
EF – frequency of receipt or contract during the year (days/year) for permanent residents	365	365	365

Количество антибиотиков, потребляемых с мясными и другими продуктами, рассчитывали для взрослого человека, детей в возрасте от 2 до 6 лет, и от 6 до 12 лет, используя данные табл. 2.

Результаты и их обсуждение

В табл. 3 приведены данные расчета количеств загрязнителей, потенциально могущих поступить в организм жителя региона с продуктами питания.

Установлено, что в среднем ежедневно взрослый человек получает 0,5718 мг/кг антибиотиков вместе с пищевыми продуктами. Ребенок в возрасте от 6 до 12 лет получает 1,3803 мг/кг антибиотика ежедневно с пищей, а ребенок в возрасте от 2 до 6 лет получает 2,6686 мг/кг вещества.

Прогнозный индивидуальный риск жителя Байкальского региона от поступления в организм антибиотиков разными путями представлен в табл. 4.

Таблица 3

Количество поступающих в организм человека антибиотиков с продуктами питания

Пищевая продукция	Содержание антибиотика, мг/кг	I	I	I
		Для взрослого	Для детей от 6 до 12 лет	Для детей от 2 до 6 лет
Блоки из мяса	22,5	0,3214	0,7759	1,5000
Колбасные изделия, копчености, кулинарные изделия с использованием мяса птицы	8,5	0,1214	0,2931	0,5667
Колбасные изделия, продукты из мяса всех видов убойных животных, кулинарные изделия из мяса	45,4	0,6486	1,5655	3,0267
Мед и продукты пчеловодства	54	0,7714	1,8621	3,6000
Молоко сырое	28,72	0,4103	0,9903	1,9147
Молочная продукция	14,03	0,2004	0,4838	0,9353
Мясо замороженное	69,2	0,9886	2,3862	4,6133
Мясо птицы	40,22	0,5746	1,3869	2,6813
Мясо птицы всех видов	1,3	0,0186	0,0448	0,0867
Полуфабрикаты бескостные	64,14	0,9163	2,2117	4,2760
Полуфабрикаты всех видов продуктивных животных охлажденные и замороженные	31	0,4429	1,0689	2,0667
Полуфабрикаты всех видов продуктивных животных охлажденные и замороженные рубленые	38,34	0,5477	1,3221	2,556
Полуфабрикаты из птицы рубленые (охлажденные, подмороженные, замороженные)	4	0,0571	0,1379	0,2667
Продукты переработки растительных масел и животных жиров	12	0,1714	0,4138	0,8000
Субпродукты убойных животных охлажденные и замороженные	239,45	3,4207	8,2569	15,9633
Хлебобулочные изделия	4,3	0,0614	0,1483	0,2867
Яйцо, меланж, порошок яичный, яйцопродукция	3,38	0,0483	0,1166	0,2253

Table 3

The number of antibiotics entering the human body with food

Food products	Antibiotic content, mg/kg	I	I	I
		For an adult	For children from 6 to 12 years old	For children from 2 to 6 years old
Meat Blocks	22.5	0.3214	0.7759	1.5000
Sausages, smoked meats, culinary products using poultry meat	8.5	0.1214	0.2931	0.5667
Sausage products, products from meat of all types of slaughter animals, culinary products from meat	45.4	0.6486	1.5655	3.0267
Honey and bee products	54	0.7714	1.8621	3.6000
Raw milk	28.72	0.4103	0.9903	1.9147
Dairy products	14.03	0.2004	0.4838	0.9353
Frozen meat	69.2	0.9886	2.3862	4.6133
Poultry meat	40.22	0.5746	1.3869	2.6813
Poultry meat of all kinds	1.3	0.0186	0.0448	0.0867
Semi-finished boneless products	64.14	0.9163	2.2117	4.2760
Semi-finished products of all types of productive animals, chilled and frozen	31	0.4429	1.0689	2.0667
Semi-finished products of all types of productive animals, chilled and frozen chopped	38.34	0.5477	1.3221	2.556
Semi-finished products from poultry, chopped (chilled, slightly frozen, frozen)	4	0.0571	0.1379	0.2667
Processed products of vegetable oils and animal fats	12	0.1714	0.4138	0.8000
Offal of slaughter animals, chilled and frozen	239.45	3.4207	8.2569	15.9633
Bakery products	4.3	0.0614	0.1483	0.2867
Egg, melange, egg powder, egg products	3.38	0.0483	0.1166	0.2253

Таблица 4

Индивидуальный неканцерогенный риск различных категорий населения Байкальского региона

Факторы, способствующие попаданию антибиотика в организм человека	Категории населения		
	Взрослые	Дети от 6 до 12 лет	Дети от 2 до 6 лет
С пищевыми продуктами	5,718	13,803	26,686
С молоком	1,030	2,476	4,787
С питьевой водой	0,457	1,103	2,133
С почвой	0,292	0,421	0,562
Результирующий индивидуальный риск	7,497	17,803	34,168

Table 4

Individual non-carcinogenic risk of various categories of the population of the Baikal region

Factors contributing to the entry of antibiotics into the human body	Population categories		
	Adults	Children from 6 to 12 years old	Children from 2 to 6 years old
With food products	5.718	13.803	26.686
With milk	1.030	2.476	4.787
With drinking water	0.457	1.103	2.133
With soil	0.292	0.421	0.562
Resulting individual risk	7.497	17.803	34.168

Как следует из расчетов, потенциальный неканцерогенный риск от антибиотиков, получаемых неучтенным, неконтролируемым способом с продуктами питания достаточно высокий, на порядок превосходит рекомендованный. Национальными организациями здравоохранения разных стран рекомендовано принимать уровень неканцерогенных рисков от 2×10^{-2} год⁻¹ до 5×10^{-2} год⁻¹, риск заболевания раком для населения не выше 10^{-6} год⁻¹, для профессиональных воздействий не выше 10^{-4} год⁻¹ [19].

Заключение

Таким образом, у жителей Байкальского региона, взрослого населения и детей в возрасте от 2 до 12 лет, потенциальный экологический риск для здоровья в результате воздействия антибиотиков, поступающих с продуктами питания, на организм выше безопасного уровня и необходимо предпринимать действия, направленные на минимизацию таких рисков. В частности, это могут быть следующие меры:

1) запрет на использование антибиотиков в кормовых добавках на законодательном уровне. В частности, в декабре 2021 г. подписан федеральный закон № 463-ФЗ «О внесении изменений в Закон Российской Федерации “О ветеринарии” и Федеральный закон “Об обращении лекарственных средств”». Изменения строго регламентируют обращение антибиотиков в сельском хозяйстве. Закон вступает в силу с 1 января 2023 г.

2) регламентирование обращения с отходами животноводства и их использования в качестве удобрений;

3) применение зеленых технологий ремедиации загрязненных территорий;

4) внедрение эффективных технологий очистки сточных вод от антибиотиков и создание локальных очистных сооружений для больничных сточных вод, сельскохозяйственных стоков;

5) активизация исследований по профилактике антибиотикоустойчивости.

Список литературы

- [1] Намазова-Баранова Л.С., Баранов А.А. Антибиотикорезистентность в современном мире // Педиатрическая фармакология. 2017. № 14 (5). С. 341–354. <https://doi.org/10.15690/pf.v14i5.1782>
- [2] Глобальный план действий по борьбе с устойчивостью к противомикробным препаратам. URL: <https://www.who.int/antimicrobial-resistance/global-action-plan/ru/> (дата обращения: 02.04.2022).
- [3] Яковлев С.В., Суворова М.П., Белобородов В.Б. Распространенность и клиническое значение нозокомиальных инфекций в лечебных учреждениях России. Исследование ЭРГИНИ // Антибиотики и Химиотерапия. 2016. Т. 61 (5–6). С. 32–42.
- [4] Сидоренко С.В., Яковлев С.В., Стичак Т.В. Стратегия и тактика рационального применения антимикробных средств в амбулаторной практике. Евразийские клинические рекомендации // Педиатрия (Приложение к журналу Consilium Medicum). 2017. № 1. С. 17–25.

- [5] *Polomé P., Perrodin Y.* Ecotoxicological risk assessment of micropollutants from treated urban wastewater effluents for watercourses at a territorial scale: Application and comparison of two approaches // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2020. Vol. 224. P. 113437. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113437>
- [6] *Ahmad F., Zhu, D. & Sun J.* Environmental fate of tetracycline antibiotics: degradation pathway mechanisms, challenges, and perspectives // *Environmental Science Europe*. 2021. Vol. 33. P. 64. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00505-y>
- [7] *Mo W.Y., Chen, Z., Leung, H.M.* Application of veterinary antibiotics in China's aquaculture industry and their potential human health risks // *Environmental Science and Pollution Research* 2017. Vol. 24. P. 8978–8989. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5607-z>
- [8] *Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Мазанко М.С.* Экологические последствия загрязнения почв антибиотиками // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2013. Т. 15. № 3 (4). С. 1196–1199.
- [9] *Прожерина Ю.А.* Фармацевтические отходы как новая экологическая проблема // *Редиум*. 2017. № 11. С. 14–19. <http://dx.doi.org/10.21518/1561-5936-2017-11-14-19>
- [10] *Wang R., Feng F., Chai Y.* Screening and quantitation of residual antibiotics in two different swine wastewater treatment systems during warm and cold seasons // *The Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 660. P. 1542–1554.
- [11] *Xian Zhou, Jian Wang, Chao Lu, Qihang Liao, Fredrick Owino Gudda, Wanting Ling.* Antibiotics in animal manure and manure-based fertilizers: Occurrence and ecological risk assessment // *Chemosphere*. 2020. Vol. 225. P. 12700. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127006>
- [12] *Yaru Hu, Lei Jiang, Xiaoyan Sun, Jianqiang Wu, Lei Ma, Yanbo Zhou, Kuangfei Lin, Yi Luo, Changzheng Cui.* Risk assessment of antibiotic resistance genes in the drinking water system // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 800. 15 December 2021. 149650. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149650>
- [13] *Татарникова Н.А., Мауль О.Г.* Антибиотики в пищевых продуктах. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/antibiotiki-v-pischevyh-produktah> (дата обращения: 02.04.2022).
- [14] *Батаева Д.С., Зайко Е.В.* Риски, связанные с наличием в мясе и в продуктах убоя животных остаточных количеств антимикробных препаратов // *Теория и практика переработки мяса*. 2016. № 1 (3). С. 4–10.
- [15] *Тимофеева С.С., Шуплецова И.Д.* Прогнозирование экологических рисков микрополлютантов в Байкальском регионе // *XXI век. Техносферная безопасность*. 2020. № 5(3). С. 269–283. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-3-269-283>
- [16] *Тимофеева С.С., Гудилова О.С.* Антибиотики в окружающей среде: состояние и проблемы // *XXI век. Техносферная безопасность*. 2021. Т. 6. № 3. С. 251–265. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-3-251-265>
- [17] *Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду*. Р 2.1.10.1920-04 (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 05.03.2004).
- [18] *Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография / [Г.Г. Онищенко и др.]; под ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой.* Российская акад. наук, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения». Москва: [б. и.]; Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2014. 737 с.

- [19] Шокина Ю.И., Москвичева В.В., Тасейкова О.В., Бельская Е.Н. Определение нормативов качества окружающей среды на основе риск-ориентированного подхода // Вестник российской академии наук. 2020. Т. 90. № 12. С. 1146–1155.

References

- [1] Namazova-Baranova LS, Baranov AA. Antibiotic Resistance in Modern World. *Pediatricskaya farmakologiya. Pediatric pharmacology*. 2017;14(5):41–354. <https://doi.org/10.15690/pf.v14i5.1782> (In Russ.).
- [2] Global Action Plan to Combat Antimicrobial Resistance. Available from: <https://www.who.int/antimicrobial-resistance/global-action-plan/ru/> (accessed: 02.04.2022). (In Russ.).
- [3] Yakovlev SV, Suvorova MP, Beloborodov VB. Prevalence and clinical significance of nosocomial infections in medical institutions of Russia. ERGINI research. *Antibiotics and Chemotherapy*. 2016;61(5–6):32–42. (In Russ.).
- [4] Sidorenko SV, Yakovlev SV, Spichak TV. Strategy and tactics of rational use of antimicrobial agents in outpatient practice. *Eurasian Clinical guidelines. Pediatrics (Appendix to the journal Consilium Medicum)*. 2017;1:17–25. (In Russ.).
- [5] Gosset A, Polomé P, Perrodin Y. Ecotoxicological risk assessment of micropollutants from treated urban wastewater effluents for watercourses at a territorial scale: Application and comparison of two approaches. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2020;224:113437. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113437>
- [6] Ahmad F, Zhu D, Sun J. Environmental fate of tetracycline antibiotics: degradation pathway mechanisms, challenges, and perspectives. *Environmental Sciences Europe*. 2021;33:64. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00505-y>
- [7] Mo WY, Chen Z, Leung HM. Application of veterinary antibiotics in China's aquaculture industry and their potential human health risks. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24:8978–8989. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5607-z>
- [8] Akimenko YuV, Kazeev KSh, Kolesnikov SI, Mazanko MS. Ecological consequences of soil contamination with antibiotics. *Bulletin of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2013;15(3):1196–1199. (In Russ.).
- [9] Prozherina YuA. Pharmaceutical waste as a new environmental problem. *Redium*. 2017;(11):14–19. <http://dx.doi.org/10.21518/1561-5936-2017-11-14-19> (In Russ.).
- [10] Wang R, Feng F, Chai Y. Screening and quantitation of residual antibiotics in two different swine wastewater treatment systems during warm and cold seasons. *The Science of the Total Environment*. 2019;660:1542–1554.
- [11] Zhou X, Wang J, Lu Ch, Liao Q, Gudda FO, Ling W. Antibiotics in animal manure and manure-based fertilizers: Occurrence and ecological risk assessment. *Chemosphere*. 2020;225:12700. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127006>
- [12] Hu Y, Jiang L, Sun X, Wu J, Ma L, Zhou Y, Lin K, Luo Y, Cui Ch. Risk assessment of antibiotic resistance genes in the drinking water system. *Science of The Total Environment*. 2021 December 15;800:149650. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149650>
- [13] Tatarnikova NA, Maul OG. Antibiotics in food products. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/antibiotiki-v-pischevyh-produktah> (accessed: 02.04.2022). (In Russ.).
- [14] Bataeva DS, Zaiko EV. Risks associated with the presence of residual amounts of antimicrobial drugs in meat and animal slaughter products. *Theory and practice of meat processing*. 2016;1(3):4–10. (In Russ.).
- [15] Timofeeva SS, Shupletsova ID. Forecasting environmental risks of micro-pollutants in the Baikal region. XXI century. *Technosphere safety*. 2020;5(3):269–283. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-3-269-283> (In Russ.).

- [16] Timofeeva SS, Gudilova OS. Antibiotics in the environment: state and problems. XXI century. *Technosphere safety*. 2021;6(3):251–265. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-3-251-265> (In Russ.).
- [17] Guidelines for assessing the risk to public health from exposure to chemicals that pollute the environment. P 2.1.10.1920-04 (approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation 05.03.2004). (In Russ.).
- [18] Health risk analysis in the strategy of state socio-economic development monograph / [GG. Onishchenko et al.]; GG Onishchenko, NV Zaitseva (eds.); Russian Academy of Sciences, Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Federal Budgetary Institution of Science “Federal Scientific Center for Medical-preventive technologies of public health risk management”. Moscow: [B. I.]; Perm: Publishing House of Perm National Polytechnic University, 2014. 737 p. (In Russ.).
- [19] Shokina YuI, Moskvicheva VV, Taseikova OV, Belskaya EN. Definition of environmental quality standards based on a risk-based approach. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2020;90(12):1146–1155. (In Russ.).

Сведения об авторах:

Тимофеева Светлана Семеновна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83. ORCID: 0000-0001-8427-3732; eLIBRARY SPIN-код: 8427-9622. E-mail: sstimofeeva@mail.ru

Тимофеев Семён Сергеевич, старший преподаватель кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83. ORCID: 0000-0001-7085-9468; eLIBRARY SPIN-код: 2694-7070. E-mail: sstimofeeva@mail.ru

Тюкалова Ольга Васильевна, кандидат химических наук, доцент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83. eLIBRARY SPIN-код: 6806-7565. E-mail: olgaburlak1@yandex.ru

Bio notes:

Svetlana S. Timofeeva, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontova St, Irkutsk, 664074, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8427-3732; eLIBRARY SPIN-code: 8427-9622. E-mail: sstimofeeva@mail.ru

Semyon S. Timofeev, Senior Lecturer of the Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontova St, Irkutsk, 664074, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-7085-9468; eLIBRARY SPIN-code: 2694-70. E-mail: sstimofeeva@mail.ru

Olga V. Tyukalova, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontova St, Irkutsk, 664074, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 6806-7565. E-mail: olgaburlak1@yandex.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-326-331

UDC 503.37:371.3

Scientific report / Научное сообщение

Public hearings for environmental impact assessment in Russia – changes in legislation and practice of performance 2021–2022

T.N. Ledashcheva¹, T.Yu. Kukhtina², V.E. Pinaev¹¹*RUDN University, Moscow, Russian Federation*²*Environmental Consulting Company FRECOM Ltd, Moscow, Russian Federation* pinaev-ve@rudn.ru

Abstract. The article is dedicated to the issues of changing in the legislation of the Russian Federation on environmental impact assessment in terms of informing the public about new projects. Significant changes that have occurred in the practices and requirements of legislation, including one connected with the COVID-19 pandemic, have made changes, among other things, in the ways of informing the public – it has become possible to hold public discussions and inform the public remotely. With a low level of interest of the general public in the results of the impact assessment, the remote format of public discussions did not make fundamental changes. The main changes of 2021–2022 that occurred in the part of public discussions are presented in the Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. 999 dated December 1, 2020 “On approval of requirements for environmental impact assessment materials”, and the permissibility of using a remote format for public discussions is given in the Decree of the Government of the Russian Federation No. 440 of April 3, 2020 “On the Extension of Permits and Other Features in Relation to Permitting Activities in 2020–2022”.

Keywords: environmental impact assessment, public involvement, public discussions, public awareness, public involvement in the discussion of projects, modern practice of public involvement, changes in legislation on environmental impact assessment in Russia

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

Article history: received 15.05.2022; accepted 10.08.2022.

© Ledashcheva T.N., Kukhtina T.Yu., Pinaev V.E., 2022



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

For citation: Ledashcheva TN, Kukhtina TYu, Pinaev VE. Public hearings for environmental impact assessment in Russia – changes in legislation and practice of performance 2021–2022. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):326–331. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-326-331>

Общественные обсуждения при оценке воздействия на окружающую среду в России – изменения в законодательстве и практика проведения 2021–2022

Т.Н. Ледашчева¹ , Т.Ю. Кухтина², В.Е. Пинаев¹  

¹Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

²Экологическая консалтинговая компания ООО «ФРЭКОМ»,

Москва, Российская Федерация

 pinaev-ve@rudn.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросам изменения законодательства Российской Федерации по оценке воздействия на окружающую среду в части информирования общественности о новых проектах. Значительные перемены, произошедшие в практиках и требованиях законодательства, в том числе и в связи с пандемией COVID-19, обусловили изменения в способе информирования общественности – появилась возможность проводить общественные обсуждения и информирование общественности удаленно. При незначительном уровне заинтересованности широкой общественности в результатах оценки воздействия удаленный формат проведения общественных обсуждений не внес кардинальных изменений. Основные изменения 2021–2022 гг., произошедшие в части общественных обсуждений, представлены в Приказе Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 1 декабря 2020 г. № 999 «Об утверждении требований к материалам оценки воздействия на окружающую среду», а допустимость применения дистанционного формата проведения общественных обсуждений приведена в Постановлении Правительства Российской Федерации от 3 апреля 2020 г. № 440 «О продлении действия разрешений и иных особенностях в отношении разрешительной деятельности в 2020–2022 годах».

Ключевые слова: оценка воздействия на окружающую среду, вовлечение общественности, общественные обсуждения, информирование общественности, вовлечение общественности в обсуждение проектов, современная практика вовлечения общественности, изменения законодательства по оценке воздействия на окружающую среду в России

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

История статьи: поступила в редакцию 15.05.2022; принята к публикации 10.08.2022.

Для цитирования: Ледашчева Т.Н., Кухтина Т.Ю., Пинаев В.Е. Общественные обсуждения при оценке воздействия на окружающую среду в России – изменения в законодательстве и практика проведения 2021–2022 // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 326–331. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-326-331>

Informing the public about new projects being implemented is carried out in almost all countries of the world, including in the countries of the near abroad, for example in Belarus [1]. In Russia, the requirements for public information are also

being implemented [2; 3], and the features of conducting public discussions for various industries, for example, oil and gas [4], energy industry [5], hunting [6], have already been developed. Providing access to information about the impact of new enterprises on various components of the environment has been studied by many Russian scientists [7–9], including in terms of improving the procedure of public discussions [10; 11], the time and way of public awareness is not limited to public discussions [12]

Let's consider the current practice of conducting public discussions, as well as the changes that have occurred in connection with the large-scale revision and cancellation of many regulatory legal acts, in other words, the “regulatory guillotine”.

The purpose of the implementation of the “regulatory guillotine” is a total revision of mandatory requirements, according to which regulations and the mandatory requirements contained in them should be revised with the broad participation of the business and expert communities. The main task of the "guillotine" is to create a new system of clear and clear requirements for business entities in the areas of regulation, to remove excessive administrative burden on business entities, to reduce the risks of harm (damage) to protected values.

In 2020, by the Decree of the Government of the Russian Federation of December 31, 2020 No. 2467 “On Approval of the List of Regulatory Legal Acts and Groups of Regulatory Legal Acts of the Government of the Russian Federation, Regulatory Legal Acts, Separate Provisions of Regulatory Legal Acts and Groups of Regulatory Legal Acts of Federal Executive Authorities, Legal Acts, Separate Provisions of Legal Acts, Groups of Legal Acts of Executive and Executive Bodies the state authorities of the RSFSR and the USSR, decisions of the State Commission on Radio Frequencies containing mandatory requirements for which the provisions of Parts 1 do not apply, 2 and 3 of Article 15 of the Federal Law “On Mandatory Requirements in the Russian Federation” established a list of regulations that will expire in 2021.

Thus, the current order of the State Committee of Ecology of Russia dated 16.05.2000 No. 372 “On approval of the Regulation on the Assessment of the Impact of planned Economic and Other Activities on the Environment in the Russian Federation” (hereinafter referred to as the Regulation on EIA No. 372), regulating the procedure of EIA and public discussions, within the framework of the “regulatory guillotine” was- is known to have lost its power.

Instead of the above-mentioned regulatory act, the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation has issued a new by-law replacing the old requirements: Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 999 dated 01.12.2020 “On Approval of Requirements for Environmental Impact Assessment Materials” (hereinafter referred to as the Requirements for EIA). Registered with the Ministry of Justice on April 20, 2021. Registration Number 63186. The text of the order is published on the “Official Internet portal of legal Information” (www.pravo.gov.ru) April 21, 2021 N 0001202104210002. This

regulatory act came into force on September 1, 2021. The validity period is set until 2027.

And so, what are the main distinguishing features of the “old” and “new” requirements?

In particular, the Requirements for the EIA define in detail the procedure for notification of public discussions. Information about the notification of a public discussion of the terms of reference for conducting an environmental impact assessment and/or notification of public discussions of preliminary environmental impact assessment materials are posted on the official websites of state authorities, local governments, the customer (contractor).

In the new document (Requirements for EIA), there are no clear definitions of the concepts of “public discussions” and “public hearings”.

However, it can be said for sure that public discussions have remained an integral part of the complex of measures aimed at informing citizens and legal entities about the planned (planned) economic and other activities and its possible impact on the environment, in order to ensure the participation of all interested persons (including citizens, public organizations-organizations (associations), representatives of state authorities, local self-government bodies), identification of public preferences and their consideration in the process of environmental impact assessment. Based on the new Requirements for EIA, public discussions also include informing and collecting comments and suggestions from the interested public.

The following forms of information are established by the requirements for the EIA: simple information, a survey, public hearings and other forms conducted within the framework of public discussions.

As practice shows, the most common and open way of informing is public hearings, which are a meeting with the public of representatives of the customer / contractor and developers with the mandatory participation of representatives of the relevant local government body(s).

During public hearings, reports on planned activities are presented to the public. All questions, comments and suggestions of the public and participants expressed during the public hearings are recorded in the minutes of the hearings. The protocol is signed by representatives of the relevant local government body, the customer/developer/contractor, public.

At the same time, due to restrictive measures related, for example, to the COVID-19 coronavirus infection, it is not always possible to hold mass events in person. In this case, it is allowed to hold public hearings using means of remote interaction. The main document regulating the conduct of public discussions in a remote format is the Decree of the Government of the Russian Federation of April 3, 2020 No. 440 “On the extension of permits and other features in relation to licensing activities in 2020–2022”.

As before, the result of public discussions is the protocol of public discussions or the protocol of public hearings (surveys), logs of registration (accounting) of

comments and suggestions (opinions) of the public (questionnaires, etc.), documented procedure for public discussions (hearings), copies of notifications of public – public discussions. The specified documentation is included in the EIA materials.

The documents submitted for public discussion are: draft Terms of Reference (hereinafter referred to as the ToR) (if the customer decides to prepare the draft ToR) for environmental impact assessment (hereinafter referred to as the EIA), preliminary EIA materials or materials on the object of state environmental expertise (hereinafter referred to as the SEE), including preliminary EIA materials, and other materials that are the subject of the SEE. The requirements for the composition and content of the EIA materials, depending on the specifics of the planned activity, are also set out in clause 7.13 of the EIA Requirements.

It should be noted that despite the generally significant changes, the principles of informing the public have remained the same, but it is not clear whether it will be possible to hold public discussions in a remote format after December 31, 2022. The possibility of conducting public discussions remotely does not affect the active participation of the interested community, but reduces the expenses.

References

- [1] Moroz OV. Legal regulation of public discussions in the field of environmental protection. *Bulletin of the Polotsk State University. Series D. Economic and legal sciences.* 2019;(6):155–159 (In Russ.)
- [2] Kostyleva NV, Oputina IP, Sorokina TV. Similarity and difference of the procedure of public discussions of negative impact on the environment in environmental protection and urban planning documentation. In: *Environmental safety in the conditions of anthropogenic transformation of the natural environment. Collection of materials of the All-Russian school-seminar dedicated to the memory of NF. Reimers and FR. Shtilmark.* Perm, 2021. p. 245–248 (In Russ.)
- [3] Lizgaro VE. Some trends in the development of legislation that ensures public participation in solving issues related to the environment. In: Weger IV. (ed.) *Constitutional rights and Freedoms: problems of interpretation and implementation in national legal systems.* Collection of articles of the International scientific and practical conference. Novopolotsk; 2016 (In Russ.)
- [4] Kukhtina TYu, Ledashcheva TN, Pinaev VE. *Modern practice of conducting public discussions. Monograph.* Moscow: World of Science Publ, 2020. The latest edition. (In Russ.) Available from: <https://izd-mn.com/PDF/46MNNPM20.pdf> (accessed: 10.04.2022).
- [5] Gorepekin SA. Conducting public hearings. Practice of JSC “CONCERN ROSENERGOATOM”. *Actual biotechnology.* 2017;3(22):40–45 (In Russ.)
- [6] Kuznetsova SN. Problems of conducting public discussions of the draft limits and quotas for the withdrawal of hunting animals. *Humanitarian aspects of hunting and hunting economy. Collection of materials of the IV International Scientific and Practical Conference.* Editorial Board AV. Vinober. 2016. p. 53–58 (In Russ.)
- [7] Mishulina SI. Mechanisms for coordinating the interests of nature users during the implementation of investment projects in the regions of tourist specialization. *Tourism: law and economics.* 2017;(1):12–16 (In Russ.)

- [8] Oputina IP, Kostyleva NV, Lukin AYu. On the issue of public participation in the assessment of the forecast of technogenic transformation of the natural environment during the EIA procedure. In: *Ecological safety in the conditions of anthropogenic transformation of the natural environment. collection of materials of the All-Russian school-seminar dedicated to the memory of NF. Reimers and FR. Shtilmark*. Perm; 2021. (In Russ.)
- [9] Mnatsekanov RA, Sergeeva MI. Public participation in the creation of protected areas in new conditions. In the collection: *Sustainable development of specially protected natural areas. Collection of articles of the V All-Russian Scientific and Practical Conference*. Sochi; 2018. (In Russ.)
- [10] Petrov AA, Demenishin AV. The role of the public in the implementation of public hearings procedures in assessing the environmental impact of planned economic activity. *The Newman in Foreign Policy*. 2018;41(85):49–52 (In Russ.)
- [11] Pinaev VE, Kukhtina TYu. Modern practice of public hearings in Russia. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2020;4(7). Available from: <https://resources.today/PDF/09ECOR420.pdf> (accessed: 10.04.2022). (In Russ.) <https://doi.org/10.15862/09ECOR420>
- [12] Gainutdinova GH, Mingazova NM. Differences in the procedures of public discussions and public hearings. *Environmental Consulting*. 2012;2(46):15–21 (In Russ.)

Bio notes:

Tatyana N. Ledashcheva, Cand. Sc. Math., Docent, Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6935-4347. E-mail: ledashcheva-tn@rudn.ru

Tatyana Yu. Kukhtina, Office 407 bldg 1, 18 Malaya Pirogovskaya St, Moscow, 119435, Russian Federation. E-mail: t.kukhtina@frecom.ru

Vladimir E. Pinaev, Cand. Sc. Econ., Docent, Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; leading specialist, Environmental Consulting Company FRECOM Ltd., 18 Malaya Pirogovskaya St, bldg 1, Moscow, 119435, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8943-5462. E-mail: pinaev-ve@rudn.ru



ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-332-344

УДК 628.31

Научная статья / Research article

Доочистка бытовых сточных вод на фильтрах с песчаной загрузкой от биогенных элементов

В.Н. Волкова¹, В.Л. Головин¹, К.Ю. Кириченко^{1,2}

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ), Политехнический институт (школа), Владивосток, Российская Федерация

²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН,

Краснообск, Российская Федерация

vladavibi@bk.ru

Аннотация. Недоочищенная вода после биологической очистки сточных вод очень часто превышает естественную самоочищающую способность водоемов и водотоков. Повышение требований к экологической безопасности сброса сточных вод в природные водные объекты определяет особую актуальность совершенствования технологических методов и средств доочистки сточных вод. В мировой практике доочистки предварительная фильтрация и фильтрация по праву считаются одними из самых эффективных методов. В то же время одним из наиболее распространенных устройств, используемых при доочистке сточных вод, являются песчаные фильтры с зернистым фильтрующим материалом, эффективность которых часто переоценивают. Рассмотрены проблемы доочистки сточных вод методом фильтрации с использованием песчаных фильтров с зернистой фильтрующей загрузкой, рассмотрены основные проблемы, возникающие при использовании таких устройств без учета особенностей процессов доочистки при наличии органического вещества в высокодисперсные коллоидные формы. Обоснованы дополнительные требования по снижению концентрации токсичных веществ при сбросе сточных вод в природные водоемы и минимизации изменения условий развития биоценоза этих объектов. Определены причины недостаточной эффективности доочистки сточных вод на песчаных фильтрах, в том числе причины

© Волкова В.Н., Головин В.Л., Кириченко К.Ю., 2022



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

увеличения содержания органических веществ в фильтрате после доочистки. Сформулированы основные критерии эффективного использования фильтрующих устройств в системах очистки сточных вод.

Ключевые слова: сточные воды, водные объекты, третичная очистка, фильтрация, песчаные фильтры, технологические требования

Благодарности и финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90004.

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

История статьи: поступила в редакцию 10.05.2022; принята к публикации 13.07.2022.

Для цитирования: Волкова В.Н., Головин В.Л., Кириченко К.Ю. Доочистка бытовых сточных вод на фильтрах с песчаной загрузкой от биогенных элементов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 332–344. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-332-344>

Purification of domestic wastewater with a sand filter from biogenic elements

Vladislava N. Volkova¹  , Viktor L. Golovin¹,
Konstantin Yu. Kirichenko^{1,2} 

¹*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“Far Eastern Federal University” (FEFU), Polytechnic Institute,
Vladivostok, Russian Federation*

²*Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnologies RAS,
Krasnoobsk, Russian Federation*

vladavibi@bk.ru

Abstract. Wastewater after biological wastewater treatment very often exceeds the natural ability of reservoirs and watercourses to self-purify. Increasing requirements for the environmental safety of wastewater discharge into natural water bodies determines the particular relevance of improving technological methods and wastewater treatment facilities. In the world practice of post-treatment, preliminary filtration and filtration are rightfully considered one of the most effective methods. At the same time, one of the most common devices used in post-treatment of wastewater are sand filters with granular filter material, the effectiveness of which is often overestimated. The problems of post-treatment of wastewater by filtration using sand filters with a granular filter load are considered, the main problems that arise when using such devices are considered without taking into account the features of post-treatment processes in the presence of organic matter in highly dispersed colloidal forms. Substantiated are additional requirements for reducing the concentration of toxic substances when discharging wastewater into natural water bodies and minimizing changes in the conditions for the development of the biocenosis of these objects. The reasons for the insufficient efficiency of wastewater post-treatment on sand filters, including the reasons for the increase in the content of organic substances in the filtrate after post-treatment, are determined. The main criteria for the effective use of filtering devices in wastewater treatment systems are formulated.

Keywords: wastewater, water objects, tertiary cleaning, filtration, sand filters, technological requirements

Acknowledgements and Funding: The reported study was funded by RFBR according to the research project № 20-38-90004.

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

Article history: received 10.05.2022; accepted 13.07.2022.

For citation: Volkova VN, Golovin VL, Kirichenko KYu. Purification of domestic wastewater with a sand filter from biogenic elements. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):332–344. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-332-344>

Введение

В связи с ухудшением экологического состояния водоемов – приемников сточных вод – и более тщательным изучением проблем экологической безопасности становится все более необходимым удаление из воды не только взвешенных веществ в виде грубых примесей, но и коллоидных сложных органических образований в виде биогенных элементов (соединениями фосфора и азота). В связи с этим необходимо определить, возможно ли эффективное удаление высокодисперсных соединений при фильтрации, в частности, на песчаных фильтрах и какова степень опасности наличия остаточного количества биогенных элементов в фильтрате, сбрасываемом в естественные водоемы. Это связано не только с недостаточно полным удалением остаточных загрязнений после биологической очистки, но и с их сниженной производительностью, к которой в первую очередь относится короткий период регенерации с интенсивным снижением скорости фильтрации, необходимостью использования значительных объемов очищенной воды при гидравлической регенерации загрузки. Таким образом, необходимо признать, что такие устройства, как песчаные фильтры, не всегда справляются с задачами доочистки. В то же время изучение причин, определяющих проблемы эксплуатации этих фильтрующих устройств, позволит во многом уточнить направление совершенствования технологических приемов доочистки сточных вод фильтрацией.

Цель работы – исследование доочистки бытовых сточных вод на фильтрах с песчаной загрузкой от биогенных элементов.

Поставлены следующие задачи:

- исследовать основные технологические факторы, определяющие процесс фильтрации при доочистке сточных вод;
- обосновать критерии эффективности фильтровальных устройств при необходимости снижения содержания органических соединений в фильтрате до максимального снижения вероятности образования канцерогенных веществ при хлорировании или озонировании сточных вод, а также при необходимости предотвращения бактериологического загрязнения сточных вод.

Известно, что при обеззараживании перед сбросом неочищенных сточных вод хлорированием [1; 2] или озонированием [3; 4] водный объект загрязняется не только относительно безопасными компонентами, но и канцерогенами в виде хлорорганических или озоновых веществ. Существующее нормативное требование определяет обязательное интенсивное перемешивание сбрасываемых стоков и, как следствие, ускоренное распространение токсинов в максимально возможном объеме водоема. Такое парадоксальное требование, противоречащее законам экологической безопасности приемников сточных вод, приемлемо только в том случае, если фильтрующий аппарат позволяет максимально снизить концентрацию растворенных органических веществ в сточных водах после доочистки.

Также важно учитывать, что существующая практика доочистки не направлена на снижение нагрузки на сооружения доочистки по таким трудноизвлекаемым из сточных вод компонентам, как биогенные вещества [5]. Ранее считалось, что растворенная органика поступает на очистные сооружения только в общем объеме сточных вод и значительная их часть перерабатывается в аэротенках и вторичных отстойниках. Предполагалось, что это позволяет достичь требуемой степени очистки для сброса в водный объект при условии интенсивного перемешивания и разбавления сточных вод.

Материалы и методы

В работе исследованы возвратные воды, негативно влияющие на нагрузку очистных сооружений «Центральные» г. Владивостока по биогенным элементам. Состав сточных вод изучался фотометрическим методом. Для определения аммония в сточных водах в сухую колбу вместимостью 100 см³ вливали 50 см³ фильтрованной анализируемой воды, добавляли 1 см³ раствора сегнетовой соли, перемешивали, затем добавляли 1 см³ реактива Несслера и снова хорошо перемешивали. Через 10 мин измеряли оптическую плотность образцов на спектрофотометре UNICO 1201 (United Products & Instruments, USA) с $I = 425$ нм в кюветах с длиной поглощающего слоя 2 см относительно дистиллированной воды.

Одновременно с серией проб анализируемой воды провели контрольную пробу, за которую берут 50 см³ дистиллированной воды. Оптическую плотность холостого образца вычитают из оптической плотности анализируемых образцов.

Если массовая концентрация аммонийного азота в анализируемой воде превышает 4,0 мг/дм³, то для определения берут аликвоту меньшего объема и доводят объем до 50 см³ дистиллированной водой.

Массовую концентрацию аммонийного азота в анализируемой пробе воды находят по градуировочной зависимости с учетом разбавления.

Для измерения фосфора в сухую коническую колбу вместимостью 100 см³ вносят отфильтрованную анализируемую воду объемом 50 см³ и добавляют по 10 см³ смешанного реагента, содержимое колбы хорошо перемешивают. Через 10–15 мин измеряют оптическую плотность раствора на

спектрофотометре UNICO 1201 (United Products & Instruments, USA) с непрерывной разверткой спектра при длине волны 620 нм в кювете с толщиной слоя 5 см относительно дистиллированной воды.

Одновременно проводят два параллельных измерения оптической плотности холостых проб, в качестве которых используют 50 см³ дистиллированной воды.

При повышенной оптической плотности пробы, до последней точки градуировочной зависимости, повторяют определение, предварительно разбавив исходную пробу дистиллированной водой. Для этого пипеткой отбирают такой объем анализируемой воды, чтобы при разбавлении в мерной колбе вместимостью 50 см³ полученная концентрация фосфора находилась в пределах от 0,1 до 0,2 мг/дм³.

Результаты и обсуждение

Тщательное изучение процессов очистки сточных вод на очистных сооружениях показывает, что значительная часть (до 17–38 %) тонкодисперсных соединений содержится в возвратных водах после гидрорегенерации фильтрующего слоя и в фугате после обезвоживания осадка. Состав биогенных элементов возвратных сточных вод очистных сооружений г. Владивостока (координаты 43.169208, 131.936903) представлен в табл. 1.

Таблица 1/ Table 1

Состав биогенных элементов возвратных вод от канализационных очистных сооружений г. Владивостока / The composition of biogenic elements in the return water of treatment facilities in Vladivostok

Вещество/ Substance	Промывная вода, мг/л / Wash water, mg/l
Аммоний /Ammonium	83,32±1,52
Фосфаты /Phosphates	36,58±0,27

± – стандартное отклонение/ ± – standard deviation

Оба эти компонента, образуящиеся непосредственно на очистных сооружениях, традиционно передаются в «голову» очистных сооружений и, как следствие, увеличивают нагрузку на систему доочистки, так как невозможно обеспечить глубокую очистку сточных вод в аэротенках и вторичных отстойниках. Кроме того, следует учитывать, что растворенные органические вещества и биогены во многом определяют питательность очищенных сточных вод, сбрасываемых в водоем, а их высокая концентрация может спровоцировать неконтролируемое развитие различных, в том числе опасных, видов микроорганизмов. Простое смешивание не может снизить риск их присутствия в приемнике сточных вод. Этот аргумент также доказывает необходимость минимизировать содержание биогенных элементов в сбрасываемых водах после фильтрации при доочистке, и только в этом случае можно снизить вероятность изменчивости микробиома водоемов, увеличивая безопасность водных объектов.

В связи с ужесточением требований обязательной экологической безопасности резервуаров – приемников сточных вод и, как следствие, обязательной доочистки этих стоков возникла идея использовать обычные самопромывные фильтры с песчаной загрузкой. Такие фильтры широко применяются в мировой практике и в настоящее время используются в основном для кондиционирования природных вод в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения. Однако непосредственный «перенос» этого типа устройств и использование их для доочистки сточных вод не учитывали принципиальной разницы между очищаемыми средами в обоих случаях. На сегодняшний день экспериментально доказано и достаточно очевидно, что органические загрязнители разной степени дисперсности остаются в сточных водах, прошедших биологическую очистку и поступающих в систему доочистки. В такой среде обязательно присутствуют микроорганизмы, для которых, как уже отмечалось, водная органика в коллоидном или истинно растворенном состоянии имеет питательную ценность. В этой ситуации микроорганизмы достаточно активно иммобилизуются на зернах фильтрующего материала, образуя колонии, что приводит к быстрому биообрастанию фильтрующего материала и соответствующему увеличению фильтрующего сопротивления. Сокращение продолжительности фильтроцикла и увеличение гидроромывки с соответствующим увеличением расхода чистой воды на регенерацию загрузки быстро привели к пониманию нерациональности использования обычных песчаных фильтров для очистки сточных вод. Однако, несмотря на очевидные проблемы, эти устройства продолжают широко применяться в системах очистки сточных вод [6].

В связи с этой проблемой активно совершенствовались песчаные фильтры систем доочистки сточных вод, и в первую очередь это касалось увеличения грязеемкости загрузки. В то же время усовершенствования, связанные с оптимизацией и интенсификацией процессов фильтрации даже в фильтрах очистки природной воды, обычно сводились к изменению некоторых конструктивных элементов этих устройств, подбору оптимальных скоростей фильтрации, гранулометрического состава, типа фильтрующего материала, подбору реагентов и их дозировок [7].

При исследовании фильтрующих устройств различной конструкции, используемых для доочистки сточных вод, всегда наблюдается аналогичный механизм, который определяется питательностью сточных вод, содержащих растворенные органические вещества, преимущественно высокой степени дисперсности. Практика показывает, что именно эти вещества труднее всего удалить из водных сред на первых стадиях биологической очистки. В связи с этим в фильтрующих устройствах всегда происходит иммобилизация микроорганизмов на фильтрующем материале с формированием специфического биоценоза [8–9].

Такой микробиоценоз не только провоцирует достаточно быстрое обрастание фильтрующей среды, но и определяет важнейшее свойство,

которым должно обладать любое устройство, используемое в системе доочистки. Это свойство заключается в способности микробиома устранять сложные и устойчивые к разрушению комплексно-органические образования, находящиеся в сточной воде после вторичных отстойников, за счет выделения специфических ферментов. В связи с этим фильтрующие устройства, в том числе песочные фильтры с зернистой загрузкой, можно считать биореакторами, в которых наблюдаются указанные процессы. В фильтрах происходит не только механическое удержание растворенных продуктов загрязнения, но в основном биохимическая деструкция [10].

Песчаные фильтры для систем водоподготовки проектировались для других условий эксплуатации и, естественно, не могут учитывать некоторые физико-химические особенности процессов, протекающих в них при доочистке сточных вод. В связи с этим их прямая «передача» в структуры доочистки зачастую проблематична. При этом возникает парадокс, который характеризуется тем, что, с одной стороны, в фильтрах происходит процесс разрушения сложноорганических образований. Биогенные элементы удаляются за счет формирования специфического микробиома на зернах загрузки, а с другой стороны, в результате конструктивных особенностей, не соответствующих этому процессу, происходит активное биообрастание фильтрующей среды, так как хемостатный режим культивирования микроорганизмов не предусмотрен. Это условие, определяющее оптимум для биореактора любого типа, характеризуется, в частности, своевременным удалением микробных продуктов жизнедеятельности при элиминации органических веществ в присутствии агрессивных ферментов-деструкторов. В песчаных фильтрах системы очистки сточных вод удаление таких продуктов происходит эпизодически только при промывке загрузки обратным током воды [11].

В ряде работ отмечается, что характерным недостатком песчаных фильтров доочистки является быстрое падение скорости фильтрации [5]. Это не совсем точно объясняется засорением верхнего слоя фильтрующей загрузки – оседанием оторвавшихся и перешедших во взвешенное состояние частиц загрязнения, при его гидравлической регенерации. Ранее проведенные авторами исследования эффективности промывки песчаной фильтрующей загрузки показывают, что пробы, отобранные на разной глубине, содержат в поровом пространстве частицы илистых фракций. При нормативной интенсивности стирки загрузка вымывается неполностью, и даже на глубине 80–100 см отмечается остаточная засоренность. При этом при количественной оценке уменьшения общего объема поровых каналов оказывается, что из-за накопления таких частиц их сорбционная емкость снижается на 7–10 %, хотя общеизвестно, что загрязнения в быстром фильтре должны полностью задерживаться в верхнем слое толщиной не более 10–15 см [6]. Следовательно, по мере фильтрации жидкости окончательной очистки на частицах фильтрующей загрузки иммобилизуются микроорганизмы, ферменты которых обеспечивают деструкцию органических соединений, а коллоидные

фракции загрязнений в течение достаточно длительного времени частично переходят в состояние грубодисперсных образований, которые задерживаются в поровом пространстве по всей глубине быстрой фильтрующей загрузки. Таким образом, в таких фильтрах большое значение имеют технологические условия при наличии в жидкости органических компонентов и микроорганизмов. Особое значение имеет адсорбция удаляемых из потока частиц на поверхности зерен фильтрующего материала. Считается, что в песчаных фильтрах происходит процесс контактной коагуляции [13], аналогичный процессу, происходящему в отстойниках с песчаной контактной загрузкой. В то же время не исключено, что со временем (в процессе фильтрации) некоторая часть коллоидных образований самопроизвольно переходит в разряд крупных частиц. Такой процесс определяется влиянием известных факторов (температура среды, концентрация ионов водорода, наличие и концентрация окисляющих компонентов среды и др.). Об эффективности доочистки в волне допустимо судить по концентрации биогенных элементов в фильтрате, методы определения которых в настоящее время еще не исключают значительной погрешности. Как известно, наиболее точные значения концентраций, например, фосфатов и других видов фосфора можно получить с помощью спектрофотометрического анализа. Измерение интенсивности светового потока, проходящего через жидкий образец на разных длинах волн, позволяет судить о количестве вещества в образце. При этом, если количество вещества в процессе исследования не меняется, то результат измерения считается достаточно точным.

Обработка пластовых вод биологическими методами длительна по времени [14] и требует специально адаптированной биомассы. При доочистке сточных вод на песчаных фильтрах продолжительность процесса фильтрации обычно составляет 15–25 мин, и за это время значительная часть биогенных элементов, находящихся в сточных водах до фильтров, в основном находится в малодисперсном состоянии, сорбируются на зернах фильтрующей загрузки и тем самым удаляются из воды. В соответствии с действующими нормативами спектрофотометрический анализ воды должен быть проведен не позднее 6 часов с момента отбора проб. Тогда о достаточной точности использованного метода можно было говорить только в случае, когда коллоидные соединения органических веществ, присутствующие в фильтрате, в виде высокодисперсных образований по каким-либо причинам полностью отделились от раствора за указанное время или образец, отобранный для анализа, был сохранен.

Для этого на них необходимо воздействовать достаточно эффективными деструкторами, но поскольку в традиционно применяемых технологиях деструктивные воздействия отсутствуют, то естественно предположить, что при анализе часть высокодисперсных биогенов остается в жидкости в коллоидное состояние и полностью не выявляются [9]. И только со временем, если их не сохранять, в процессе отстаивания такие вещества могут изменять свою

дисперсность, постепенно переходя, например, в состояние грубодисперсных примесей, и непредсказуемо изменять структуру молекул, взаимодействуя с другими продуктами окисления. При этом деструкторами здесь могут быть ферменты микроорганизмов, обязательно присутствующие в жидкости, имеющей для них некоторую пищевую ценность. Это, в частности, подтверждается уже упоминавшимися результатами исследования загрузки песчаных фильтров, где частицы илистых фракций обнаруживаются по всей его толщине после промывки. Этот эффект подтверждается и наблюдаемыми на практике следами биокоррозии металлических элементов системы удаления фильтрата.

Для оценки погрешности определения соединений фосфора в сточных водах после доочистки на песчаных фильтрах использовали сравнительный анализ содержания этих ингредиентов при длительном отстаивании пробы фильтрата рис. 1 и периодических измерениях концентрации.

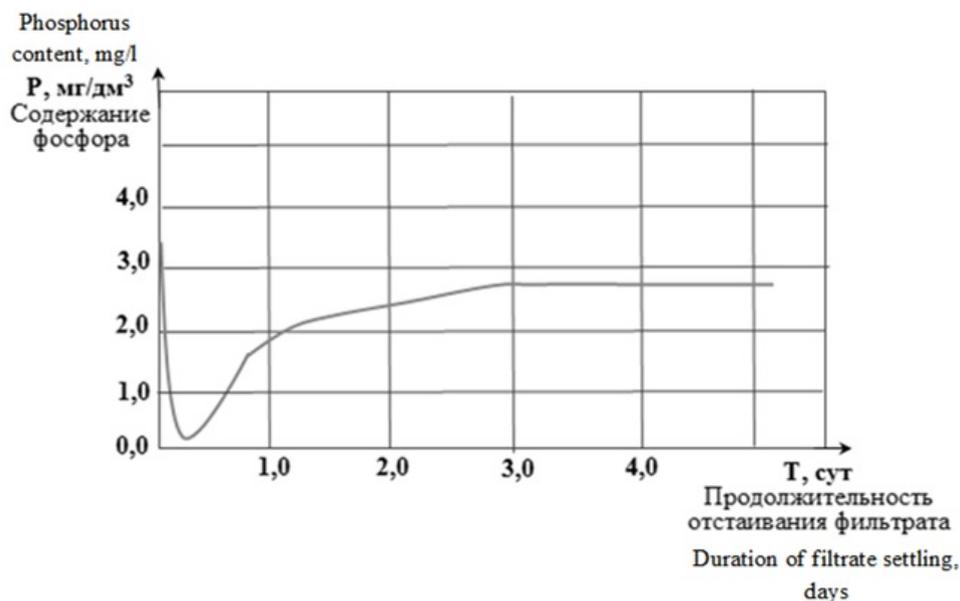


Рис. 1. Содержание фосфорных соединений в пробе фильтрата в процессе его отстаивания / Figure 1. The content of phosphorus compounds in the filtrate sample during its settling

Из графика на рис. 1 видно, что при подаче очищаемой жидкости на песчаный фильтр с песочной загрузкой после вторичных отстойников содержание фосфатов достигало 3,68 мг/дм³, в первые 3 ч при их фильтрации концентрация снижалась до 0,07 мг/дм³. В процессе отстаивания в той же пробе фильтрата без его консервации снова начинает увеличиваться содержание фосфатов, через сутки их концентрация достигает 2,0 мг/дм³. На третьи сутки при содержании фосфатов 2,72 мг/дм³ дальнейших изменений концентрации фосфатов не наблюдалось.

При этом оценку эффективности удаления фосфатов следует проводить в соответствии с действующей методикой по их концентрации в пробе фильтрата примерно через 3–4 ч. При таком подходе степень очистки воды от фосфатов составляет почти 99 %. Как оказалось, на третьи сутки отстаивания той же пробы фильтрата реально наблюдаемое значение фосфатов уменьшается чуть более чем на четверть. Следовательно, влияние доочистки сточных вод на печных фильтрах значительно меньше, что совершенно недопустимо с точки зрения обеспечения экологической безопасности водоемов – приемников сточных вод. В связи с этим можно отметить, что некоторые высокодисперсные формы органокомплексных соединений могут находиться за пределами зоны чувствительности используемого для их определения метода. В связи с этим требуется некоторое время для самопроизвольного перехода, например, фосфорных образований из коллоидного состояния в крупнодисперсное. В приведенном опыте при отстаивании этот процесс оказался достаточно длительным – около трех суток. Его можно охарактеризовать как многофакторный, но определяется он главным образом наличием микроорганизмов-деструкторов, которые в условиях эксперимента «работали» в свободном объеме. Только встряхивание пробы сточной жидкости проводилось непосредственно перед следующим определением содержания фосфатов. Иммуобилизация микроорганизмов на неподвижной насадке, как известно, значительно ускоряет этот процесс.

Следовательно, спектрофотометрический анализ не всегда позволяет точно определить содержание соединений фосфора после доочистки сточных вод на песчаных фильтрах, если он проводится без учета устойчивости высокодисперсных образований. В случае, когда концентрация соединений фосфора перед фильтрами даже больше, чем в опыте, следует ожидать, что их содержание в фильтрате также будет лишь в 1,3–1,5 раза меньше исходного (до фильтрации). Этот эффект определяет повышенный риск присутствия биогенов, поскольку, как уже отмечалось, это повышает вероятность образования канцерогенов и неконтролируемого развития нежелательных патогенных и потенциально патогенных микроорганизмов. Возможно также развитие эвтрофикации водоемов, причем не только локальной в месте сброса сточных вод, но и при их активном перемешивании могут быть охвачены обширные площади, хотя и при относительно невысокой концентрации остаточного загрязнения биогенными веществами и их производными.

Выводы

1. Установлено, что микроорганизмы иммобилизуются на зернах фильтрующего материала песчаных фильтров, образуя колонии, что приводит к быстрому биообрастанию по всей глубине фильтрующей загрузки с повышением фильтрующей стойкости.
2. Невозможность удаления продуктов жизнедеятельности микроорганизмов из загрузки в процессе фильтрации приводит к снижению интенсивности

удаления высокодисперсных органических соединений, выноса загрязняющих веществ в фильтрат и, как следствие, к снижению эффективности очистки.

3. Спектрофотометрический анализ не всегда позволяет точно определить содержание высокодисперсных соединений биогенов, в частности фосфора, после доочистки сточных вод на песчаных фильтрах, если его проводить без учета устойчивости этих образований.

4. Появление в фильтрате продуктов высокодисперсного органического вещества, представленного соединениями, не успевшими перейти в грубодисперсное состояние при фильтрации, образовавшимися в результате лизиса клеток и остающимися в коллоидном или истинно растворенном состоянии, не имеет значения. Необходимо исключить экологическую опасность для водоемов – приемников сточных вод в связи с тем, что при хлорировании и озонировании могут образовываться канцерогены, а неконтролируемый процесс появления патогенных и потенциально патогенных микроорганизмов провоцирует дегенерацию микробиома этих объектов.

5. Конструктивно-технологические особенности песочных фильтров с зернистой загрузкой не в полной мере соответствуют условиям очистки сточных вод и критериям оптимальности. Таким образом, песчаные фильтры не всегда обеспечивают ожидаемую эффективность очистки сточных вод от высокодисперсных органических образований и поэтому могут использоваться в системах очистки сточных вод лишь в ограниченном объеме.

6. Полностью исключить или свести к минимуму возможность попадания в фильтрат органических веществ, в том числе биогенных, с помощью фильтрующих устройств можно только в случае целенаправленного действия эффективных деструкторов, обеспечения хемостатического режима культивирования микроорганизмов.

Список литературы

- [1] *Кирсанов В.В.* Санитарно-гигиеническая характеристика возможного влияния на здоровье населения побочных продуктов хлорирования сточной и питьевой воды // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 4. С. 93–96.
- [2] *Mitch W.A.* A N-Nitrosodimethylamine (NDMA) precursor analysis for chlorination of water and wastewater // *Water Research*. 2003. Vol. 37. No. 15. P. 3733–3741. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00289-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00289-6)
- [3] *Arshidinov M.M., Ospanova G.Sh.* Ozonization purification of industrial plants wastewater // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. 2020. No. 3(50). P. 90–95. https://doi.org/10.51775/1999-9801_2020_50_3_90
- [4] *Шихалева Е.П.* Применение озонирования в технологии очистки сточных вод // Сантехника. 2019. № 6. С. 40–47.
- [5] *Макиша Н.А.* Вопросы интенсификации методов биологической очистки сточных вод // Вестник МГСУ. 2008. № S1. С. 174–177.
- [6] *Ульченко В.М.* Доочистка сточных вод на фильтрах с гранулированной загрузкой // Водоснабжение и санитария. 2010. № 12. С. 34–38.

- [7] Безродная И.В., Клеников С.С. К вопросу о фильтрации жидкости как основной стадии очистки воды // *Современные наукоемкие технологии*. 2006. С. 98–100.
- [8] Makisha N. A. Research for wastewater treatment technology with low production of excessive active sludge // *MATEC*. 2017. Vol. 106. P. 07016.
- [9] Волкова В.Н., Головин В.Л. Методы снижения негативного воздействия возвратных вод на биологическую очистку // *Экология промышленного производства*. 2021. № 4. С. 17–22.
- [10] Волкова В.Н., Головин В.Л. Доочистка сточных вод на беспленочном медленном фильтре // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25. № 6. С. 15–19.
- [11] Галанцева Л.Ф., Шахина С.В. Исследования Фридланда по очистке сточных вод г. Чистополя от фосфатов // *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. № 2. С. 311–314.
- [12] Volkova V.N., Golovin V.L. Macrokinetic Model of Biochemical Oxidation // *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer Nature. 2021. P. 487–494.
- [13] Омельченко А.В. Скорые фильтры // *Водоснабжение: учебное пособие для инженеров-проектировщиков и студентов специальности Водоснабжение и водоотведение / ООО «Центр содействия научным исследованиям»*. 2016. С. 375–383.
- [14] Makisha N.A. Research of ecology-friendly technology for elimination of ammonium from wastewater through the use of floating bed // *E3S Web of Conferences*, Ekaterinburg, 19 мая 2016 года. Ekaterinburg: EDP Sciences. 2016. P. 01002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160601002>

References

- [1] Kirsanov VV. Sanitary and hygienic characteristics of the possible impact on the health of the population by-products of chlorination of waste and drinking water. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2012;15(4):93–96. (In Russ.).
- [2] Mitch WA. A N-Nitrosodimethylamine (NDMA) precursor analysis for chlorination of water and wastewater. *Water Research*. 2003;37(15):3733–3741. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00289-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00289-6)
- [3] Arshidinov MM, Ospanova GSh. Ozonation purification of industrial plants wastewater. *Bulletin of the Almaty University of Energy and Communications*. 2020;3(50):90–95. https://doi.org/10.51775/1999-9801_2020_50_3_90
- [4] Shikhaleva EP. The use of ozonation in wastewater treatment technology. *Santekhnika*. 2019;(6):40–47. (In Russ.).
- [5] Makisha NA. Issues of intensification of methods of biological wastewater treatment. *Vestnik MGSU*. 2008;(S1):174–177. (In Russ.).
- [6] Ulchenko VM. Post-treatment of wastewater on filters with granular loading. *Water supply and sanitation*. 2010;(12):34–38. (In Russ.).
- [7] Bezrodnaya IV, Klenikov SS. On the issue of liquid filtration as the main stage of water purification. *Modern high technologies*. 2006:98–100. (In Russ.).
- [8] Makisha NA. Research for wastewater treatment technology with low production of excessive active sludge. *MATEC*. 2017;106:07016.
- [9] Volkova VN, Golovin VL. Methods for reducing the negative impact of return water on biological treatment. *Ecology of industrial production*. 2021;(4):17–22. (In Russ.).
- [10] Volkova VN, Golovin VL. Post-treatment of wastewater on a filmless slow filter. *Ecology and Industry of Russia*. 2021;25(6):15–19. (In Russ.).
- [11] Galantseva LF, Shakhina SV. Friedland's research on wastewater treatment of Chistopol from phosphates. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2010;(2):311–314. (In Russ.).

- [12] Volkova VN, Golovin VL. Macrokinetic Model of Biochemical Oxidation. *Lecture Notes in Civil Engineering, Springer Nature*. 2021:487–494.
- [13] Omelchenko AV. Fast filters. *Water supply: a textbook for design engineers and students of the specialty Water supply and sanitation, LLC Center for the Promotion of Scientific Research*. 2016:375–383. (In Russ.).
- [14] Makisha NA. Research of ecology-friendly technology for elimination of ammonium from wastewater through the use of floating bed. *E3S Web of Conferences, Ekaterinburg, May 19, 2016*. Ekaterinburg: EDP Sciences; 2016. p. 01002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160601002>

Сведения об авторах:

Волкова Владислава Николаевна – аспирант, инженер-исследователь, Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт (школа), Российская Федерация, 690922, Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, д. 10. ORCID: 0000-0001-9078-9858. E-mail: vladavibi@bk.ru

Головин Виктор Леонтьевич – кандидат технических наук доцент, профессор, Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт (школа), Российская Федерация, 690922, Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, д. 10. E-mail: golovin.vl@dvfu.ru

Кириченко Константин Юрьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник СФНЦА РАН, научный сотрудник научно-организационного управления Политехнического института Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт (школа), Российская Федерация, 690922, Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, д. 10. ORCID: 0000-0002-2715-3758. E-mail: kirichenko2012@gmail.com

Bio notes:

Vladislava N. Volkova, postgraduate student, research engineer, Far Eastern Federal University, Polytechnic Institute (school), 10 pos. Ajax, o. Russian, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9078-9858. E-mail: vladavibi@bk.ru

Viktor L. Golovin, Candidate of Technical Sciences Associate Professor, Professor, Far Eastern Federal University, Polytechnic Institute (school), 10 pos. Ajax, o. Russian, Vladivostok, 690922, Russian Federation. E-mail: golovin.vl@dvfu.ru

Konstantin Yu. Kirichenko, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the SFSC RAS, Researcher of the Scientific and Organizational Department of the Polytechnic Institute Far Eastern Federal University, Polytechnic Institute (school), 10 pos. Ajax, o. Russian, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2715-3758. E-mail: kirichenko2012@gmail.com



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-345-356

УДК 004.05:504.03

Научная статья / Research article

Многопараметрический подход к оценке экологической эффективности объектов нефтегазодобычи

Е.В. Губарь  , О.В. Тупицына

Самарский государственный технический университет, Самара, Российская Федерация

 e.v.gubar@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты разработки методологии прогноза производительности и определения контура объекта I категории негативного воздействия на окружающую среду. Проведено исследование состояния нефтегазовых месторождений Самарской области различных сроков и стадий жизненного цикла эксплуатации, продуктивности и т.д. с использованием эмпирически полученного набора методов анализа. Методология основана на оценке месторождений в составе лицензионного участка с целью последующего принятия управленческих решений по системе мероприятий в области обращения с отходами, разработки программ повышения экологической эффективности с учетом развития месторождений. Базовый принцип разрабатываемой методологии предполагает комплексный анализ балансовых схем материальных потоков технологических циклов сырья и энергии, а также образующихся видов химических соединений в составе выбросов, стоков и отходов. Применение многопараметрического метода оценки позволит не только выявлять дополнительные объемы неконтролируемого воздействия и реализовывать предупреждающие меры, но и поддерживать связь между участниками процесса природопользования: органами государственной власти, общественностью, производством.

Ключевые слова: месторождение, нефть, негативное воздействие на окружающую среду, объекты негативного воздействия на окружающую среду, информационно-технический справочник, комплексное экологическое разрешение, многопараметрический анализ

Вклад авторов: *Е.В. Губарь* – анализ исследования, сбор, обработка полученных данных и их интерпретация, написание текста; *О.В. Тупицына* – концептуализация и методология, критический анализ текста.

История статьи: поступила в редакцию 15.12.2021; принята к публикации 26.03.2022.

© Губарь Е.В., Тупицына О.В., 2022



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

Для цитирования: Губарь Е.В., Тупицына О.В. Многопараметрический подход к оценке экологической эффективности объектов нефтегазодобычи // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 345–356. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-345-356>

A multi-parameter approach to assessing the environmental performance of oil and gas production facilities

Elena V. Gubar  , Olga V. Tupitsyna

Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

 e.v.gubar@mail.ru

Abstract. The results presented in this article are an attempt to develop a methodology for predicting productivity and determining the contour of the object of the I category of negative impact on the environment. Using an empirically derived set of methods of analysis, a study of the state of oil and gas fields in the Samara region of different terms and stages of the life cycle of operation, productivity, etc. was carried out. The methodology is based on the evaluation of fields as a part of the license area for the purpose of further decision-making on the system of measures in the field of waste management, development of programs for improving environmental efficiency, taking into account the development of the fields. The basic principle of the developed methodology implies a comprehensive analysis of the balance schemes of material flows of technological cycles of raw materials and energy, as well as the formed types of chemical compounds in the composition of emissions, effluents and wastes. Application of multi-parameter method of assessment will allow not only to identify additional volumes of uncontrolled impact and to implement preventive measures, but also to maintain communication between the participants of the process of environmental management: public authorities, public, production.

Keywords: field, oil, objects of negative impact on the environment, information and technical guidebook, integrated environmental resolution, multiparametric analysis

Authors' contributions: *Elena Gubar* – research analysis, data collection, processing and interpretation, text writing; *Olga V. Tupitsyna* – conceptualization and methodology, critical analysis of the text.

Article history: received 15.12.2021; accepted 26.03.2022.

For citation: Gubar EV, Tupitsyna OV. A multi-parameter approach to assessing the environmental performance of oil and gas production facilities. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):345–356. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-345-356>

Введение

Ключевым изменением, затрагивающим основные виды деятельности в области экологической безопасности в период внедрения наилучших доступных технологий (НДТ), является введение новой системы технологического нормирования воздействия на окружающую среду.

Нефтегазодобывающие месторождения с учетом основного функционального назначения относятся к объектам I категории по уровню

негативного воздействия на окружающую среду (НВОС). С учетом развития природоохранных требований к подобным объектам основным показателем их экологической безопасности является достижение технологических нормативов, устанавливаемых с применением технологических показателей, не превышающих аналогичных показателей НДТ [1]. Технологический норматив является комплексным параметром, однако он не учитывает технологические особенности, существующую экологическую ситуацию и перспективы её развития в условиях разработки месторождений.

Относительно новым видом обязательной разрешительной документации для объектов I категории НВОС является комплексное экологическое разрешение (КЭР). КЭР является одним из немногих разрешительных документов в сфере экологии, непосредственно связанных с техническим перевооружением производственных объектов. Неверно принятые решения в части объектов технологического нормирования при подготовке заявки на получение КЭР чреваты масштабными финансовыми издержками.

Для преодоления вышеуказанных ограничений крайне актуальной задачей является разработка методологии анализа объектов нефтегазодобычи, которая обеспечит высокую скорость обработки и интерпретации результатов с выявлением скрытых корреляций.

Обзор известных научных работ позволил выявить ряд исследований, направленных на комплексную оценку экологических рисков деятельности нефтегазодобывающих предприятий. Особое внимание следует уделить работе [2], посвященной разработке методологии, ключевой идеей которой является применение интегрального показателя экологического риска. В [3] формализован алгоритм оценки экологических решений на всех стадиях жизненного цикла предприятия. Авторами [4] предлагается новая методика оценки корпоративной устойчивости для анализа уровня и изменений корпоративной устойчивости нефтегазовых компаний с учетом целевых индикаторов в трех сферах: экономика, экология и окружающая среда. Интересны работы авторов [1; 5] по обзору изменений законодательства и технологического нормирования в области охраны окружающей среды, рассмотренные в контексте устойчивого развития.

Весь спектр выявленных разработок не содержит системного подхода к оценке количественных и качественных видов воздействия на окружающую среду в контексте основного инструмента обеспечения экологической безопасности производственных процессов. Такие инструменты реализуются и потенциально доступны в составе идеологии технологического нормирования объектов НВОС I категории для производств постоянного технологического цикла на локализованной территории. Для производств изменяющегося технологического цикла с изменяющимися территориальными локациями применяемая идеология технологического нормирования требует одновременного учета условий эксплуатации и расположения источников негативного воздействия. Наиболее показательными объектами подобного функционального назначения являются объекты нефтегазодобычи в составе лицензионных участков.

Материалы и методы

При оценке объектов нефтегазодобычи использованы описание технологических процессов, результаты инвентаризации источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и оценки воздействия на окружающую среду, данные периодического экологического мониторинга и контроля.

В качестве объекта исследования выбран типичный представитель нефтегазодобывающей инфраструктуры в составе:

- нефтегазодобывающее месторождение;
- объекты подготовки (дожимные насосные станции с установкой предварительного сброса воды, ДНС-УПСВ).

В административном отношении нефтепромысловые объекты месторождения расположены на территории Самарской области. Основным видом производимой продукции месторождения является нефтегазоводяная смесь (скважинная жидкость).

В сложившихся условиях и принципах технологического нормирования важной научно-технической задачей является прогнозирование производительности объектов нефтегазодобычи по видам выпускаемой продукции с учетом сложившихся территориальных ограничений (границы лицензионного участка, наличие ближайшей инфраструктурной жилой застройки) с целью соблюдения и неперевышения технологических нормативов на протяжении семилетнего периода, что предполагает последовательную реализацию следующих этапов:

- 1) определение географической границы объекта негативного воздействия при постановке данного объекта на учет и определении границы санитарно-защитной зоны;
- 2) проведение натурных исследований на стационарных и нестационарных источниках выбросов;
- 3) анализ видов и количественных значений выбросов по каждому маркерному веществу;
- 4) расчет технологического норматива для данных инвентаризации, расчетных параметров и источников сбросов и выбросов;
- 5) определение границ зон неперевышения установленных величин на границах защитных и охранных зон;
- 6) прогноз соблюдения указанных зон для различных производительностей. Предполагает построение модели пространственного распределения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (для выбросов) или в поверхностном водном объекте (для сбросов) с использованием специализированных программных продуктов по расчету рассеивания выбросов и сбросу загрязняющих веществ;
- 7) определение диапазона производительности объекта в части моделирования процессов, в которых он может изменять свою производительность при выполнении технологических показателей.

Результаты и обсуждения

По результатам инвентаризации источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух на лицензионном участке выявлено 327 источников, в том числе 51 организованный и 276 неорганизованных источников соответственно (табл. 1).

Таблица 1

Результаты инвентаризации источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух

№ п/п	Инфраструктурные подразделения ОНВОС	Источники выбросов организованные / неорганизованные	Загрязняющие вещества	
			маркерные	не являющиеся технологическими показателями НДТ
1	Месторождение	Организованные:		
		Воздушки дренажных емкостей на площадках АГЗУ и скважин**	– сероводород, – метан, – смесь пред. у/в C1H4-C5H12, – смесь пред. у/в C6H14-C10H22	– бензол, – ксилол, – толуол, – этилмеркаптан
		Технологический блок АГЗУ*** (вентиляционная труба)*	– смесь пред. у/в C1H4-C5H12, – смесь пред. у/в C6H14-C10H22	– сероводород, – бензол, – толуол, – метантиол, – меркаптаны, – метилтолуол
		Технологическое оборудование блока дозирования реагентов**		– метанол
		Неорганизованные:		
		Утечки через неплотности соединений арматуры скважин**	– метан, – смесь пред. у/в C1H4-C5H12, – смесь пред. у/в C6H14-C10H22	– сероводород, – бензол, – ксилол, – толуол, – меркаптаны
Утечки технологического оборудования АГЗУ, узлов пуска и приема средств очистки и диагностики трубопроводов**	– метан, – смесь пред. у/в C1H4-C5H12, – смесь пред. у/в C6H14-C10H22	– сероводород, – бензол, – ксилол, – толуол, – меркаптаны		
2	ДНС-УПСВ	Организованные:		
		Факельная установка**	– азота диоксид, – азота оксид, – углерод оксид, – метан, – смесь пред. у/в C1H4-C5H12, – смесь пред. у/в C6H14-C10H22	– сера диоксид, – сероводород, – углерод, – этан, – пентан, – бутан, – бенз(а)пирен
		Дренажная емкость*	– сероводород, – метан, – смесь пред. у/в C1H4-C5H12, – смесь пред. у/в C6H14-C10H22	– бензол, – ксилол, – толуол, – меркаптаны
		Резервуары сырой нефти**	– метан, – смесь пред. у/в C1H4-C5H12, – смесь пред. у/в C6H14-C10H22	– сероводород, – бензол, – ксилол, – толуол, – меркаптаны

Окончание табл. 1

№ п/п	Инфраструктурные подразделения ОНВОС	Источники выбросов организованные / неорганизованные	Загрязняющие вещества	
			маркерные	не являющиеся технологическими показателями НДТ
		Неорганизованные:		
		Технологические площадки, нефтенасосная ДНС-УПСВ, канализационная насосная станция	– метан, – смесь пред. у/в C1H4-C5H12, – смесь пред. у/в C6H14-C10H22	– сероводород, – бензол, – ксилол, – толуол, – меркаптаны
3	УПСВ	Организованные:		
		Факельная установка**	– азота диоксид, – азота оксид, – углерод оксид, – метан, – смесь пред. у/в C1H4-C5H12, – смесь пред. у/в C6H14-C10H22	– сера диоксид, – сероводород, бутан, – пентан, – этан, – бенз(а)пирен
		Неорганизованные:		
		Технологическая площадка**	– метан, – смесь пред. у/в C1H4-C5H12, – смесь пред. у/в C6H14-C10H22	– сероводород, – бензол, – ксилол, – толуол, – меркаптаны
		Нефтенасосная	– метан, – смесь пред. у/в C1H4-C5H12, – смесь пред. у/в C6H14-C10H22	– сероводород, – бензол, – ксилол, – толуол, – меркаптаны
		Площадка водоотстойников**	– метан, – смесь пред. у/в C1H4-C5H12, – смесь пред. у/в C6H14-C10H22	– сероводород, – бензол, – ксилол, – толуол, – меркаптаны

Инвентаризация проведена инструментальным методом.

**Для определения показателей выбросов загрязняющих веществ использовался расчетный метод в связи с отсутствием практической возможности проведения инструментальных измерений.

***Автоматическая групповая замерная установка.

Table 1

Results of the inventory of sources of emissions of pollutants into the atmospheric air

№ n/a	Infrastructural units of objects of negative impact on the environment	Sources of emissions organized / unorganized	Contaminants	
			marker	that are not technological BAT indicators
1	Oil field	Organized:		
		Drainage tank vents at AGMU sites and wells**	– hydrogen sulfide, – methane, – mixture of C1H4-C5H12, – mixture of C6H14-C10H22	– benzene, – xylene, – toluene, – ethylmercaptan
		Process unit AGMU (ventilation stack)	– mixture of C1H4-C5H12, – mixture of C6H14-C10H22	– hydrogen sulfide, – benzene, – toluene, – methanol, – mercaptans, – methyltoluene
		Process equipment for the reagent dosing unit**		– methanol

Table 1, ending

№ n/a	Infrastructural units of objects of negative impact on the environment	Sources of emissions organized / unorganized	Contaminants	
			marker	that are not technological BAT indicators
		Unorganized:		
		Leaks through loose connections of well fittings**	– methane, – mixture of C1H4-C5H12, – mixture of C6H14-C10H22	– hydrogen sulfide, – benzene, – xylene, – toluene, – mercaptans
		Leaks of technological equipment of AGMU, starting and receiving units for cleaning and diagnostics of pipelines**	– methane, – mixture of C1H4-C5H12, – mixture of C6H14-C10H22	– hydrogen sulfide, – benzene, – xylene, – toluene, – mercaptans
2	Booster pump stations with pre-discharge installation	Organized:		
		Flare plant***	– nitrogen dioxide, – nitrogen oxide, – carbon oxide, – methane, – mixture of C1H4-C5H12, – mixture of C6H14-C10H22	– sulfur dioxide, – hydrogen sulfide, – carbon, – ethane, – pentane, – butane, – benz(a)pyrene
		Drainage tank*	– hydrogen sulfide, – methane, – mixture of C1H4-C5H12, – mixture of C6H14-C10H22	– benzene, – xylene, – toluene, – mercaptans
		Crude oil tanks**	– methane, – mixture of C1H4-C5H12, – mixture of C6H14-C10H22	– hydrogen sulfide, – benzene, – xylene, – toluene, – mercaptans
		Unorganized:		
		Technological platform, booster pump stations with pre-discharge installation, water pumping station	– methane, – mixture of C1H4-C5H12, – mixture of C6H14-C10H22	– hydrogen sulfide, – benzene, – xylene, – toluene, – mercaptans
3	Pre-discharge water discharge unit	Organized:		
		Flare plant***	– nitrogen dioxide, – nitrogen oxide, – carbon oxide, – methane, – mixture of C1H4-C5H12, – mixture of C6H14-C10H22	– sulfur dioxide, – sulfur hydrogen, butane, – pentane, – ethane, – benz(a)pyrene
		Unorganized:		
		Technological platform	– methane, – mixture of C1H4-C5H12, – mixture of C6H14-C10H22	– hydrogen sulfide, – benzene, – xylene, – toluene, – mercaptans
		Oil pump*	– methane, – mixture of C1H4-C5H12, – mixture of C6H14-C10H22	– hydrogen sulfide, – benzene, – xylene, – toluene, – mercaptans
Dewatering area**	– methane, – mixture of C1H4-C5H12, – mixture of C6H14-C10H22	– hydrogen sulfide, – benzene, – xylene, – toluene, – mercaptans		

*The inventory was carried out by instrumental method. ** To determine the indicators of pollutant emissions, the calculation method was used due to the lack of practical ability to conduct instrumental measurements. *** Automatic group metering unit.

В рамках данного исследования выявленные загрязняющие вещества, согласно ИТС НДТ 28-2021, разделены на маркерные и загрязняющие вещества, не являющиеся технологическими показателями НДТ. В соответствии с Приказом Минприроды России¹ загрязняющие вещества разделены на обязательные для определения технологического норматива (выделены зеленым цветом, НДТ 8) и загрязняющие вещества, для которых на момент написания данной статьи величины и перечень технологических показателей не утверждены Минприродой России (выделены желтым цветом, НДТ 6, НДТ 7).

Данные табл. 1 показывают, что при сравнении перечня маркерных веществ, определенного для различных технологических этапов добычи нефти, такое загрязняющее вещество 2 класса опасности², как сероводород, определен в качестве технически неисполнимого показателя, не соответствующего НДТ 6 и НДТ 7. Кроме того, такие загрязняющие вещества, как бенз(а)пирен (1 класса опасности) и бензол (2 класса опасности), не вошли в перечень маркерных веществ.

Далее рассчитывались удельные значения массы выбросов маркерных веществ (кг/т.н.э.) и технологические нормативы (т/год) (в соответствии с Приказом Минприроды России от 14.02.2019 г. № 89 «Об утверждении Правил разработки технологических нормативов»). Объекты технического нормирования, удельные значения массы выбросов маркерных веществ которых превышают технологические показатели, выявлены не были. Результаты представлены в табл. 2.

В случае невозможности соблюдения технологических нормативов нефтегазодобывающим предприятиям необходимо разработать программы повышения экологической эффективности (ППЭЭ) на период поэтапного достижения нормативов³. Возникает необходимость в комплексной оценке объектов нефтегазодобычи как многопараметрических систем, при определении основных лимитирующих критериев в условиях наличия очевидных параметров (срок эксплуатации месторождений, вмещающие породы разрабатываемого пласта, качественные и количественные характеристики загрязняющих веществ (выявленных сверх маркерных), технические характеристики источников выбросов загрязняющих веществ и т.п.) и скрытых корреляций, определяющих условия внедрения НДТ. Многопараметрический подход позволит определить четкий срок реализации мероприятий ППЭЭ, выбрать наиболее оптимальный вариант технического перевооружения объектов, определить рентабельность реализуемых мероприятий.

¹ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ¹ от 13.06.2019г. № 376 «Об утверждении нормативного документа в области охраны окружающей среды «Технологические показатели наилучших доступных технологий добычи нефти».

² СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

³ Статья 67.1, Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 26.03.2022) «Об охране окружающей среды».

Результаты расчета технологического норматива

№ п/п	Объекты технологического нормирования	Маркерные вещества	Удельные значения массы выбросов маркерных веществ, кг/т.н.э.*	Технологический норматив, т/год	Технологические показатели НДТ, кг/т.н.э.
1. Маркерные вещества					
1.1	Совокупность дренажных емкостей (НДТ 8)	Сероводород	0,00000332	0,002905	≤ 0,002
		Метан	0,00000462	0,0040489	≤ 5,8
		Углеводороды предельные C1-C5	0,00008614	0,0754166	≤ 2,5
		Углеводороды предельные C6-C10	0,00000944	0,0082676	≤ 1,1
1.2	Дренажная емкость (НДТ 8)	Сероводород	0,00000005	0,0002443	≤ 0,002
		Метан	0,00000007	0,0003774	≤ 5,8
		Углеводороды предельные C1-C5	0,00000258	0,0136619	≤ 2,5
		Углеводороды предельные C6-C10	0,00000635	0,0336256	≤ 1,1
2. Загрязняющие вещества, не являющиеся технологическими показателями НДТ					
2.1	Нефтяные скважины и АГЗУ (НДТ 6)	Метан	0,00559254	4,8961937	≤ 5,8
		Углеводороды предельные C1-C5	0,10419727	91,2233561	≤ 2,5
		Углеводороды предельные C6-C10	0,01133298	9,9218734	≤ 1,1
2.2	ДНС-УПСВ (НДТ 6)	Метан	0,03248965	172,0598669	≤ 5,8
		Углеводороды предельные C1-C5	0,05808479	307,6075734	≤ 2,5
		Углеводороды предельные C6-C10	0,00344020	18,2187637	≤ 1,1
		Углерода оксид	1,46964073	7782,97774	≤ 55,37
		Азота диоксид	0,00196633	10,4133512	≤ 2,66
		Азота оксид	0,00152843	8,0942969	≤ 0,85
2.3	УПСВ (НДТ 7)	Метан	0,00032706	1,7320825	≤ 5,8
		Углеводороды предельные C1-C5	0,00179078	9,4836861	≤ 2,5
		Углеводороды предельные C6-C10	0,00064554	3,4186634	≤ 1,1
		Углерода оксид	0,10083732	534,01801	≤ 103,73
		Азота диоксид	0,00196633	10,4133512	≤ 59,43
		Азота оксид	0,10083732	534,01801	≤ 9,64

* т.н.э. – тонна нефтяного эквивалента (1 т конденсата/нефти соответствует 1 т.н.э.).

Table 2

Calculation results of the technological standard

№ п/п	Objects of technological standardization	Marker substances	Specific values of mass emissions of marker substances, kilo/toe****	Technological standard, t/year	Technological indicators of BAT, kilo/toe
1. Marker substances					
1.1	Aggregate drainage tanks (BAT 8)	Hydrogen sulfide	0.00000332	0.002905	≤ 0.002
		Methane	0.00000462	0.0040489	≤ 5.8
		Limited C1-C5 hydrocarbons	0.00008614	0.0754166	≤ 2.5
		Limited C6-C10 hydrocarbons	0.00000944	0.0082676	≤ 1.1
1.2	Drainage reservoir (BAT 8)	Hydrogen sulfide д	0.00000005	0.0002443	≤ 0.002
		Methane	0.00000007	0.0003774	≤ 5.8
		Limited C1-C5 hydrocarbons	0.00000258	0.0136619	≤ 2.5
		Limited C6-C10 hydrocarbons	0.00000635	0.0336256	≤ 1.1

Table 2, ending

№ n/a	Objects of technological standardization	Marker substances	Specific values of mass emissions of marker substances, kilo/toe*	Technological standard, t/year	Technological indicators of BAT, kilo/toe
2. Pollutants that are not BAT process indicators					
2.1	Oil wells and AGMU (BAT 6)	Methane	0.00559254	4.8961937	≤ 5.8
		Limited C1-C5 hydrocarbons	0.10419727	91.2233561	≤ 2.5
		Limited C6-C10 hydrocarbons	0.01133298	9.9218734	≤ 1.1
2.2	Booster pump stations with pre-discharge installation (BAT 6)	Methane	0.03248965	172.0598669	≤ 5.8
		Limited C1-C5 hydrocarbons	0.05808479	307.6075734	≤ 2.5
		Limited C6-C10 hydrocarbons	0.00344020	18.2187637	≤ 1.1
		Carbon oxide	1.46964073	7782.97774	≤ 55.37
		Nitrogen dioxide	0.00196633	10.4133512	≤ 2.66
2.3	Pre-discharge water discharge unit (BAT 7)	Nitrogen oxide	0.00152843	8.0942969	≤ 0.85
		Methane	0.00032706	1.7320825	≤ 5.8
		Limited C1-C5 hydrocarbons	0.00179078	9.4836861	≤ 2.5
		Limited C6-C10 hydrocarbons	0.00064554	3.4186634	≤ 1.1
		Carbon oxide	0.10083732	534.01801	≤ 103.73
		Nitrogen dioxide	0.00196633	10.4133512	≤ 59.43
		Nitrogen oxide	0.10083732	534.01801	≤ 9.64

* toe – ton of oil equivalent (1 t of condensate/oil corresponds to 1 toe).

Перспективным направлением является разработка многомерных моделей с применением известных методов хемометрики (англ. *chemometrics*), например, метода главных компонент (PCA) и метода частичной регрессии наименьших квадратов (PLS). Результативность рассматриваемых методов доказана в работе авторов [6], которым удалось установить корреляции и группировки переменных репрезентативных наборов образцов хранилищ нефтесодержащих промышленных отходов различного возраста, происхождения и местоположения.

Заключение

Предложенная в данной работе методология анализа объектов нефтегазодобычи позволит решить следующие задачи:

- 1) разработать системы планирования эксплуатации нефтегазодобывающих месторождений с учетом следующих качественных параметров:
 - данные по квотированию выбросов;
 - современные модели снижения выбросов в атмосферу и сбросов в водные объекты;
 - финансовые планы предприятия по техническому перевооружению, оснащению системами автоматического контроля выбросов и сбросов;
 - графики актуализации информационно-технических справочников наилучших доступных технологий;
- 2) осуществлять геоэкологическую и геолого-экономическую оценку нефтегазовых месторождений с выявлением возможных рисков и стратегических направлений повышения эффективности их эксплуатации;

3) сформировать принципы очередности и сроков ввода объектов нефтегазодобычи в эксплуатацию, исключающие изменение запланированных показателей разработки месторождений, а также нарушения требований промышленной и экологической безопасности.

Список литературы

- [1] *Волосатова А.А., Морокишко В.В., Цай М.Н., Бегак М.В.* Анализ правового регулирования получения комплексного экологического разрешения // Компетентность / Competency (Russia). 2020. № 1. С. 18–25. <https://doi.org/10.24411/1993-8780-2020-1-0104>
- [2] *Gorlenko N., Murzin M., Belyaevsky R.* Assessment of Environmental Risks at Oil and Gas Production Companies Using an Integrated Method. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 174. P. 02033. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017402033>
- [3] *Шагарова Л.Б.* Разработка методики комплексной оценки экологических решений для промышленных объектов нефтегазового комплекса: дис. ... канд. техн. наук: 11.00.11. Москва, 2000. 136 с.
- [4] *Ponomarenko T., Marinina O., Nevskaya M., Kuryakova K.* Developing Corporate Sustainability Assessment Methods for Oil and Gas Companies // *Economies*. 2021. No. 9. P. 58. <https://doi.org/10.3390/economies9020058>
- [5] *Волосатова А.А., Пятница А.А., Гусева Т.В., Almgren R.* Наилучшие доступные технологии как универсальный инструмент совершенствования государственных политик // *Экономика устойчивого развития*. 2021. № 4 (48). С. 17–23.
- [6] *Ermakov V.V., Bogomolov A., Bykov D.E.* Oil sludge depository assessment using multivariate data analysis // *J Environ Manage*. 2012 Aug 30; No. 105. P. 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.03.041>

References

- [1] *Volosatova AA, Morokishko VV, Tsay MN, Begak MV.* Granting integrated environmental permits: legal regulation analysis. *Competency (Russia)*. 2020;1:18–25. <https://doi.org/10.24411/1993-8780-2020-1-0104> (In Russ.)
- [2] *Gorlenko N, Murzin M, Belyaevsky R.* Assessment of Environmental Risks at Oil and Gas Production Companies Using an Integrated Method. *E3S Web of Conferences*. 2020;174:02033. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017402033>
- [3] *Shagarova LB.* Development of a methodology for the integrated assessment of environmental solutions for industrial facilities of the oil and gas complex (dissertation of Candidate of Engineering Sciences: 11.00.11). Moscow; 2000. (In Russ.)
- [4] *Ponomarenko T, Marinina O, Nevskaya M, Kuryakova K.* Developing Corporate Sustainability Assessment Methods for Oil and Gas Companies. *Economies*. 2021;9:58. <https://doi.org/10.3390/economies9020058> (In Russ.)
- [5] *Volosatova AA, Pyatnitsa AA, Guseva TV, Almgren R.* Best available techniques as a universal instrument for improving state policies. *Economics of stable development*. 2021;4(48):7–23. (In Russ.)
- [6] *Ermakov VV, Bogomolov A, Bykov DE.* Oil sludge depository assessment using multivariate data analysis. *J Environ Manage*. 2012 Aug 30;105:144–51. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.03.041>

Сведения об авторах:

Губарь Елена Викторовна, аспирант направления подготовки 05.06.01 «Науки о Земле», направленность программы «Геоэкология (в нефтегазовой отрасли; в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве)», Самарский государственный технический университет, Российская Федерация, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244. ORCID: 0000-0003-0040-9466, eLIBRARY SPIN-код: 7599-3567, eLIBRARY AuthorID: 1103417. E-mail: e.v.gubar@mail.ru

Тупицына Ольга Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры химической технологии и промышленной экологии, Самарский государственный технический университет, Российская Федерация, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244. eLIBRARY SPIN-код: 8568-1200, eLIBRARY AuthorID: 741101. E-mail: olgatupicyna@yandex.ru

Bio notes:

Elena V. Gubar, postgraduate student of the direction of preparation 05.06.01 “Earth Sciences”, the focus of the program “Geoecology (in the oil and gas industry; in construction and housing and communal services)”, Samara State Technical University, 244 Molodogvardeyskaya St, Samara, 443100, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0040-9466, eLIBRARY SPIN-код: 7599-3567, eLIBRARY AuthorID: 1103417. E-mail: e.v.gubar@mail.ru

Olga V. Tupitsyna, Doct. Tech. Sci., Professor of the Department of Chemical Technology and Industrial Ecology, Samara State Technical University, 244 Molodogvardeyskaya St, Samara, 443100, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 8568-1200, eLIBRARY AuthorID: 741101. E-mail: olgatupicyna@yandex.ru.



ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-357-372

УДК 504.61.054(470.23-25)+614.7

Научная статья / Research article

Обзор качества питьевой воды в северных районах Московской области на основе данных Роспотребнадзора и частных лабораторий

Т.С. Лукьянова¹, М.В. Ларионов^{1,2,3,4}  , С.А. Крючков¹ ¹ Государственный университет по землеустройству, Москва, Российская Федерация² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
Москва, Российская Федерация³ Российский государственный аграрный заочный университет,
Балашиха, Российская Федерация⁴ Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация
 m.larionow2014@yandex.ru

Аннотация. Проблема качества питьевой воды затрагивает многие стороны нашей жизни. Употребление воды, не соответствующей установленным нормативам безопасности, может спровоцировать разные неблагоприятные последствия для человека. Проведен обзор качества питьевой воды в водозаборных скважинах, общественных колодцах, родниках и точках централизованного водоснабжения в многоквартирных домах в Талдомском и Дмитровском городских округах Московской области. В результате анализа показателей 76 источников в указанных районах установлено, что питьевая вода, полностью соответствующая нормам СанПиН 2.1.4.1074-01, наблюдается лишь у 3 источников. Это составляет 3,9 % от общего количества. В 96,1 % источниках вода непригодна для питья и требует дополнительных мероприятий по очистке (до санитарно-гигиенических нормативных требований по обеззараживанию).

Ключевые слова: качество питьевой воды, водозаборная скважина, родник, колодец, ИЗВ, Талдомский г. о., Дмитровский г. о.

© Лукьянова Т.С., Ларионов М.В., Крючков С.А., 2022

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

Благодарности и финансирование: Статья подготовлена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с соглашением № 075–15-2020-905 от 16 ноября 2020 года о предоставлении гранта в виде субсидий из федерального бюджета Российской Федерации. Грант был предоставлен для государственной поддержки создания и развития Научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего» РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева.

Вклад авторов: Т.С. Лукьянова – концепция исследования; М.В. Ларионов – целеполагание и методическое консультирование; С.А. Крючков – сбор, обработка и анализ данных, написание работы.

История статьи: поступила в редакцию 15.01.2022; принята к публикации 16.03.2022.

Для цитирования: Лукьянова Т.С., Ларионов М.В., Крючков С.А. Обзор качества питьевой воды в северных районах Московской области на основе данных Роспотребнадзора и частных лабораторий // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 357–372. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-357-372>

Review of drinking water quality in the northern regions of the Moscow region based on data from Rospotrebnadzor and private laboratories

Tatiana S. Lukyanova¹, Maxim V. Larionov^{1,2,3,4}  ,
Sergey A. Kryuchkov¹ 

¹ State University of Land Use Planning, Moscow, Russian Federation

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russian Federation

³ Russian State Agrarian Correspondence University, Balashikha, Russian Federation

⁴ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation
 m.larionow2014@yandex.ru

Abstract. The problem of drinking water quality affects many aspects of our lives. The use of water that does not comply with the established safety standards can provoke various adverse consequences for humans. This article reviews the quality of drinking water in water intake wells, public wells, springs, and centralized water supply points in apartment buildings in the Taldom and Dmitrov town districts of the Moscow region. As a result of the analysis of the indicators of 76 sources in these areas, it was found that drinking water that fully complies with the Sanitary Regulations and Norms 2.1.4.1074-01 is observed only in 3 sources. Which advises 3.9% of the total. In 96.1% of the sources, the water is not suitable for drinking and requires additional cleaning measures (up to sanitary and hygienic regulatory requirements for disinfection).

Keywords: the quality of drinking water, water intake well, water spring, well, Water Pollution Index, Taldom town district, Dmitrov town district

Acknowledgements and Funding: The article was made with support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in accordance with agreement No. 075-15-2020-905 date November 16, 2020 on providing a grant in the form of subsidies from the Federal budget of Russian Federation. The grant was provided for state support for the creation and development of a World-class Scientific Center “Agrotechnologies for the Future”.

Authors’ contributions: *T.S. Lukyanova* – the concept of the study; *M.V. Larionov* – goal-setting and methodological consulting; *S.A. Kryuchkov* – collection, processing and analysis of data, writing a paper.

Article history: received 15.01.2022; accepted 16.03.2022.

For citation: Lukyanova TS, Larionov MV, Kryuchkov SA. Review of drinking water quality in the northern regions of the Moscow region based on data from Rospotrebnadzor and private laboratories. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):357–372. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-357-372>

Введение

Питьевая вода – это один из важнейших компонентов окружающей среды, который напрямую влияет на здоровье человека и его жизнь. Проблема качества питьевой воды затрагивает многие стороны жизни человеческого общества в течение всего периода его существования [1]. Сейчас это проблема социальная, политическая, географическая, экологическая и медицинская. То есть современная ситуация с экологическим состоянием гидроэкосистем и систем питьевого водоснабжения и, главное, водных ресурсов в Московском регионе – комплексная медико-демографическая, социально-географическая и эколого-технологическая проблема, причем (к большому сожалению) в системно-организационном и в междисциплинарно-экологическом контекстах [3; 4].

Для питьевой воды является обязательным наличие действующего на нее стандартов на общий состав и ее свойства. В России главные стандарты качества питьевой воды: СанПиН 2.1.4.1074-01 и СанПиН 2.1.4.1116-02¹.

Вода, если не отвечает определенным стандартам качества, в большинстве случаев не пригодна для употребления ее людьми и может вызвать различные заболевания у человека. Поэтому основная цель работы – обзор и анализ сведений о состоянии вод из водоисточников Московской области в современное время, а также анализ их качества в контексте нормативных требований и географической локализации выявленных санитарно-гигиенических кризисных ситуаций и определяемых ими социально-экологических проблем.

¹ Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.1116-02; утв. постановлением главного санитарного врача РФ от 19 марта 2002 г. № 12. М.: Закон, 2012. 16 с.; Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. СанПиН 2.1.4.1074-01; утв. постановлением главного санитарного врача РФ от 26 сентября 2001 г. № 24. М.: Межиздат, 2011. 128 с.

Основными источниками питьевой воды являются водохранилища, реки и озера, а также подземные источники (артезианские скважины, колодцы и родники), дождевая и талая вода [5].

Материалы и методы исследования

Использованы сведения об особенностях расположения и физико-географических условиях Московской области, включительно о гидрографии, а также об экологии данного региона [1; 2]. В этой работе проведен обзор качества питьевой воды в водозаборных скважинах, общественных колодцах, родниках и точках централизованного водоснабжения в многоквартирных домах в Талдомском и Дмитровском городских округах. Данные о качестве питьевой воды в северных районах региона были получены от Федерального государственного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии Московской области»², Сервисной службы по системам водоочистки и водоподготовки Дмитровского городского округа и ООО «Системы для дома», а также из интернет-портала «Watermap: Карта Воды России»³. Данные о качестве питьевой воды имелись для 76 объектов водоснабжения, разгруппировка которых представлена в табл. 1. Заборы проб воды, согласно источникам информации, проводились в период с 2015 по 2018 г. Качество питьевой воды определялось в среднем по 15 показателям, по ряду источников имелись данные для 30 показателей качества питьевой воды.

Показатели качества воды: водородный показатель, жесткость общая, железо, фториды, перманганатная окисляемость, запах, цветность, мутность, мышьяк, нитраты, гидрокарбонаты, щелочность, хлориды, медь, кальций, магний, натрий, калий, нитриты, привкус, марганец, свинец, алюминий, кадмий, общая минерализация, нефтепродукты; сульфаты; сульфиды, аммиак-аммоний ион и фенол⁴.

В качестве методов исследования используются два метода.

1. Для составления статистики по показателям качества воды используется метод сравнения показателей качества воды с уровнем ПДК по СанПиН

² Государственные доклады «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Московской области». 2015–2018 гг. М.: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Московской области, 2016–2019.

³ Карта воды России: качество воды из источников питьевого водоснабжения. URL: <http://www.watermap.ru/map> (дата обращения: 27.01.2021); Официальный сайт ООО «Системы для дома» // Химический анализ воды – Дмитровский район. URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-dmitrovsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Официальный сайт ООО «Системы для дома» // Химический анализ воды – Талдомский район. URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-taldomsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Сервисная служба по системам водоочистки и водоподготовке в Дмитровском районе. URL: <http://waterservice-dmitrov.ru/karta-analizov-vody/> (дата обращения: 27.01.2021).

⁴ Там же.

2.1.4.1074-01 (СанПиН 2.1.4.1116-02 для щелочности, кальция и магния) с последними изменениями на 2018 г.

2. Для сравнения качества питьевой воды у водных объектов между собой и составления тематических картосхем используется метод расчета измененного индекса загрязненности питьевой воды.

Таблица 1

Общее количество проанализированных объектов питьевого водоснабжения по данным Роспотребнадзора и др.⁵

Исследовано объектов питьевого водоснабжения	Дмитровский	Талдомский	Общее количество
Скважин	24	14	38
Общественных колодцев	10	6	16
Родников	10	2	12
Точек централизованного водоснабжения	8	2	10
Всего	52	24	76

Table 1

Total number of analyzed drinking water supply facilities according to data from Rospotrebnadzor, etc.

Objects of drinking water supply are investigated	Dmitrov town	Taldom town	Total amount
Water intake well	24	14	38
Well	10	6	16
Water spring	10	2	12
Centralized water supply points	8	2	10
Total	52	24	76

Оценку степени загрязненности питьевой воды в северных районах Московской области предлагается проводить на основе модифицированной формулы индекса загрязненности воды (ИЗВ), с сохранением ее оригинального вида, но с изменениями в расчете [5].

Основное отличие от оригинального расчета ИЗВ заключается в том, что в модифицированном расчете для некоторых источников будет увеличено количество показателей с 6 до 30, а также, поскольку СанПиН 2.1.4.1074-01 не учитывает показатель биологического потребления кислорода (БПК), предлагается исключить этот норматив из расчета в преобразованной формуле ИЗВ. В связи с этим расчет по модифицированной формуле ИЗВ будет иметь определенную погрешность.

Отображение результатов ИЗВ происходит с помощью картосхем. Последние выполнены в компьютерной программе QGIS.

⁵ Карта воды России: качество воды из источников питьевого водоснабжения. URL: <http://www.watermap.ru/map> (дата обращения: 27.01.2021); Химический анализ воды – Дмитровский район // Официальный сайт ООО «Системы для дома». URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-dmitrovsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Химический анализ воды – Талдомский район // Официальный сайт ООО «Системы для дома». URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-taldomsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Сервисная служба по системам водоочистки и водоподготовке в Дмитровском районе. URL: <http://waterservice-dmitrov.ru/karta-analizov-vody/> (дата обращения: 27.01.2021).

Результаты исследования

В результате анализа показателей всех 76 источников водоснабжения в северных районах Московской области было выявлено, что питьевая вода, полностью соответствующая нормам СанПиН 2.1.4.1074-01, наблюдается лишь у трех источников, что соответствует 3,9 % от общего количества. Наибольшее число полностью пригодных для питья источников наблюдается в Дмитровском городском округе – два источника, наименьшее в Талдомском – один (табл. 2)⁶.

Таблица 2

Количество объектов питьевого водоснабжения, соответствующих нормам СанПиН 2.1.4.1074-01 (СанПиН 2.1.4.1116-02 для щелочности, кальция и магния), по данным Роспотребнадзора и др.⁷

Полное соответствие воды нормам СанПиН	Дмитровский	%	Талдомский	%	Общее количество	%
Скважин	0	0	0	0	1	0
Общественных колодцев	0	0	1	16,6	1	6,25
Родников	2	10	0	0	2	16,6
Объектов централизованного водоснабжения	0	0	0	0	0	0
Общее количество	2	3,84	1	8,3	3	3,9

Table 2

The number of drinking water supply facilities that meet the Sanitary Regulations and Norms 2.1.4.1074-01 (the Sanitary Regulations and Norms 2.1.4.1116-02 for alkalinity, calcium and magnesium), according to Rospotrebnadzor and etc.

Full compliance with water the Sanitary Regulations and Norms	Dmitrov town	%	Taldom town	%	Total amount	%
Water intake well	0	0	0	0	1	0
Well	0	0	1	16,6	1	6,25
Water spring	2	10	0	0	2	16,6
Centralized water supply points	0	0	0	0	0	0
Total:	2	3,84	1	8,3	3	3,9

В Дмитровском городском округе на основе исследования показаний 52 источников водоснабжения (24 скважины, 10 общественных колодцев, 10 родников и 8 объектов централизованного водоснабжения) было выявлено следующее: в 85 % источниках отмечаются превышения нормы по щелочности, в 82,35 % – превышение ПДК по мутности, в 53,85 % – превышение ПДК по железу общему, в 45,45 % – превышение ПДК по привкусу и в 32,69 % источниках отмечалось превышение ПДК по общей

⁶ Карта воды России: качество воды из источников питьевого водоснабжения. URL: <http://www.watermap.ru/map> (дата обращения: 27.01.2021); Химический анализ воды – Дмитровский район // Официальный сайт ООО «Системы для дома». URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-dmitrovsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Химический анализ воды – Талдомский район // Официальный сайт ООО «Системы для дома». URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-taldomsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Сервисная служба по системам водоочистки и водоподготовке в Дмитровском районе. URL: <http://waterservice-dmitrov.ru/karta-analizov-vody/> (дата обращения: 27.01.2021).

⁷ Там же.

жесткости. По остальным показателям превышение составляет менее 30 %. По тяжелым металлам превышение уровня ПДК наблюдалось у марганца – в 21,42 % источниках питьевого водоснабжения и одно превышение ПДК свинца в роднике деревни Дятьково 0,1 при норме 0,03 мг/л. Превышения уровня ПКД у нефтепродуктов не наблюдалось. Процент источников представлен на рис. 1.

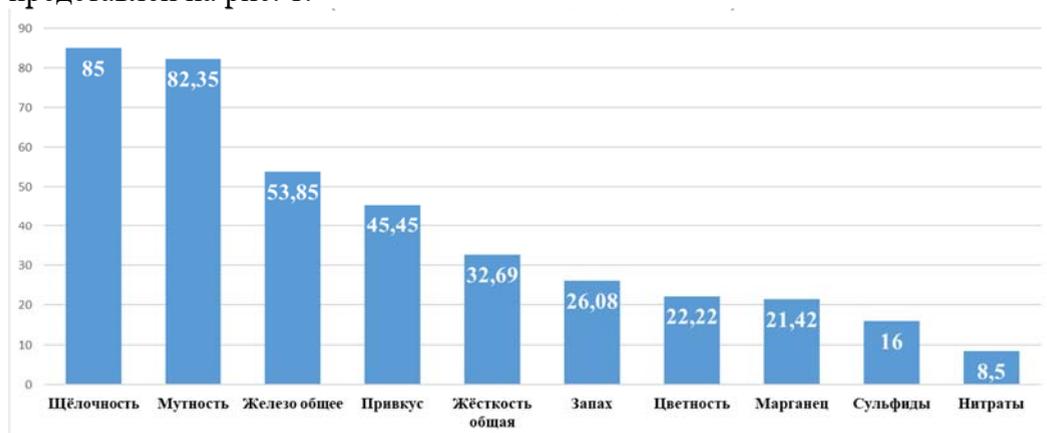


Рис. 1. Процент источников питьевого водоснабжения Дмитровского городского округа, в которых наблюдается превышение показателей СанПиН 2.1.4.1074-01 (СанПиН 2.1.4.1116-02 для щелочности)⁸

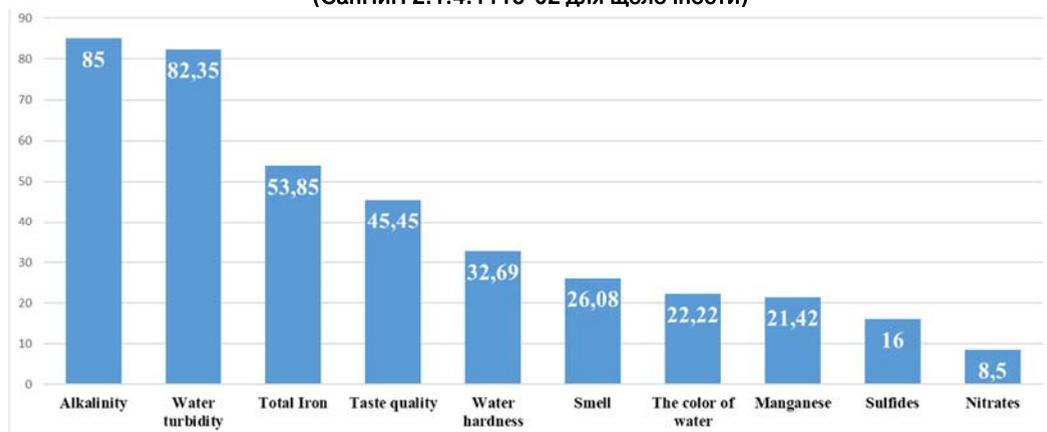


Figure 1. Percentage of sources of drinking water supply in the Dmitrov town district, in which there is an excess of the Sanitary Regulations and Norms 2.1.4.1074-01 (the Sanitary Regulations and Norms 2.1.4.1116-02 for alkalinity, calcium and magnesium)

В Талдомском городском округе на основе исследования показаний 24 источников водоснабжения (14 скважин, 6 общественных колодцев,

⁸ Карта воды России: качество воды из источников питьевого водоснабжения. URL: <http://www.watermap.ru/map> (дата обращения: 27.01.2021); Химический анализ воды – Дмитровский район // Официальный сайт ООО «Системы для дома». URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-dmitrovsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Химический анализ воды – Талдомский район // Официальный сайт ООО «Системы для дома». URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-taldomsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Сервисная служба по системам водоочистки и водоподготовке в Дмитровском районе. URL: <http://waterservice-dmitrov.ru/karta-analizov-vody/> (дата обращения: 27.01.2021).

2 родника и 2 объекта централизованного водоснабжения) было выявлено следующее: в 76,92 % источниках отмечается превышение уровня нормы по щелочности и мутности, в 62,5 % – превышение ПДК по железу общему, в 45,83 % – превышение ПДК по общей жесткости, в 38,46 % – превышение ПДК по цветности и в 37,5 % было выявлено превышение уровня ПДК марганца. По остальным показателям и превышение составляет менее 30 %. По остальным тяжелым металлам наблюдались единичные превышения ПДК марганца. Процент источников водоснабжения представлен на рис. 2.

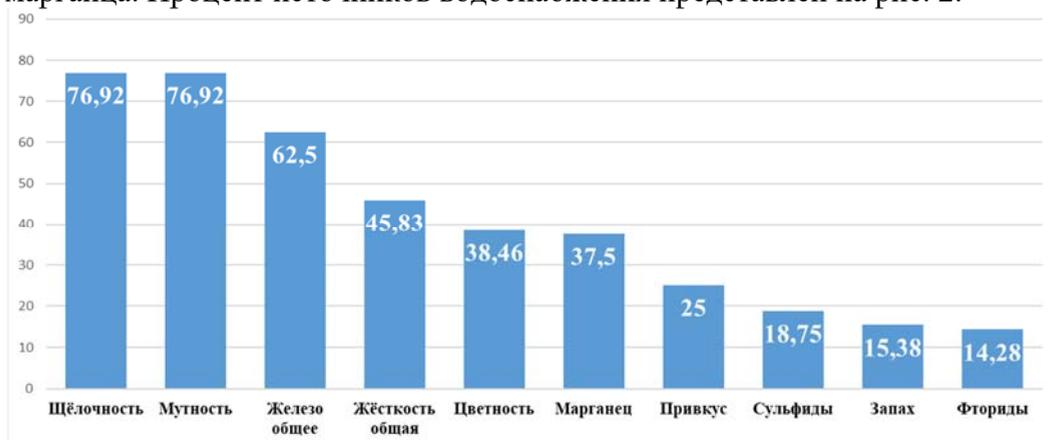


Рис. 2. Процент источников питьевого водоснабжения Талдомского городского округа, в которых наблюдается превышение показателей СанПиН 2.1.4.1074-01 (СанПиН 2.1.4.1116-02 для щелочности)⁹

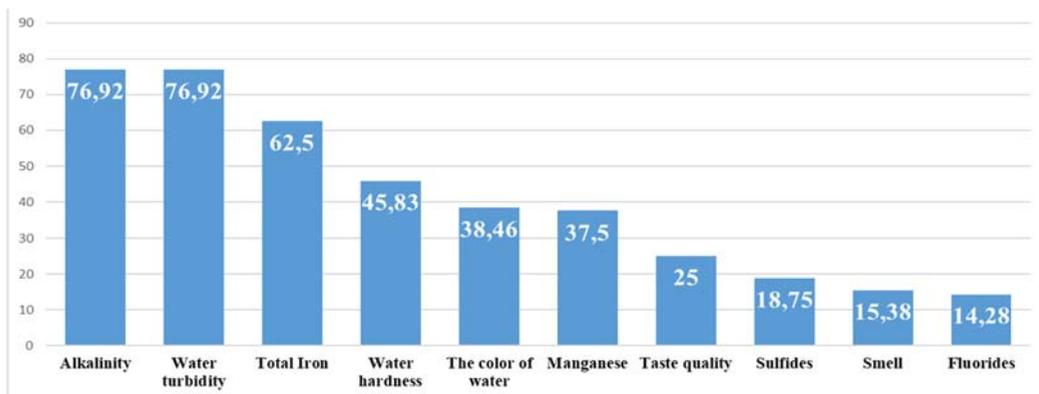


Figure 2. Percentage of sources of drinking water supply in the Taldom town district, in which there is an excess of the Sanitary Regulations and Norms 2.1.4.1074-01 (the Sanitary Regulations and Norms 2.1.4.1116-02 for alkalinity, calcium and magnesium)

⁹ Карта воды России: качество воды из источников питьевого водоснабжения. URL: <http://www.watermap.ru/map> (дата обращения: 27.01.2021); Химический анализ воды – Дмитровский район // Официальный сайт ООО «Системы для дома». URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-dmitrovsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Химический анализ воды – Талдомский район // Официальный сайт ООО «Системы для дома». URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-taldomsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Сервисная служба по системам водоочистки и водоподготовке в Дмитровском районе. URL: <http://waterservice-dmitrov.ru/karta-analizov-vody/> (дата обращения: 27.01.2021).

Загрязненность воды в скважинах

Из-за большого количества скважин в северных районах Московской области (38 объектов) для корректного отображения ИЗВ на картосхеме был применен метод интерполяции – нахождение промежуточных значений по имеющемуся набору известных значений. Этот метод имеет определенную погрешность в вычислениях промежуточных значений, но позволяет дать общее представление о загрязненности питьевой воды из скважин в целом. Картосхема представлена на рис. 3. Работа выполнялась с использованием компьютерной программы QGIS.

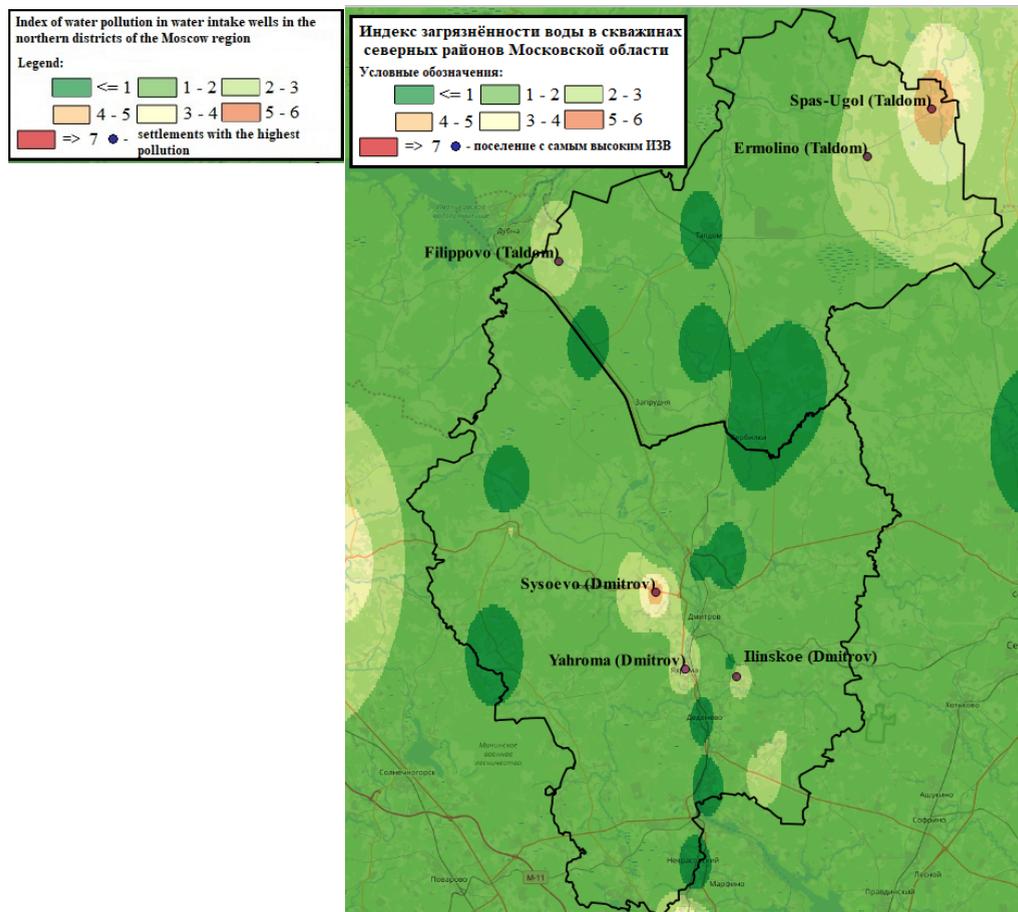


Рис. 3. Картосхема индекса загрязненности воды в скважинах северных районов Московской области / Figure 3. Map diagram of the water pollution index in water intake wells in the northern districts of the Moscow region¹⁰

¹⁰ Карта воды России: качество воды из источников питьевого водоснабжения. URL: <http://www.watermap.ru/map> (дата обращения: 27.01.2021); Химический анализ воды – Дмитровский район // Официальный сайт ООО «Системы для дома». URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-dmitrovsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Химический анализ воды – Талдомский район // Официальный сайт ООО «Системы для дома». URL:

На основе анализа показателей ИЗВ для скважин северных районов Московской области можно сделать следующий вывод. Во всех районах воды из артезианских скважин относятся к категории «умеренно загрязненные»¹¹.

В Дмитровском городском округе самый высокий показатель ИЗВ у скважин наблюдается в дер. Сысоево – 4,79 в 3 км от города Дмитров в западном направлении. В этой скважине наблюдается превышение показателей железа общего (5,66 мг/л), щелочности (7,2 ммоль/л), мутности, привкуса и жесткости. Здесь питьевая вода относится к категории «загрязненная». Самый низкий показатель ИЗВ в округе зафиксирован в поселке Некрасовский в южной части района: 0,22.

В Талдомском городском округе высокий показатель ИЗВ у скважин отмечается в селе Спас Угол – 4,69 на северо-востоке района. В скважине наблюдается сильное превышение содержания общего железа (13,9 мг/л), жесткости, фторидов, а также марганца (0,24 мг/л). Здесь питьевая вода относится к категории «загрязненная». Самый низкий показатель ИЗВ в округе – в поселке Вербилки в южной части округа: 0,26.

Загрязненность воды в общественных колодцах

Для визуализации ИЗВ общественных колодцев на картосхеме был применен метод точечного отображения объектов. Этот метод наиболее информативно отображает истинное значение ИЗВ в каждой конкретной точке (рис. 4)¹².

На основе анализа показателей ИЗВ для общественных колодцев в северных районах Московской области можно сделать следующий вывод: во всех районах воды из общественных колодцев относятся к категории «чистые». Наиболее высокие показатели ИЗВ наблюдаются в СНТ «Надежда» Талдомского городского округа – 0,9 и в деревне Давыдково Дмитровского городского округа – 0,88. Для этих колодцев характерны повышенные показатели содержания общего железа, цветности, мутности и щелочности.

Загрязненность воды в родниках

Для визуализации ИЗВ родников на картосхеме применен метод точечного отображения объектов.

На основе анализа показателей ИЗВ для родников в северных районах Московской области напрашивается следующий вывод. Питьевая вода в большинстве родников относится к категории «чистая», в одном роднике – к категории «умеренно загрязненная» и в трех родниках – к категории «загрязненная» (рис. 5)¹³.

<http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-taldomsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Сервисная служба по системам водоочистки и водоподготовке в Дмитровском районе. URL: <http://waterservice-dmitrov.ru/karta-analizov-vody/> (дата обращения: 27.01.2021).

¹¹ Там же.

¹² Там же.

¹³ Там же.

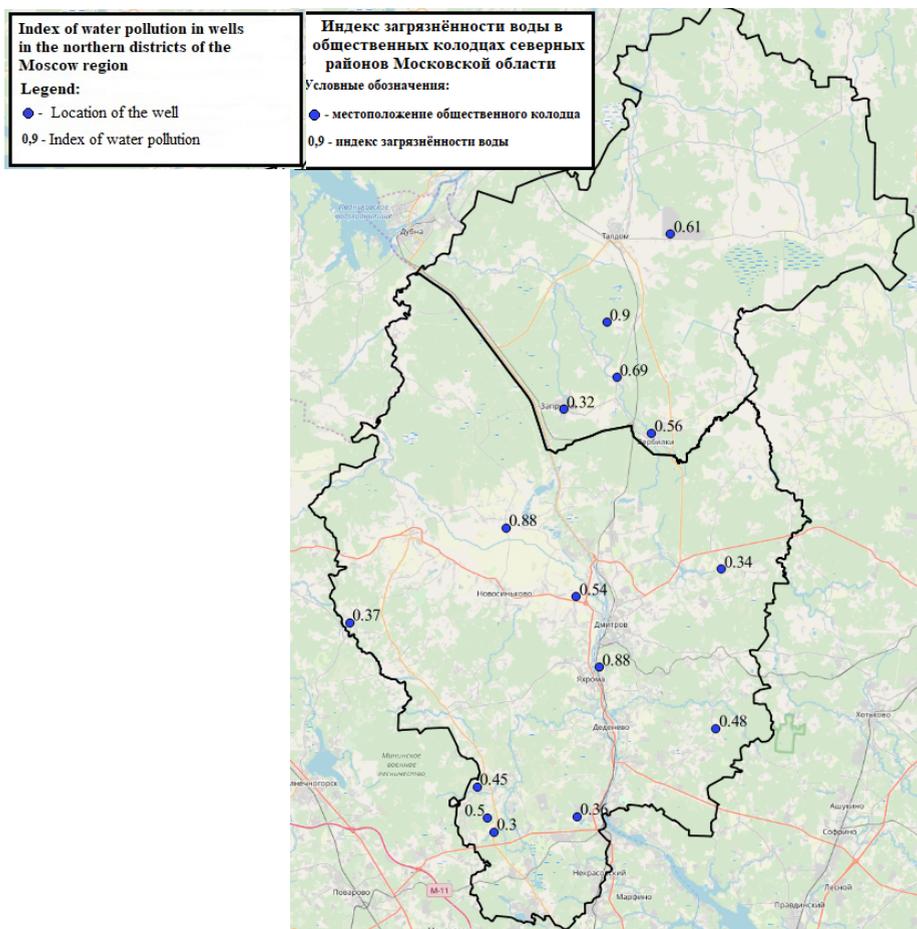


Рис. 4. Картосхема индекса загрязнённости воды общественных колодцев в северных районах Московской области / Figure 4. Map diagram of the water pollution index of public wells in the northern districts of the Moscow region¹⁴

Наиболее высокие показатели ИЗВ наблюдаются на границе Дмитровского и Мытищинского городских округов в деревнях: Большое Ивановское и Протасово, а также в поселке Икша. Для вод всех родников характерны высокие показатели общего железа и повышенное содержание марганца. Наивысший показатель ИЗВ в роднике в деревне Большое Ивановское – 2,7.

¹⁴ Карта воды России: качество воды из источников питьевого водоснабжения. URL: <http://www.watermap.ru/map> (дата обращения: 27.01.2021); Официальный сайт ООО «Системы для дома» // Химический анализ воды – Дмитровский район. URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-dmitrovsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Официальный сайт ООО «Системы для дома» // Химический анализ воды – Талдомский район. URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-taldomsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Сервисная служба по системам водоочистки и водоподготовке в Дмитровском районе. URL: <http://waterservice-dmitrov.ru/karta-analizov-vody/> (дата обращения: 27.01.2021).

Наиболее низкий показатель ИЗВ в северном Подмосковье наблюдается в Дмитровском городском округе в районе деревни Беклемишево – 0,18. В воде этого родника отмечается незначительное превышение показателя щелочности¹⁵. Картограмма представлена на рис. 5.

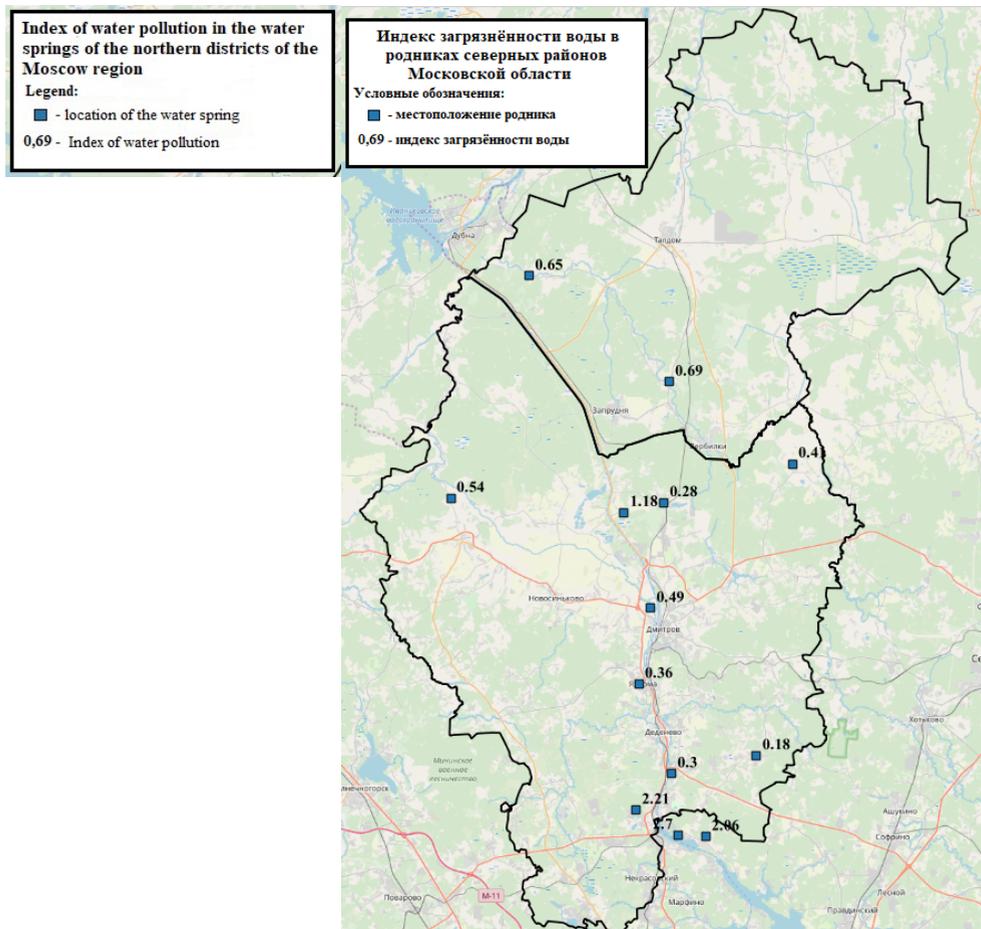


Рис. 5. Картограмма индекса загрязнённости воды в родниках северных районов Московской области / Figure 5. Map diagram of the water pollution index in the water springs of the northern districts of the Moscow region¹⁶

¹⁵ Карта воды России: качество воды из источников питьевого водоснабжения. URL: <http://www.watermap.ru/map> (дата обращения: 27.01.2021); Официальный сайт ООО «Системы для дома» // Химический анализ воды – Дмитровский район. URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-dmitrovsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Официальный сайт ООО «Системы для дома» // Химический анализ воды – Талдомский район. URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-taldomsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Сервисная служба по системам водоочистки и водоподготовке в Дмитровском районе. URL: <http://waterservice-dmitrov.ru/karta-analizov-vody/> (дата обращения: 27.01.2021).

¹⁶ Там же.

Загрязненность воды в точках централизованного водоснабжения

Исследование воды в точках централизованного водоснабжения проводилось только в крупных городах северных районов Московской области: Талдом и Дмитров.

В городе Дмитров исследование питьевой воды из-под крана осуществлялось в разных многоквартирных домах разной этажности от 5 до 17 этажей на пяти разных улицах. В городе Талдом исследование питьевой воды из-под крана проводилось на двух разных улицах в двух многоквартирных домах с этажностью 2 и 5 этажей¹⁷.

Анализ показателей ИЗВ для точек централизованного водоснабжения северных районов Московской области показал, что в городе Дмитрове питьевая вода в многоквартирных домах из-под крана относится к категории «чистая», ИЗВ не превышает 0,34. В воде наблюдаются незначительные превышения показателей жесткости, общего железа и щелочности.

В городе Талдом показатель ИЗВ составляет 1,56. Питьевая вода в многоквартирных домах в этом городе относится к категории «умеренно загрязненная». В частности, в 2-этажном многоквартирном доме на улице Победы обнаружено повышенное содержание общего железа (7,8 мг/л) и марганца (0,22 мг/л)¹⁸.

Общая загрязненность питьевой воды

Проанализировав все типы источников питьевого водоснабжения в северных районах Московского региона, можно сделать следующий вывод: в городском округе Дмитровский общий ИЗВ составляет менее единицы. Питьевая вода в этих районах относится к категории «чистая». Питьевая вода в Талдомском городском округе относится к категории «умеренно загрязненная», здесь средний ИЗВ составляет 1,11.

Для питьевых вод всех районов основными превышающими показателями являются щелочность, мутность, привкус, жесткость, цветность и запах. Следует отметить, что перечисленные компоненты не являются прямыми загрязнителями природной воды, а лишь свидетельствуют о ее эколого-физиологической неполноценности. К прямым загрязнителям питьевой воды можно отнести железо общее, марганец, свинец и нитраты. Их доля, особенно общего железа и марганца, очень высока в питьевых водах Северного Подмосковья. Проблема экологического состояния водоемов и вод из систем водоснабжения остается актуальной и открытой в современном времени. Необходимы меры по нормализации ситуации с качеством воды Московского региона.

¹⁷ Карта воды России: качество воды из источников питьевого водоснабжения. URL: <http://www.watermap.ru/map> (дата обращения: 27.01.2021); Официальный сайт ООО «Системы для дома» // Химический анализ воды – Дмитровский район. URL: <http://www.voda-eko.ru/analiz-voda-dmitrovsk.html> (дата обращения: 05.02.2021); Сервисная служба по системам водоочистки и водоподготовке в Дмитровском районе. URL: <http://waterservice-dmitrov.ru/karta-analizov-vody/> (дата обращения: 27.01.2021).

¹⁸ Там же.

Заключение

Из-за малого количества объектов питьевого водоснабжения, в которых природная вода по исследуемым показателям полностью соответствует нормам СанПиН 2.1.4.1074-01, использование воды без дополнительной очистки возможно лишь в единичных случаях и только после повторного анализа качества питьевой воды, выполненного непосредственно перед употреблением. Во всех остальных случаях (в более чем 95 % водных источниках) необходимо принять меры по очистке вод и доведению до норм СанПиН 2.1.4.1074-01 реальных санитарно-гигиенических показателей ее качества.

Для более детального изучения вопроса очистки вод необходимо привлечение для совместной работы специалистов в области экологии, гидрологии, гидрофизики и гидрохимии, для разработки систем очистки вод в каждом конкретном случае. В целом в районах следует установить повсеместный контроль за качеством питьевой воды, необходимо выявить точные причины загрязнения питьевой воды в каждом конкретном случае.

Требуется провести повторный анализ вод из скважин с самыми высокими индексами загрязнения воды и в случае сохранения повышенных показателей начать мониторинг вод в деревне Сысоево, селе Ильинское и городе Яхроме Дмитровского городского округа, деревнях Ермолино, Филиппово и селе Спас угол Талдомского городского округа.

В городе Талдом требуется установить мониторинг за питьевой водой в точках централизованного водоснабжения для установления точных причин повышенных показателей общего железа, жесткости и комплекса органолептических свойств воды в системах водоснабжения в многоквартирных домах и также в домовладениях малой этажности ввиду некоторого «оттока» населения из столицы и в целом из совокупной столичной агломерации в «ближнее» и «дальнее» Подмосковье. Во всех районах полезно и даже необходимо проанализировать заболеваемость населения на предмет выявления экологической зависимости разных нозологических групп патологий, и прежде всего от качества питьевой воды.

Считаем своевременным и актуальным закрепить совокупное понятие «экосистемные услуги питьевых и хозяйственно-питьевых вод» в качестве организационно-управленческой и нормативно-правовой нормы при обеспечении их санитарно-гигиенического качества на приемлемом эколого-физиологическом уровне. Параллельно будет обеспечиваться рационализация и сбережение водных ресурсов, что «укладывается» в концепцию «устойчивого развития» при разнообразных процессах агломерации, урбанизации, рурбанизации и реурбанизации в центральной части европейской России. Проблемы, связанные с ухудшением состояния водных и околородных экосистем, сейчас вполне очевидны и требуют незамедлительного решения. Медико-биологические и эколого-гигиенические проблемы, связанные с неблагоприятным качеством источников водоснабжения на ряде территорий Московского и соседних регионов, необходимо предупреждать уже в настоящее время.

Список литературы

- [1] *Зелинская А.Р., Хуторова А.О.* Состояние источников питьевого водоснабжения Московской области // Сборник научных трудов молодых ученых, аспирантов, студентов и преподавателей по результатам проведения VIII молодежного экологического Конгресса «Северная Пальмира»: материалы конгресса, Санкт-Петербург, 22–24 ноября 2017 года. СПб.: Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, 2017. С. 65–70.
- [2] *Колосова Н.Н., Чурилова Е.А.* Экологическое состояние природной среды // Атлас Московской области. М.: Просвещение, 2004. С. 21.
- [3] *Максимова Т.А., Мишаков И.В.* Экология гидросферы. М.: Издательство Юрайт, 2020. 136 с. (Высшее образование). URL: <https://urait.ru/bcode/448758> (дата обращения: 04.06.2022).
- [4] *Игнатьева Л.П., Потанова М.О.* Критерии качества воды поверхностных и подземных источников. Эколого-гигиеническая оценка качества питьевой воды, воды водоемов / ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава России, Кафедра коммунальной гигиены и гигиены детей и подростков. Иркутск: ИГМУ, 2014. 20 с.
- [5] Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы / сост. О.В. Гагарина. Ижевск: Издательство «Удмуртский университет». 2012. 199 с.

References

- [1] Zelinskaya AR, Khutorova AO. The state of sources of drinking water supply in the Moscow region. *Collection of scientific papers of young scientists, graduate students, students and teachers based on the results of the VIII Youth Ecological Congress “Northern Palmira”: Proceedings of the Congress, St. Petersburg, November 22–24, 2017*. St. Petersburg: St. Petersburg Research Center for Environmental Safety of the Russian Academy of Sciences; 2017. p. 65–70. (In Russ.)
- [2] Kolosova NN, Churilova EA. Ecological state of the natural environment. *Atlas of the Moscow region*. M.: Education, 2004. S. 21. (In Russ.)
- [3] Maksimova TA, Mishakov IV. *Ecology of the hydrosphere*. Moscow: Yurayt Publishing House, 2020. (Higher education). Available from: <https://urait.ru/bcode/448758> (accessed: 06.04.2022). (In Russ.)
- [4] Ignatieva LP, Potapova MO. *Criteria for the quality of water and underground sources. Ecological and hygienic assessment of the quality of drinking water, water reservoirs*. State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education IGMU of the Ministry of Health of Russia, Department of Communal Hygiene and Hygiene of Children and Adolescents. Irkutsk: IGMU; 2014.
- [5] Gagarin OV. (comp.) *Assessment and regulation of the quality of natural waters: criteria, methods, existing problems*. Izhevsk: Udmurt University Publishing House; 2012. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Лукьянова Татьяна Семеновна, доктор географических наук, профессор кафедры почвоведения, экологии и природопользования, Государственный университет по землеустройству, Российская Федерация, 105064, г. Москва, ул. Казакова, д. 15. AuthorID: 371278. E-mail: tanya.lukyjanova.44@mail.ru.

Ларионов Максим Викторович, доктор биологических наук, профессор кафедры земледелия и растениеводства, Государственный университет по землеустройству, Российская Федерация, 105064, г. Москва, ул. Казакова, д. 15; ведущий научный сотрудник Научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего», Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; профессор кафедры земледелия и растениеводства, Российский государственный аграрный заочный университет, Российская Федерация, 143907, Московская область, Балашиха, ул. Шоссе Энтузиастов, д. 50; профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0003-0834-2462. Web of Science ResearcherID: AAR-3233-2021. Scopus Author ID: 57191472790. E-mail: m.larionow2014@yandex.ru

Крючков Сергей Андреевич, аспирант, Государственный университет по землеустройству, Российская Федерация, 105064, г. Москва, ул. Казакова, д. 15. ORCID: 0000-0002-2487-8892. SPIN-код: 9814-5260. AuthorID: 1052465. E-mail: kru4kov8@gmail.com

Bio notes:

Tatiana S. Lukyanova, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Soil Science, Ecology and Nature Management, State University of Land Use Planning (SULUP), 15 Kazakov St, Moscow, 105064, Russian Federation. AuthorID: 371278. E-mail: tanya.lukyanova.44@mail.ru.

Maxim V. Larionov, doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Agriculture and Crop Production, State University of Land Use Planning (SULUP), 15 Kazakov St, Moscow, 105064, Russian Federation; Leading Researcher of World-class Research Center “Agrotechnologies for Future” (CAAT), Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St, Moscow, 127550, Russian Federation; Professor of the Department of Agriculture and Crop Production, Russian State Agrarian Correspondence University, 50 Shosse Entuziastov St, Moscow region, Balashikha, 143907, Russian Federation; Professor of the Department of Environmental Safety and Product Quality Management for Educational Activities, Institute of Environmental Engineering, Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0834-2462. Web of Science Researcher ID: AAR-3233-2021. Scopus Author ID: 57191472790. E-mail: m.larionow2014@yandex.ru

Sergey A. Kryuchkov, graduate student, State University of Land Use Planning (SULUP), 15 Kazakov St, Moscow, 105064, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2487-8892. SPIN-код: 9814-5260. AuthorID: 1052465. E-mail: kru4kov8@gmail.com



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-373-392

УДК 613.31

Научная статья / Research article

Оценка качества питьевой воды с помощью индекса качества воды и оценки риска для здоровья населения: на примере кантона Педро Висенте Мальдонадо, Республика Эквадор

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

Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

 cristian_salazarf@hotmail.com

Аннотация. Исследовано качество воды, выходящей со станции водоподготовки в кантоне Педро Висенте Мальдонадо (Республика Эквадор), в соответствии с методическими указаниями по расчету индекса качества воды (ИКВ) и оценке риска для здоровья населения. Ежемесячно с января 2017 г. по декабрь 2019 г. проводился мониторинг качества воды до и после очистки. Определены физико-химические и микробиологические показатели, такие как: температура, рН, мутность, цветность, взвешенные вещества, электропроводность, остаточный хлор, нитраты, нитриты, аммонийный азот, сульфаты, фториды, марганец, железо, колиформы фекальные и общие колиформные бактерии. Для оценки воздействия исследуемой воды на здоровье человека проведен анализ риска для здоровья по неканцерогенным веществам, включая индекс опасности, и риска ольфакторно-рефлекторных эффектов по органолептическим показателям согласно российским и зарубежным рекомендациям. При сопоставлении результатов параметров качества воды со стандартами ВОЗ выявлено, что вода, поступающая на станцию водоподготовки, загрязнена микробиологически, а также параметры, такие как цветность, мутность и содержание железа, превышали предельно допустимые концентрации. По рассчитанным значениям индекса качества воды установлено, что вода после очистки пригодна для питья (I класс – очень чистая). По значениям индексов опасности выявлено, что изученные неканцерогенные вещества имеют низкий риск как для взрослых, так и для детей (<1). Риск появления ольфакторно-рефлекторных эффектов охарактеризован как приемлемый для всех отобранных проб очищенной воды.

Ключевые слова: Эквадор, питьевая вода, индекс качества воды, оценка риска для здоровья населения, неканцерогенный риск, риск ольфакторно-рефлекторных эффектов

© Саласар Флорес К.А., Курбатова А.И., Михайличенко К.Ю., 2022



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

Благодарности и финансирование: Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства РУДН.

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

История статьи: поступила в редакцию 12.02.2022; принята к публикации 25.03.2022.

Для цитирования: Саласар Флорес К.А., Курбатова А.И., Михайличенко К.Ю. Оценка качества питьевой воды с помощью индекса качества воды и оценки риска для здоровья населения: на примере кантона Педро Висенте Мальдонадо, Республика Эквадор // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 373–392. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-373-392>

Drinking water quality assessment according to water quality index and health risk assessment: a case study of Pedro Vicente Maldonado canton, Ecuador

Cristian A. Salazar Flores  , Anna I. Kurbatova ,

Kseniya Yu. Mikhaylichenko 

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation
 cristian_salazarf@hotmail.com

Abstract. The effluent water quality of a treatment plant in a canton of Ecuador according to water quality index (WQI) and health risk assessment was investigated in this study. The quality of the influent and effluent water of the treatment plant was monitored monthly from January 2017 to December 2019. Physicochemical and microbiological parameters, such as temperature, pH, turbidity, color, suspended solids, electrical conductivity, free chlorine, nitrates, nitrites, ammonia nitrogen, sulfates, fluorides, manganese, iron, fecal coliforms and total coliforms were determined. To evaluate the impacts of studied water on human health, health risk assessment for non-carcinogenic elements, including hazard index (HI) and risk of olfactory-reflex effects for organoleptic indicators were performed in accordance with Russian and foreign guidelines. Water quality parameter results were compared with WHO drinking water standards, revealing that the influent was contaminated microbiologically and other parameters such as color, turbidity, and iron were also above the limit values. The WQI results showed that water after purification is suitable for drinking (I class – excellent). Hazard Index (HI) results showed that the non-carcinogenic substances studied had a low risk for both adults and children (<1). Additionally, the risk of olfactory-reflex effect was characterized as acceptable for all the collected purified water samples.

Keywords: Ecuador, drinking water, water quality index, health risk assessment, non-carcinogenic risk, risk of olfactory-reflex effect

Acknowledgements and Funding: The study has been supported by the RUDN University Strategic Academic Leadership Program.

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

Article history: received 12.02.2022; accepted 25.03.2022.

For citation: Salazar Flores CA, Kurbatova AI, Mikhaylichenko KYu. Drinking water quality assessment according to water quality index and health risk assessment: a case study of Pedro Vicente Maldonado canton, Ecuador. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):373–392. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-373-392>

Введение

Согласно докладу совместной программы ВОЗ/ЮНИСЕФ по мониторингу водоснабжения, санитарии и гигиены, 5,3 миллиарда человек во всем мире имеют доступ к надежно управляемым услугам питьевого водоснабжения; кроме того, 1,4 млрд человек пользуются по крайней мере базовыми услугами; 206 млн человек – ограниченными; 435 млн используют небезопасные источники воды и 144 млн по-прежнему используют источники поверхностных вод [1]. Исследования, проведенные в развивающихся странах показывают, что в большинстве поверхностных вод отмечаются уровни загрязнения, которые должны быть оценены и урегулированы в процессах очистки и дезинфекции потребляемой человеком воды [2]. За последнее столетие было совершено много технологических достижений для улучшения защиты источников воды и очистки воды для питья, однако многие страны по-прежнему сталкиваются с препятствиями, которые со временем снижают их способность обеспечивать доставку безопасной питьевой воды по всей стране [3]. Очистка воды осуществляется с использованием различных методов, таких как ионный обмен, обратный осмос, адсорбция активированным углем, а также добавление дезинфицирующих средств с использованием хлора, озона или УФ-излучения [4]. Обратный осмос в сочетании с обработкой активированным углем является одним из самых эффективных способов очистки воды.

Основными источниками воды в Эквадоре являются реки горного происхождения, впадающие в Тихий океан на западе и в реку Амазонку на востоке. По данным Экономической комиссии для Латинской Америки и Карибского бассейна (ЭКЛАК), процессы очистки воды в Эквадоре являются традиционными, обычно осуществляющимися путем аэрации, коагуляции, флокуляции, седиментации, фильтрации и дезинфекции хлором; эти процессы регулируются в зависимости от состояния сырой воды или сезонных изменений [5].

Источники питьевой воды в Эквадоре подвергаются чрезмерной эксплуатации и усиленному антропогенному поступлению загрязнителей из-за различных видов деятельности человека, таких как добыча полезных ископаемых, добыча сырой нефти, сброс сточных вод, а также сельскохозяйственная и животноводческая деятельность. Недавние исследования подчеркивают наличие металлов, таких как Ва и Мо, в источниках питьевой воды в северных амазонских регионах Орельяна и Сукумбиос, где широко распространены добыча и переработка нефти [6, 7]. При исследовании четырех рудников в Портовело-Сарума, Набиха, Понсе-Энрикес и Санта-Роза было выявлено критическое содержание металлов (Pb, Hg, Cu) и биоаккумуляция других

загрязнителей личинками мух и рыб [8]. Из-за отсутствия финансовых и технических возможностей по всей стране в местные водоемы регулярно сбрасываются неочищенные сточные воды. При исследовании речной системы провинции Пичинча обнаружен высокий уровень загрязнения 18 рек и значительное разнообразие микробных загрязнителей, включая два вида паразитов (*Cryptosporidium* и *Giardia spp.*) и патотипы кишечной палочки. Кроме того, наблюдались отклонения физико-химических параметров, таких как pH, ХПК, общая минерализация и концентрации металлов, в частности Zn, Cu и Mn, Al и Fe [9]. Внесение удобрений и животноводческие стоки также изучались в регионах, где навоз и другие вещества могут привносить фекальные колиформы в водосборные бассейны. Два исследования качества воды в бассейнах рек Якуамби и Куэнка на юге Эквадора показали растущую распространенность фекальных кишечных палочек и то, что увеличение концентрации связано с животноводческими стоками [10, 11]. Случаи загрязнения питьевой воды были зарегистрированы в крупных городах Эквадора. В городе Кито, в районе Тумбако, в 2004 г. были выявлены уровни мышьяка, в десять раз превышающие допустимое значение, установленное ВОЗ [12]. В 2020 г. высокие уровни свинца были обнаружены в трех районах Кито, а высокие уровни содержания меди и цинка были зарегистрированы в городе Ибарра [13]. В другом исследовании, проведенном в 2018 г., были рассчитаны такие индексы стабильности воды, как индекс Ланжелье, индекс Рызнара и индекс Пукориуса. Результаты показали, что вода в городе Азогес обладает высокой коррозионной активностью [14]. Между тем в небольших кантонах, таких как Педро Висенте Мальдонадо, наблюдается недостаток научных исследований касающихся качества воды, поставляемой для потребления человеком.

Основными задачами данного исследования являлись мониторинг качества воды до очистки, оценка эффективности очистки станции водоподготовки и оценка качества очищенной воды. В этом исследовании оценка риска для здоровья населения проводилась как с точки зрения риска ольфакторно-рефлекторных эффектов, так и с точки зрения неканцерогенного риска для здоровья. При оценке неканцерогенного риска для здоровья учитывались эффекты как перорального поступления, так и кожного воздействия. Кроме того, вместо использования значений по умолчанию в расчетах риска для здоровья населения авторы применяли значения, откалиброванные на основе условий и критериев изучаемой области.

Материалы и методы исследования

Кантон Педро Висенте Мальдонадо площадью 656,5 км² занимает 4,92 % территории провинции Пичинча, расположен на высоте от 250 до 1800 м над уровнем моря, что по классификации Холдриджа соответствует зоне влажных лесов [15, 16]. Кантон включает в себя экосистемы туманных лесов, субтропических и влажных тропических лесов со средней температурой от 16 до 25 °С, относительной влажностью более 70 % и среднемесячным

количеством осадков 55,3 мм [15]. Зима (с января по май) характеризуется обильными дождями, теплой температурой и высокой влажностью, а лето (с июня по декабрь) – кратковременными дождями, жарким сухим климатом. Охват территории кантона Педро Висенте Мальдонадо сетями централизованного водоснабжения составляет 58,6 % [15].

Источник питьевой воды кантона относится к водосборному бассейну реки Эсмеральдас, суббассейну реки Гуаяллабамба и микробассейну реки Пачихал. Сырая вода, которая попадает на станцию водоподготовки, поступает из реки Талала. Водохранилище расположено на трассе E28, в приходе Лос-Банкос. За счет силы тяжести вода по трубопроводу проходит 17 км к станции водоподготовки, которая расположена на восточной стороне окраины города [15]. Станция водоподготовки была открыта в 2012 г.

Мониторинговые пробы воды отбирались с января 2017 г. по декабрь 2019 г. Оценивались физико-химические и микробиологические показатели качества воды в пробах с сырой и очищенной водой, собранной в пластиковые бутылки емкостью один литр и хранившейся в охлаждаемом боксе при транспортировке в лабораторию. Всего было отобрано 36 проб сырой и 36 проб очищенной воды. Сбор и хранение проб воды для анализа физико-химических параметров осуществлялись в соответствии с эквадорским стандартом INEN-ISO 5667¹. Анализ микробиологических параметров производился согласно рекомендациям, установленным в стандарте Эквадора INEN-ISO 19458². Анализируемые показатели проб воды, использованные методы и средства измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели качества воды, методы и средства измерений

Параметр	Метод	Средства измерений
Мутность	Турбидиметрия	Турбидиметр Hach 2100Q
Водородный показатель	Потенциометрия	pH-метр Hach PH Basic 20
Электропроводность	Кондуктометрия	Кондуктометр Hach HQ14D
Взвешенные вещества	Гравиметрия	–
Цветность	Спектрофотометрия	Спектрофотометр Hach DR 2800
Нитраты (NO ₃)	– “ –	– “ –
Нитриты (NO ₂)	– “ –	– “ –
Азот аммонийный (NH ₃ -N)	– “ –	– “ –
Фториды (F)	– “ –	– “ –
Сульфаты (SO ₄)	– “ –	– “ –
Марганец (Mn)	Атомно-абсорбционная спектрометрия	Perkin Elmer 100 AA + графитовая печь HG 800
Железо (Fe)	– “ –	– “ –
Остаточный хлор	DPD (Диэтил-п-фенилендиамин)	Спектрофотометр Hach DR 2800
Колиформы фекальные	Титрование	–
Общие колиформные бактерии	– “ –	–

Примечание. – “ – – знак повтора.

¹ Эквадорский институт по стандартизации 5667 «Вода: качество воды, отбор проб» (язык оригинала – испанский)

² Эквадорский институт по стандартизации 19458 «Качество воды. Отбор проб для микробиологического анализа» (язык оригинала – испанский).

Water quality parameters, methods and measuring instruments

Parameter	Method	Measuring instrument
Turbidity	Turbidimetry	Hach 2100Q Turbidimeter
pH	Potentiometry	Hach PH Basic 20 pH meter
Electrical conductivity	Conductometry	Hach HQ14D conductivity meter
Suspended Solids	Gravimetry	–
Color	Spectrophotometry	Hach DR 2800 spectrophotometer
Nitrates	– “ –	– “ –
Nitrites	– “ –	– “ –
Ammonia nitrogen	– “ –	– “ –
Fluorides	– “ –	– “ –
Sulfate	– “ –	– “ –
Manganese	Atomic absorption spectrometry	Perkin Elmer 100 AA + graphite furnace HG 800
Iron	– “ –	– “ –
Free chlorine	DPD (N,N-diethyl-p-phenylenediamine)	Спектрофотометр Hach DR 2800
Fecal coliforms	Titration	–
Total coliforms	– “ –	–

Note. – “ – – ditto mark.

Индекс качества воды

С целью получения полного представления о качестве анализируемой воды был рассчитан индекс качества воды (ИКВ), который отражает влияние нескольких комбинированных параметров на общее качество воды [17]. В данном исследовании был учтен подход, предложенный Al-Omran и др. [18], в котором вода без каких-либо расчетов классифицируется как непригодная для питья при наличии в ней бактерий группы кишечной палочки. Для расчета ИКВ учитывались предельно допустимые концентрации, установленные ВОЗ³. Как правило, ИКВ рассчитывается с использованием следующих уравнений:

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}; \quad (1)$$

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100; \quad (2)$$

$$SI_i = W_i \times q_i; \quad (3)$$

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i, \quad (4)$$

где W_i – относительный вес (табл. 2); w_i – вес каждого параметра в соответствии с его относительной важностью для качества питьевой воды (минимальный вес 1 был присвоен параметрам низкой значимости, а 5 – параметрам высокой значимости); n – общее количество параметров; q_i – шкала оценки качества по каждому параметру; C_i – концентрация каждого параметра; S_i – нормативное значение питьевой воды по каждому параметру; SI_i – субиндекс качества воды i -го параметра; WQI – индекс качества воды (ИКВ).

³ ВОЗ. Руководство по обеспечению качества питьевой воды. 4-е изд. 2017.

Таблица 2

Относительный вес параметров качества воды [18; 19]

Параметр	Вес показателя, w_i	Относительный вес, W_i
pH	4	0,11
Мутность	3	0,08
Цветность	1	0,02
Электропроводность	3	0,08
Fe	2	0,05
NO ₃	5	0,14
NO ₂	5	0,14
SO ₄	4	0,11
Mn	2	0,05
F	3	0,08
Остаточный хлор	2	0,05

Table 2

Relative weight for water quality parameters [18; 19]

Parameter	Weight, w_i	Relative weight, W_i
pH	4	0.11
Turbidity	3	0.08
Color	1	0.02
Electrical conductivity	3	0.08
Fe	2	0.05
NO ₃	5	0.14
NO ₂	5	0.14
SO ₄	4	0.11
Mn	2	0.05
F	3	0.08
Free chlorine	2	0.05

Расчитанные значения ИКВ классифицируются по пяти категориям, как показано в табл. 3.

Таблица 3

Классификация качества воды в зависимости от ИКВ

Значения ИКВ	Качественное состояние воды
0–25	Очень чистая
26–50	Чистая
51–75	Умеренно загрязненная
76–100	Грязная
> 100	Очень грязная

Table 3

Water quality classification based on WQI value

WQI values	Water quality
0–25	Very clean
26–50	Clean
51–75	Moderately polluted
76–100	Polluted
> 100	Dirty

Оценка риска для здоровья населения

Оценка риска в отношении показателей, характеризующихся ольфакторно-рефлекторным эффектом воздействия, была проведена при помощи методологии, представленной в российских рекомендациях МР 2.1.4.0032-11⁴.

⁴ Методические рекомендации МР 2.1.4.0032-11 «Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности».

Влияние химических веществ на органолептические свойства воды может проявиться в изменении ее запаха, привкуса, окраски, мутности, а также в образовании поверхностной пленки или опалесценции. Принципиальное значение имеет взгляд на перечисленные показатели не как на физические свойства, а как на органолептические. Таким образом, ощущение изменений органолептических свойств воды, которое воспринято человеком, может учитываться при решении вопросов регламентации содержания вещества в воде.

В целом воздействие микроэлементов в воде на человека может происходить тремя основными путями: пероральным, ингаляционным и кожной абсорбции. В водной среде наиболее важными и распространенными путями воздействия являются пероральный и кожная абсорбция [19, 20], доза воздействия от двух упомянутых путей может быть рассчитана с использованием уравнений (5) и (6) согласно руководству по оценке рисков Агентства по охране окружающей среды США⁵:

$$ADD_{ing} = \frac{C_w * IR * EF * ED}{BW * AT}; \quad (5)$$

$$ADD_{der} = \frac{C_w * SA * K_p * ET * EF * ED * 10^{-3}}{BW * AT}, \quad (6)$$

где ADD_{ing} и ADD_{der} – средние суточные дозы воздействия при поступлении пероральным путем и кожной абсорбции, мг/кг/день, соответственно; C_w – средняя концентрация вещества в воде, мг/л; IR – скорость поступления потребляемой питьевой воды, л/день; EF – частота воздействия (дней/год); ED – продолжительность воздействия, год; SA – открытая площадь кожи, см²; K_p – коэффициент абсорбции, см/ч, – в этом исследовании 0,001 для F, Mn, Fe и NO₃ [19]; ET – время экспозиции, ч/день; BW – масса тела (кг); AT – период усреднения экспозиции, дней. Значения, присвоенные вышеуказанным переменным, показаны в табл. 4 [21; 22].

Для характеристики неканцерогенного риска были использованы уравнения (7) и (8) [20]. Потенциальный неканцерогенный риск был оценен с помощью коэффициента опасности (HQ). Индекс опасности (HI) представляет собой общий неканцерогенный риск микроэлементов при всех путях воздействия (например, при поступлении пероральным путем и кожной абсорбции). Если HQ или $HI < 1$, неканцерогенный риск для здоровья низкий, но если HQ или $HI > 1$, следует учитывать неканцерогенные эффекты.

$$\text{Коэффициент опасности (HQ)} = \frac{ADD}{RfD}; \quad (7)$$

$$\text{Индекс опасности (HI)} = \sum_{i=1}^n (HQ_{ingestion} + HQ_{dermal}), \quad (8)$$

где ADD – средняя суточная доза при поступлении пероральным путем и кожной абсорбции, мг/кг/день; RfD – референтная доза, мг/кг/день.

⁵ Агентство по охране окружающей среды США: руководство по оценке рисков для суперфонда, том. 1. (язык оригинала – английский).

**Значения при расчете средней суточной дозы воздействия (ADD)
при пероральном поступлении и абсорбции через кожу**

Параметр	Взрослые	Дети
<i>IR</i> , л/день	2	0,64
<i>EF</i> , дней/год	350	350
<i>ED</i> , год	30	6
<i>BW</i> , кг	70	15
<i>AT</i> , дней	10950	2190
<i>SA</i> , см ²	18000	6600
<i>ET</i> , ч/день	0,58	1

Table 4

Values in the calculation of average daily exposure dose through ingestion and dermal absorption

Parameter	Adults	Children
<i>IR</i> , L/day	2	0.64
<i>EF</i> , days/year	350	350
<i>ED</i> , year	30	6
<i>BW</i> , kg	70	15
<i>AT</i> , days	10950	2190
<i>SA</i> , cm ²	18000	6600
<i>ET</i> , h/day	0.58	1

В этом исследовании авторами был учтен подход, предложенный Aghlmand и др. [19], в котором значения $RfD_{ingestion}$ и RfD_{dermal} являются функцией характеристик исследуемой популяции. Следующие уравнения были использованы для расчета референтной дозы, поступающей пероральным путем ($RfD_{ingestion}$) и референтной дозы при кожной абсорбции (RfD_{dermal}).

$$RfD_{ingestion} = \frac{C_s}{W_m} * P_{ingestion}; \quad (9)$$

$$RfD_{dermal} = \frac{C_s}{W_m} * P_{dermal}, \quad (10)$$

где C_s – нормативное значение по каждому ингредиенту; W_m – средний вес человека; $P_{ingestion}$ – общее потребление воды на душу населения для приготовления пищи и питья в Эквадоре; P_{dermal} – общее потребление воды на душу населения при купании, принятии ванн, стирке и уборке в Эквадоре. Среднее $P_{ingestion}$ в Эквадоре составляет около 12 л/день, а среднее P_{dermal} – около 118 л/день [23]. В данном исследовании значение W_m бралось равным 40 кг.

Статистический анализ

Статистическое программное обеспечение IMB-SPSS применялось как для базового, так и расширенного статистического анализа.

Результаты и обсуждение

Значения параметров качества сырой воды представлены в табл. 5.

При анализе полученных данных по воде до очистки были выявлены превышения мутности, железа, фекальных колиформ и общих колиформных бактерий (табл. 5).

Концентрации мутности колебались от 0,43 до 7,70 NTU при среднем значении $3,45 \pm 0,08$ NTU. 26% проанализированных проб воды превышали

предельно допустимую концентрацию (5 NTU). Среднее значение цветности составило $22,79 \pm 8,39$ Pt-Co и имело диапазон от 10 до 40 Pt-Co. 72% проб имели значения цветности выше допустимого (15 Pt-Co). Мутность можно интерпретировать как меру относительной прозрачности воды, которая, как правило, указывает на наличие частиц, не находящихся в истинном растворе, органических веществ и других мелких частиц. Высокие значения мутности могут быть связаны с такими гидроклиматическими условиями, как проливные дожди, которые регистрируются в этом районе из-за его тропического климата. Обильные осадки могут переносить из почвы песок, ил, глину и органические частицы в поверхностные воды. Изменение скорости течения реки также может повлиять на мутность. Увеличение скорости или изменение направления течения воды может привести к повторному ресуспендированию частиц осадка [24].

В результате повышенной мутности ухудшается не только внешний вид воды, но и бактериологическая загрязненность, поскольку высокие уровни мутности могут защищать микроорганизмы от действия обеззараживателей, стимулировать рост бактерий и обуславливать значительное хлорпотребление [25]. Кроме того, высокие содержания взвешенных веществ недопустимы по эстетическим соображениям и могут мешать проведению химических и биологических испытаний. Аналогичные значения мутности и взвешенных веществ были зарегистрированы в пробах воды в реках, расположенных вблизи района исследования, таких как река Миндо (мутность – 1,76 NTU; взвешенные вещества – 8,33 мг/л) и река Бланко (мутность – 1,23; взвешенные вещества – 6,67 мг/л) [9].

Таблица 5

Значения параметров качества воды, поступающей на станцию водоподготовки кантона Педро Висенте Мальдонадо в течение 2017–2019 гг.

Параметр	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение	Стандартное отклонение	ВОЗ, 2017
Температура, °C	21,2	25,4	22,81	1,07	–
pH	6,90	7,70	7,15	0,16	6,5-8,5
Мутность, NTU	0,43	7,70	3,45	2,08	5
Цветность, Pt-Co	10,00	40,00	22,79	8,39	15
Взвешенные вещества, мг/л	1,00	27,00	11,05	8,17	–
Электропроводность, $\mu\text{S}/\text{cm}$	21,20	25,50	24,13	1,41	1000
NO_3 , мг/л	0,01	1,15	0,11	0,24	50
NO_2 , мг/л	0,004	0,950	0,090	0,240	3
$\text{NH}_3\text{-N}$, мг/л	0,00	0,60	0,27	0,16	–
SO_4 , мг/л	1,00	107,00	19,94	21,52	250
F, мг/л	0,04	0,08	0,06	0,007	1,5
Mn, мг/л	0,004	0,070	0,032	0,014	0,4
Fe, мг/л	0,11	0,75	0,32	0,16	0,3
Колиформы фекальные, КОЕ/100 мл	4,00	23,00	11,47	4,80	0
Общие колиформные бактерии, КОЕ/100 мл	4,00	32,00	15,77	6,47	0

Water quality parameters values of influent of the water treatment plant in Pedro Vicente Maldonado canton in 2017–2019

Parameter	Minimum value	Maximum value	Mean value	Standard deviation	WHO, 2017
Temperature, °C	21.2	25.4	22.81	1.07	–
pH	6.90	7.70	7.15	0.16	6.5-8.5
Turbidity, NTU	0.43	7.70	3.45	2.08	5
Color, Pt-Co	10.00	40.00	22.79	8.39	15
Suspended solids, mg/L	1.00	27.00	11.05	8.17	–
Electrical conductivity, μ S/cm	21.20	25.50	24.13	1.41	1000
NO ₃ , mg/L	0.01	1.15	0.11	0.24	50
NO ₂ , mg/L	0.004	0.950	0.090	0.240	3
NH ₃ -N, mg/L	0.00	0.60	0.27	0.16	–
SO ₄ , mg/L	1.00	107.00	19.94	21.52	250
F, mg/L	0.04	0.08	0.06	0.007	1.5
Mn, mg/L	0.004	0.070	0.032	0.014	0.4
Fe, mg/L	0.11	0.75	0.32	0.16	0.3
Fecal coliforms, CFU/100 ml	4.00	23.00	11.47	4.80	0
Total coliforms, CFU/100 ml	4.00	32.00	15.77	6.47	0

Диапазоны концентрации железа составляли от 0,11 до 0,75 мг/л при среднем значении $0,32 \pm 0,16$ мг/л. 39% от общего количества отобранных проб воды показали концентрации выше рекомендуемого значения (0,3 мг/л). На исследуемой территории, за исключением малоактивной сельскохозяйственной и животноводческой деятельности, не ведется никакой другой важной антропогенной деятельности. Естественные процессы, такие как просачивание дождя через почву, камни и минералы, могут быть признаны потенциальными источниками загрязнения железом [26]. Исследование, проведенное для оценки качества воды водоисточника в районе эквадорской Амазонии, выявило высокие концентрации железа (до 0,4 мг/мл), связывая их с тропическими ферралитовыми почвами этого района [6]. В исследовании, проведенном в 2020 г. в провинции Пичинча – Эквадор, указано, что в нескольких реках провинции были обнаружены высокие концентрации алюминия и железа. Авторы пришли к выводу, что реки, расположенные вблизи вулканических районов, обычно содержат более высокие концентрации металлов [9]. Учитывая, что район исследования расположен в вулканической зоне и имеет тип почвы, характерный для тропических регионов, можно сделать вывод о том, что это может служить объяснением показателей железа, превышающих предельно допустимые значения.

Присутствие железа в воде не представляет потенциального риска для здоровья, однако может способствовать росту бактерий в системе водоснабжения, вызывая проблемы с засорением. Кроме того, некоторые эстетические проблемы с водой, такие как неприятный вкус, обесцвечивание, появление пятен и высокая мутность также связаны с присутствием железа в повышенных концентрациях [27].

Средняя концентрация фекальных колиформ, измеренная в пробах воды, составила $11,47 \pm 4,8$ КОЕ/100 мл с диапазоном от 4 до 23 КОЕ/100 мл, в то время как диапазоны значений, измеренных для общих колиформных бактерий, варьировались от 4 до 32 КОЕ/100 мл, при средней концентрации $15,77 \pm 6,47$ КОЕ/100 мл. Из 36 собранных проб в 100% концентрации фекальных колиформ и общих колиформных бактерий превышали гигиенические нормативы установленные ВОЗ (0 КОЕ/100 мл). Высокая микробная нагрузка в образцах, отобранных из сырой воды, соответствует результатам исследований, посвященных качеству воды водоисточников в нескольких сельских кантонах Эквадора, расположенных в тропических районах, таких как река Кукарача – кантон Санто-Доминго, река Каяпас – кантон Колон Элой Альфаро, река Конгуиме – кантон Пакиша [28–30]. Другое исследование, проведенное для мониторинга качества воды в реке Якаумби (основной источник питьевой воды в кантоне Якаумби), также показало, что 100 % проб воды были загрязнены фекальными колиформами [10]. Авторы указывают, что одной из причин высокой микробной нагрузки водоемов является увеличение сброса неочищенных сточных вод в сочетании с сельскохозяйственным и животноводческим стоками и плохой очисткой сточных вод в основном в сельских кантонах Эквадора.

Колиформы фекальные и общие колиформные бактерии являются индикатором наличия возбудителей в питьевой воде, и такая вода непригодна для питья. Если в пробе воды присутствует большое количество колиформных бактерий, существует высокая вероятность того, что в воде также будут присутствовать другие патогенные бактерии, вызывающие заболевания, передающиеся через воду, как это видно из проб воды из андских регионов провинции Пичинча [9].

Значения параметров очищенной воды представлены в табл. 6. При анализе полученных данных по воде после очистки были выявлены превышения железа и остаточного хлора.

Концентрация железа в среднем составляла $0,2 \pm 0,1$ мг/л с диапазоном от 0,01 до 0,53 мг/л. 19% от общего количества проанализированных проб воды превышала установленный предел (0,3 мг/л). Максимальное значение железа (0,53 мг/л) превышало максимально допустимую концентрацию в 1,76 раза. Эти результаты близки к значениям, зарегистрированным в кантонах Эквадора, расположенных в тропических регионах, таких как Кеведо (0,83 мг/л), Санта-Лусия (0,74 мг/л), Бабахойо (0,6 мг/л), где на станциях водоподготовки используются традиционные способы очистки [31–33].

Во всех отобранных пробах по содержанию остаточного хлора было зарегистрировано значение 0,8 мг/л, что превышает допустимый предел от 0,2 до 0,5 мг/л. Однако данный ПДК остаточного хлора рекомендуется на месте использования, а не на выходе из станции водоподготовки. ВОЗ предлагает остаточную концентрацию свободного хлора более 0,5 мг/л после 30-минутного контакта при рН менее 8, в то время как в стандарте качества

питьевой воды Эквадора INEN 1108⁶ указано, что допустимое значение остаточного хлора должно быть в пределах от 0,3 до 1,5 мг/л. Следует отметить, что микробная нагрузка сырой воды после обеззараживания существенно снизилась, поэтому исследуемая вода в микробиологическом отношении безопасна.

Таблица 6

**Значения параметров качества воды, выходящей
со станции водоподготовки кантона Педро Висенте Мальдонадо в течение 2017-2019 гг.**

Параметр	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение	Стандартное отклонение	ВОЗ, 2017
Температура, °C	21,2	25,3	22,80	1,07	–
pH	6,90	7,70	7,10	0,13	6,5-8,5
Мутность (NTU)	0,27	1,31	0,59	0,30	5
Цветность (Pt-Co)	2,50	10,00	5,50	1,65	15
Взвешенные вещества, мг/л	1,00	17,00	6,71	4,34	–
Электропроводность, µS/cm	21,10	25,30	24,06	1,27	1000
Остаточный хлор, мг/л	0,8	0,8	0,8	0,0	0,5
NO ₃ , мг/л	0,02	0,50	0,05	0,07	50
NO ₂ , мг/л	0,003	0,800	0,085	0,213	3
NH ₃ -N, мг/л	0,02	0,40	0,15	0,09	–
SO ₄ , мг/л	1,00	19,00	8,08	4,47	250
F, мг/л	0,04	0,06	0,05	0,005	1,5
Mn, мг/л	0,002	0,04	0,02	0,01	0,4
Fe, мг/л	0,01	0,53	0,20	0,10	0,3
Колиформы фекальные, КОЕ/100 мл	0	0	0	0	0
Общие колиформные бактерии, КОЕ/100 мл	0	0	0	0	0

Table 6

**Water quality parameters values of effluent of the water treatment plant
in Pedro Vicente Maldonado canton in 2017-2019**

Parameter	Minimum value	Maximum value	Mean value	Standard deviation	WHO, 2017
Temperature, °C	21.2	25.3	22.80	1.07	–
pH	6.90	7.70	7.10	0.13	6.5-8.5
Turbidity (NTU)	0.27	1.31	0.59	0.30	5
Color (Pt-Co)	2.50	10.00	5.50	1.65	15
Suspended solids, mg/L	1.00	17.00	6.71	4.34	–
Electrical conductivity, µS/cm	21.10	25.30	24.06	1.27	1000
Free chlorine, mg/L	0.8	0.8	0.8	0.0	0.5
NO ₃ , mg/L	0.02	0.50	0.05	0.07	50
NO ₂ , mg/L	0.003	0.800	0.085	0.213	3
NH ₃ -N, mg/L	0.02	0.40	0.15	0.09	–
SO ₄ , mg/L	1.00	19.00	8.08	4.47	250
F, mg/L	0.04	0.06	0.05	0.005	1.5
Mn, mg/L	0.002	0.04	0.02	0.01	0.4
Fe, mg/L	0.01	0.53	0.20	0.10	0.3
Fecal coliforms, CFU/100 mL	0	0	0	0	0
Total coliforms, CFU/100 mL	0	0	0	0	0

⁶ Эквадорский институт по стандартизации 1108 «Питьевая вода. Требования» (язык оригинала – испанский).

Индекс качества воды

При анализе ежемесячной динамики значений индекса качества воды было отмечено, что 100 % проб очищенной воды соответствовали категории «очень чистая» (1 класс). Среднее значение индекса качества воды для всех проб составило $18,1 \pm 2,7$ с диапазоном от 12,1 до 26,2, что соответствует категории «очень чистая» (рис. 1).

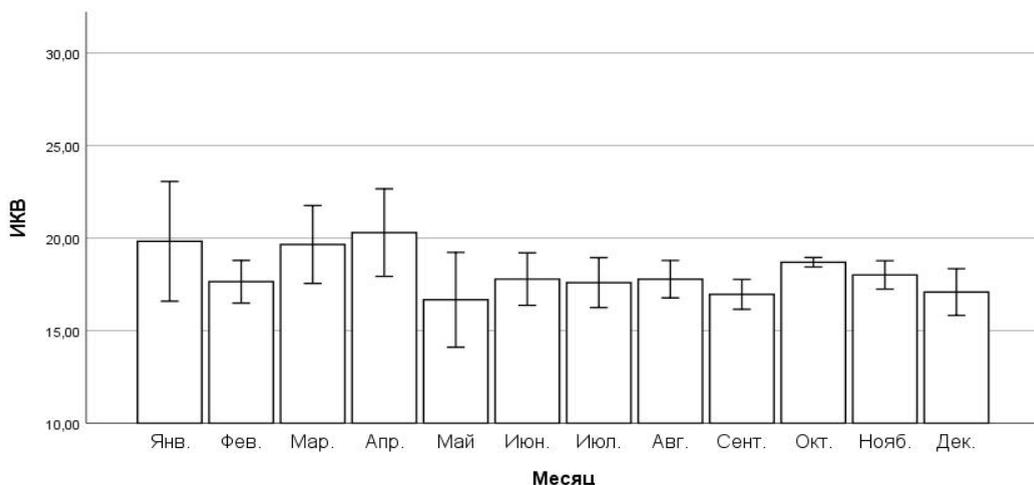


Рис. 1. Динамика изменения качества воды, выходящей со станции водоподготовки по индексу качества воды в 2019 г.

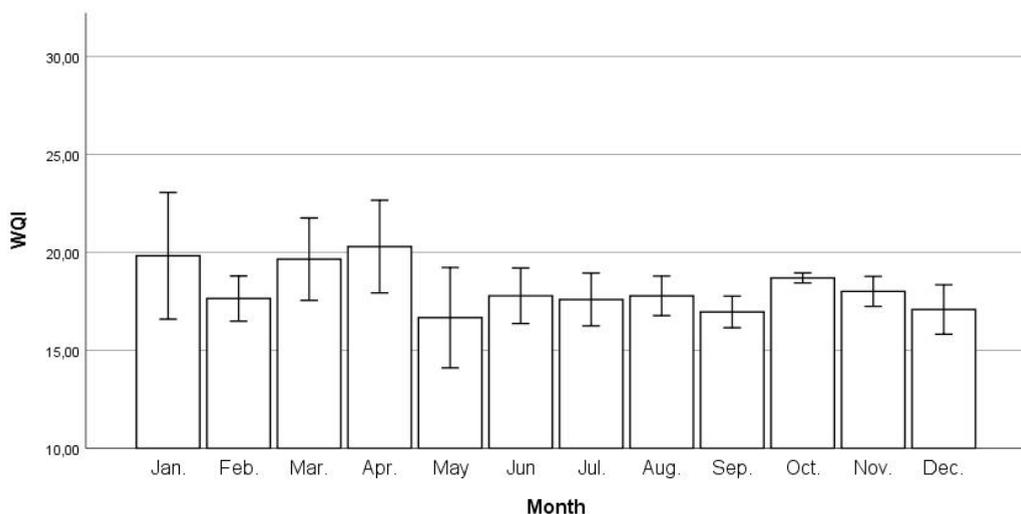


Figure 1. Dynamic change in water quality at effluent of the water treatment plant according to water quality index, 2019

В сухой сезон среднее значение индекса качества воды составило $17,70 \pm 1,69$, а в дождливый сезон значение индекса составило $18,82 \pm 3,95$. Эта небольшая разница, возможно, связана с динамикой качества сырой воды, поступающей на станцию водоподготовки, на которую в значительной степени влияет наличие или отсутствие поверхностного стока дождевых вод, связанного с увеличением взвешенных частиц, низкого уровня растворенного кислорода и переноса загрязняющих веществ [34, 35].

Оценка риска для здоровья населения

Результаты расчета риска для показателей и химических веществ, характеризующихся ольфакторно-рефлекторным эффектом воздействия, представлены в табл. 7.

По данным табл. 7, риск рефлекторных реакций при потреблении исследуемой воды равен 0,005 (основной фактор оценки – железо). Согласно критериям оценки величины риска [36], риск немедленного действия в пределах до 0,02 в долях единицы является приемлемым уровнем риска, потому что в этом случае практически отсутствует рост заболеваемости населения, возникающей под влиянием анализируемого фактора, а состояние дискомфорта может проявляться лишь в единичных случаях у особо чувствительных людей.

Таблица 7

Результаты оценки суммарного риска по показателям, характеризующимся ольфакторно-рефлекторным эффектом воздействия для питьевой воды в кантоне Педро Висенте Мальдонадо в 2019 г.

Анализируемый критерий	Значение, мг/л	Prob	Риск
Цветность	5,50	-2,96	0,001
Мутность	0,59	-2,85	0,002
pH	7,10	-3,9	0,001
Fe	0,20	-2,58	0,005
Остаточный хлор	0,80	-2,90	0,002
Значение суммарного риска			0,005

Table 7

Assessment results of the total risk according to indicators characterized by the olfactory-reflex effect of drinking water in Pedro Vicente Maldonado canton, 2019

Criteria	Value, mg/L	Prob	Risk
Color	5.50	-2.96	0.001
Turbidity	0.59	-2.85	0.002
pH	7.10	-3.9	0.001
Fe	0.20	-2.58	0.005
Free chlorine	0.80	-2.90	0.002
Total risk value			0.005

В данном исследовании для оценки неканцерогенного риска использовали соответственно коэффициент опасности (HQ) и индекс опасности (HI). Параметрами, учитываемыми при расчете неканцерогенного риска, были нитраты, фториды, марганец и железо. Результаты коэффициента опасности и индекса опасности для оценки риска для здоровья неканцерогенных химических веществ приведены в табл. 8.

Результаты показывают, что значения индекса опасности (*HI*) для всех параметров, учитываемых при оценке риска для здоровья неканцерогенных химических веществ, ниже единицы, и, следовательно, существует небольшой риск, связанный с приемом пищи и абсорбцией через кожу в исследуемом районе как для взрослых так и детей.

Таблица 8

Референтная доза (RfD) (мг/кг/день), среднесуточная экспозиционная доза (ADD) (мг/кг/день), коэффициент опасности (HQ) и индекс опасности (HI) для оценки риска для здоровья неканцерогенных химических веществ

Параметр	RfD _{ing}	RfD _{der}	Взрослые					Дети				
			ADD _{ing}	ADD _{derm}	HQ _{ing}	HQ _{der}	HI	ADD _{ing}	ADD _{der}	HQ _{ing}	HQ _{der}	HI
NO ₃	15	147,50	0,0013	7,1×10 ⁻⁶	9,1×10 ⁻⁵	4,8×10 ⁻⁸	9,1×10 ⁻⁵	0,0020	2,1×10 ⁻⁵	9,1×10 ⁻³	1,4×10 ⁻⁷	9,1×10 ⁻⁵
F	0,45	4,42	0,0013	7,1×10 ⁻⁶	3,0×10 ⁻³	1,6×10 ⁻⁶	3,0×10 ⁻³	0,0020	2,1×10 ⁻⁵	3,0×10 ⁻³	4,7×10 ⁻⁶	3,0×10 ⁻³
Mn	0,12	1,18	0,0005	2,8×10 ⁻⁶	4,5×10 ⁻³	2,4×10 ⁻⁶	4,5×10 ⁻³	0,0008	8,4×10 ⁻⁶	4,5×10 ⁻³	7,1×10 ⁻⁶	4,5×10 ⁻³
Fe	0,09	0,88	0,0054	2,8×10 ⁻⁵	6,0×10 ⁻²	3,2×10 ⁻⁵	6,0×10 ⁻²	0,0081	8,4×10 ⁻⁵	6,0×10 ⁻²	9,5×10 ⁻⁵	6,0×10 ⁻²

Table 8

Reference dose (RfD) (mg/kg/day), average daily exposure dose (ADD) (mg/kg/day), hazard quotient (HQ), and hazard index (HI) for health risk assessment of non-carcinogenic chemical substances

Parameter	RfD _{ing}	RfD _{der}	Adults					Children				
			ADD _{ing}	ADD _{derm}	HQ _{ing}	HQ _{der}	HI	ADD _{ing}	ADD _{der}	HQ _{ing}	HQ _{der}	HI
NO ₃	15	147.50	0.0013	7.1×10 ⁻⁶	9.1×10 ⁻⁵	4.8×10 ⁻⁸	9.1×10 ⁻⁵	0.0020	2.1×10 ⁻⁵	9.1×10 ⁻³	1.4×10 ⁻⁷	9.1×10 ⁻⁵
F	0.45	4.42	0.0013	7.1×10 ⁻⁶	3.0×10 ⁻³	1.6×10 ⁻⁶	3.0×10 ⁻³	0.0020	2.1×10 ⁻⁵	3.0×10 ⁻³	4.7×10 ⁻⁶	3.0×10 ⁻³
Mn	0.12	1.18	0.0005	2.8×10 ⁻⁶	4.5×10 ⁻³	2.4×10 ⁻⁶	4.5×10 ⁻³	0.0008	8.4×10 ⁻⁶	4.5×10 ⁻³	7.1×10 ⁻⁶	4.5×10 ⁻³
Fe	0.09	0.88	0.0054	2.8×10 ⁻⁵	6.0×10 ⁻²	3.2×10 ⁻⁵	6.0×10 ⁻²	0.0081	8.4×10 ⁻⁵	6.0×10 ⁻²	9.5×10 ⁻⁵	6.0×10 ⁻²

Для правильного и эффективного управления качеством воды следует использовать широкий спектр методов. Другими словами, чтобы точно судить о качестве воды в районе, его необходимо оценивать с разных точек зрения, используя различные индексы. В этом смысле для будущих исследований, в дополнение к рассмотрению индекса качества воды, риска ольфакторно-рефлекторных эффектов и неканцерогенных рисков, рекомендуется оценивать другие риски, такие как канцерогенные риски, с целью расчета более сложных показателей, таких как риск хронического воздействия, который выражает вероятность развития патологии во времени и «неощутим» для населения при контакте с водой. Таким образом, при помощи данной информации можно сделать более точные выводы о качестве питьевой воды в кантоне Педро Висенте Мальдонадо.

Заключение

Исходя из полученных результатов, было выяснено, что вода, поступающая на станцию водоподготовки в кантоне Педро Висенте Мальдонадо (Республика Эквадор), была микробиологически загрязнена, так как 100 % отобранных проб превышали предельное значение, рекомендованное ВОЗ, а 72, 39 и 26 % проб не соответствовали ПДК по цветности, железу и мутности соответственно. В ходе оценки качества воды, выходящей со станции водоподготовки, при помощи расчета ИКВ было выявлено, что качество воды

может быть охарактеризовано как «отличное». При оценке риска для здоровья населения было установлено, что неканцерогенные вещества имеют низкий риск как для взрослых, так и для детей, значение риска ольфакторно-рефлекторных эффектов является приемлемым.

References / Список литературы

- [1] Progress on household drinking water, sanitation and hygiene: 2000-2017. Special focus on inequalities: New York, UNICEF and WHO; 2019. Available from: <https://www.unicef.org/media/55276/file/Progress%20on%20drinking%20water,%20sanitation%20and%20hygiene%202019%20.pdf> (accessed: 20.08.2021).
- [2] Gundry S, Wright J, Conroy R. A systematic review of the health outcomes related to household water quality in developing countries. *Journal of water and health*. 2004;2(1):1–13. <https://doi.org/10.2166/wh.2004.0001>
- [3] Hunter PR, Zmirou-Navier D, Hartemann P. Estimating the impact on health of poor reliability of drinking water interventions in developing countries. *Science of the total environment*. 2009;407(8):2621–2624. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.01.018>
- [4] Fedotov RV, Schukin SA, Stepanosyants AO, Chepkasova NI. Modern technologies of purification of natural waters of anthropogenous pollution. *Modern knowledge-intensive technologies*. 2016;9:452–456. (In Russ.)
Федотов Р.В., Щукин С.А., Степаносьянц А.О., Чепкасова Н.И. Современные технологии очистки природных вод от антропогенных загрязнений // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 9. С. 452–456.
- [5] CEPAL. *Water statistics diagnosis in Ecuador*. 2012. Available from: <https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIIc%202012-2.pdf> (accessed: 9.09.2019).
- [6] Maurice L, López F, Becerra S, Jamhoury H, Le Menach K, Dévier MH. Drinking water quality in areas impacted by oil activities in Ecuador: Associated health risks and social perception of human exposure. *Science of the total environment*. 2019;690:1203–1217. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.089>
- [7] Capparelli MV, Moulatlet GM, Abessa DM, Lucas-Solis O, Rosero B, Galarza E. An integrative approach to identify the impacts of multiple metal contamination sources on the Eastern Andean foothills of the Ecuadorian Amazonia. *Science of the total environment*. 2020;709:136088. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136088>
- [8] Tarras-Wahlberg NH, Flachier A, Fredriksson G, Lane S, Lundberg B, Sangfors O. Environmental impact of small-scale and artisanal gold mining in southern Ecuador. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2000;29(8):484–491. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.8.484>
- [9] Borja-Serrano P, Ochoa-Herrera 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. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145048>
- [10] Villa-Achupallas M, Rosado D, Aguilar S, Galindo-Riaño MD. Water quality in the tropical Andes hotspot: The Yacuambi river (southeastern Ecuador). *Science of the total environment*. 2018;633:50–58. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.165>
- [11] Jerves-Cobo R, Lock K, Van Butsel J, Pauta G, Cisneros F, Nopens I. Biological impact assessment of sewage outfalls in the urbanized area of the Cuenca

- River basin (Ecuador) in two different seasons. *Limnologica*, 2018;71:8–28. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2018.05.003>
- [12] García A. *Experiences Systematization of the 'Group pro Water Without Arsenic' in the Problem of Water Contamination with Arsenic in the Parish of Tumbaco*. [Dissertation]. Quito; 2012. Available from: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3365> (accessed: 20.08.2021).
- [13] Cipriani-Avila I, Molinero J, Jara-Negrete E, Barrado M, Arcos C, Mafla S. Heavy metal assessment in drinking waters of Ecuador: Quito, Ibarra and Guayaquil. *Journal of Water and Health*. 2020;18(6):1050–1064. <https://doi.org/10.2166/wh.2020.093>
- [14] García-Ávila F, Ramos-Fernández L, Pauta D, Quezada D. Evaluation of water quality and stability in the drinking water distribution network in the Azogues city, Ecuador. *Data in brief*. 2018; 18:111–123. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.03.007>
- [15] GAD Pedro Vicente Maldonado. *Territorial development and planning plan 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 (accessed: 20.08.2021).
- [16] Holdridge LR, Grenke WC, Hatheway WH, Liang T. *Forest environments in tropical life zones: a pilot study*. Oxford: Pergamon Press; 1971.
- [17] Mikhaylichenko K, Kurbatova A, Dorontsova A, Paukova A. Assessment of Water Quality and State of Bottom Sediments of the Northern Part of the Rybinsk Reservoir by Emissions of the CherMK PAO “Severstal”. *Ecology and Industry of Russia*. 2019;23(10):39-43. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-10-39-43> (In Russ.)
Михайличенко К.Ю., Курбатова А.И., Доронцова А.Ю., Паукова А.А. Оценка качества воды и состояния донных отложений северной части Рыбинского водохранилища выбросами ЧерМК ПАО «Северсталь» // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 10. С. 39–43. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-10-39-43>
- [18] Al-Omran A, Al-Barakah F, Altuquq A, Aly A, Nadeem M. Drinking water quality assessment and water quality index of Riyadh, Saudi Arabia. *Water Quality Research Journal of Canada*. 2015; (50)3:287–296. <https://doi.org/10.2166/wqrjc.2015.039>
- [19] Aghlmand R, Rasi Nezami S, Abbasi A. Evaluation of chemical parameters of urban drinking water quality along with health risk assessment: A case study of Ardabil province, Iran. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(10):5179. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105179>
- [20] Alver A. Evaluation of conventional drinking water treatment plant efficiency according to water quality index and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26(26):27225–27238. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05801-y>
- [21] Wang J, Liu G, Liu H, Lam PKS. Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and a water quality assessment in the middle reaches of Huaihe River, Anhui, China. *Science of the total environment*. 2017;583:421–431. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.088>
- [22] Liang B, Han G, Liu M, Yang K, Li X, Liu J. Distribution, sources, and water quality assessment of dissolved heavy metals in the Jiulongjiang river water, southeast China. *International journal of environmental research and public health*. 2018;15(12):2752. <https://doi.org/10.3390/ijerph15122752>
- [23] Martínez Moscoso A, Aguilar Feijó VG, Verdugo Silva T. The vital minimum amount of drinking water required in Ecuador. *Resources*. 2018;7(1):15. <https://doi.org/10.3390/resources7010015>
- [24] Wang S, Qian X, Han BP, Luo LC, Ye R, Xiong W. Effects of different operational modes on the flood-induced turbidity current of a canyon-shaped reservoir: case study

- on Liuxihe Reservoir, South China. *Hydrological Processes*. 2013;27(26):4004–4016. <https://doi.org/10.1002/hyp.9534>
- [25] Gorjaeva LI, Lebedeva EL. Development of certified reference material of mineral composition of natural water designed to control of turbidity measurement accuracy. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2017;13(1):27–36. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2017-13-1-27-36> (In Russ.)
Горяева Л.И., Лебедева Е.Л. Разработка стандартного образца минерального состава воды природной, предназначенного для контроля точности измерений мутности // Эталоны. Стандартные образцы. 2017. Т. 13. № 1. С. 27–36. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2017-13-1-27-36>
- [26] Khatri N, Tyagi S, Rawtani D. Recent strategies for the removal of iron from water: A review. *Journal of Water Process Engineering*. 2017;19:291–304. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.08.015>
- [27] Beimeng QI, Chongwei C, Yixing Y. Effects of iron bacteria on cast iron pipe corrosion and water quality in water distribution systems. *International Journal of Electrochemical Science*. 2015;10:545–558.
- [28] Osorio-Ortega MA, García-González J, Saquicela-Rojas RA, Cadme ML. Water quality index determination in rivers of Santo Domingo de los Tsachilas, Ecuador. *Ingeniería del agua*; 2021;25(2):115–126. <https://doi.org/10.4995/ia.2021.13921>
- [29] Levy K, Hubbard AE, Nelson KL, Eisenberg JN. Drivers of water quality variability in northern coastal Ecuador. *Environmental science & technology*. 2009;43(6):1788–1797. <https://doi.org/10.1021/es8022545>
- [30] Merizalde MVG, Flores SAB, Erazo CC, Murillo DES. Prevalence of Geohelminths and socio-environmental factors in urban and rural areas, canton Paquisha, Ecuador. *CEDAMAZ*. 2014;4(1).
- [31] Baque-Mite R, Simba-Ochoa L, González-Ozorio B, Suatunce P, Diaz-Ocampo E, Cadme-Arevalo L. Quality of water intended for human consumption in a canton of Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*. 2016;9(20):109–117.
- [32] Flores Paredes RS. *Drinking water quality of the Santa Lucía Canton, Guayas Province, Guayaquil-Ecuador* (Dissertation). Guayaquil; 2014. Available from: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8006>
- [33] Crespo JM, Alvarez JR, Bajana FV. Evaluation of the potable water system of the “Cabecera Parroquial Caracol” and proposal of improvements. *Revista Ciencia e Investigación*. 2018;3:50–61. <https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol3issICCE2018.2018pp61-75p>
- [34] Li D, Wan J, Ma Y, Wang Y, Huang M, Chen Y. Stormwater runoff pollutant loading distributions and their correlation with rainfall and catchment characteristics in a rapidly industrialized city. *PloS one*. 2015;10(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118776>
- [35] Delpla I, Baurès E, Jung AV, Thomas O. Impacts of rainfall events on runoff water quality in an agricultural environment in temperate areas. *Science of the total environment*. 2011;409(9):1683–1688. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.01.033>
- [36] Kicelev AV, Fridman RB. *Oценка риска здоровью [Health risk assessment]*. St. Petersburg: Deyta; 1997. (In Russ.)
Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. СПб.: Дeyта; 1997. 101 с.

Сведения об авторах:

Саласар Флорес Кристиан Александр, 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, Институт экологии, Международный институт стратегического развития отраслевых экономик, 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, 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

Bio notes:

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

Anna I. Kurbatova, PhD in Environmental Sciences, Associate Professor, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-7763-5034. E-mail: kurbatova-ai@rudn.ru

Kseniya Yu. Mikhaylichenko, PhD in Environmental Sciences, Associate Professor, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8051-8528. E-mail: mikhaylichenko-kyu@rudn.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-393-406

УДК 619:637:664:502

Научная статья / Research article

Риск-ориентированный подход при проведении мониторинга безопасности пищевой продукции: алгоритмы ранжирования химических загрязнителей

Д.А. Макаров¹, Т.В. Балагула²,
О.И. Лаврухина³✉, Л.А. Ширкин³

¹Всероссийский государственный Центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов, Москва, Российская Федерация

²Управление государственного ветеринарного надзора Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору, Москва, Российская Федерация

³Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, Владимир, Российская Федерация
✉hamsster@mail.ru

Аннотация. Риск-ориентированный подход к мониторингу безопасности продуктов питания предполагает, что количество исследований каждого из загрязнителей и (или) видов продукции зависит от риска, обуславливаемого наличием в ней загрязнителя, в первую очередь для здоровья потребителя, а также экономического (при предотвращении реализации небезопасной продукции). Риск-ориентированный отбор проб, планирование и назначение исследований можно противопоставить репрезентативному, направленному на получение достоверных сведений о загрязнении основных видов продукции и проводимому с учетом требований математической статистики. Ядром различных вариантов риск-ориентированного подхода является, как правило, ранжирование загрязнителей/групп загрязнителей и комбинаций «загрязнитель–вид продукции» по степени риска. Алгоритмы ранжирования можно разделить на качественные (вербальная характеристика) и количественные (в основе расчета лежит балльная система). Рассмотрены алгоритмы ранжирования химических загрязнителей пищевой продукции, предложенные авторитетными ведомствами стран, наиболее успешных в сфере обеспечения пищевой безопасности. Предлагаемые подходы имеют определенную (иногда достаточно узкую) область применения и предоставляют научно обоснованные данные для усиления контроля того или иного соединения, связывают воедино токсикологические характеристики, потребление, выявляемость и другие сведения о ксенобиотиках. Серьезным ограничением эффективности ранжирования может являться отсутствие данных об

© Макаров Д.А., Балагула Т.В., Лаврухина О.И., Ширкин Л.А., 2022



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

обнаружениях остатков лекарственных препаратов для ветеринарного применения в концентрациях ниже максимально допустимых уровней. Не менее важными критериями риска для здоровья являются дополнительные факторы, например способность ветеринарных лекарственных средств (антибактериальных препаратов) вызывать устойчивость патогенных микроорганизмов.

Ключевые слова: безопасность пищевой продукции, риск-ориентированный подход, мониторинг

Вклад авторов: Д.А. Макаров – концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, редактирование; Т.В. Балагула – анализ и интерпретация данных; О.И. Лаврухина – анализ данных, редактирование; Л.А. Ширкин – анализ и интерпретация данных. Все авторы – написание текста, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

История статьи: поступила в редакцию 10.04.2022; принята к публикации 24.05.2022.

Для цитирования: Макаров Д.А., Балагула Т.В., Лаврухина О.И., Ширкин Л.А. Риск-ориентированный подход при проведении мониторинга безопасности пищевой продукции: алгоритмы ранжирования химических загрязнителей // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 393–406. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-393-406>

Risk-based approach in food safety monitoring: algorithms for chemical pollutants ranking

Dmitry A. Makarov¹, Tatiana V. Balagula²,
Olga I. Lavrukhina³, Leonid A. Shirkin³

¹*The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality, Moscow, Russian Federation*

²*Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance, Moscow, Russian Federation*

³*Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir, Russian Federation*
hamsster@mail.ru

Abstract. A risk-based approach in food safety monitoring suggests that the number analysis of contaminants and (or) products depends on the risk caused by product contamination, first of all for consumer health and economic (prevention of unsafe products realization). Risk-oriented sampling, planning and assignment of studies can be opposed with representative, aimed at obtaining reliable information about the contamination of the main types of products and conducted taking into account the requirements of mathematical statistics. The core of the various risk-based approaches as a rule is the ranking of contaminants/groups of contaminants and combinations of «contaminant–product» according to the risk degree. Ranking algorithms may be subdivided into qualitative (verbal characteristics) and quantitative (scores estimation). Algorithms for food chemical contaminants ranking proposed by authority agencies of the most successful in food safety countries are reviewed in this paper. The proposed approaches have a certain (sometimes limited) scope of application and provide scientifically based data for enhance compound control, unite toxicological characteristics, consumption, identification, and other information about xenobiotics. A serious limitation of

the ranking effectiveness may be missing data of veterinary drugs (antibiotics) residues below maximum permissible level. There are additional but important criteria for health risk, the ability of drugs to cause pathogenic microorganisms' resistance for the example.

Keywords: food safety, risk-based approach, monitoring

Authors' contributions: *D.A. Makarov* – research concept and design, data collection, analysis and interpretation, editing; *T.V. Balagula* – data analysis and interpretation; *O.I. Lavrukhina* – data analysis and interpretation, editing; *L.A. Shirkin* – data analysis and interpretation. All authors – text writing, approval of the final version, responsibility for the integrity of all article parts.

Article history: received 10.04.2022; accepted 24.05.2022.

For citation: Makarov DA, Balagula TV, Lavrukhina OI, Shirkin LA. Risk-based approach in food safety monitoring: algorithms for chemical pollutants ranking. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):393–406. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-393-406>

Введение

Риск-ориентированный подход применяют при проведении лабораторного контроля пищевой продукции на содержание загрязнителей в нескольких направлениях. Во-первых, при составлении плана мониторинга на предстоящий период (как правило на год). Во-вторых, при назначении исследований и определении перечня показателей для конкретного образца, поступившего в лабораторию. И в-третьих, при отборе проб, то есть выборе конкретных образцов каждого вида продукции. В Российской Федерации (РФ) и ряде других стран данная процедура проводится ветеринарным инспектором [1].

На практике риск-ориентированный подход означает отбор проб по следующим критериям: минимального количества проб, необходимого для выявления частоты и уровней загрязнения с заданной точностью; зависимости количества проб определенного вида продукции от его вклада в продовольственную корзину; достаточно равномерного распределения проб между видами продукции с одинаковым вкладом в продовольственную корзину; случайного отбора проб в рамках одного вида продукции и случайного назначения исследований, если исследование на конкретный показатель будет назначено не в каждой пробе [2]. По результатам оценки принимаются меры по управлению риском: минимизация загрязнения, ужесточение максимально допустимого уровня (МДУ), диетические рекомендации населению [2].

Зарубежные организации – ЕС (European Commission – Европейская комиссия, страны Европейского союза), FDA (Food and Drug Administration – Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов, США) и BVL (Federal Office of Consumer Protection and Food Safety – Федеральная служба по защите прав потребителей и безопасности пищевых продуктов, Германия) – применяют риск-ориентированный подход только для мониторинга химических загрязнителей, но не микробиологических [1]. Для биологических загрязнителей намного сложнее установить

закономерности их выявления в продуктах питания, так как они имеют характер вспышек. Рационально комбинировать риск-ориентированный отбор проб и назначение исследований для химических показателей безопасности и репрезентативный – для микробиологических. Для эффективного применения на практике и гармоничного сочетания разных подходов мониторинг безопасности пищевой продукции требует определенной организации, схемы.

Ксенобиотики в продуктах питания могут вызывать как острое отравление, так и отдаленные последствия для здоровья: онкологические заболевания, нарушение функций эндокринной, иммунной систем [3]. Риск-ориентированный подход предусматривает зависимость количества исследований ксенобиотика или группы ксенобиотиков от уровня риска (для здоровья, экономики) при их наличии в продукции. Это позволяет эффективно предотвращать попадание небезопасной продукции на стол потребителя, рационально расходовать ресурсы, в том числе финансовые и человеческие, получать обоснованные данные для принятия управленческих мер по защите здоровья населения. Зачастую риск-ориентированный план мониторинга группа специалистов составляет эмпирически.

Альтернативный вариант – это применение специальных схем и алгоритмов. Для них отмечен ряд преимуществ [4]: план имеет научное обоснование; ввиду четко прописанной последовательности действий и формул он удобен и прост в составлении; уменьшается зависимость от человеческого фактора в принципе. Как правило, основа (ядро) таких алгоритмов – ранжирование ксенобиотиков/групп ксенобиотиков или пар «ксенобиотик – вид продукции» по критериям вреда для здоровья и частоте выявлений. Им присваивают баллы, коррелирующие с категорией риска. Это позволяет обоснованно отнести их к различным категориям риска (высокий, низкий, средний). В итоге, чем опаснее для здоровья ксенобиотик и чем чаще его выявляют, тем больше исследований запланировано. К минусам применения алгоритма можно отнести его недостаточную гибкость, в результате которой не исключены значительные корректировки «в ручном режиме».

Алгоритмы можно разделить на два вида: качественные и количественные. В количественных для ранжирования показателей используются баллы, которые подсчитываются при помощи арифметических формул. В качественных используются вербальное описание (характеристика) показателей¹ и оценка данных, например, с использованием дерева принятия решений [1]. Ниже представлен обзор подходов к ранжированию, разработанных в странах Европы, США, Великобритании, Ирландии, которые можно отнести к числу стран с наиболее успешным опытом обеспечения пищевой безопасности.

¹ Федеральный реестр ветеринарных препаратов, зарегистрированных для животных. URL: <https://galen.vetrif.ru/#/registry/pharm/registry?page=1> (дата обращения: 06.01.2022).

Объекты и методы исследования

Обзор существующих алгоритмов ранжирования контаминантов охватывает литературные сведения 2000–2020 гг. Поиск проведён в российских и иностранных базах данных eLIBRARY, Science Direct, а также на основании материалов конференций по оценке риска. Информация систематизирована в соответствии с разделами статьи.

Обзор зарубежных алгоритмов ранжирования ксенобиотиков с целью составления риск-ориентированного плана мониторинга

Ранжирование показателей производят ежегодно с целью выбора веществ для включения в программу мониторинга или корректировки количества исследований. Показатели, набравшие достаточное количество баллов, включают в план мониторинга. Ежегодный пересмотр необходим в связи с обновлением токсикологической информации, данными о выявлении загрязнителей, сведениях о запретах и ограничениях использования и другими значимыми для обеспечения пищевой безопасности условиями. Риск-ориентированные подходы в виде алгоритма используют в ряде стран с развитой системой пищевой безопасности, включая США и страны Евросоюза [5], Англию и Ирландию.

Англия использует подход к ранжированию лекарственных средств. Из-за ограниченного финансирования мониторинга (одной из его программ) не все группы лекарственных средств включают в него ежегодно: выбираются препараты, представляющие наибольший риск для здоровья населения². Используется 6 критериев ранжирования: А – природа, степень опасности вещества, В – мощность воздействия, выражаемая в допустимой суточной дозе, С – экспозиция 1 (чем выше доля пищевых продуктов от животных, подвергающихся воздействию препарата, тем выше балл), D – экспозиция 2 (доля целевых животных, которые могут подвергаться воздействию препарата в течение года), Е – наличие групп активных потребителей (особенности структуры потребления), F – выявление остатков вещества. Общий балл для вещества вычисляют по формуле

$$(A + B)(C + D + E)F = \text{Общий балл.} \quad (1)$$

Ранжирование лекарственных средств в подходе *США* происходит в два этапа³: первый этап – ранжирование лекарственных средств/групп лекарственных средств, второй – ранжирование пар «показатель (вещество или группа веществ) – вид продукции». На первом этапе используют три

² Residues of Veterinary Medicines in Food 2014 Surveillance Results. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/432356/2014_Residues_Results.pdf (accessed: 02.01.2022).

³ Residue Sampling Plan: Fiscal Year 2020 Blue Book / Number of Samples Required to Detect Violations with Predefined Probabilities. URL: <https://www.fsis.usda.gov/node/1982> (accessed: 02.01.2022).

критерия: выявление (реальное либо прогнозируемое), токсичность, влияние на человека. Критерий прогнозируемое выявление (V) используется только в случае, если отсутствуют сведения о реальном. Прогнозируемое выявление рассчитывают по формуле

$$V = 0,8 + 0,2(W \cdot N), \quad (2)$$

где W – это количество баллов от 1 до 4 для периода ожидания, N – количество баллов от 1 до 4 для количества животных, подвергшихся воздействию препарата.

Критерий острая или хроническая токсичность (T) характеризует потенциальную угрозу для жизни, а влияние на человеческие заболевания (D) учитывает риск для здоровья (включая потенциальное влияние на микрофлору кишечника и изменение антимикробной устойчивости патогенных микроорганизмов). Общее количество баллов для каждого препарата/группы препаратов:

$$P = V[(D + 3T)/4]. \quad (3)$$

В план отбора образцов включают только препараты, набравшие достаточное количество баллов. На втором этапе проводят ранжирование комбинаций «показатель – вид продукции» на основе вероятности выявления препарата (с учетом количества зарегистрированных), сведений о неправильном использовании и прошлых выявлениях. Затем для каждой пары «лекарственное средство (группа лекарственных средств) – вид продукции» рассчитывают значение приоритетного показателя (PS) по следующей формуле:

$$PS = CP \cdot RPC, \quad (4)$$

где CP – это количество баллов для данного показателя, RPC – процент потребления, определяемый как доля потребления данного вида продукции в стране от общего потребления продукции всех видов.

В 2012–2013 гг. Европейским агентством по безопасности продуктов питания (EFSA, Евросоюз) был выпущен ряд научных заключений о рисках для здравоохранения, которые необходимо учитывать при контроле мяса: свинины, говядины, мяса МРС, однокопытных, птицы [6]. Данные документы содержат и описание ранжирования показателей безопасности – как микробиологических, так и химических (лекарственных средств и контаминантов). Предложенный подход, рассмотренный на примере мяса домашней птицы, предполагает анализ данных мониторинга о выявлении образцов с превышением МДУ химических загрязнителей, определение вероятности загрязнения, рассмотрение токсикологического профиля каждого химического загрязнителя. Для лекарственных средств важны вероятность использования неправильным или незаконным способом; потенциальная доступность вещества (черный рынок); вероятность наличия остатков на основании данных фармакокинетики, периода ожидания, возможности связывания с тканями; токсикологический профиль, природа опасности, вклад остатков в общее

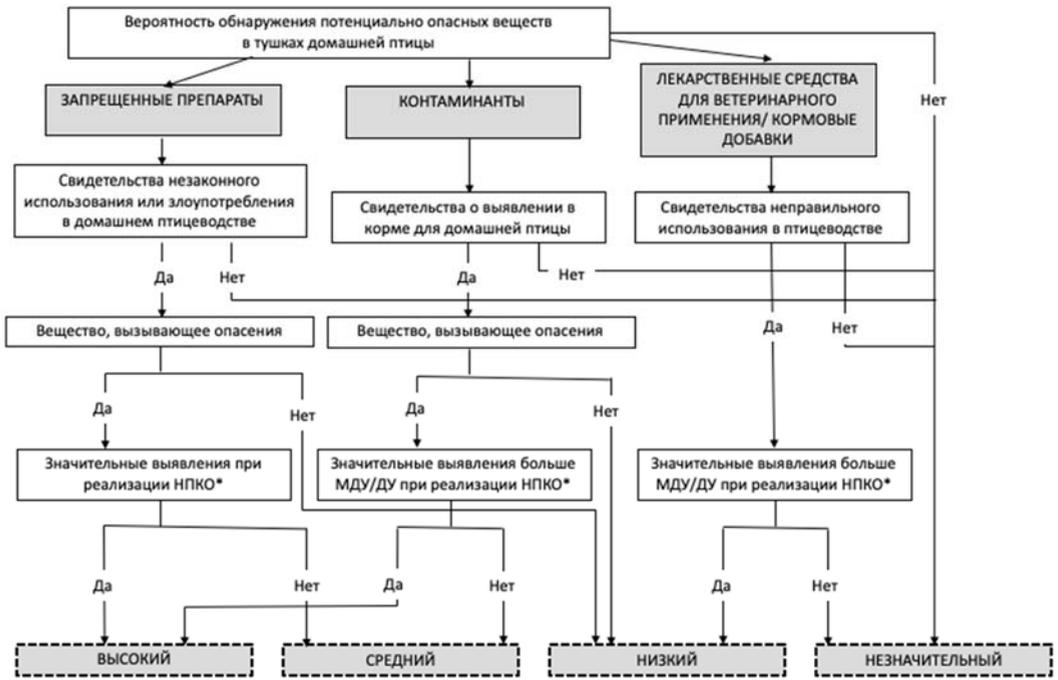
воздействие данного вещества на человека (из всех источников). Для контаминантов важны встречаемость в кормах на территории ЕС; уровень и продолжительность воздействия, данные о распределении и накоплении в тканях, включая употребляемые в пищу; токсикологический профиль, природа опасности, вклад остатков в общее воздействие данного вещества (из всех источников). Далее устанавливают уровень опасений, вызываемых данным веществом (незначительный, низкий, средний, высокий). Для этого используют специальную схему алгоритма (рис. 1).

Применив данный подход, авторы получили распределение химических загрязнителей для птицы по уровням опасений. Высокий: диоксины, диоксиноподобные полихлорированные бифенилы (ПХБ), нитрофураны, нитроимидазолы, хлорамфеникол; средний: маркерные ПХБ, полибромированные дифениловые эфиры, гексабромциклододекан; низкий: лактоны резорциловой кислоты, стильбены, тиреостатики, бета-агонисты, стероиды, кокцидиостатики, хиноксалины, хлорорганические пестициды, фосфорорганические соединения, тяжелые металлы, микотоксины, никотин, лекарственные средства, встречающиеся в концентрациях выше МДУ; незначительный: хлороформ, колхицин, хлорпромазин, дапсон, красители, лекарственные средства, встречающиеся в концентрациях ниже МДУ.

В *Бельгии* Федеральное агентство по безопасности пищевой цепи (Federal Agency for the Safety of the Food Chain – FASFC) является компетентным органом по контролю пищевой безопасности, включая аспекты здравоохранения и благополучия животных и растений. Контроль подразумевает анализ продуктов и инспекцию хозяйствующих субъектов на всем протяжении пищевой цепи. Каждый год FASFC составляет риск-ориентированную программу контроля, состоящую из двух частей: отбора проб и проверок хозяйствующих субъектов.

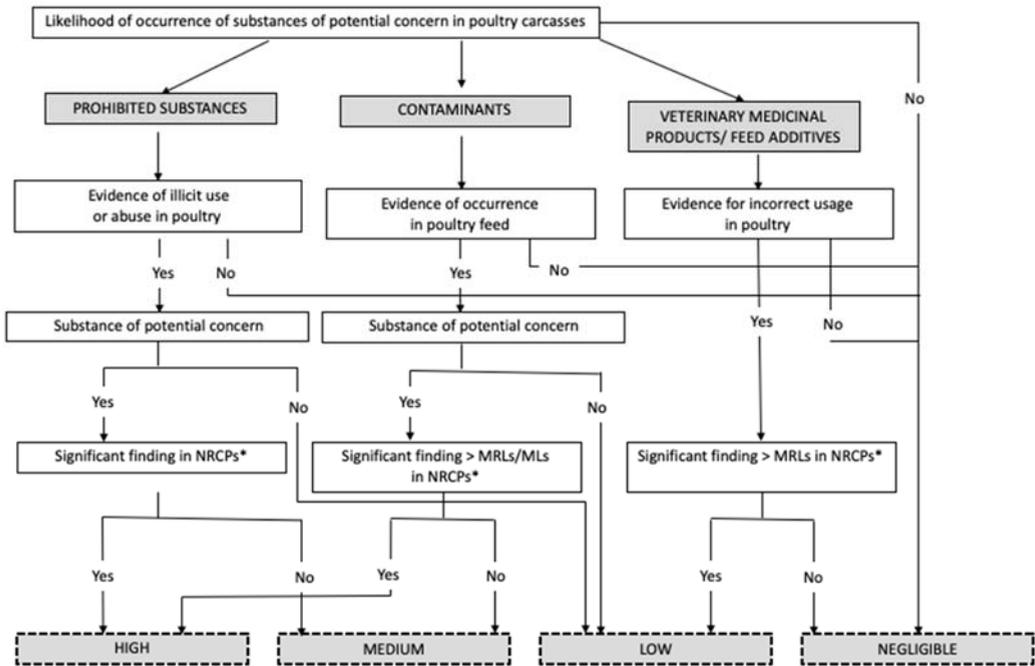
Риск-ориентированные подходы к отбору образцов пищевой продукции в Бельгии⁴ [7, 8] имеют ряд особенностей. В части назначения количества исследований подход совмещает качественные/количественные характеристики комбинации «показатель – вид продукции» (токсичность, выявляемость, потребление) и показатели математической статистики, в том числе уровень достоверности. Чем выше токсичность, тем выше необходимый уровень достоверности и, соответственно, требуется большее количество исследований. Указанный подход может быть применен как к химическим, так и к микробиологическим, а также эпизоотологическим показателям. Предполагается, что учитывать следует не только вред для здоровья, но и экономический ущерб.

⁴ Risk-based controls & the MANCP: approach of the Belgian Federal Agency for the Safety of the Food Chain. URL: http://www.afsca.be/apropos/mancp/mancpbelge/_documents/2011_11_22_Risk_based_controls_BE_v11.pdf (accessed:02.01.2022).



*НПКО – Национальные планы контроля остатков

Рис. 1. Древо решений для определения уровня опасности в риск-ориентированном подходе, предложенном в ЕС [6]



*NRCPs – National Residue Control Plans

Figure 1. A decision tree for determining the level of danger in the risk-approach proposed in the EU [6]

При назначении количества исследований может осуществляться четыре сценария: количество исследований предусматривается законодательно, определяется анализом риска, связано с репрезентативностью мониторинга или оно известно заранее. Для сценария, когда количество исследований определяется анализом риска, в первую очередь, определяют уровень достоверности. Принимаются во внимание три критерия, по каждому показателю назначается определенное количество баллов. Заранее установленный уровень распространения загрязнения (*PLC*) – это степень загрязнения продукции (распространения заболеваний животных), которую необходимо выявить с заданным уровнем достоверности. Отсутствие выявлений при заданном уровне означает, что *PLC* не превышен. Баллы рассчитывают с использованием формулы

$$\begin{aligned} & \text{Степень вреда} + (\text{Распространенность} \times \text{Вклад}) = \\ & \quad = \text{Количество баллов по критерию 1} + \\ & + (\text{Количество баллов по критерию 2} \times \text{Количество баллов по критерию 3}) = \\ & \quad = \text{Общий балл.} \end{aligned} \quad (5)$$

Количество назначаемых исследований для видов продукции затем определяют по формуле Кэннона и Роу:

$$n = (1 - (1 - \alpha)^{1-D})(N - (D - 1)/2), \quad (6)$$

где n – количество образцов, которое необходимо проанализировать, чтобы с уровнем доверия α выявить как минимум один контаминированный образец с превышением МДУ, α – уровень доверия, N – объем выборки, D – ожидаемое количество образцов с превышением МДУ.

Данный подход используется в случае необходимости получения статистически достоверных сведений о выявлении несоответствий законодательству по какому-либо показателю безопасности. В ряде случаев количество исследований может быть известно заранее. Например, когда необходимо проверить все партии какой-либо импортной продукции на наличие загрязнения. Ограничения использования метода прослеживаются в части расчета количества исследований по формуле Кэннона и Роу, недостаточно также сведений о его применении на практике.

В 2019 г. Управлением пищевой безопасности *Ирландии* (Food Safety Authority of Ireland – FSAI) был разработан подход к ранжированию контаминантов⁵. Оно проводится по трем критериям: данные об экспозиции (концентрация загрязнителей и потребление пищи в Ирландии); сведения об опасности, включая переносимые дозы; законодательные требования (наличие допустимого или рекомендуемого уровня) и т.д.

⁵ Hannon J., Jeune J., O'Reilly E., Cummins E., O'Keeffe M., Flynn A., Tlustos C. Risk Ranking Model for Chemical Contaminants in Food. 2019. URL: <https://zenodo.org/record/3479207#.YTPKS9IzbcS> (accessed: 04.01.2022).

Баллы по первому критерию присваиваются пропорционально проценту от переносимой дозы.

Баллы по критерию токсичности определяются в первую очередь в зависимости от тяжести токсического воздействия. Максимальные баллы у загрязнителей, вызывающих анафилактический шок и генотоксичных канцерогенов, минимальные – у веществ с обратимыми токсическими эффектами (например, повышение кровяного давления) или для агентов, нарушающих баланс микрофлоры. Также баллы по данному критерию присваивают в зависимости от величины переносимой дозы, чем она ниже – тем выше балл. Итоговый балл по критерию токсичности – сумма баллов от тяжести и величины переносимой дозы.

По критерию законодательных требований баллы начисляются в зависимости от наличия допустимых/рекомендуемых уровней и рекомендаций по мониторингу; указаний о необходимости мониторинговых исследований на уровне ЕС; сведений о том, что контаминант опасен для здоровья, встречается в продукции, но пока законодательно не контролируется.

Итоговый балл по трем критериям вычисляют по формуле

$$\begin{aligned} & \text{Балл по экспозиции} \times \text{Балл по токсичности} + \\ & + \text{Балл по законодательным требованиям} = \text{Итоговый балл}. \end{aligned} \quad (7)$$

В 2020 г. группой специалистов из нескольких научных институтов *Норвегии* был предложен алгоритм ранжирования контаминантов также на основе балльной системы [9]. Баллы присваиваются по следующим критериям: наличие количественных данных о токсичности и экспозиции: *экспозиция значительно ниже/ниже, но близка по значению/выше переносимой дозы*; токсичность загрязнителя (группы загрязнителей): *высокая/средняя/низкая*; экспозиция населения загрязнителю через пищевые продукты: *высокая/средняя/низкая*; уязвимые группы населения (к действию загрязнителя): *экспозиция была высокой из-за наличия групп активных потребителей/лишь в некоторой степени была высокой из-за наличия активных потребителей/существуют немногочисленные более уязвимые группы потребителей*; адекватность данных по токсикологии и экспозиции: *данные недостаточны или отсутствуют/некоторые данные отсутствуют/данные полны*. К несомненным достоинствам данного подхода следует отнести то, что в работе авторы применили его на практике и провели ранжирование контаминантов, а также предложили для каждого из них приоритетные для контроля виды продукции. Наибольшее количество баллов среди группы токсичных элементов (их форм) набрали свинец и метилртуть. Среди микотоксинов – Т-2 и НТ-2 токсины, среди стойких органических загрязнителей – диоксины, полифторированные загрязнители, глицидиловые эфиры, акриламид.

Заключение

В РФ в проведении мониторинга безопасности пищевой продукции и продовольственного сырья задействованы Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) и Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору (Россельхознадзор). Специалистами научно-исследовательских институтов Роспотребнадзора был предложен риск-ориентированный подход по классификации (ранжированию) продукции по степени вреда для здоровья («Классификация пищевой продукции, обращаемой на рынке, по риску причинения вреда здоровью и имущественных потерь потребителей для организации плановых контрольно-надзорных мероприятий»: Приказ руководителя Роспотребнадзора № 16 от 18.01.2016). Данный алгоритм основан на ранжировании не групп ксенобиотиков или комбинаций «ксенобиотик–вид продукции», но видов продукции по количеству нарушений, связанных как с химическими, так и микробиологическими загрязнителями. Подход учитывает разницу во вреде для здоровья при выявлении разных загрязнителей за счет введения специального коэффициента.

Специалисты Россельхознадзора на практике применяют риск-ориентированный подход при проведении порядка 90% исследований химических загрязнителей пищевой и кормовой продукции. План мониторинга ветеринарной безопасности основан на принципах анализа и систематизации информации о химических рисках, а именно: результатов мониторинга за предыдущий период, сведений из международных и отечественных систем оповещения о рисках, научных публикаций и т.д. Кроме того, ФГБУ «ВГНКИ» предложен алгоритм составления риск-ориентированного плана мониторинга химических загрязнителей, где ранжирование групп ксенобиотиков осуществляется по критериям вреда для здоровья, частоты выявлений и вклада в продовольственную корзину [10]. Проанализировав предлагаемые наиболее успешными в обеспечении безопасности пищевой продукции странами подходы, были сделаны следующие выводы: подходы имеют определенную, иногда достаточно узкую, область применения и требуют дополнительной разработки; они предоставляют обоснованные научными данными и поддающиеся проверке и ревизии основания для усиления лабораторного контроля того или иного соединения; подходы связывают воедино токсикологические характеристики, потребление, выявляемость и другие сведения. Сложность определения вероятности загрязнения ксенобиотиками продукции животноводства может быть обусловлена не только многофакторностью процесса, но и недостатком данных. Так, авторы Ирландского подхода пишут, что отсутствие данных об обнаружениях остатков ветеринарных препаратов в концентрациях ниже МДУ является серьезным ограничением эффективности ранжирования. Следует обратить внимание на отдельные, редко встречающиеся, но тем не менее важные критерии риска для здоровья, например способность лекарственных средств вызывать устойчивость патогенных микроорганизмов, принимаемую в расчет в подходе США.

Применение при планировании мониторинга безопасности продуктов питания риск-ориентированного подхода в настоящее время имеет широкое распространение по всему миру. На основании анализа существующих эффективных и научно обоснованных подходов ранжирования контаминантов определены наиболее значимые аспекты для включения в систему риск-ориентированного подхода исследований химических загрязнителей в рамках проводимого Россельхознадзором на территории РФ мониторинга ветеринарной безопасности. Необходимы использование количественных данных, поддающихся обработке методами математической статистики, учёт при определении вероятности загрязнения не только сведений о выявлениях и вреде для здоровья, но и других данных о ксенобиотиках, в том числе несоответствия в оценке их безопасности в разных странах и возможность загрязнения кормов для животных. Следует акцентировать внимание на включении результатов оценки отдельных важных критериев, например развитии резистентности патогенных микроорганизмов при использовании некоторых антибиотиков и устойчивости к пестицидам целевых организмов, что приводит к более интенсивному их использованию. Подход должен связать в единую систему все значимые для обеспечения безопасности сырья и продукции животноводства критерии, при этом быть автоматизированным, что позволит повысить эффективность мониторинга.

Список литературы

- [1] Chemical Contaminants and Residues in Food / Schrenk D., Cartus A. (Eds.) Chemical Contaminants and Residues in Food (Second Edition) // Woodhead Publishing, 2017.
- [2] Risk Assessment Methods for Biological and Chemical Hazards in Food (1st ed.) / Pérez-Rodríguez F. CRC Press, 2020. 545 p. <https://doi.org/10.1201/9780429083525>
- [3] Безопасность пищевой продукции. Ч. 1 / Л.В. Донченко, В.Д. Надыкта. М.: Юрайт, 2019. 264 с.
- [4] Garcia M., Verbruggen P., Fearne A. Risk-Based Approaches to Food Safety Regulation: What Role for Co-Regulation? 2013. Vol. 16. No. 9. P. 1101–1121. <https://doi.org/10.1080/13669877.2012.743157>
- [5] Institute of Medicine and National Research Council. Enhancing Food Safety: The Role of the Food and Drug Administration. Washington, DC: The National Academies Press, 2010. 588 p. <https://doi.org/10.17226/12892>
- [6] Scientific Opinion on the public health hazards to be covered by inspection of meat (poultry) // EFSA Journal. 2012. Vol. 10. No 6. P. 2741. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2741>
- [7] Maudoux J., Saegerman C., Rettigner C., Houins G., Huffel X., Berkvens D. Food safety surveillance through a risk-based control programme: Approach employed by the Belgian Federal Agency for the Safety of the Food Chain // Vet. Q. 2007. Vol. 28. P. 140–154. <https://doi.org/10.1080/01652176.2006.9695220>
- [8] Saegerman C., Boelaert F., Vlanderren I.V., Lomba M., Berkvens D., Ermens A., Biront P., Broeckart F., Bernard A., Cock A.D., Demont S., Poorter G.D., Torfs B., Robijns J., Monfort V., Vermeersch J.P., Lengelé L. Monitoring des animaux vivants: exemple d'un échantillonnage pour la détection des PCBs et dioxines chez les bovins de boucherie en Belgique // Epidémiol. et santé anim. 2000. Vol. 38. P. 39–49.

- [9] Mathisen G.H., Alexander J., Fæste C.K., Husøy T., Knutsen K.H., Ørnsrud R., Steffensen I.L. A ranking method of chemical substances in foods for prioritisation of monitoring, based on health risk and knowledge gaps // *Food Res. Int.* 2020. Vol. 137. P. 109499. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109499>
- [10] Макаров Д.А., Прасолова О.В. Риск-ориентированное планирование мониторинга химических загрязнителей пищевой продукции при помощи специального алгоритма // *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*. 2020. № 3. С. 175–178.

References

- [1] Chemical Contaminants and Residues in Food. Schrenk D., Cartus A. (eds.) *Chemical Contaminants and Residues in Food (Second Edition)*. Woodhead Publishing; 2017.
- [2] Pérez-Rodríguez F. *Risk Assessment Methods for Biological and Chemical Hazards in Food* (1st ed.). CRC Press; 2020. <https://doi.org/10.1201/9780429083525>
- [3] Donchenko L.V., Nadykta V.D. *Food safety. Part 1: textbook for academic baccalaureate*. Moscow: Yurayt; 2019. (In Russ.)
- [4] Garcia M, Verbruggen P, Fearn A. Risk-Based Approaches to Food Safety Regulation: What Role for Co-Regulation? *Journal of Risk Research*. 2013;16(9):1101–1121. <https://doi.org/10.1080/13669877.2012.743157>
- [5] Institute of Medicine and National Research Council. *Enhancing Food Safety: The Role of the Food and Drug Administration*. Washington, DC: The National Academies Press, 2010. 588 p. <https://doi.org/10.17226/12892>
- [6] Scientific Opinion on the public health hazards to be covered by inspection of meat (poultry). *EFSA Journal*. 2012;10(6):2741. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2741>
- [7] Maudoux J, Saegerman C, Rettigner C, Houins G, Huffel X, Berkvens D. Food safety surveillance through a risk-based control programme: Approach employed by the Belgian Federal Agency for the Safety of the Food Chain. *The Veterinary quarterly*. 2007;28:140–154. <https://doi.org/10.1080/01652176.2006.9695220>
- [8] Saegerman C, Boelaert F, Vlanderen IV, Lomba M, Berkvens D, Ermens A, Biront P, Broeckart F, Bernard A, Cock AD, Demont S, Poorter GD, Torfs B, Robijns J, Monfort V, Vermeersch JP, Lengelé L. Monitoring des animaux vivants: exemple d'un échantillonnage pour la détection des PCBs et dioxines chez les bovins de boucherie en Belgique. *Epidémiol. et santé anim.* 2000;38:39–49.
- [9] Mathisen GH, Alexander J, Fæste CK, Husøy T, Knutsen KH, Ørnsrud R, Steffensen IL. A ranking method of chemical substances in foods for prioritisation of monitoring, based on health risk and knowledge gaps. *Food Research International*. 2020;137:109499. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109499>
- [10] Makarov DA, Prasolova OV. Special algorithm for planning of the risk based monitoring in food of animal origin. *Issues of Legal Regulation in Veterinary Medicine*. 2020;(3):175–178. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Макаров Дмитрий Алексеевич, старший научный сотрудник, отделение фармакологических лекарственных средств, безопасности пищевой продукции и кормов, Всероссийский государственный Центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов, Российская Федерация, 123022, Москва, Звенигородское шоссе, д. 5. ORCID: 0000-0003-3834-0695, SPIN: 7545-8829. E-mail: phorez@yandex.ru

Балагула Татьяна Викторовна, кандидат ветеринарных наук, начальник Управления государственного ветеринарного надзора, Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору, Российская Федерация, 107996, Москва, Орликов переулок, д. 1/11. ORCID: 0000-0003-0583-4277. E-mail: loi1122@bk.ru

Лаврухина Ольга Игоревна, кандидат химических наук, доцент кафедры химии, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Российская Федерация, 600026, Владимир, ул. Горького, д. 87. ORCID: 0000-0001-6248-5726, SPIN: 6238-3898. E-mail: hamsster@mail.ru

Ширкин Леонид Алексеевич, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры экологии, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Российская Федерация, 600026, Владимир, ул. Горького, д. 87. ORCID: 0000-0003-1622-9574, SPIN: 4161-6560

Bio notes:

Dmitry A. Makarov, The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality», 5 Zvenigorodskoye Shosse, Moscow, 123022, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-3834-0695, SPIN: 7545-8829. E-mail: phorez@yandex.ru

Tatiana V. Balagula, Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance, 1/11 Orlikov per., Moscow, 107996, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0583-4277. E-mail: loi1122@bk.ru

Olga I. Lavrukhina, Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov», 87 Gor'kogo St, Vladimir, 600026, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6248-5726, SPIN: 6238-3898. E-mail: hamsster@mail.ru

Leonid A. Shirkin, Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov», 87 Gor'kogo St, Vladimir, 600026, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-1622-9574, SPIN: 4161-6560



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-407-416

УДК 504.054/064.2

Научная статья / Research article

Оценка загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами как один из методов мониторинга атмосферного воздуха на примере населенных пунктов Дальнего Востока

А.И. Лукьянов  , Е.В. Дахова , Л.П. Майорова 

Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ),

Хабаровск, Российская Федерация

✉008362@pnu.edu.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена исследованием техногенной нагрузки посредством изучения снежного покрова в небольших населенных пунктах Дальнего Востока. Рассматривается возможность включения данного метода в систему мониторинга небольших городов Дальнего Востока как дополнительного средства оценки загрязнения атмосферного воздуха. В статье приведен анализ содержания тяжелых металлов в расплаве снега, отобранного в порту Ванино Хабаровского края. Выполнено сравнение концентрации тяжелых металлов в талой воде, полученной после таяния проб снега, с ПДКх/п, к/б и ПДКр/х. Полученные результаты свидетельствуют о превышении ПДКр/х по некоторым тяжелым металлам. Данные исследования коррелируют с предыдущими изысканиями (моделированием, расчетом пылевой нагрузки) и позволяют утверждать, что анализ снежного покрова может успешно применяться при мониторинге атмосферного воздуха для различных целей.

Ключевые слова: анализ снежного покрова, мониторинг атмосферного воздуха, тяжелые металлы, предельно допустимые концентрации

Вклад авторов: *А.И. Лукьянов* – отбор проб, обработка полученных данных и их интерпретация, написание текста; *Е.В. Дахова* – обработка полученных данных и их интерпретация, написание текста; *Л.П. Майорова* – концептуализация, критический анализ текста. Все авторы участвовали в подведении итогов и подготовке заключения.

История статьи: поступила в редакцию 12.04.2022; принята к публикации 12.05.2022.

© Лукьянов А.И., Дахова Е.В., Майорова Л.П., 2022



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

Для цитирования: Лукьянов А.И., Дахова Е.В., Майорова Л.П. Оценка загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами как один из методов мониторинга атмосферного воздуха на примере населенных пунктов Дальнего Востока // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 407–416. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-407-416>

Assessment of snow cover pollution by heavy metals as one of the methods of atmospheric air monitoring on the example of settlements in the Far East

Alexey I. Lukyanov  , Ekaterina V. Dakhova , Ludmila P. Mayorova 

Pacific National University (PNU), Khabarovsk, Russian Federation

008362@pnu.edu.ru

Abstract. The relevance of the work is due to the study of technogenic load by studying snow cover in small settlements of the Far East. The possibility of including this method in the monitoring system of small cities of the Far East as an additional means of assessing atmospheric air pollution is being considered. The article presents an analysis of the content of heavy metals in the melt of snow collected in the port of Vanino in the Khabarovsk Territory. The concentration of heavy metals in meltwater obtained after melting snow samples was compared with MPCd-c of chemicals in the water of water bodies of economic, drinking and cultural water use and MPCf-s of chemicals in water of fishery significance. The results obtained indicate an excess of MPCf-s for some heavy metals. These studies correlate with previous surveys (modeling, calculation of dust load) and allow us to assert that the analysis of snow cover can be successfully used in monitoring atmospheric air for various purposes.

Keywords: analysis of snow cover, monitoring of atmospheric air, heavy metals, maximum permissible concentrations

Authors' contributions: A.I. Lukyanov – sampling, processing of the received data and their interpretation, writing the text; E.V. Dakhova – processing of the received data and their interpretation, writing the text; L.P. Mayorova – conceptualization, critical analysis of the text. All the authors participated in the summing up and preparation of the conclusion.

Article history: received 12.04.2022; accepted 12.05.2022.

For citation: Lukyanov AI, Dakhova EV, Mayorova LP. Assessment of snow cover pollution by heavy metals as one of the methods of atmospheric air monitoring on the example of settlements in the Far East. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):407–416. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-407-416>

Введение

Существующая в ряде городов Дальнего Востока система мониторинга атмосферного воздуха устарела и требует модернизации. В существующих условиях наиболее актуальными являются автоматические системы онлайн мониторинга, которые имеют ряд достоинств: высокая скорость получения и обработки информации, сведение данных от постов в едином центре управления, удобство анализа и передачи данных. Основными недостатками

являются высокая цена и сложность оборудования. Такими системами контролируются, как правило, распространенные газообразные вещества (диоксид серы, оксид углерода, оксиды азота и т.д.) и сумма взвешенных веществ. Определение тяжелых металлов (ТМ) в режиме онлайн стоит очень дорого и не всегда целесообразно. Для этих целей разумно применять другие методы, одним из которых является анализ снежного покрова, который успешно применяется и на Дальнем Востоке.

Снежный покров является индикатором загрязнения природной среды, так как в нем накапливаются поллютанты, поступающие в атмосферу в результате выбросов от техногенных источников и автотранспорта. Накопление загрязняющих веществ от стационарных источников соответствует их распределению в снежном покрове, согласно розе ветров. В [1] показано, что степень загрязнения снежного покрова четко коррелирует с загрязнением атмосферного воздуха.

Взаимоотношение между сухими и влажными выпадениями зависит от многих факторов, главными из которых являются длительность холодного периода, частота снегопадов и их интенсивность, физико-химические свойства загрязняющих веществ, размер аэрозолей.

В связи с большой интенсивностью процессов влажного вымывания для регионального и глобального загрязнения доля сухих выпадений обычно составляет 10–30 %. Однако вблизи локальных источников при больших выбросах грубодисперсных аэрозолей картина меняется на обратную, т.е. на долю сухих выпадений приходится от 70 до 90 % [2]. При образовании и выпадении снега концентрация загрязняющих веществ в нем оказывается на 2–3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе [3]. Поэтому измерения содержания этих веществ могут производиться достаточно простыми методами и с высокой степенью надежности.

Анализ снежного покрова разными авторами применяется для решения различных задач, в том числе при оценке воздействия на здоровье человека тяжелых металлов через сравнение концентрации в расплаве и твердой фазе с коэффициентами опасности [4], определении и сравнении техногенной нагрузки на окружающую среду [5], но чаще всего – для долговременных наблюдений и отслеживания динамики загрязнения различными поллютантами (чаще всего тяжелыми металлами) [6–8].

Исследование снежного покрова позволяет решить проблему количественного определения суммарных параметров загрязнения (сухих и влажных выпадений).

Загрязнение снежного покрова происходит в два этапа:

- 1) загрязнение снежинок во время их образования в облаке и выпадения на местность – влажное выпадение загрязняющих веществ со снегом;
- 2) загрязнение уже выпавшего снега в результате сухого выпадения загрязняющих веществ из атмосферы, а также их поступление из подстилающих почв и горных пород.

Отбор проб снежного покрова прост, не требует сложного оборудования. Послойный отбор проб позволяет получить динамику загрязнения за зимний сезон, а всего лишь одна проба по всей толще снежного покрова дает представительные данные о загрязнении в период от начала формирования устойчивого снежного покрова до момента отбора пробы [9].

Снег может служить индикатором атмосферного загрязнения сульфатами, нитратами, аммонием, основаниями, тяжелыми металлами и рядом других веществ. Суммарная проба всех снегопадов усредняет все загрязнения как по направлению сноса, так и по времени. Апробация данного направления исследований проведена на примере изучения воздействия угольных складов в порту Ванино Хабаровского края, в данный момент проводятся исследования в пгт. Шахтерск Сахалинской области, планируются исследования в г. Хабаровске.

Материалы и методы исследования

Для исследования влияние угольных терминалов на снежный покров в порту Ванино Хабаровского края в период начала снеготаяния были отобраны 6 проб снега в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85¹ с целью определения пылевой нагрузки. Пробы снежного покрова отбирались на всю глубину из шурфов, при этом обязательно фиксировалась площадь шурфа и время снегопада. Размеры шурфа замерялись по длине и ширине для расчета площади, на которую проектируются выпадения из атмосферы. При этом вес пробы должен быть не менее 2 кг, чтобы получить массу выпадений, достаточную для проведения анализа на содержание металлов. Дата отбора проб четко фиксируется, что позволяет определить время, за которое накопились в снегу атмосферные выпадения. Оно рассчитывается от даты установления устойчивого снежного покрова (по данным гидрометеослужбы).

Отбор проб производился методом конверта на площадке 5×5 м, все пробы собирались в полиэтиленовый пакет, затем взвешивались. Точки отбора проб выбраны в соответствии с розой ветров, построенной по данным архива погоды (по метеостанции г. Советская Гавань), 4 из них в черте поселка Ванино, и 2 на противоположном берегу (район поселка Октябрьский) (рис. 1). Пробы отбирались вне территории порта и промышленных площадок в связи с трудностью получения доступа на эти объекты. В точках отбора выполнены снеговые разрезы, в которых четко прослеживаются слои, загрязненные угольной пылью.

С целью оценки негативного влияния был проведен анализ на тяжелые металлы как наиболее токсичные компоненты пыли. Исследования проводились испытательной лабораторией Федерального государственного

¹ Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков: ГОСТ 17.1.5.05-85. Дата введения 1986-07-01 // Профессиональные справочные системы Техэксперт. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200008297> (дата обращения: 20.04.2022).

бюджетного учреждения Центр агрохимической службы: «Хабаровский» (ФГБУ ЦАС «Хабаровский»), согласно методикам: токсические элементы (барий, ванадий, марганец, медь, мышьяк, никель, свинец, стронций, хром, цинк), ПНДФ 14.1:2:4.135-98 на ICP Vista AX PRO.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований была рассчитана пылевая нагрузка [10] и проведено моделирование рассеивания угольной пыли от угольного терминала в порту Ванино [11]. Данные по пылевой нагрузке хорошо коррелируют с данными по рассеиванию. Также был проведен анализ расплава снега на наличие тяжелых металлов в 6 точках (рис. 1).

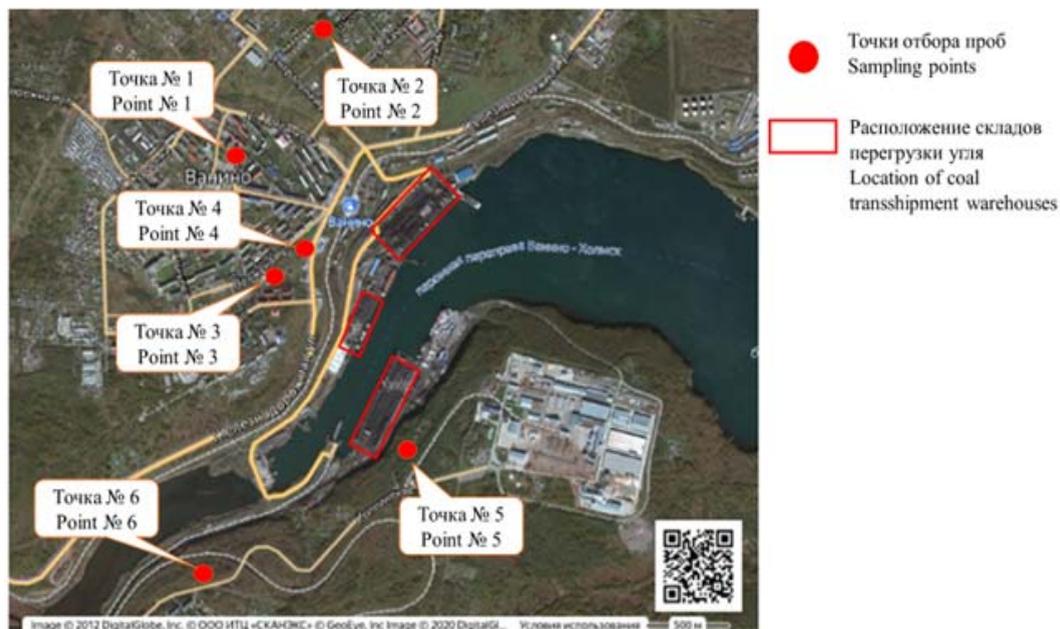


Рис. 1. Расположение точек отбора проб в п. Ванино Хабаровского края /
Figure 1. Location of sampling points in the port of Vanino, Khabarovsk Krai

Данные по содержанию ТМ в расплаве снега приведены в табл. 2.

Наибольшая масса пыли обнаружена в пробах № 1 и № 5 (144,2 г/м³ и 147, 23 г/м³ соответственно). Наименьшая – в пробе № 6 – 14,66 г/м³, Разброс между наибольшей и наименьшей концентрацией составляет более 10 крат [10].

Наибольшее содержание твердых частиц наблюдалось в 5-й пробе, в соответствии с повторяемостью северо-западных ветров, формирующих приземные концентрации в этой точке. А тяжелых металлов – в 1-й пробе, отобранной в поселке, внутри «транспортного узла», образованного пересечением улиц.

Таблица 1

Описание точек отбора проб снега и их характеристика

№ пробы	Место отбора (рис. 1)	Характеристика пробы	Относительное содержание ТМ (табл. 2)
1	Недалеко от администрации поселка Ванино, в 1 км от терминала	Снеговой разрез имеет 3 выраженных слоя с повышенным содержанием пыли. Проба состоит из разнородных, разноцветных частиц пыли, песка, угля и прочих вкраплений, что, вероятно, связано с близостью дороги, которая в зимнее время посыпается шлаком и песком	Достаточно большое количество тяжелых металлов
2	Недалеко от церкви, на расстоянии 1 км от источника воздействия	Содержит вкрапления разнообразных частиц	Содержание ТМ незначительное
3	В лесном массиве на расстоянии 600 м от терминала	Содержит вкрапления разнообразных частиц	Содержание ТМ значительное
4	В лесном массиве на расстоянии 500 м, на 100 м ближе к терминалу	Содержит вкрапления разнообразных частиц	Содержание ТМ несколько выше, чем в пробе 3
5	Недалеко от источника загрязнения на другом берегу бухты Ванино в 200 м от терминала	Содержит вкрапления четко выраженных угольных частиц разных размеров	Содержание ТМ высокое
6	Недалеко от п. Октябрьский, на расстоянии 1,5 км от источника	Рассматривается как фоновая проба в связи с наименьшими концентрациями загрязнителей. Содержит вкрапления разнообразных частиц	Содержание ТМ минимальное

Table 1

Description of snow sampling points and their characteristics

Sample No.	Sampling location (Fig. 1)	Sample characteristics	Relative TM content (Table 2)
1	Not far from the administration of the village of Vanino, 1 km from the terminal	The snow section has 3 pronounced layers with a high dust content. The sample consists of heterogeneous, multicolored particles of dust, sand, coal and other inclusions, which is probably due to the proximity of the road, which in winter is sprinkled with slag and sand	Quite a large amount of heavy metals
2	Not far from the church, at a distance of 1 km from the source of the impact	Contains inclusions of various particles	The content of heavy metals is insignificant
3	In a wooded area at a distance of 600 m from the terminal	Contains inclusions of various particles	The content of heavy metals is significant
4	In a wooded area at a distance of 500 m, 100 m closer to the terminal	Contains inclusions of various particles	The content of heavy metals is slightly higher than in sample 3
5	Not far from the source of pollution on the other side of Vanino Bay, 200 m from the terminal	Contains inclusions of distinct carbon particles of different sizes	Heavy metal content is high
6	Not far from the village of Oktyabrsky, at a distance of 1.5 km from the source	It is considered as a background sample due to the lowest concentrations of pollutants. Contains inclusions of various particles	The content of heavy metals is minimal

Концентрации тяжелых металлов в талой воде, полученной после таяния проб снега, сравнивались с ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (СанПиН 1.2.3685–21) и ПДК химических веществ в воде водных объектов

рыбохозяйственного значения² (табл. 1). В связи с тем, что ручей Чистоводный, впадающий в бухту Ванино, нерестовый и прибрежная полоса является местом нереста разных видов рыб, сравнение производим с рыбохозяйственными ПДК³.

Таблица 2

Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов и мышьяка в пробах талой воды*

Наименование показателя	Проба № 1, мг/л	Проба № 2, мг/л	Проба № 3, мг/л	Проба № 4, мг/л	Проба № 5, мг/л	Проба № 6, мг/л	ПДК _{х-п} , мг/л	ПДК _{р-х} , мг/л
Барий	0,161	0,031	0,052	0,063	0,091	0,033	0,7	0,74
Ванадий	0,004	0,001	0,008	0,004	0,004	0,002	0,1	0,001
Марганец	0,23	0,043	0,111	0,132	0,097	0,063	0,1	0,01
Медь	0,024	0,007	0,014	0,013	0,01	0,007	1,0	0,001
Мышьяк	0,009	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,01	0,05
Никель	0,028	0,005	0,022	0,013	0,014	0,006	0,02	0,01
Свинец	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	0,006
Стронций	0,215	0,091	0,112	0,121	0,	0,1	7	0,4
Хром ³⁺	0,007	0,001	0,005	0,001	0,006	0,001	-	0,07
Цинк	0,115	0,033	0,066	0,059	0,035	0,041	1,0	0,01

* Желтым цветом выделено превышение ПДК_{р-х}, красным превышение ПДК_{х-п}.

Table 2

Comparative analysis of heavy metals and arsenic content in melt water samples*

The name of the indicator	Sample No. 1, mg/l	Sample No. 2, mg/l	Sample No. 3, mg/l	Sample No. 4, mg/l	Sample No. 5, mg/l	Sample No. 6, mg/l	MPC _{b-c} , mg/l	MPC _{r-s} , mg/l
Barium	0.161	0.031	0.052	0.063	0.091	0.033	0.7	0.74
Vanadium	0.004	0.001	0.008	0.004	0.004	0.002	0.1	0.001
Manganese	0.23	0.043	0.111	0.132	0.097	0.063	0.1	0.01
Copper	0.024	0.007	0.014	0.013	0.01	0.007	1.0	0.001
Arsenic	0.009	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.05
Nickel	0.028	0.005	0.022	0.013	0.014	0.006	0.02	0.01
Lead	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01	0.006
Strontium	0.215	0.091	0.112	0.121	0.	0.1	7	0.4
Chrom ³⁺	0.007	0.001	0.005	0.001	0.006	0.001	-	0.07
Zinc	0.115	0.033	0.066	0.059	0.035	0.041	1.0	0.01

*The excess of MPC_{r-s} is highlighted in yellow, the excess of MPC_{b-c} is highlighted in red. (MPC_{b-c} of chemicals in the water of water bodies of economic, drinking and cultural water use and MPC_{r-s} of chemicals in water of fishery significance).

Превышение ПДК_{р-х} отмечено во всех пробах по марганцу (в 4,3–23 раза), меди (в 7–24 раза) и цинку (в 4,1–14,5 раза). По ванадию

² «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» СанПиН 1.2.3685-21 // АО «Кодекс» – компьютерная справочная правовая система. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 20.04.2022).

³ Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 года № 552 // АО «Кодекс» – компьютерная справочная правовая система. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 20.04.2022).

превышение ПДК_{р-х} (в 2–8 раз) имеет место в 5 пробах (кроме второй), по никелю (в 1,3–2,8 раза), кроме первой и шестой проб.

В 2017 г. порт Ванино ввел в эксплуатацию стационарный пост мониторинга атмосферного воздуха, установив его на ближайшей границе жилой зоны, что оправданно с точки зрения воздействия на население, но не дает объективной информации о воздействии на окружающую среду в целом.

Заключение

Существующие системы онлайн-мониторинга атмосферного воздуха имеют множество преимуществ, но есть и недостатки, к ним относится неполный охват веществ, в том числе тяжелых металлов. Поэтому целесообразно дополнить их другими методами периодического контроля. Таким методом может быть исследование снежного покрова, которое дает хорошие результаты при низкой сложности и небольших затратах. Этот метод также можно использовать при предварительных исследованиях для определения мест расположения стационарных постов, в том числе фоновых. По результатам анализа можно провести районирование города по интенсивности загрязнения, а также выбрать места для исследования почв как основной депонирующей среды, в которую попадают загрязнители после снеготаяния.

Список литературы

- [1] Матвеевко Т.И. К проблеме мониторинга состояния снежного покрова в зоне влияния теплоэлектростанции // Экологические системы и приборы. 2007. № 2. С. 27–30.
- [2] Бондарев Л.Д. Экологическое состояние России. М.: Академия, 2004. 128 с.
- [3] Василенко В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 105 с.
- [4] Чагина Н.Б., Айвазова Е.А., Иванченко Н.Л., Варакин Е.А., Соболев Н.А. Исследование содержания тяжелых металлов в снеговом покрове г. Архангельска и оценка их влияния на здоровье населения // Arctic Environmental Research. 2016. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-soderzhaniya-tyazhelyh-metallov-v-snegovom-pokrove-g-arhangelska-i-otsenka-ih-vliyaniya-na-zdorovie-naseleniya> (дата обращения: 25.04.2022).
- [5] Степанова М.В. Содержание тяжелых металлов в снежном покрове разного функционального назначения // АгроЭкоИнфо. 2020. № 3(41). С. 16. EDN YBXUTL.
- [6] Парадина Л.Ф., Хахураев О.А., Сутурин А.Н. Изменение антропогенной нагрузки на снежный покров Южного Байкала в связи с закрытием Байкальского целлюлозно-бумажного комбината // МНИЖ. 2019. № 1–1 (79). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-antropogennoy-nagruzki-na-snezhnyy-pokrov-yuzhnogo-baykala-v-svyazi-s-zakrytiem-baykalskogo-tsellyulozno-bumazhnogo-kombinata> (дата обращения: 25.04.2022). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.79.1.016>
- [7] Тигеев А.А., Аксёнов Н.В., Московченко Д.В., Пожитков Р.Ю. Оценка пылевого загрязнения атмосферы наземными и дистанционными методами (на примере г. Тобольск) // Географический вестник. 2021. № 2 (57). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-pylevogo-zagryazneniya-atmosfery-nazemnymi>

- i-distantionnymi-metodami-na-primere-g-tobolsk (дата обращения: 25.04.2022). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-121-134>
- [8] Коковкин В.В., Рапута В.Ф. Мониторинг макрокомпонентного состава снежного покрова в окрестностях ТЭЦ-5 г. Новосибирска // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2020. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-makrokomponentnogo-sostava-snezhnogo-pokrova-v-okrestnostyah-tets-5-g-novosibirska> (дата обращения: 25.04.2022). <https://doi.org/10.33764/2618-981-X-2020-4-1-49-56>
- [9] Сонин Г.В. Кондуктометрический метод анализа атмосферных осадков и природных вод. Казань, 1997.
- [10] Лукьянов А.И., Майорова Л.П. Оценка пылевой нагрузки на снежный покров в районе порта Ванино // *Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона: материалы II Международного научно-практического форума*, Хабаровск, 04 мая 2017 года. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2017. С. 111–115. EDN YTBVYLF.
- [11] Майорова Л.П. Моделирование распространения взвеси угольной пыли при хранении и погрузочно-разгрузочных работах в портах (на примере порта Ванино) // *Инновации и инвестиции*. 2021. № 7. С. 89–94. EDN URYDGE.

References

- [1] Matveenko TI. On the problem of monitoring the state of snow cover in the zone of influence of a thermal power plant. *Ecological systems and devices*. 2007;(2):27–30. (In Russ.)
- [2] Bondarev LD, Dolgushin BS, Zalogin VD. *Ecological state of Russia: studies*. Moscow: Academy Publ.; 2004. (In Russ.)
- [3] Vasilenko VN. *Monitoring of snow cover pollution*. Leningrad: Hydrometeoizdat; 1985. 105 p. (In Russ.)
- [4] Chagina NB, Aivazova EA, Ivanchenko NL, Varakin EA, Sobolev NA. Investigation of the content of heavy metals in the snow cover of Arkhangelsk and assessment of their impact on public health. *Arctic Environmental Research*. 2016;(4) Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-soderzhaniya-tyazhelyh-metallov-v-snegovom-pokrove-g-arhangelska-i-otsenka-ih-vliyaniya-na-zdorovie-naseleniya> (accessed: 04.25.2022). (In Russ.)
- [5] Stepanova MV, Ostapenko VA. The content of heavy metals in the snow cover of various functional purposes. *AgroEcoInfo*. 2020;3(41):16. (In Russ.)
- [6] Paradina LF, Khakhuraev OA, Sutorin AN. Changes in anthropogenic load on the snow cover of Southern Baikal in connection with the closure of the Baikal pulp and paper Mill. *International Research Journal*. 2019;1.1(79). (In Russ.) Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-antropogennoy-nagruzki-na-snezhnyy-pokrov-yuzhnogo-baykala-v-svyazi-s-zakrytiem-baykalskogo-tsellyulozno-bumazhnogo-kombinata> (accessed: 04.25.2022). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.79.1.016>
- [7] Tigeev AA, Aksenov NV, Moskovchenko DV, Pozhitkov RYu. Assessment of dust pollution of the atmosphere by ground and remote methods (on the example of Tobolsk). *Geographical Bulletin*. 2021;2(57). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-pylevogo-zagryazneniya-atmosfery-nazemnymi-i-distantionnymi-metodami-na-primere-g-tobolsk> (accessed: 04.25.2022). (In Russ.) <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-121-134>
- [8] Kokovkin VV, Raputa VF. Monitoring of the macro-component composition of snow cover in the vicinity of the CHPP-5 of Novosibirsk. *Interexpo Geo-Siberia*. 2020;(1). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-makrokomponentnogo>

sostava-snezhnogo-pokrova-v-okrestnostyah-tets-5-g-novosibirska (accessed: 04.25.2022). (In Russ.) <https://doi.org/10.33764/2618-981-X-2020-4-1-49-56>

- [9] Sonin GV. *Conductometric method of analysis of atmospheric precipitation and natural waters*. Kazan; 1997. (In Russ.)
- [10] Lukyanov AI, Mayorova LP. *Assessment of dust load on snow cover near the port of Vanino. Natural resources and ecology of the Far Eastern region: materials of the II International Scientific and Practical Forum, Khabarovsk, May 04, 2017*. Khabarovsk: Pacific National University; 2017. p. 111–115. (In Russ.)
- [11] Mayorova LP, Lukyanov AI, Dahova EV. Modeling of the distribution of coal dust suspension during storage and loading and unloading operations in ports (on the example of the port of Vanino). *Innovation and investment*. 2021;7:89–94. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Лукиянов Алексей Игоревич, преподаватель кафедры экологии, ресурсопользования и безопасности жизнедеятельности, Тихоокеанский государственный университет, Российская Федерация, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136. ORCID: 0000-0002-6936-6807, eLIBRARY SPIN-код: 6952-7589. E-mail: 008362@pnu.edu.ru

Дахова Екатерина Валерьевна, преподаватель кафедры экологии, ресурсопользования и безопасности жизнедеятельности, Тихоокеанский государственный университет, Российская Федерация, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136. ORCID: 0000-0003-0179-8563, eLIBRARY SPIN-код: 6871-2827. E-mail: 010770@pnu.edu.ru

Майорова Людмила Петровна, доктор химических наук, доцент, и.о. зав. кафедрой кафедры экологии, ресурсопользования и безопасности жизнедеятельности, Тихоокеанский государственный университет, Российская Федерация, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136. ORCID: 0000-0002-6326-982X, eLIBRARY SPIN-код: 5904-3031. E-mail: 000318@pnu.edu.ru

Bio notes:

Alexey I. Lukyanov, Lecturer of the Department of Ecology, Resource Management and Life Safety, Pacific National University, 136 Pacific St, Khabarovsk, 680035, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6936-6807, eLIBRARY SPIN-code: 6952-7589. E-mail: 008362@pnu.edu.ru

Ekaterina V. Dahova, Lecturer of the Department of Ecology, Resource Management and Life Safety, Pacific National University, 136 Pacific St, Khabarovsk, 680035, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0179-8563, eLIBRARY SPIN-code: 6871-2827. E-mail: 010770@pnu.edu.ru

Lyudmila P. Mayorova, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Department of Ecology, Resource Management and Life Safety, Pacific National University, 136 Pacific St, Khabarovsk, 680035, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6326-982X, eLIBRARY SPIN-code: 5904-3031. E-mail: 000318@pnu.edu.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-417-427

UDC 551.547

Research article / Научная статья

Assessment of the degree of air pollution by fluctuating asymmetry of leaves of various tree species

Bibigul E. Gubasheva¹, Guldana Z. Idrissova¹,
Artur N. Tumenov², Ruslan R. Miftakhov¹

¹NJSC “West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan”,
Uralsk, Republic of Kazakhstan

²West Kazakhstan Branch of the Scientific Production Center of Fisheries,
Uralsk, Republic of Kazakhstan

bibigul690305@mail.ru

Abstract. Fluctuating asymmetry of the hanging birch (*Betula pendula* Roth), black poplar (*Populus nigra* L.), common ash (*Fraxinus excelsior* L.), common maple (*Acer platanoides* L.), common lilac (*Syringa vulgaris*) was evaluated as an integral measure based on five morphometric features of the plate. Samples of the leaf apparatus were taken at each point of technogenic load from the lower part of the crown of several close-growing trees of *Betula pendula* Roth, *Populus nigra*, *Fraxinus*, *Acer platanoides* and *Syringa* randomly select 30 intact leaves from each tree. In the future, calculations of the coefficient of fluctuating asymmetry were carried out in order to obtain an average value that determines the quality of the air environment corresponding to a certain score. An attempt was also made to find the correlation relationship of each bilateral feature with the average coefficient of fluctuating asymmetry. As a result, the correlation coefficient was equal to one, which corresponds to a high correlation. Considering this circumstance, it was decided to find a connection between the correlation dependence of the fluctuating asymmetry of the hanging birch with the fluctuating asymmetry of the leaf apparatus of poplar, maple, ash and lilac. The correlation coefficients were close to one, which made it possible to compile regression equations, with the help of which air quality assessment scales were compiled.

Keywords: birch, fluctuating asymmetry, leaf apparatus, correlation coefficient, coefficient of fluctuating asymmetry

Acknowledgements and Funding: The work was carried out within the framework of the initiative topic “Assessment of the degree of air pollution by fluctuating asymmetry of leaves of various tree species” and the topic of the master’s thesis “Assessment of atmospheric air of urbanized territories in zones of various technogenic loading of Uralsk”.

© Gubasheva B.E., Idrissova G.Z., Tumenov A.N., Miftakhov R.R., 2022



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

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

Article history: received 22.03.2022; accepted 22.06.2022.

For citation: Gubasheva BE, Idrissova GZ, Tumenov AN, Miftakhov RR. Assessment of the degree of air pollution by fluctuating asymmetry of leaves of various tree species. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(1):417–427. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-417-427>

Оценка степени загрязнения воздушной среды по флуктуирующей асимметрии листьев различных древесных пород

Б.Е. Губашева¹  , Г.З. Идрисова¹ , А.Н. Туменов² , Р.Р. Мифтахов¹ 

¹НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана»,
Уральск, Республика Казахстан

²Западно-Казахстанский филиал научного производственного центра рыбного хозяйства,
Уральск, Республика Казахстан
 bibigul690305@mail.ru

Аннотация. Флуктуирующая асимметрия березы повислой (*Betula pendula* Roth), тополя черного (*Populus nigra* L.), ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.), клена обыкновенного (*Acer platanoides* L.), сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris*) оценивалась как интегральная мера по пяти морфометрическим признакам пластинки. В каждой точке техногенной нагрузки из нижней части кроны нескольких близкорастущих деревьев березы повислой (*Betula pendula*), тополя черного (*Populus nigra*), ясеня (*Fraxinus*), клена обыкновенного (*Acer platanoides*) и сирени (*Syringa*) случайным образом отбирались образцы листового аппарата по 30 неповрежденным листьям с каждого дерева. В дальнейшем проводились расчеты коэффициента флуктуирующей асимметрии с целью получения средней величины, которая определяет качество воздушной среды, соответствующее определенному баллу. Также была сделана попытка найти корреляционную взаимосвязь каждого билатерного признака со средним коэффициентом флуктуирующей асимметрии. В итоге коэффициент корреляции был равен единице, что соответствует высокой корреляционной связи. Учитывая данное обстоятельство, было принято решение найти связь между корреляционной зависимостью флуктуирующей асимметрии березы повислой с флуктуирующей асимметрией листового аппарата тополя, клена, ясеня и сирени. Коэффициенты корреляции были близки к единице, что позволило составить уравнения регрессии, с помощью которых были составлены шкалы оценки качества воздушной среды.

Ключевые слова: береза, флуктуирующая асимметрия, листового аппарат, коэффициент корреляции, коэффициент флуктуирующей асимметрии

Благодарности и финансирование: Работа выполнена в рамках инициативной темы «Оценка степени загрязнения воздушной среды по флуктуирующей асимметрии листьев различных древесных пород» и темы магистерской диссертации «Оценка атмосферного воздуха урбанизированных территорий в зонах различной техногенной нагрузки г. Уральска».

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

История статьи: поступила в редакцию 22.03.2022; принята к публикации 22.05.2022.

Для цитирования: *Gubasheva B.E., Idrissova G.Z., Tumenov A.N., Miftakhov R.R.* Assessment of the degree of air pollution by fluctuating asymmetry of leaves of various tree species // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 417–427. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-417-427>

Introduction

The assessment of the stability of the development of living organisms is based on the analysis of their morphological structures, which represents minor directional differences in morphological characteristics from normative indicators arising as a result of violations of these signs in conditions of negative development. In the normal state of the OS, the level of their deviations is minimal, with increasing negative effects it increases, which leads to an increase in asymmetry. This method of assessing the quality of the OS is quite sensitive and allows you to record even minor deviations in the parameters of the environment, which do not yet lead to a significant decrease in the vital activity of the individual.

Plants have a wide popularity in the bioindication assessment of the air environment. The attached lifestyle forces them to adapt to adverse environmental changes by activating their physiological processes.

Since higher plants lead a stationary lifestyle, the processes of turbulent mixing of polluting components of the air environment, which together with CO₂ enter the plants, play a major role here.

The method of determining the quality of atmospheric air by the fluctuating asymmetry of the elevator apparatus of trees is not complicated. However, this method is based on painstaking work, in which a large number of leaves and measurements are analyzed. For example, for analyses of only 30 leaves, 300 measurements and 150 calculations are required, and if samples are taken from 5 trees, then the number of informative indicators determined increases to 1500. An increase in the complexity of work in a certain way reduces the efficiency of air diagnostics.

The hanging birch is not an indigenous species of WKO trees. It is available in the regional center and some other regional centers of the region. Therefore, it is impossible to determine the state of air quality where there is no birch for other trees, since scales for determining the degree of air purity by the fluctuating asymmetry of their leaves have not been developed for them. Such widespread bioindicator trees in the West Kazakhstan region include black poplar, common maple, common ash and common lilac, which belong to semi-shrubs.

The aim of the research. To assess the degree of air pollution by various types of trees with the determination of the scale of their individual bioindication characteristics, as well as to calculate a number of model equations that

significantly reduce the time to assess the quality of the air environment in any locality without reducing the accuracy of the determination in comparison with the classical method.

Material and methods

In the course of the research, the impact of anthropogenic impact on the quality of the air environment was assessed in five places in the city of Uralsk, West Kazakhstan region of the Republic of Kazakhstan: Kirov City Park, railway and bus station, thermal power plant, central market.

The bioindication method for determining the degree of air pollution by the fluctuating asymmetry of the leaf apparatus of the hanging birch (*Betula Pendula* L.) was used as the basis for assessing the quality of the air environment in zones of various anthropogenic loads.

The principle of the method is based on the detection of violations of the symmetry of the development of the leaf plate of woody and herbaceous plant forms under the influence of anthropogenic factors.

The purpose of this analysis was an integral express assessment of the quality of the habitat of living organisms by the fluctuating asymmetry of the leaf plate of the hanging birch (*Betula Pendula* Roth). The magnitude of the fluctuating asymmetry of the leaf apparatus of the hanging birch was determined by five bilateral signs:

1. The width of the leaf blade to the left and right of the central vein.
2. The distance from the beginning to the end of the second vein.
3. The inter-vein distance inside the leaf between the first and second veins.
4. The inter-vein distance outside the leaf between the first and second veins.
5. The angle formed by the central vein and the direction of the second vein of the leaf [1].

The collection of the leaf apparatus of the hanging birch (*Betula Pendula*), black poplar (*Populus nigra*), ash (*Fraxinus*), common maple (*Acer platanoides*) and lilac (*Syringa*) was carried out after the complete completion of intensive leaf growth, i.e. from September 13 to 20, 2021. For the selection of the leaf apparatus, medium-aged plants were used, excluding young and old.

From each tree at arm's length and only from the shortened shoots, 30 whole, undamaged leaves are selected. Further analytical work with the measurements of the sheet apparatus was carried out in the laboratory of the university, where the left and right bilaterals of each sheet were carefully measured.

Measurements of bilateral signs were carried out using a caliper, ruler and protractor. The data obtained were entered into a workbook.

Based on the results of the data obtained, the coefficient of fluctuating leaf asymmetry was determined for each indicator. The coefficient of fluctuating asymmetry of leaves was determined by the formula proposed by V.M. Zakharov as the ratio of the difference between the left and right values of a feature to its sum [2]:

$$\delta_d^2 \frac{\sum(d_{l-r} - M_d)^2}{n-1}, \quad (1)$$

$M_d = \frac{\sum d_{l-r}}{n}$ – average difference between the sides;

$d_{l-r} = \frac{2d_l - d_r}{d_l + d_r}$ – difference of feature values between the left (l) and right (r)

sides; n is the number of samples.

Qualitative signs are calculated by the percentage of the sum of asymmetric leaves:

$$M_A = \frac{n_a}{n_a + n_c}, \quad (2)$$

where, n_a is the number of asymmetric individuals; n_c is the number of symmetrical leaves.

In the future, the coefficient of fluctuating asymmetry was determined by the indicators and in general by the sheet plate, which was the total coefficient of fluctuating asymmetry.

The data of the average coefficient of asymmetry for all thirty leaves were compared with the tabular value by which the quality of atmospheric air was determined [3].

Research results and their discussion

As a basis for assessing the degree of disturbance of the stability of the development of the leaf apparatus, a five-point scale developed for the hanging birch was used, according to which the level of pollution of the studied territory was determined (Table 1) [4–5].

Table 1

Scale for assessing the quality of the air environment
by the coefficient of fluctuating asymmetry of the hanging birch

Pollution score				
1 (clear)	2 (relatively clean)	3 (polluted)	4 (dirty)	5 (very dirty)
<0.055	0.056–0.060	0.061–0.065	0.066–0.070	>0.070

The reaction of the considered bilateral signs of the hanging birch in the places of the observed objects of research was ambiguous and was estimated within 1–4 points (Table 2).

The places of the bus station and the park area were the least polluted. The FA coefficient of the hanging birch leaf plate here was 0.027 and 0.044. For these places, the atmospheric air quality score was one, which corresponds to a good purity of the air environment.

For industrial sites and the central market, the environmental situation with air quality was at the level of the third and fourth points.

The effect of pollutants was observed on all bilateral signs of the leaf plate of the hanging birch.

As expected, the bioindication method for determining the degree of air pollution shows the presence of anthropogenic load on living organisms, not one of any pollutants, but their total exposure, determined by their chemical reactions with

each other [6]. Thus, the assessment of the influence of external factors on the bioindicator (hanging birch) allows us to consider the coefficient of fluctuating asymmetry of its leaf plate as a set of processes occurring in the air and determined by five bilateral signs.

Table 2

The value of the fluctuating asymmetry of birch leaf blades in various places of determination

Place of definition	Definition parameters				Angle	Coefficient of fluctuating asymmetry	Atmospheric air quality score
	Width of leaf	Length of the second vein	Distance between the veins				
			Inside the leaf	Outside the leaf			
Park	0.013	0.020	0.057	0.028	0.021	0.027	1
Bus station	0.022	0.033	0.083	0.046	0.035	0.044	1
TPS	0.031	0.047	0.116	0.066	0.052	0.063	3
Central market	0.033	0.050	0.128	0.070	0.053	0.667	4
Railway station	0.030	0.045	0.116	0.064	0.048	0.061	3

Considering this circumstance, according to the indicator indicators of the hanging birch, an attempt was made to determine the correlation relationship of the average coefficient of fluctuating asymmetry with each of the five determined parameters of the leaf separately, the width of the leaf, the length of the vein, etc.

Correlation dependence determines the quantitative relationship of the quantity of interest with the factors affecting it. Thus, this dependence makes it possible to predict with certain accuracy the results of the relationship of the quality of the air environment with a certain bilateral sign of the hanging birch [7].

Determination of the arithmetic mean was

$$by\bar{x} = 0.129 \div 5 = 0.0258, by\bar{y} = 0.262 \div 5 = 0.0524$$

Then the squares of the relations are calculated:

$$\Sigma (x - \bar{x}) = \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 \div n = 0.0036032 - (0.129)^2 \div 5 = 0.000275$$

$$\begin{aligned} \Sigma (y - \bar{y}) &= \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2 \div n = 0.014844 - (0.262)^2 \div 5 = \\ &= 0.0011152 \quad \Sigma (x - \bar{x})(y - \bar{y}) = \Sigma xy - (\Sigma x \times \Sigma y) \div n = \\ &= 0.007313 - (0.129 \times 0.262) \div 5 = 0.0005534. \end{aligned}$$

The correlation coefficient is determined by the formula:

$$r = \frac{\Sigma (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x - \bar{x})^2 \times (y - \bar{y})^2}} = \frac{0.0005534}{\sqrt{0.000275 \times 0.0011152}} = 0.998.$$

It is believed that at $r < 0.3$ the correlation between the signs is weak. At $r = 0.3-0.7$ – average, and at $r > 0.7$ – strong.

In the future, to assess the reliability of the calculated correlation coefficient, its error, and the significance criterion and confidence intervals are calculated [8].

The standard error of the correlation coefficient is determined by the formula:

$$S_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0.998^2}{5 - 2}} = 0.032,$$

$$t_{05} = 3.18.$$

The confidence interval is determined using the Student's criterion, which is found in the table, the number of degrees of freedom is assumed to be $n - 2$:

$$r \pm t_{05} \times S_r = 0.998 \pm 3.18 \times 0.032 = 0.998 \pm 0.10.$$

Thus, it can be seen that the correlation coefficient of the first bilateral feature with the coefficient of fluctuating asymmetry turned out to be close to one, which indicates a very strong dependence, and the confidence interval indicates the size of the boundaries of the estimated parameter.

Table 3

Calculation of auxiliary quantities for calculating the correlation coefficient of the first bilateral feature of the leaf plate with the coefficient of fluctuating asymmetry

Pair number	Feature values		x^2	y^2	xy^2
	x (width of leaf)	y (coefficient of fluctuating asymmetry)			
Park	0.013	0.027	0.000169	0.000729	0.000351
Busstation	0.022	0.044	0.000484	0.001936	0.000968
TPS	0.031	0.063	0.000961	0.003969	0.001953
Central market	0.033	0.067	0.001089	0.004489	0.002211
Railway station	0.030	0.061	0.000900	0.003721	0.001830
Sum	$\Sigma x = 0.129$	$\Sigma y = 0.262$	$\Sigma x^2 = 0.003603$	$\Sigma y^2 = 0.014844$	$\Sigma xy^2 = 0.007313$

Similarly, the correlation coefficients of other bilateral signs with the coefficient of fluctuating asymmetry were calculated, which also showed their high correlation dependence (Table 4).

Table 4

Calculated regression equations for all bilateral features

Bilateral sign	Correlation coefficient
Width of leaf	$r = 0.998 \pm 0.10$
Length of the vein of the second order from the base	$r = 0.997 \pm 0.2$
Distance between the bases of the first and second veins	$r = 0.983 \pm 0.318$
Distance between the ends of the first and second veins	$r = 0.992 \pm 0.22$
Angle between the main and second veins from the base of the leaf	$r = 0.978 \pm 0.48$

The high correlation relationship of the characteristic features of the hanging birch leaf plate with the coefficient of fluctuating asymmetry allowed us to further calculate the regression equation, which has the form:

$$y = \bar{y} + b_{yx} \times (x - \bar{x}).$$

$$\text{Regression coefficient } b_{yx} = \frac{\Sigma(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\Sigma(x - \bar{x})^2} = \frac{0.0005534}{0.000275} = 2.01.$$

Thus, the regression equation by which the total coefficient of fluctuating asymmetry can be calculated using the indicator of the width of the hanging birch plate is:

$$y = 0.0524 + 2.01(x - 0.0258) = 0.0524 + 2.01x - 0.0518 = 2.01x + 0.0006.$$

By entering into the regression equation the average value of the parameter to be determined (the width of the sheet) determined in a completely different point of the city, it is possible to quickly and with great accuracy establish the coefficient of fluctuating asymmetry, by which to determine the air pollution score.

Similarly, regression equations were calculated for other bilateral features of the birch leaf plate with a coefficient of their fluctuating asymmetry (Table 5).

Table 5

Calculated regression equations for each of the determined parameters of the fluctuating asymmetry of the hanging birch

Defined parameter	Regression equations
Width of the halves of the leaf	$y = 2.01x + 0.0006$
Length of the vein of the second order from the base	$y = 1.343x + 0.0001$
Distance between the bases of the first and second veins	$y = 0.519x + 0.0007$
Distance between the ends of the first and second veins	$y = 0.949x + 0.0004$
Angle between the main and second veins from the base of the leaf	$y = 1.218x + 0.0015$

Hanging birch is a good indicator of the quality of the air environment. However, in addition to it, there are other types of trees that have a high indicator ability. These are black poplar, common ash, common maple and such a shrub as lilac. These types of plants can grow where the birch is hanging, for some reason it may be absent. Determination of the state of the air quality by other types of trees will greatly simplify the process of tasks assigned to assess the quality of the air environment (Figure 1).

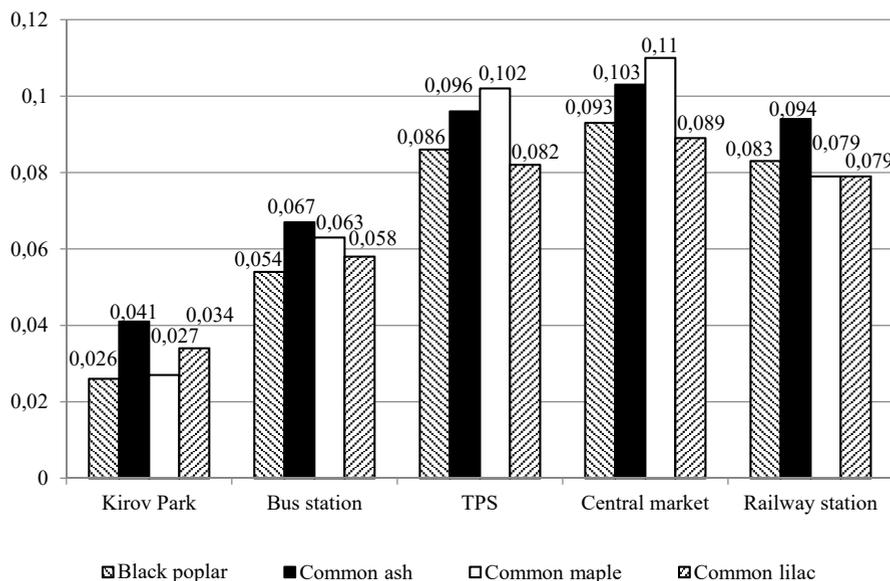


Figure 1. Coefficients of fluctuating asymmetry for other types of trees

All the above-mentioned indicators of fluctuating asymmetry of the studied tree species show that the influence of anthropogenic impact has almost the same reaction on them as in birch. However, these indicators were somewhat different than those of the hanging birch.

We also correlated the fluctuating asymmetry of the hanging birch with the fluctuating asymmetry of the leaf apparatus of poplar, maple, ash and lilac. Its value was with black poplar $r = 0.998 \pm 0.11$ with holly maple $r = 0.999 \pm 0.01$, with ash $r = 0.983 \pm 0.03$ with lilac $r = 0.998 \pm 0.12$.

In the future, taking as a basis a very high correctional relationship of the fluctuating asymmetry of the leaf apparatus of the hanging birch with the fluctuating asymmetry of the leaf apparatus of the black poplar, maple, ash and lilac, regression equations were calculated, with the help of which the boundaries of the air purity intervals were determined, which characterize the scale of pollution for each type of new bioindicators (Table 6).

Table 6

Air quality assessment scale based on the coefficient of fluctuating asymmetry of the sheet plate of the determined types of indicators

Bioindicator	Pollution score				
	1 (clear)	2 (relatively clean)	3 (polluted)	4 (dirty)	5 (very dirty)
<i>Betula pendula</i> Roth (x)	< 0.055	0.056–0.060	0.061–0.065	0.066–0.070	> 0.070
<i>Populus nigra</i> ($y = 1.7x - 0.07$)	< 0.074	0.075–0.082	0.083–0.091	0.091–0.099	> 0.099
<i>Fraxinus excelsior</i> ($y = 1.547x - 0.001$)	< 0.084	0.085–0.092	0.093–0.099	0.100–0.107	> 0.107
<i>Acer platanoides</i> ($y = 2.053x - 0.027$)	< 0.086	0.087–0.096	0.097–0.106	0.107–0.117	> 0.117
<i>Syringa vulgaris</i> ($y = 1.343x - 0.002$)	< 0.072	0.073–0.079	0.080–0.085	0.086–0.092	> 0.092

Certain interval boundaries allow you to set air pollution scores for black poplar, common ash, common maple and lilac. Thus, they allow, in the absence of a hanging birch, to determine the level of air pollution by other indicator plants.

Conclusion

During the study, a high correlation relationship was determined between the average coefficient of fluctuating asymmetry with all five bilateral signs separately, which ranged in sheet parameters from $r = 0.978 \pm 0.048$ to $r = 0.998 \pm 0.10$.

The high correlation relationship of the characteristic features of the leaf apparatus of the hanging birch with the coefficient of fluctuating asymmetry made it possible to calculate the regression equations for each leaf parameter separately.

The developed scales for determining the quality of atmospheric air by the coefficients of fluctuating asymmetry of black poplar, common ash and lilac make it possible to expand the range of species composition of indicator plants that quickly respond to the quality of the air environment under the influence of anthropogenic load.

References

- [1] Zakharov VM, Baranov AS, Borisov VI, Valetsky AV, Kryazheva NG, Chistyakova EK, Chubinishvili AT. *Environmental health: assessment methodology*. Moscow: Center for Environmental Policy of Russia; 2000. (In Russ.)

- [2] Zakharov VM, Chistyakova EK, Kryazheva NG. Homeostasis of development as a general characteristic of the state of the organism: correlation of morphogenetic and physiological parameters in the hanging birch. *Reports of the Russian Academy of Sciences*. 1997;357(2):281–283 (In Russ.)
- [3] Melekhova OP, Egorova EI, Evseeva TI. *Biological control of the environment: bioindication and biotesting*. Moscow: Publishing Center “Academy”; 2007. (In Russ.)
- [4] Melekhova OP, Sarapultseva EI. *Biological control of the environment. Bioindication and biotesting*. Moscow: Academy Publ; 2010. (In Russ.)
- [5] Streltsov AB. *Regional biological monitoring system*. Kaluga: Publishing House of the Kaluga Central Research Institute; 2003. (In Russ.)
- [6] Opekunova MG. *Bioindication of pollution: studies*. 2nd ed. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg University; 2016 (In Russ.)
- [7] Graham JH, Shimizu K, Emlen JM. Growth models and the expected distribution of fluctuating asymmetry. *Biological Journal of the Linnean Society*. 2003;80:57–65.
- [8] Dospikhov BA. *Methodology of Field Experience*. Moscow: Agropromizdat Publ; 1985. (In Russ.)

Список литературы

- [1] Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
- [2] Захаров В.М., Чистякова Е.К., Кряжева Н.Г. Гомеостаз развития как общая характеристика состояния организма: скоррелированность морфогенетических и физиологических показателей у березы повислой // Доклады РАН. 1997. Т. 357. № 2. С. 281–283.
- [3] Мелехова О.П., Егорова Е.И., Евсеева Т.И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 13 с.
- [4] Мелехова О.П., Сарapultseva Е.И. Биологический контроль окружающей среды. Биоиндикация и биотестирование. М.: Академия, 2010. 298 с.
- [5] Стрельцов А.Б. Региональная система биологического мониторинга. Калуга: Изд-во Калужского ЦНТИ, 2003.
- [6] Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений: учеб. пособие. 2-е изд. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2016. 300 с.
- [7] Graham J.H., Shimizu K., Emlen J.M. Growth models and the expected distribution of fluctuating asymmetry // Biol. J. Lin. Soc. 2003. Vol. 80. P. 57–65.
- [8] Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. С. 269–277.

Bio notes:

Bibigul E. Gubasheva, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Higher School of Ecology and Bioresources, Institute of Veterinary Medicine and Animal Husbandry, NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan», 51 Zhangir Khan St, Uralsk, 090009, Republic of Kazakhstan. ORCID: 0000-0003-2084-9434. E-mail: bibigul690305@mail.ru

Guldana Z. Idrissova, Senior Lecturer of the Higher School of Ecology and Bioresources, Institute of Veterinary Medicine and Animal Husbandry, NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan», 51 Zhangir Khan St, Uralsk, 090009, Republic of Kazakhstan. ORCID: 0000-0002-6941-4805. E-mail: kairgalieva_guldana@mail.ru

Artur N. Tumenov, PhD, Director of the West Kazakhstan Branch of the Scientific Production Center of Fisheries, 45 Zhangir khan St, Uralsk, 090009, Republic of Kazakhstan. ORCID: 0000-0001-7995-2001. E-mail: Artur_tumen@mail.ru

Ruslan R. Miftakhov, Master's student of the Higher School of Ecology and Bioresources, Institute of Veterinary Medicine and Animal Husbandry, NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan», 51 Zhangir Khan St, Uralsk, 090009, Republic of Kazakhstan. ORCID: 0000-0003-4654-3353. E-mail: rusmif99@mail.ru

Сведения об авторах:

Губашева Бибигуль Ерназаровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент высшей школы экологии и биоресурсов, Институт ветеринарной медицины и животноводства, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Республика Казахстан, 090009, Уральск, ул. Жангир хана, д. 51. ORCID: 0000-0003-2084-9434. E-mail: bibigul690305@mail.ru

Идрисова Гульдана Зинуллаевна, старший преподаватель высшей школы экологии и биоресурсов, Институт ветеринарной медицины и животноводства, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Республика Казахстан, 090009, Уральск, ул. Жангир хана, д. 51. ORCID: 0000-0002-6941-4805. E-mail: kaïrgalieva_guldana@mail.ru

Туменов Артур Насибуллаевич, доктор PhD, директор Западно-Казахстанского филиала научного производственного центра рыбного хозяйства, Республика Казахстан, 090009, Уральск, ул. Жангир хана, д. 45. ORCID: 0000-0001-7995-2001. E-mail: Artur_tumen@mail.ru

Мифтахов Руслан Радикович, магистрант высшей школы экологии и биоресурсов, Институт ветеринарной медицины и животноводства, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Республика Казахстан, 090009, Уральск, ул. Жангир хана, д. 51. ORCID: 0000-0003-4654-3353. E-mail: rusmif99@mail.ru



ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ENVIRONMENTAL EDUCATION

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-428-440
UDC 503.37:371.3

Research article / Научная статья

Ecological reflection and its verbalization in the Russian, English and French media discourse space: a comparative approach

Alla V. Guslyakova^{1,2}✉, Nina I. Guslyakova³, Nailya G. Valeeva¹

¹Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

²Moscow State Pedagogical University, Moscow, Russian Federation

³South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk, Russian Federation
✉aguslyakova@bk.ru

Abstract. The article covers the problem of ecological reflection and the ways of its linguistic realization in the Russian and foreign media discourse space at the present epoch of digitalization and sustainable development. The main goal of this research is to characterize the key linguistic ways of expressing ecological reflection at its individual and collective levels of information perception by human consciousness in Russian, English and French media discourses. The study contains a comparative approach towards the analysis of the language units that express ecological reflection in the media discourses of different language domains. This method helps define the relevance of the study, which is primarily explained by the increasing number of interactive media materials focused on the environmental issues of the third millennium. The results of the study demonstrate a different degree of the language expression of ecological reflection (evolutionary, mediative and radical) by means of a particular choice of linguistic instruments specific for a certain language media space. In the end, one common principle is identified in the expression of ecological reflection in the Russian, French and English media discourse space. Despite almost opposite linguistic approaches towards the implementation of ecological reflection in the Russian, English and French media, there is one common challenge that unites them all, and this is the survival of the planet as well as its further sustainable development. Thus, at this stage the language choice for the promotion

© Guslyakova A.V., Guslyakova N.I., Valeeva N.G., 2022



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

of eco-reflective ideas becomes convergent for three media discourse space of Russia, France and the English-speaking world.

Keywords: ecological reflection, media discourse space, Russia, English-speaking world, France, media effects, verbalization, evolutionary, mediative, radical

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

Article history: received 04.04.2022; accepted 15.07.2022.

For citation: Guslyakova AV, Guslyakova NI, Valeeva NG. Ecological reflection and its verbalization in the Russian, English and French media discourse space: a comparative approach. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):428–440. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-428-440>

Экологическая рефлексия и ее вербализация в российском, англоязычном и французском медиадискурсивном пространстве: сопоставительный аспект

А.В. Гуслякова^{1,2}✉, Н.И. Гуслякова³, Н.Г. Валеева¹

¹Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

²Московский педагогический государственный университет, Москва, Российская Федерация

³Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет,
Челябинск, Российская Федерация

✉aguslyakova@bk.ru

Аннотация. Рассматривается проблема экологической рефлексии и способы ее языковой реализации в российском и зарубежном медиадискурсивном пространстве в современную эпоху цифровизации и устойчивого развития. Основная цель научного исследования – охарактеризовать ключевые лингвистические способы выражения экологической рефлексии на ее индивидуальном и коллективном уровнях восприятия информации сознанием человека в российском, англоязычном и французском медиадискурсах. Исследование содержит сопоставительный подход к анализу языковых единиц, выражающих экологическую рефлексию в медиадискурсивном пространстве трех различных языковых доминионов. Данный метод позволяет определить актуальность исследования, выражающуюся, прежде всего, в постоянном увеличении объема медиаматериала, посвященного экологическим проблемам XXI столетия. Результаты исследования дают возможность оценить различную степень эмоциональной и интеллектуальной выраженности экологической рефлексии на языковом уровне ее восприятия (эволюционной, опосредованной и радикальной) в медиадискурсивном пространстве российских, англоязычных и французских СМИ. Кроме того, по результатам анализа практического материала исследования выделен общий принцип репрезентации экологической рефлексии в трех различных языковых медиадискурсивных пространствах России, Франции и стран англоязычного международного альянса. Вопреки практически противоположному лингвистическому подходу к языковой имплементации экологической рефлексии в российских, англоязычных и французских СМИ, существует единая задача, объединяющая все три международных медиадискурсивных пространства, которая заключается в выживании современной планеты и ее дальнейшем устойчивом развитии. Таким

образом, на данном этапе реализации цели по устойчивому развитию Земли в третьем тысячелетии выбор языковых средств на индивидуальном и коллективном уровнях рефлексивного восприятия разнообразных экологических идей становится конвергентным для всех трех медиадискурсивных пространств России, Франции и всего англоязычного мира.

Ключевые слова: экологическая рефлексия, медиадискурсивное пространство, Россия, англоязычный мир, Франция, медиаэффекты, вербализация, эволюционный, опосредованный, радикальный

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

История статьи: поступила в редакцию 04.04.2022; принята к публикации 15.07.2022.

Для цитирования: *Guslyakova A.V., Guslyakova N.I., Valeeva N.G.* Ecological reflection and its verbalization in the Russian, English and French media discourse space: a comparative approach // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 428–440. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-428-440>

Introduction

In recent decades more and more people across the globe are getting integrated into environmental activities due to the spread of Internet technologies and the popularity rise of new means of media communication. The creation of the Media Ecology Association in 1998 [1] on the North American continent contributed to the spread of the corresponding philosophical ideas aimed at understanding the relationships between such concepts as environments, media, human beings and interactions [ibid.]. Such an approach that suggested “the study of media as environments” [2] developed an ecological metaphor in diverse media texts and circumstances and regarded a technological change as primarily an ecological one [3]. The same approach has also helped people understand the concept that “a new medium does not add something; but it changes everything” [ibid.] including a person’s perception of the current global ecological challenges as well as their own roles in the system of sustainable development goals adopted by the United Nations in 2015.

Thus, **the main goal of this research** is to introduce the concept of ecological reflection through its correlation with the media discourse environment and analyze its ways of verbalization and media effects in different language cultures based on a comparative case study of the Russian, English and French societies.

This research comprises three major parts: first, we focus on the definition of ecological reflection and investigate its transforming role in the present-day global digital civilization. Second, we demonstrate how and why this concept is being actively verbalized in the media discourse space and what a psycholinguistic effect it can contribute to the modern society. Third and finally, we analyze the similarities and differences of the language implementation of ecological reflection in various national domains and summarize the main linguistic trends in its presentation at a contemporary digital age.

Methods and materials

The implementation of the research goal and tasks becomes possible due to the following complementary research methods: theoretical analysis of scientific literature on the presented problem, descriptive and comparative methods, statistical data processing and, finally, content and discourse analyses to uncover the key trends and patterns of ecological reflection verbalization in the media discourse space of Russia, English and French media worlds.

The materials of this work became the discourses of the leading Russian media editions (Vzglyad (“Delovaya Gazeta Vzglyad”), Vedomosti, Kommersant, Argumenty i Fakty, Lenta.ru, Komsomolskaya Pravda), media platforms (Rutube.com; Smotrim.ru, Vesti.ru), social media (VKontakte); English media editions (The Guardian, USA Today, The Washington Post, The Independent, The New York Times, The Sydney Morning Herald, Los Angeles Times, Toronto Star, The Irish Times, The Economist); English-language social media (Twitter) as well as a video hosting (YouTube); French media editions (Le Monde, Le Figaro, Le Parisien), a media platform France 24. The overall number of the analyzed printed characters dedicated to the problem of the linguistic implementation of ecological reflection is 400 000 while the total number of videos watched is 100 hours.

Ecological reflection in the global digital media environment of the XXIst century

Ecological reflection has become a cutting edge social phenomenon which is actively speculated in the first quarter of the third millennium. Reflection (or self-reflection, self-observation, reflective awareness and consciousness) is an individual’s ability to witness and evaluate his or her own cognitive, emotional, and behavioural processes [4; 5]. When we define ecological reflection, we mean the ability of a human being to understand their role in the construction of the sustainable environment on the internal and external levels of their interaction with the outer world. In recent decades people have started more and more frequently reflect on the number of ecological issues which appear and happen on the “blue” planet in the XXIst century. The notoriously discussed topics of climate change and global warming, maintaining biodiversity, deforestation, air, soil, and water pollution [6] are on the permanent agenda in the present-day global new media environment. The modernization of digital technologies goes hand in hand with the ecological modernization processes which have become “an effective ecological response to a variety of circumstances or imperatives regarding social-ecological thought” [7] since the beginning of the late 1970s, when a lot of various environmental movements appeared in different parts of the civilized world propagating the review of people’s attitude towards the exploitation of Nature. The current technological features of new media (e.g. online video sharing and social media platforms, digital TV and podcasts, online blogging and commenting) allow discovering, discussing and reflecting on the crucial challenges of environmental changes and thus developing adequate solutions to them.

It is important to mention that ecological reflection can be both collective and individual, depending on whether it represents a certain group's idea or a personal ecological worldview. A good example of a collective ecological reflection can be seen in the British media edition «The Economist», whose mission is to provide credible reflections or thoughts on the most «dramatic» environmental dilemmas of our century (see Figure 1).



Figure 1. An example of a collective ecological reflection based on the reports presented in the British media edition «The Economist». Available from: www.economist.com

The choice of words introduced in the lead (*a collective human endeavour, our journalists assess*) underline the importance of a collective exchange of environmental ideas and building group eco-consciousness so as «to meet the historic goals» of a more sustainable future.

One of the best examples of an individual ecological reflection is demonstrated in the Russian media edition “Vedomosti. Ecology” where the deputy general director of the Pipe Metallurgical Company (TMK) Vladimir Oborsky reflects on the principle of eco-volunteering in Russia. From his viewpoint, “Эковолонтерство – это внутренняя потребность человека, который борется за окружающую среду там, где проживает” [8]. (Eco-volunteering is an *internal human need*, who fights for the environment where he or she lives.)

Thus, we may see the linguistic opposition between a collective human endeavour and internal human need that define the understanding of the ecological reflection on both levels of consciousness – an individual and a group one.

The correlation between the language and human consciousness, their unity [9] constitute the basement for controlling human behaviour, knowing oneself and the existence of the external culture. They also help form the symbolic reality which constitutes the existence of a language [ibid.].

Therefore, analyzing the modern ecological reality by means of words in different languages and their inclusion in the world of media symbols which dominate at the present epoch, a much stronger image of ecological reflection can be perceived and better understanding of the evolution of the human ecological consciousness may be provided for the further scientific analysis.

Verbalization of ecological reflection through the media discourse space

The possibility of linguistic explication of ecological reflection draws a line between the human subconscious and consciousness which directly relate this problem to the process of speech generation and also becomes relevant in the framework of this research.

A Soviet psychologist L.S. Vygotsky singled out three stages that are responsible for generating a certain speech act: a motivation phase, internal verbalization (which marks the beginning of the verbal thinking stage) and finally its implementation in tangible external words [10]. The last stage is characterized by a deliberate selection of language tools necessary to express the speaker's thoughts. Deliberateness implies the presence of the goal of the action in the individual's mind, which is subject to the choice of each component of the statement – words, grammatical constructions, intonation and graphic means [11]. A person reflects about how the form of his or her speech message will contribute to the achievement of the introduced communication goals and produces conscious mental efforts [12] so as to reach those objectives. Thus, we may see that internal communicative factors interact with external ones [13].

At the current era external factors can be “understood as conditions that facilitate the emergence of one or another internal regularity of the language” [14]. In other words, social and technological conditions define the reflective mechanism of the language. Taking into account the transformation of the environmental policy in the present-day global society due to recent ecological challenges that Earth is facing today, we may suggest that this external factor impacts on the language and human ecological consciousness. Moreover, these linguistic changes affect directly human reflection on a verbalized level of its environmental functioning. In the paragraph below, we are going to introduce definite examples of the linguistic forms of ecological reflection and demonstrate its functioning in three different languages: Russian, English and French.

Language interpretation of ecological reflection in the Russian, English and French media discourse space: similarities and differences

The former first lady of the USA Jacqueline Kennedy Onassis once mentioned that “all the changes in the world, for good or evil, were first brought about *by words*” [15]. Understanding Nature and putting efforts to preserve it, starts with an individual's self-reflection focused on the environmental issues that are embodied in a specific set of language (lexical and grammar) structures. Depending on the

structure of the language itself, those sets will vary and hence the perception of the outer world with all the ecological challenges in it.

Table 1 below demonstrates three comparison groups of a key vocabulary extracted by means of the discourse and content analyses that deal with the examples of ecological reflection in the Russian, French and English media discourse space. We will take a closer look at their interpretation.

Table 1

Ecological reflection in key terms expressed in the Russian, English-language and French media discourse space

Media discourse	Key vocabulary
Russian	человек (Man), природа (nature), сознание (consciousness), антропоцентризм (anthropocentrism); нерушимая взаимосвязь (unbreakable interconnection), постоянное взаимодействие (constant interaction); наш общий дом (our common home); дальнейшее развитие нашего общества (further development of our society); противоречия (contradictions); человечество на грани экологической катастрофы (Humanity is on the verge of an ecological catastrophe); эволюция на протяжении всей нашей истории (evolution throughout our history); язык (language)
French	une politique ambitieuse de préservation de l'environnement (an ambitious environmental policy); une coalition (a coalition); une terre de conflits (a land of conflict); le combat (the combat); la catastrophe climatique (the climate disaster); l'affaire du siècle (the case of the century); le grand combat d'aujourd'hui (the great battle of today); un affect écologique universel (a universal ecological affect)
English	eco-warriors; a warlike culture; climate hawks; to adopt a wartime mentality; to stand in the way of victory; to fight climate change; a battle between rivals; The enemy is coming. The Climate mobilization; climate emergency; climate catastrophe; an us-versus-them narrative; severe devastation and suffering

A comparative and contrastive analysis of the similarities and differences between dominant Russian, English and French lexical units that stand behind ecological reflection and are actively functioning in the media discourse space prove that the problem of the protection and preservation of the ecological heritage on the planet is a contemporary global agenda for the whole humanity in the XXIst century. This is proved by the frequent usage of the word «catastrophe» in such collocations as Russian «экологическая» (ecological) as well as French «climatique» and English «climatic, climate» (экологическая катастрофа; la catastrophe climatique; climate catastrophe).

e.g. «*We can still avert catastrophe, but there is only a narrow window left to end the era of fossil fuels*» [16].

Almost the same idea but less radical can be found in the Russian and French media discourse space correspondingly.

e.g. «Судьба дальнейшего развития человечества зависит от того, насколько быстро будут найдены пути разрешения противоречий между ограниченными возможностями нашей биосферы и агрессивным по отношению к ней типом развития общества» [17]. (The fate of the mankind's further development depends on how quickly we will find the way to resolve the

contradictions between the limited capacities of our biosphere and the aggressive type of social development dominating today.)

e.g. «Cette Nature, qui était auparavant omniprésente, universellement et immédiatement accessible, devient *un produit de luxe*» [18]. (This Nature, which was previously omnipresent, universally and immediately accessible, becomes a luxury product.)

Quite an unusual metaphorical comparison with the world of exclusivity and privilege is presented in the French media discourse. The reflections on Nature, from the viewpoint of the collective author, demonstrate a change in its perception: from something omnipresent that modern society used to take for granted to the precious substance which is in deficit at present.

Despite the similar view of three different media discourse space on the catastrophic sequences of human activity towards the environment, we may clearly understand the distinction between the degree of emotional, intellectual and pragmatic inclusion of the reflective mechanism into the environmental problem solution, both individually and collectively in the Russian, English and French media domains.

Figure 2 below presents the level of change of ecological perception of the environmental issues in three different media languages.



Figure 2. A change in individual and collective ecological reflection represented in the Russian, French and English media discourse space:

RMD – Russian media discourse; FMD – French media discourse; EMD – English media discourse

The linguistic analysis of the ecological reflection represented on the Russian, French and English media platforms demonstrated a gradual change of the perception of ecology and environmental challenges as well as their problem-solving mechanisms from the evolutionary one (in the Russian media discourse) to moderately radical and mediative (in the French media discourse) and up to absolutely radical in the English language media discourse.

The key reflective idea that circulates in the Russian media discourse space is focused on the ecological changes in the human mind which allow people to perceive the environment not from the consumer's point of view, but as a grateful partner.

e.g. «Спасение природы — дело рук неравнодушных» [17]. («Saving Nature is the work of those who are passionate about Her».)

e.g. «Каждый из жителей планеты должен понять, что и он в ответе за те экологические проблемы, с которыми столкнулось человечество. Если не предпринимать никаких мер, то «венец природы» скоро сам окажется на

границ исчезновения» [ibid.]. («Each inhabitant of the planet must understand that they are also responsible for the environmental problems that humanity has faced. If no measures are taken, then the civilization will soon be on the verge of extinction»¹).

According to the reflective thoughts of the French media, the human civilization may face the extinction if no «environmental» coalition between countries is built today. At the same time, they are focusing on such key lexemes as *protectionnisme* (protectionism), *patriotisme économique* (economic patriotism), *frontiers* (national borders), *réindustrialisation* (reindustrialisation) and *démondialisation* (deglobalization).

e.g. «Sans protectionnisme, l'écologie est *un vain mot*, qui ne peut que nuire à notre économie et à nos emplois»². (Without protectionism, ecology is *an empty word*, which can only harm our economy and jobs.)

Thus, to make the «green» word sound sensible, one should balance between globalized and localized environmental worlds which eliminate political contradictions so as to reach a common sustainable goal in the end.

Contradictions (which can be natural as well as man-made) usually produce “a *battle* or a *game* in which winning or losing is the main concern”³. Fighting for a sustainable future of the planet and against the climate change becomes the main message introduced in the present-day English media discourse space. The key linguistic terms which are introduced in the English media today focus on the military sphere. «*War shapes our words*» [ibid.].

A Canadian journalist for the media edition «Toronto star» Melissa Gismondi is reflecting on the destruction effect of the First World War on the environment by reviewing a movie «1917» directed by a British film and stage director, producer, and screenwriter Sam Mendes. She mentions that «watching the movie I was struck by not just the horror of war, but the *horror war* does to the *environment*. «1917» is yet another reminder of everything *war destroys*»⁴. Meanwhile, one should mention that her future forecast sounds more or less optimistic as M. Gismondi highlights the idea of the environmental persistence.

e.g. «*Plant life* did what it does best in the face of destruction: *persist*. <...> In the midst of one of the *most brutal wars* the world has ever seen, Blake turns to the

¹ Bonnamy J.-L. L'écologie politique conduit à une catastrophe environnementale. *Le Figaro*. le 05 février, 2021. Available from: <https://www.lefigaro.fr/vox/societe/l-ecologie-politique-conduit-a-une-catastrophe-environnementale-20210205>. Accessed: July 15, 2022.

² Truong N. L'écologie, une terre de conflits. *Le Monde*. le 03 juin 2022. Available from: https://www.lemonde.fr/idees/article/2022/06/03/l-ecologie-une-terre-de-conflits_6128765_3232.html. Accessed: July 13, 2022.

³ Yoder K. To take on climate change, we need to change our vocabulary. *The Guardian*. December 16, 2018. Available from: <https://www.theguardian.com/us-news/2018/dec/15/to-take-on-climate-change-we-need-to-change-our-vocabulary>. Accessed: July 17, 2022.

⁴ Gismondi M.J. Film '1917' shows the environmental cost of war. *Toronto star*. February 7, 2020. Available from: <https://www.thestar.com/opinion/contributors/2020/02/07/film-1917-shows-the-environmental-cost-of-war.html>. Accessed: July 16, 2022.

environment for hope. He's confident that despite what human beings do, *flowers will bloom, trees will grow*. In the midst of our current climate crisis, this is a *hopeful message* but it feels like a naive one, too» [ibid.].

Thus, it is evident that there are different attitudes towards the environmental protection on the planet and various linguistic types of expression of the ecological reflection (basically on a semantic level of its realization) in three different media discourse space: in the Russian, French and English media worlds. At the same time one thing unites them all, and this is the idealized faith in the human solidarity which can become an effective instrument for the sustainable development of modern civilization.

e.g. «The «2030 Agenda» for sustainable development was signed <...> and includes a commitment *to end* global hunger, *fight* inequalities and *tackle* climate change – it also contained a "Leave No One Behind" promise»⁵.

e.g. «<...> люди уникальны. <...> сам человек является активной частью экосистемы, без влияния которой экосистема не будет развиваться гармонично. Человечество <...> должно разработать <...> модели мира, где локальные процессы и процессы масштаба, в которых со средой взаимодействуют конкретные физические и юридические лица, взаимосвязаны с глобальными процессами. Только так можно понять, что необходимо делать для устойчивого развития мира»⁶. (<...> people are unique. <...> man himself is an active part of the ecosystem. Without its influence human beings will not develop in harmony. Humanity <...> must develop <...> the world models, where local processes, in which specific individuals and legal entities interact with the environment, are interconnected with global processes. This is the only way to understand what needs to be done for the sustainable development of the planet.)

e.g. «*Ne laisser personne derrière*». Ce principe *est essentiel* dans un monde contemporain habité par de plus en plus de conflits, de radicalisation et d'émergence d'extrémismes dans nos sociétés. Ces objectifs nous *donnent une langue commune et des principes*».⁷ («Leave no one behind». This principle is essential in a contemporary world inhabited by more and more conflicts, radicalization and the emergence of extremism in our societies. These goals give us a common language and principles.)

Therefore, we may see quite a careful choice of extremely dynamic verbs and verbal collocations (to end, to fight, to tackle; быть уникальным (to be unique),

⁵ O'Sullivan K. Concerning lack of progress' on sustainable development in Ireland. The Irish Times. November 21, 2018. Available from: <https://www.irishtimes.com/news/politics/concerning-lack-of-progress-on-sustainable-development-in-ireland-1.3706168>. Accessed: July 10, 2022.

⁶ Stepanov O. "Sustainable development" will lead to the creation of a socialist concentration camp. Vzgljad. February 9, 2022. Available from: <https://vz.ru/opinions/2022/2/9/1141270.html>. Accessed: July 12, 2022. (In Russ.).

⁷ Barroux R. Développement durable: «Nous avons encore le choix de changer la trajectoire». Le Monde. le 16 juillet, 2018. Available from: https://www.lemonde.fr/planete/article/2018/07/16/developpement-durable-nous-avons-encore-le-choix-de-changer-la-trajectoire-pour-les-cinq-cents-prochaines-annees_5332037_3244.html. Accessed: July 13, 2022.

взаимодействовать (to interact), должно разработать (must develop); ne laisser personne (leave no one behind), donnent une langue commune et des principes (to give a common language and principles)) in the Russian, English and French media discourses. No doubt, they help reflect properly on a global sustainable development and prove the necessity of energetic actions so as to reconstruct the world civilization model in an eco-friendlier way.

Conclusion

Ecological reflection has become a crucial social experience of the first half of the XXIst century. It is being triggered and promoted in the global media discourse space due to a lot of environmental challenges recently occurred in the world. A linguistic content and discourse analysis have demonstrated the presence of three key domains of the language interpretation of this strategically important psychological phenomenon: evolutionary, politically moderate and mediative and finally radical ones. The thorough study of the semantic units and structures often used in the Russian, English and French media discourses showed the circulation of specific terms that denote natural, political and military reflective approaches towards the discussion of multiple environmental problems at the present moment.

One can face the most nature-oriented attitude towards the environment in the Russian media discourse space and the most military image of the ecological problem-solving mechanism in the English media domain. The presentation of environmental ideas in the modern French media discourse introduces more national dilemmas that the French politicians must deal with in case they want to build a much greener West European country on the European continent.

Nevertheless, taking into account the unique international policy of sustainable development adopted by the United Nations in 2015 and being popularized across the planet, one should highlight a common linguistic attitude towards the language interpretation of the ecological future of the globe. The reflective mechanism of environmental development is characterized by a variety of dynamic verbal collocations that create a constructive image of sustainability no matter what media language is being implemented. Such a linguistic approach towards the ecological reflection and its inclusion in the media discourse space brings hope that despite different language choice of ecological expression, the humanity will manage to build a common environmental language that will overcome social and political obstacles and construct a stable, green future.

References

- [1] Scolari CA. Media Ecology: Exploring the Metaphor to Expand the Theory. *Communication Theory*. 2012;(22):204–225.
- [2] Postman N. The reformed English curriculum. In: Eurich AC. (ed.) *High school 1980: The shape of the future in American secondary education*. Pitman Publishing Corporation; 1970.
- [3] Postman N. Five things we need to know about technological change. Talk delivered in Denver; 1998. Available from: <https://web.cs.ucdavis.edu/~rogaway/classes/188/materials/postman.pdf>. Accessed: July 30, 2022.

- [4] James W. *The principles of psychology* (Vol. 1). New York: Dover; 1981/1890. Available from: <http://www.public-library.uk/ebooks/50/61.pdf> (accessed: 12.07.2022).
- [5] Farthing GW. *The Psychology of Consciousness*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall; 1992.
- [6] Novacikova D. Environmental issues and reflection of their perception in internet media. *Communications*. 2017; 1:30–34.
- [7] Buttel FH. Reflections on the potentials of ecological modernization as a social theory. *Natures Sciences Sociétés*. 2000;8(1):5–12. Available from: <https://www.nss-journal.org/articles/nss/pdf/2000/01/nss20000801p5.pdf> (accessed: 12.07.2022).
- [8] Oborsky V. We are engaged in environmental education wherever the company is represented. *Vedomosti. Ecology*. 2022;5(7) (In Russ.). Available from: <https://cdn5.vedomosti.ru/application/2022/5m/rclby/original-zg1.pdf> (accessed: 12.07.2022).
- [9] Spirkin A. *Consciousness of the World and the World of Consciousness*. In *Dialectical Materialism*. Progress Publishers; 1983. Available from: <https://www.marxists.org/reference/archive/spirkin/works/dialectical-materialism/ch03-s03.html> (accessed: 12.07.2022).
- [10] Vygotsky LS. *Collected works: in 6 volumes. Volume 2. Problems of General Psychology*; 1982. (In Russ.).
- [11] Vygotsky LS. *Selected psychological studies*. Moscow: Publishing House of the Academy of Pedagogical Sciences of the RSFSR; 1956, p. 267–269. (In Russ.).
- [12] Khlebda V. Six considerations on the issue of linguistic self-awareness. In: *Russian Studies: The Linguistic Paradigm of the Late 20th Century*: collection of articles in honor of Professor S.G. Ilyenko. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University; 1998. p. 62–67. (In Russ.).
- [13] Veprava IT. *Language reflection in the post-Soviet era*. Yekaterinburg: Urals University Press Publ. 2002. p. 63. (In Russ.).
- [14] Krysin LP. *Sociolinguistic aspects of the study of the modern Russian language*. Moscow; 1989. p. 26. (In Russ.).
- [15] Overall motivation [Internet]. Available from: <https://www.overallmotivation.com/quotes/jackie-kennedy-quotes/> (accessed: 29.07.2022).
- [16] Editorial: There's little time left to save Earth from climate catastrophe. What U.S. politicians can do now. *Los Angeles Times*. April 8, 2022. Available from: <https://www.latimes.com/opinion/story/2022-04-08/us-climate-action-end-fossil-fuels> (accessed: 14.07.2022).
- [17] Man and nature: indestructible relationship, constant interaction. *Komsomolskaya Pravda*. Available from: <https://www.kp.ru/guide/chelovek-i-priroda.html> (accessed: 12.07.2022). (In Russ.).

Bio notes:

Alla V. Guslyakova, PhD in Philology, Associate Professor of the Department of Foreign Languages, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University) 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Contrastive Linguistics, Institute of Foreign Languages, Moscow State Pedagogical University, 1 Malaya Pirogovskaya St, bldg 1, Moscow, 119435, Russian Federation. E-mail: aguslyakova@bk.ru

Nina I. Guslyakova, Doctor of Sciences (Psychology), Professor of the Department of Technology and Psychological and Pedagogical Disciplines, Faculty of Science and Technology, South Ural State Humanitarian Pedagogical University 69 Lenina Prospekt, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation. E-mail: guslyakovani@cspu.ru

Nailya G. Valeeva, PhD in Pedagogics, Professor, Head of the Department of Foreign Languages, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: valeeva-ng@rudn.ru

Сведения об авторах:

Гуслякова Алла Викторовна, кандидат филологических наук, доцент, кафедра иностранных языков, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; доцент, кафедра контрастивной лингвистики, Институт иностранных языков, Московский педагогический государственный университет, Российская Федерация, 119435, Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1, стр. 1. E-mail: aguslyakova@bk.ru

Гуслякова Нина Ивановна, доктор психологических наук, профессор, кафедра технологии и психолого-педагогических дисциплин, естественно-технологический факультет, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогического университет, Российская Федерация, 454080, Челябинск, пр-т Ленина, д. 69. E-mail: guslyakovani@cspu.ru

Валеева Наиля Гарифовна, кандидат педагогических наук, профессор, заведующая кафедрой иностранных языков, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: valeeva-ng@rudn.ru