



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

2024 Том 32 № 4

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4
<http://journals.rudn.ru/ecology>

Научный журнал
Издается с 1993 г.

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

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

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

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

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

Ответственный секретарь редколлегии

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Периодичность: ежеквартально

Языки публикаций: русский, английский.

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

Цели и тематика

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

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

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

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

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

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

Адрес редакции:

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

Адрес редакционной коллегии журнала:

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

Подписано в печать 16.12.2024. Выход в свет 30.12.2024. Формат 70×108/16.

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

Усл. печ. л. 8,05. Тираж 500 экз. Заказ № 1722. Цена свободная.

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

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

© Российский университет дружбы народов, 2024



RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

2024 VOLUME 32 No. 4

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4

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

Founded in 1993

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editors-in-Chief

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

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

Executive Secretary

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Aleksandr P. Khaustov, Dr. of Science in Geology, Professor, Leading Specialist at Institute of Environmental Engineering, RUDN University, Moscow, Russia

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

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

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

Frequency: Quarterly

Publication languages: Russian, English

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

Aims and Scope

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

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

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

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

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

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

Address of the editorial office:

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

Address of the editorial board of the journal:

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

Printing run 500 copies. Open price.

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ

Толкачев Г.Ю., Корженевский Б.И., Коломийцев Н.В. Особенности изучения загрязнения микроэлементами донных отложений водных объектов 325

Новикова С.А., Угай С.М. Оценка влияния автомобильного транспорта на экологическое состояние урбанизированных территорий через индекс загрязнения 337

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Семянцева П.К., Ильченко А.А. Анализ потенциала применения искусственного торфяного грунта на основе нефтешламов 347

Гайнуллина Л.Р., Фасыхов А.Р., Тимербаев Н.Ф., Ибрагимов В.Р. Углеродный след энергетического сектора 365

Нантунге Ф., Харламова М.Д. Анализ системы управления ТКО в г. Бисау, Республика Гвинея-Бисау, в свете целей устойчивого развития 385

Попова Т.Ю., Головин В.Л., Волкова В.Н. Экологизация обработки природных вод, содержащих растворенные органические вещества 400

Антонова Е.С., Карпикова В.О. Определение режима работы эжекционной флотационной установки для очистки сточных вод 409

Кунденек С.Б., Волкова В.Н. Технология очистки ливневых вод причальных сооружений перевалки древесины 422

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Достовалова Д.А., Глухов А.З., Подгородецкий Н.С., Жуков С.П. Экологический мониторинг ландшафтных техногенных новообразований 431

Бондаревич Е.А. Микроэлементный состав компонентов снежного покрова города Читы и его окрестностей 445

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Zakirova Yu.L., Lazareva A.V. Ecological and economic bases for development and implementation of carbon sequestration related climate projects in Russia (**Закирова Ю.Л., Лазарева А.В.** Эколого-экономические основы разработки и реализации в России климатических проектов, связанных с секвестрацией углерода) 454

CONTENTS

ECOLOGY

- Tolkachev G.Yu., Korzhenevskiy B.I., Kolomiytsev N.V.** Features of the study contamination of sediments by the trace elements 325
- Novikova S.A., Ugay S.M.** Assessment of the impact of motor transport on the ecological state of urbanized areas using the pollution index 337

INDUSTRIAL ECOLOGY

- Semyantseva P.K., Ilchenko A.A.** Analysis of the potential for the use of artificial peat soil based on oil sludge 347
- Gainullina L.R., Fasykhov A.R., Timerbaev N.F., Ibragimova V.R.** Carbon footprint of the energy sector 365
- Nantungue F., Kharlamova M.D.** Analysis of the MSW management system in Bissau, Guinea-Bissau, in the light of sustainable development goals (SDG) 385
- Popova T.Yu., Golovin V.L., Volkova V.N.** Intensification of storm water treatment of wood transferring wood termination facilities 400
- Antonova E.S., Karpikova V.O.** Definition of the operating mode of ejection flotator for the wastewater treatment 409
- Kundenok S.B., Volkova V.N.** Intensification of storm water treatment of wood transferring wood termination facilities 422

ENVIRONMENTAL MONITORING

- Dostovalova D.A., Glukhov A.Z., Podgorodetsky N.S., Zhukov S.P.** Ecological monitoring of landscape technogenic neoplasms 431
- Bondarevich E.A.** Trace element composition of snow cover components in the city of Chita and its environs 445

SHORT MESSAGE

- Zakirova Yu.L., Lazareva A.V.** Ecological and economic bases for development and implementation of carbon sequestration related climate projects in Russia 454



ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-325-336

EDN: MSXQQH

УДК 519.8:551.46

Научная статья / Research article

Особенности изучения загрязнения микроэлементами донных отложений водных объектов

Г.Ю. Толкачев  , Б.И. Корженевский , Н.В. Коломийцев 

*Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова,
г. Москва, Российская Федерация*
 kolomiytsev@vniigim.ru

Аннотация. В настоящее время состояние и качество воды в водных объектах под воздействием техногенных факторов изменяются в худшую сторону. Исследования донных отложений водоемов позволяют установить неблагоприятные участки и определить источники загрязнения. С точки зрения техногенной нагрузки наиболее опасными загрязняющими веществами являются микроэлементы Cd, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Ni, As. Приведены результаты исследований загрязненности перечисленными микроэлементами донных отложений водоемов, оцененных по игео-классам – по загрязненности сорбирующей фракции (менее 0,02 мм). Описаны или представлены ссылки на методики, применяемые при проведении полевых и лабораторных исследований, а также расчетов уровней загрязнения. Для систематизации исследований осуществлено выделение объектов различных иерархических уровней на основании многолетних экспериментальных работ в пределах Волжского бассейна. Для различных по иерархии таксонов предлагаются различные площадные и временные режимы обследований. Представлена методология полевых и лабораторных исследований загрязнения донных отложений водоемов.

Ключевые слова: мониторинг, загрязнение, тяжелые металлы, участки категорий, методика, водные объекты, сорбирующая фракция

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

© Толкачев Г.Ю., Корженевский Б.И., Коломийцев Н.В., 2024



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

История статьи: поступила в редакцию 15.05.2024; доработана после рецензирования 21.06.2024; принята к публикации 15.08.2024.

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

Для цитирования: Толкачев Г.Ю., Корженевский Б.И., Колومیтцев Н.В. Особенности изучения загрязнения микроэлементами донных отложений водных объектов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 325–336. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-325-336>

Features of the study contamination of sediments by the trace elements

Gleb Yu. Tolkachev^{ID}✉, Boris I. Korzhenevskiy^{ID},
Nikolay V. Kolomiitsev^{ID}

*Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation
named after A.N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation*

✉kolomiitsev@vniigim.ru

Abstract. Currently, the condition and quality of water in water objects under the influence of technogenic factors changes for the worse. Studies of sediments of reservoirs make it possible to identify unfavorable areas and identify sources of pollution. From the point of view of technogenic load, the most dangerous pollutants are microelements Cd, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Ni, As. This article presents the results of studies of the contamination of sediments of reservoirs with the listed microelements, assessed by igeo-classes – by the contamination of the sorbing fraction (less than 0.02 mm). Describes or provides references to methods used in conducting nature and laboratory studies, as well as calculations of pollution levels. To systematize the research, objects of various hierarchical levels were identified on the basis of long-term experimental work within the Volga basin. For taxa of different hierarchies, various areal and time survey modes are proposed. The picture of contamination of sediments of the studied reservoirs is presented, and trends in its changes in space and time are noted.

Keywords: monitoring, pollution, heavy metals, sites of t categories, method, water objects, sorb fraction

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

Article history: received 15.05.2024; revised 21.06.2024; accepted 15.08.2024.

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

For citation: Tolkachev GYu, Korzhenevskiy BI, Kolomiitsev NV. Features of the study contamination of sediments by the trace elements. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(4):325–336. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-325-336>

Наиболее опасными загрязняющими окружающую среду микроэлементами являются Hg, Cd, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Ni, Fe, Mn, As. Комплексным показателем техногенной нагрузки на водный объект выступает степень

загрязнения его донных отложений (ДО). Они несут информацию об интенсивности и направленности инженерно-хозяйственной деятельности на водосборной территории, о качестве работы очистных сооружений, о поверхностном смыве с городских и промышленных зон. При этом водные объекты являются конечным звеном и потенциальным барьером в природно-техногенной ландшафтно-каскадной системе любой водосборной территории. Формальная нормативная база о допустимом содержании микроэлементов в ДО отсутствует. Это часто приводит к появлению существенно различающихся подходов к оценке загрязнения ДО.

На всех антропогенно осваиваемых территориях в водных объектах, как конечных звеньях стока, возникают геохимические аномалии. Для изучения состояния ДО водных объектов необходимо проводить мониторинг, поскольку сами отложения аккумулируют и трансформируют последствия техногенного воздействия, являясь при этом индикатором его уровня. Различное содержание тяжелых металлов (ТМ) и их набор в ДО определяется видами хозяйственной деятельности, гидродинамическими характеристиками водного объекта, физико-химическими процессами внутри него, а также минеральным и гранулометрическим составами сорбирующей фазы. От геоэкологического состояния поверхности водосбора зависит и режим водных объектов, прежде всего малых. На основании районирования водных объектов по условиям осадконакопления выбираются места отбора иловатых отложений. При изучении ДО водных объектов существует устоявшийся за четверть века подход в виде учета их гранулометрического состава [1-4].

Объекты и методы исследования

Для мониторинга и определения последовательности действий при обследовании водных объектов выделяются участки четырех категорий по природно-техногенным характеристикам [5]. К участкам I категории относятся чаши водохранилищ с сопредельными склонами, на которых расположены промышленные и селитебные зоны, сельхозугодья и прочие техногенные объекты, внутри участка I категории выделяются участки II категории, где фоновые значения элементов существенно превышены (города с промышленными зонами и поселки с сельхозугодьями). Малые реки – это участки III категории [5].

В большинстве исследований, посвященных ТМ в природных водных системах (т.е. металлам, связанным со взвешенными веществами или ДО), рассматривается валовое содержание элементов. При этом, как правило, упускается из рассмотрения их распределение по формам существования. При определении распределения микроэлементов в настоящей работе осуществлялся выбор фракций ДО, на которые могут повлиять различные условия среды. Использовался метод [6], позволяющий определить, с какими компонентами ДО связываются те или иные микроэлементы. Применение последовательных экстракций, хотя и требует значительного времени, предоставляет подробную

информацию о происхождении, способе появления, биологической и физико-химической доступности, мобилизации и транспорте микроэлементов. Фракция 1 – микроэлементы в обменном комплексе ДО. Изменения ионного состава природных вод влияют на процессы сорбции-десорбции. Фракция 2 – микроэлементы, связанные с карбонатами. Эта фракция очень восприимчива к изменениям рН среды. Фракция 3 – микроэлементы, связанные с оксидами железа и марганца. Фракция 4 – микроэлементы, связанные с органическим веществом ДО. В условиях окисления в природных водах органическое вещество может разлагаться, что приводит к выделению растворимых микроэлементов.

Определение концентрации ТМ в растворе осуществлялось на атомно-абсорбционном спектрометре «КВАНТ – Z.ЭТА-Т» (НПО «КОРТЭК», г. Москва). На нем определяются концентрации элементов в анализируемой пробе по селективному поглощению излучения резонансных спектральных линий определяемого элемента атомным паром анализируемой пробы¹. При использовании адсорбера диапазон линейности концентраций большинства исследованных элементов и аналитического сигнала наблюдается в интервале от 0 до 100 мг/мл. Стандартная ошибка разведения 2 %, стандартная ошибка прибора – 0,3–5 % [7].

Полевые исследования по изучению современного состояния и степени загрязнения водных объектов проводились на примере водных объектов Верхней Волги. Во время обследований пробы на активные формы микроэлементов отбирались из приповерхностной толщи ДО Ивановского водохранилища. В створе д. Плоски (Волжский плёс) и урочища Корчева в нижней части водохранилища активные формы кадмия, свинца и цинка связаны преимущественно с обменным комплексом и гидроксидами железа и марганца, активные формы меди – с обменным комплексом, гидроксидами железа и марганца и карбонатами, а никеля – с обменным комплексом и карбонатами. Активные формы вышеперечисленных элементов, связанных с органическим веществом ДО, не обнаружены. Результаты этих исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1. Концентрации Cd, Pb, Zn, Cu, Ni по активным формам существования в ДО, мг/кг
Table 1. Concentrations of Cd, Pb, Zn, Cu, Ni by active forms of existence in sediments, mg/kg

Пункты отбора	Cd		Pb		Zn		Cu			Ni	
	1	2	1	2	1	2	1	2	3	1	3
Дер. Плоски	1,78	–	21,8	55,6	10,0	43,8	35,8	37,2	6,0	21,8	43,8
Ур. Корчева	1,0	1,18	24,0	47,8	12,0	20,4	26,0	32,0	17,4	22,0	40,0

Примечание: 1 – ТМ, сорбированные в обменном комплексе; 2 – ТМ, сорбированные на гидроксидах железа и марганца; 3 – ТМ, сорбированные на карбонатах.

Источник: составлено Г.Ю. Толкачевым, Б.И. Корженевским, Н.В. Колومیицевым.

Note: 1 – HMs sorbed in an exchange complex; 2 – HMs sorbed on iron and manganese hydroxides; 3 – HMs sorbed on carbonates.

Source: compiled by G.Yu. Tolkachev, B.I. Korzhenevskiy, N.V. Kolomiitsev.

¹ Руководство по эксплуатации. Спектрометр атомно-адсорбционный «КВАНТ–Z.ЭТА–Т». М.: Научно-производственная фирма «Кортэк», 2006. 20 с.

Отметим, что все подвижные формы существования ТМ в ДО могут участвовать в процессах массопереноса в системе «твёрдая фаза – поровый раствор – вода». Возможный вынос микроэлементов из ДО не будет превышать их суммарные концентрации в подвижных соединениях. Исходя из полученных данных в настоящее время потенциальный вынос ТМ из отложений в водную толщу не является значительным, и опасности вторичного загрязнения водных масс исследуемыми элементами не существует.

Валовое накопление микроэлементов в ДО оценивалось с помощью «индекса геоаккумуляции» (I-geo) [8], который характеризует относительную кратность загрязнения ДО относительно естественного фона по [9] либо по [10] во фракциях <0,020 мм. ДО подразделяются на классы качества по каждому ТМ и As. Фоновое значение микроэлемента используется с полуторакратным запасом [8]. Более полувека система классифицирования загрязнённости ДО по Г. Мюллеру широко используется в Германии, Чехии и других странах [11]. Индекс геоаккумуляции (I-geo) также успешно используется для оценки степени загрязнённости почв ТМ.

На основании данной системы была разработана и применена методика оценки техногенной нагрузки на водные экосистемы [3; 12], что позволяет оценить уровень потенциальной и реальной опасности загрязнения водоемов (табл. 2). В настоящее время в России предложена иерархическая структура четырех уровней, разработанная для экосистем [13; 14]. Длительные исследования геоэкологических характеристик водных объектов в бассейнах рек европейской части показывают достаточно высокую корреляцию между техногенной нагрузкой и загрязненностью ДО.

Таблица 2. Оценка уровня загрязнения ДО по игео-классам и техногенной нагрузки на водные экосистемы

Table 2. Assessment of the level of pollution of sediments by geo-classes and technogenic load on aquatic ecosystems

I-geo	Уровень загрязнения ТМ по [8]	Техногенная нагрузка на водные экосистемы по [11]	
0	Незагрязненный	I	Слабая (малоопасная)
1	Незагрязненный до умеренно загрязненного		
2	Умеренно загрязненный	II	Умеренная (умеренно опасная)
3	Среднезагрязненный		
4	Сильно загрязненный	III	Сильная (опасная)
5	Сильно загрязненный до чрезмерно загрязненного		
6	Чрезмерно загрязненный	IV	Чрезмерная (чрезвычайно опасная)

Источник: составлено Г.Ю. Толкачевым, Б.И. Корженевским, Н.В. Коломийцевым.
Source: compiled by G.Yu. Tolkachev, B.I. Korzhenevskiy, N.V. Kolomiitsev.

Использование комплекта моноэлементных карт для оценки комплексных геохимических аномалий в ДО водных объектов представляется весьма сложным. Для обоснования водоохраных мероприятий необходима интегральная информация о состоянии ДО водных объектов. Для оценки комплексного загрязнения ДО предлагается использовать суммарный показатель

токсического загрязнения (СПТЗ), разработанный для оценки загрязнения ТМ снежного покрова и городских почв [15]. СПТЗ проявляет существенную зависимость от числа учитываемых элементов. При обследовании той или иной территории их количество должно быть постоянным. Для оценки техногенной нагрузки по СПТЗ на водные объекты в каждой точке следует учитывать загрязнение ДО семью ТМ (Cd, Pb, Zn, Hg, Cr, Cu, Ni) и мышьяком [1].

Обсуждение результатов

Ранжирование территории по различным таксонам позволяет достаточно четко определить участки разного уровня при исследовании загрязнений и определять последовательность действий, необходимых при изучении загрязнений ДО ТМ. Выбор пунктов отбора проб и частота повторяемости отбора позволит минимизировать затраты на эти операции [3; 5].

При обосновании критических нагрузок на водные объекты первым и важнейшим этапом является исследование форм нахождения, физико-химической миграции, трансформации и взаимодействия изучаемых загрязняющих веществ в системе «источник загрязнения – водосбор – водный объект» с учетом природной специфики исследуемой территории [5]. Предыдущими и настоящими исследованиями установлено, что наибольшую информацию о содержании микроэлементов в ДО водоемов предоставляет определение их подвижных форм нахождения, или существования, в означенных отложениях. Информация об именно подвижных формах существования микроэлементов, в свою очередь, позволяет оценить возможности самоочищения и вторичного загрязнения водных масс водоемов. Мы использовали методику А. Тессье, по которой определяются подвижные формы существования ТМ, участвующие в процессах массообмена в системе «вода – ДО». Данный методический подход, в совокупности с определением физико-химических параметров, позволяет достаточно достоверно определять возможность вторичного загрязнения в определенном районе водного объекта. Недостатком подхода является его ресурсо- и трудоемкость, в связи с чем целесообразно применять его точно в районах с потенциальным либо реальным уровнем загрязнения отложений от среднего и выше. Изначально уровень загрязнения отложений определяется за счет валового содержания в них металлов, и в зависимости от класса загрязнения далее возможно более подробное определение подвижных форм искомых элементов.

Комбинирование перечисленных методов – ранжирование территории, ранговая оценочная структура и определение форм существования элементов – позволяет выделять и наносить на карты водоемов три вида загрязнения их районов, определяемых по содержанию ТМ в их отложениях.

К первому виду загрязнений могут относиться районы с потенциальной опасностью вторичного загрязнения: это районы с уровнем загрязнения отложений металлами по системе игео-классов и СПТЗ от среднего и выше,

с высокой долей подвижных форм существования данных металлов, с неблагоприятной гидрохимической обстановкой – низкое содержание кислорода и рН ниже нейтрального. Даже при незначительном ухудшении гидрохимической обстановки, а также механических процессах взмучивания и перемешивания отложения становятся источником существенного вторичного загрязнения. В приведенном исследовании к такому виду района можно отнести участок реки Клязьмы от г. Щёлково, где расположены очистные сооружения и производится сброс сточных вод, до пос. Лосино-Петровский. При этом, как уже отмечалось, по сравнению с предыдущими исследованиями протяженность района существенно сократилась. К этому же виду можно отнести участок реки Москва от г. Москвы до г. Бронницы с рекой Пахрой.

Ко второму виду можно отнести районы с так называемой «равновесной» системой массообмена между водой и ДО – одновременный разнонаправленный процесс, металлы переходят из водной массы в подвижные формы отложений и обратно. Уровень загрязнения любого из элементов не превышает умеренно загрязненного либо среднего. При этом не заметно преимущества одного из этих процессов, однако незначительно преобладает процесс самоочищения, т. е. переход из воды в отложения. При сохраняющейся физико-химической и гидрохимической обстановке данная система не представляет опасности вторичного загрязнения и может функционировать практически неограниченное время. К таким районам можно отнести плёс «Городской» озера Селигер, практически всё Ивановское и Угличское водохранилища, а также участок реки Клязьмы от г. Ногинска до г. Владимира, река Ока выше и ниже впадения р. Москвы, ряд притоков рек Москвы и Клязьмы.

К третьему виду относятся районы, в которых ДО загрязнены слабо либо на фоновом уровне, и способствуют самоочищению водоема – в первую очередь в силу своей удаленности от источников загрязнения, а также в силу значительного количества своей сорбирующей фракции. К таким районам можно отнести участки реки Клязьма, начиная от д. Пенкино (30 км ниже г. Владимир) до устья, и ее притока реки Пекша от г. Кольчугино также до устья. На данных участках в отложениях по мере удаления от источников загрязнения снижаются уровни содержания металлов – происходит нейтрализация техногенной нагрузки. Также к данному виду можно отнести Шошинский плёс Ивановского водохранилища, который фактически нейтрализует загрязнение от двух автомобильных и железнодорожных мостов, накапливая их в своих отложениях.

В соответствии с ранжированием территории по таксонам районы первого вида загрязнений могут быть отнесены к участкам спецнаблюдений или IV категории, на которых проводится регулярный отбор проб как на валовое содержание ТМ, так и на определение их подвижных форм. С целью предупреждения вторичного загрязнения также необходимо регулярно отслеживать и гидрохимическую обстановку – измерение растворенного кислорода

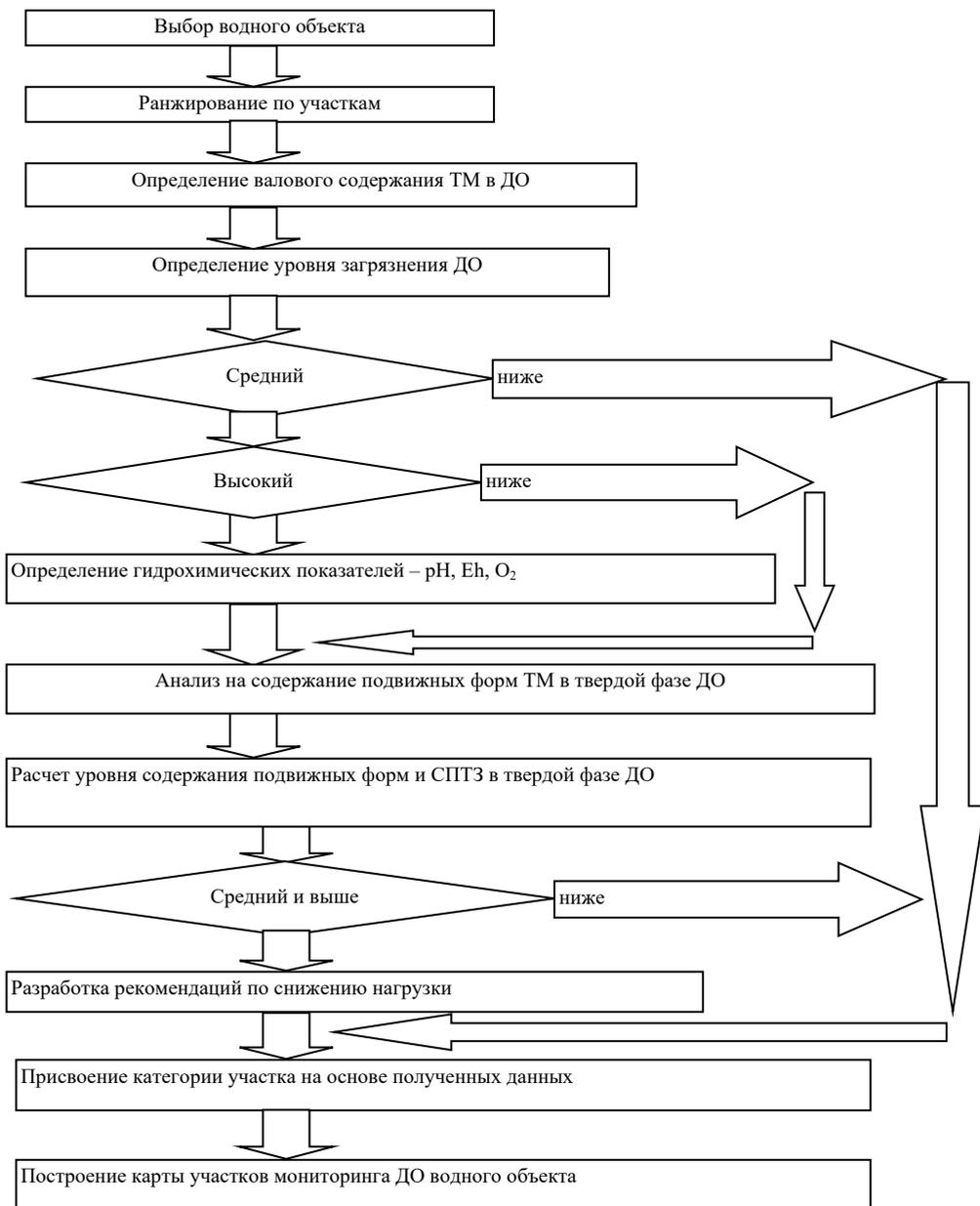
и рН в придонном слое воды, рН и Eh в отложениях. По результатам исследований представляется возможным давать рекомендации по снижению техногенной нагрузки на водоем и улучшению геоэкологической ситуации. Вместе с тем данные районы представляют собой интерес для дальнейшего изучения процессов миграции и трансформации ТМ в системе «вода – ДО».

Районы второго вида загрязнений могут быть отнесены к участкам I и II категории, на которых исследования валового загрязнения отложений проводятся приблизительно каждые 3–5 лет – в зависимости от близости источников загрязнения и городских застроек. Исследования подвижных форм элементов в отложениях осуществляются приблизительно каждые 10 лет. В первую очередь данный подход применим к водоемам – источникам водоснабжения, таким как Ивановское водохранилище и озеро Селигер. По результатам исследований составляются карты загрязнения, и в зависимости от результатов могут даваться рекомендации по недопущению увеличения техногенной нагрузки.

Районы третьего вида загрязнений могут быть отнесены к участкам III категории, или условно чистым. Исследования целесообразно проводить приблизительно каждые 10 лет на валовые содержания ТМ. Поскольку данные районы способствуют самоочищению водной массы всего остального водоема и нейтрализации техногенной нагрузки, рекомендацией может быть сохранение уже существующего *status quo* с минимизацией экспансии хозяйственной деятельности человека.

На основании подведенных итогов представляется возможным составить соответствующий алгоритм (последовательность действий), выполнение которого позволяет получить результат. Этот термин широко применяется в информатике и цифровых технологиях, где под ним понимают инструкции для решения задачи наиболее эффективным способом. В настоящее время под данным термином подразумеваются любые последовательности действий, которые можно четко описать и разделить на простые шаги и которые приводят к достижению цели. Алгоритм может быть записан в виде текстового описания, блок-схемы, псевдокода или других формализованных представлений, он позволяет исследователю оперативно принимать ситуационные (экспертные) решения. В алгоритме есть место для условий, циклов и других нелинейных действий.

На рисунке представлен алгоритм организации полевых и лабораторных исследований, с определением первичной информации – обследование ДО водоемов и ранжирование участков по таксонам. Данный алгоритм позволяет с наименьшими затратами и наибольшей эффективностью проводить мониторинг различных водных систем на загрязнение ТМ. При слабом загрязнении ДО определение активных форм микроэлементов не проводится.



Алгоритм полевых и лабораторных исследований и ранжирования участков по таксонам

Источник: составлено Г.Ю. Толкачевым, Б.И. Корженевским, Н.В. Коломийцевым.

Algorithm for field and laboratory studies and ranking of sites by taxa

Source: compiled by G.Yu. Tolkachev, B.I. Korzhenevskiy, N.V. Kolomiytsev.

Выводы

1. В соответствии с ранжированием территории по таксонам районы первого вида загрязнений могут быть отнесены к участкам спецнаблюдений, или IV категории, на которых проводится регулярный отбор проб как на валовое

содержание ТМ, так и на определение их подвижных форм. С целью предупреждения вторичного загрязнения также необходимо регулярно отслеживать и гидрохимическую обстановку – измерение растворенного кислорода и рН в придонном слое воды, рН и Eh в отложениях. По результатам исследований представляется возможным давать рекомендации по снижению техногенной нагрузки на водоем и улучшению геоэкологической ситуации. Вместе с тем данные районы представляют собой интерес для дальнейшего изучения процессов миграции и трансформации ТМ в системе «вода – ДО».

2. Районы второго вида загрязнений могут быть отнесены к участкам I и II категории, на которых исследования валового загрязнения отложений проводятся приблизительно каждые 3–5 лет – в зависимости от близости источников загрязнения и городских застроек. Исследования подвижных форм элементов в отложениях производятся приблизительно каждые 10 лет. В первую очередь данный подход применим к водоемам – источникам водоснабжения. По результатам исследований составляются карты загрязнения, в зависимости от результатов могут даваться рекомендации по недопущению увеличения техногенной нагрузки.

3. Районы третьего вида загрязнений могут быть отнесены к участкам III категории, или условно чистым. Исследования целесообразно проводить приблизительно каждые 10 лет на валовые содержания ТМ. Поскольку данные районы способствуют самоочищению водной массы всего остального водоема и нейтрализации техногенной нагрузки, единственной рекомендацией может быть сохранение уже существующего порядка вещей, или *status quo*, с минимизацией экспансии хозяйственно деятельности человека.

4. По итогам проведенных исследований представляется возможным составить алгоритм организации полевых и лабораторных исследований, с определением первичной информации – обследование ДО водоемов и ранжирование участков по таксонам. Данный алгоритм позволяет с наименьшими затратами и наибольшей эффективностью проводить мониторинг различных водных систем на загрязнение ТМ, определять геоэкологическое состояние водных объектов и формировать отчетные материалы.

Список литературы

- [1] Коломийцев Н.В., Ильина Т.А. Интегральные критерии для оценки экологического состояния донных отложений водных объектов // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 5. С. 39–42.
- [2] Коломийцев Н.В., Райнин В.Е., Ильина Т.А., Зимина-Шалдыбина Л.Б., Мюллер Г. Исследования загрязненности донных отложений как основа мониторинга состояния водотоков // Мелиорация и водное хозяйство. 2001. № 3. С. 11–15.
- [3] Техногенное загрязнение речных экосистем / Новосельцев В.Н. и др.; под ред. В.Е. Райнина, Г.Н. Виноградовой. М.: Научный мир, 2002. 140 с.
- [4] Mueller G., Ottenstein R., Yahya A. Standardized particle size for monitoring, inventory, and assessment of metals and other trace elements in sediments: <20 µM or <2 µM? // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. 2001. Vol. 371, no. 5. P. 637–642.

- [5] Корженевский Б.И., Толкачев Г.Ю., Ильина Т.А., Коломийцев Н.В. Основные принципы мониторинга загрязнения большой реки (на примере бассейна реки Волги) // *СтройМного*. 2017. № 2 (7). С. 1–7.
- [6] Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals // *Analytical chemistry*. 1979. Vol. 51, no. 7. P. 844–851.
- [7] Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведение. М.: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.
- [8] Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins-Veraenderungen seit 1971 // *Umschau* 79. 1979. H. 24. S. 778–783.
- [9] Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 235 с.
- [10] Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust // *Geological Society of America, Bulletin*. 1961. Vol. 72. P. 175–192.
- [11] Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И., Ильина Т.А., Гетьман Е.Н. Оценка техногенной нагрузки на водные объекты по загрязненности донных отложений // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2015. № 6. С. 15–19.
- [12] Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна / под ред. А.С. Керженцева, Р. Майснера. М.: Наука, 2006. 223 с.
- [13] Виноградов Б.В., Орлов В.А., Снакин В.В. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России // *ИЛ РАН. Сер. 5. География*. 1993. № 5. С. 77–79.
- [14] Экологические функции литосферы / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2000. 432 с.
- [15] Большаков В.А. Методические рекомендации по оценке загрязнения городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами. М.: ВНИИП им. Докучаева, 1999. 32 с.

References

- [1] Kolomytsev NV, Il'yina TA. Integral criteria for assessing the ecological state of sediments of water bodies. *Melioration and water management*. 2009;(5):39-42. (In Russ.)
- [2] Kolomytsev NV, Rainin VE, Il'yina TA, Zimina-Shaldybyina LB, Mueller G. Studies of sediment pollution as a basis for monitoring the state of watercourses. *Melioration and water management*. 2001;(3):11–15. (In Russ.)
- [3] Novoseltsev VN et al. *Technogenic pollution of river ecosystems*. V.E. Rainin and G.N. Vinogradova (eds.). Moscow: Scientific world; 2002. 140 p. (In Russ.)
- [4] Mueller G, Ottenstein R, Yahya A. Standardized particle size for monitoring, inventory, and assessment of metals and other trace elements in sediments: <20 μM or <2 μM? *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*. 2001;371(5):637–642.
- [5] Korzhenevskiy BI, Tolkachev GYu, Il'yina TA, Kolomytsev NV. Basic principles of pollution monitoring of a large river (on the example of the Volga River basin). *StroyMnogo*. 2017;(2):1–7. (In Russ.)
- [6] Tessier A, Campbell PGC, Bisson M. Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. *Analytical chemistry*. 1979;51(7):844–851.
- [7] Dmitriev EA. *Mathematical statistics in soil science*. Moscow: Publishing House of Moscow State University; 1995. 320 p. (In Russ.)
- [8] Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins-Veraenderungen seit 1971. *Umschau* 79. 1979;24:778–783. (In German)
- [9] Vinogradov AP. *Geochemistry of rare and scattered elements in soils*. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1957. 235 p. (In Russ.)

- [10] Turekian KK, Wedepohl KH. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geological Society of America, Bulletin*. 1961;72:175–192.
- [11] Kolomiytsev NV, Korzhenevskiy BI, Il'yina TA, Get'man EN. Assessment of anthropogenic load on water bodies by pollution of sediments. *Melioration and water management*. 2015;(6);15-19. (In Russ.)
- [12] Kerzhentsev AS, Meisner R (eds.). *Modeling of erosion processes in the territory of a small catchment area*. Moscow: Nauka; 2006. 223 p. (In Russ.)
- [13] Vinogradov BV, Orlov VA, Snakin VV. Biotic criteria for the allocation of zones of ecological disaster in Russia. *IL RAS. Ser. 5. Geography*. 1993;(5):77-79. (In Russ.)
- [14] Trofimov VT (ed.). *Ecological functions of the lithosphere*. Moscow: Publishing House of Moscow State University; 2000. 432 p. (In Russ.)
- [15] Bolshakov VA. *Methodological recommendations for the assessment of pollution of urban soils and snow cover with heavy metals*. Moscow: VNIIMP named Dokuchaev; 1999. 32 p. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Толкачев Глеб Юрьевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, Российская Федерация, 127434, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44, корп. 2. ORCID: 0000-0001-6983-7106; SPIN-код: 7258-6870; AuthorID: 70414. E-mail: k-26@yandex.ru

Корженевский Борис Игоревич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, Российская Федерация, 127434, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44, корп. 2. ORCID: 0000-0001-7663-9677; Scopus: 57195526993; SPIN-код: 4475-8455; AuthorID: 350982. E-mail: 542609@list.ru

Коломийцев Николай Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, Российская Федерация, 127434, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44, корп. 2. ORCID: 0000-0001-8169-7644; SPIN-код: 6298-6146; AuthorID: 546333. E-mail: kolomiytsev@vniigim.ru

Bio notes:

Gleb Yu. Tolkachev, Dr. in Geography, Senior Researcher, Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, 44, bldg 2, B. Akademicheskaya St, Moscow, 127434, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6983-7106; SPIN-code: 7258-6870; AuthorID: 70414. E-mail: k-26@yandex.ru

Boris I. Korzhenevskiy, Dr. in Geology, Senior Researcher, Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, 44, bldg 2, B. Akademicheskaya St, Moscow, 127434, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-7663-9677; Scopus: 57195526993; SPIN-code: 4475-8455; AuthorID: 350982. E-mail: 542609@list.ru

Nikolay V. Kolomiytsev, Dr. in Geology, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, 44, bldg 2, B. Akademicheskaya St, Moscow, 127434, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8169-7644; SPIN-code: 6298-6146; Author ID: 546333. E-mail: kolomiytsev@vniigim.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-337-346
EDN: MWYWHM
УДК 504.054

Научная статья / Research article

Оценка влияния автомобильного транспорта на экологическое состояние урбанизированных территорий через индекс загрязнения

С.А. Новикова^{1,2}, С.М. Угай²

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск,
Российская Федерация

²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск,
Российская Федерация
eco-science@mail.ru

Аннотация. Предложен новый способ расчета индекса загрязнения урбанизированных территорий от автотранспортных средств на основе трех параметров (загрязнение атмосферного воздуха, уровень шума, загрязнение почвы) и определены веса каждого параметра в нем. Разработан первичная покомпонентная оценка всех рассматриваемых показателей и последующий расчет индекса загрязнения для городов Иркутской агломерации. Предложен научно обоснованный подход к разработке приоритетных направлений природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, метод анализа иерархий, индекс загрязнения урбанизированных территорий

Вклад авторов. Новикова С.А. – концептуализация исследования, разработка методологических основ по расчету индекса загрязнения урбанизированных территорий автотранспортом, визуализация и интерпретация полученных результатов; Угай С.М. – концептуализация исследования, критический анализ текста.

История статьи: поступила в редакцию 23.02.2024; доработана после рецензирования 21.05.2024; принята к публикации 12.06.2024.

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

© Новикова С.А., Угай С.М., 2024



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

Для цитирования: Новикова С.А., Угай С.М. Оценка влияния автомобильного транспорта на экологическое состояние урбанизированных территорий через индекс загрязнения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 337–346. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-337-346>

Assessment of the impact of motor transport on the ecological state of urbanized areas using the pollution index

Svetlana A. Novikova^{1,2}, Sergey M. Ugay²

¹*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation*

²*Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russian Federation*

eco-science@mail.ru

Abstract. A new method for calculating the pollution index of urbanized areas from motor vehicles is proposed based on three parameters (air pollution, noise level, soil pollution) and the weights of each parameter in it are determined. A primary component-by-component assessment of all the indicators under consideration and subsequent calculation of the pollution index for the cities of the Irkutsk agglomeration are carried out. A scientifically based approach to the development of priority areas of environmental protection measures is proposed.

Keywords: automobile transport, urban areas, hierarchy process analysis, pollution index

Authors' contribution. *Novikova S.A.* – conceptualization of the study, development of methodological foundations for calculating the index of pollution of urbanized areas by motor vehicles, visualization and interpretation of the obtained results; *Ugai S.M.* – conceptualization of the study, critical analysis of the text.

Article history: received 23.02.2024; revised 21.05.2024; accepted 12.06.2024.

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

For citation: Novikova SA, Ugay SM. Assessment of the impact of motor transport on the ecological state of urbanized areas using the pollution index. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(4):337–346. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-337-346>

Введение

Автотранспорт оказывает существенное влияние на состояние окружающей среды и, как следствие, здоровье населения урбанизированных территорий [1]. Так, в жилых зонах создаются высокие уровни шума и загрязнения воздушного бассейна, происходит деградация почв и растительности придорожных полос. В связи с этим важно объективно оценивать экологическое состояние городской среды с точки зрения загрязнения от автомобильного транспорта.

В настоящее время существуют показатели оценки состояния отдельных компонентов окружающей среды, такие как индекс загрязнения атмосферы, суммарный показатель загрязнения почвы, индекс шумового загрязнения, однако индекса, который объединял бы эти три показателя, нет, хотя его наличие позволяло бы решать следующие задачи: оценивать загрязнение территории автотранспортом комплексно и разрабатывать приоритетные направления природоохранных мероприятия исходя из оценки наиболее уязвимых компонентов окружающей среды. Сложность разработки подобных индексов заключается в отсутствии необходимого массива данных для проверки объективности приоритетов одних параметров над другими.

Ранее были предприняты попытки рассчитать интегральный экологический показатель состояния городской среды. Так, в [2] индекс загрязнения был определен как сумма отношений полученных результатов к установленным предельно допустимым концентрациям (ПДК) или фоновым значениям исследуемых параметров среды: атмосферного воздуха, почвы и растительности. Следует отметить, что в данном подходе стандарты качества установлены лишь для ограниченного перечня загрязняющих веществ, а фоновые значения законодательно не закреплены.

Учеными [3] предложен индекс техносферной совместимости, учитывающий социально-экономические показатели и позволяющий применять искусственные нейросети для прогнозирования рисков. Авторами [4] разработана методика оценки уровня экологической безопасности природной воды из различных источников водоснабжения и проведено их ранжирование на основе интегрального индекса техногенного загрязнения.

Все вышеперечисленные работы не решают поставленных ранее задач. Наиболее подходящим для решения такой проблемы авторы данного исследования считают использование метода анализа иерархий (МАИ) (метода Т.Л. Саати) [5], который, несмотря на субъективность подхода, позволяет успешно решать подобные задачи. Так, использование МАИ помогло автору [6] выявить расположение зон возможного залегания подземных вод, что послужило предпосылкой для разработки комплекса мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов. Учеными [7] выполнен анализ биопозитивности различных типов дорожного покрытия и сделан выбор в пользу асфальтобетонного. В [8] с помощью метода Т.Л. Саати выявлены приоритетные сценарии развития аварийных ситуаций на объектах топливно-энергетического комплекса.

Авторами [9] определены показатели и оценена экологическая составляющая локомотивов, применяющих разные источники энергии, а также выявлены перспективы решения экологических проблем в процессе проектирования и создания инновационных локомотивов. В [10] по комплексным критериям МАИ установлены наиболее и наименее эффективные способы утилизации отходов с учетом как экономических, так и экологических

составляющих. Таким образом, выбранный метод, показал свою состоятельность в близких тематике данной статьи исследованиях.

Цель исследования – разработка и апробация подхода к оценке загрязнения окружающей среды урбанизированных территорий автомобильным транспортом.

Методы исследования

Разработка индекса загрязнения урбанизированных территорий автотранспортом включала два основных этапа:

- 1) определение приоритетов между показателями с помощью метода анализа иерархий;
- 2) поиск математического решения, позволяющего объективно ранжировать по нарастанию опасности сочетания принятых классов загрязнения атмосферного воздуха выбросами, уровень шума и загрязнение почвы.

Метод анализа иерархий заключается в разложении проблемы на более простые составные части и дальнейшей обработке последовательности суждений по парным сравнениям. Данный метод позволяет обосновать принятие решений при наличии нескольких критериев. Он включает сравнение каждого параметра с другими и присвоение относительного значения важности. Принцип декомпозиции предусматривает структурирование проблемы в виде иерархии. Для того чтобы установить приоритеты критериев и получить оценки для альтернативных решений, в МАИ строятся матрицы парных сравнений. По каждой матрице определяется вектор локальных приоритетов [5]. Метод анализа иерархий основывается на основных принципах:

1. *Разделение*: разбиение проблемы на более мелкие, управляемые компоненты, которые затем организуются в иерархическую структуру, что позволяет идентифицировать ключевые элементы проблемы и их отношения.
2. *Парные сравнения*: оценка относительной важности каждого параметра путем их попарного сравнения в иерархии на том же уровне.
3. *Иерархический синтез*: синтезирование парных сравнений для получения общего ранжирования приоритетов параметров на каждом уровне иерархии.
4. *Анализ согласованности*: оценка взаимного соответствия парных сравнений для обеспечения логичности суждений с помощью коэффициента согласованности.
5. *Анализ чувствительности*: оценка восприимчивости результатов к изменениям в парных сравнениях для идентификации наиболее критических параметров и выявления устойчивости решения.

Результаты и их обсуждение

На основании ранее проведенных многолетних исследований состояния окружающей среды [11–13], подверженной влиянию автотранспорта, с помощью метода анализа иерархий выявлено три основных параметра:

загрязнение атмосферы выбросами, уровень шума и загрязнение почвы. Для определения веса каждого параметра в загрязнение урбанизированных территорий автотранспортными средствами на основании шкалы относительной важности была составлена матрица попарных сравнений (табл. 1), в которой каждый элемент отражает отношение значимости одного критерия в отношении другого. В данном случае элемент в первой строке и второй колонке равен двум, что означает, что загрязнение атмосферы считается в два раза более важным параметром, чем уровень шума и в три раза важнее загрязнения почв.

Таблица 1. Матрица попарных сравнений и приоритетов

Параметр	Загрязнение атмосферы (ЗА)	Уровень шума (УШ)	Загрязнение почвы (ЗП)
Загрязнение атмосферы (ЗА)	1	2	3
Уровень шума (УШ)	1/2	1	2
Загрязнение почвы (ЗП)	1/3	1/2	1
Сумма	1,83	3,5	6,0

Источник: составлено С.А. Новиковой.

Выбросы от автомобильного транспорта осуществляются напрямую в атмосферный воздух, непосредственно воздействуя на данный компонент окружающей среды и, как следствие, здоровье людей, проживающих в зоне загрязнения. Шумовое загрязнение занимает второе место в рейтинге экологических проблем (после загрязнения атмосферного воздуха), влияющих на здоровье населения урбанизированных территорий¹. Почва является аккумулятором вредных веществ, в том числе поступающих из атмосферного воздуха. Оценка опасности загрязненной почвы населенных пунктов определяется ее ролью как источника вторичного загрязнения воздушного бассейна².

Далее рассчитывалась матрица приоритетов (см. табл. 1), где каждый элемент матрицы равен сумме элементов строки, поделенной на сумму элементов столбца. Так была получена нормированная матрица, которая использовалась для расчета весов параметров (табл. 2).

Таблица 2. Нормированная матрица

Параметр	(a ₁) Загрязнение атмосферы (ЗА)	(a ₂) Уровень шума (УШ)	(a ₃) Загрязнение почвы (ЗП)
(A ₁) Загрязнение атмосферы (ЗА)	0,55	0,57	0,50
(A ₂) Уровень шума (УШ)	0,27	0,29	0,33
(A ₃) Загрязнение почвы (ЗП)	0,18	0,14	0,17

Источник: составлено С.А. Новиковой.

Расчет весов (w) параметров осуществлялся по формулам:

$$w_1 = \sqrt[3]{A_1 a_1 \times A_1 a_2 \times A_1 a_3} ; \quad (1)$$

¹ Assessment of potential health benefits of noise abatement measures in the EU // Phenomena project. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f4cd7465-a95d-11eb-9585-01aa75ed71a1> (accessed: 25.10.2024).

² МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест.

$$w_2 = \sqrt[3]{A_2 a_1 \times A_2 a_2 \times A_2 a_3}; \quad (2)$$

$$w_2 = \sqrt[3]{A_3 a_1 \times A_3 a_2 \times A_3 a_3}. \quad (3)$$

1. Загрязнение атмосферы (ЗА):

$$w_1 = w_{ЗА} = \sqrt[3]{0,55 \times 0,57 \times 0,5} = 0,538 \sim 0,5.$$

2. Уровень шума (УШ):

$$w_2 = w_{УШ} = \sqrt[3]{0,27 \times 0,29 \times 0,33} = 0,296 \sim 0,3.$$

3. Загрязнение почвы (ЗП):

$$w_3 = w_{ЗП} = \sqrt[3]{0,18 \times 0,14 \times 0,17} = 0,163 \sim 0,2.$$

Веса параметров нормируются так, чтобы их сумма была равна 1. Таким образом, веса параметров (w) соответствуют: ЗА – 0,5, УШ – 0,3, ЗП – 0,2. По сути, веса критериев равны среднему арифметическому элементов каждой строки нормированной матрицы. Среднее арифметическое позволяет получить представление о важности каждого критерия в целом. Согласно полученным весам критериев, загрязнение атмосферы имеет наибольший вклад в общее загрязнение урбанизированных территорий (50 %), затем следуют уровень шума (30 %) и загрязнение почвы (20 %).

Далее в работе была определена степень согласованности данных. Под согласованностью понимается то, что при наличии основного (базового) массива необработанных данных все другие данные логически могут быть получены из них, то есть отношения элементов всей матрицы не должны быть противоречивыми. Степень согласованности была определена по формуле

$$\lambda_{\max} = 0,5 \times 1,83 + 0,2 \times 3,5 + 0,2 \times 6 = 3,16. \quad (4)$$

Для проверки согласованности матриц суждений использовался индекс согласованности (ИС):

$$ИС = \lambda_{\max} - \frac{n}{n-1}, \quad (5)$$

где λ_{\max} – максимальное собственное значение матрицы; n – количество параметров; $(n - 1)$ – число всех возможных парных сравнений данного элемента в фиксированной строке для квадратной матрицы n -го порядка.

Следовательно, ИС имеет смысл отклонения от абсолютной согласованности, приходящегося на одно парное сравнение. Вводится критерий, называемый отношением согласованности (ОС):

$$ОС = ИС/СС, \quad (6)$$

где СС – индекс случайной согласованности. Значения СС в теории МАИ заранее вычислены. Приемлемая величина ОС не более 20 %. В частности, $ИС = (3,165 - 3) / (3 - 1) = 0,083$, $ОС = 0,083/0,58 = 0,14 = 14\%$, следовательно, данные согласованы.

В качестве основы классификации предлагаемого комплексного индекса загрязнения авторами использовались градации, приведенные в нормативных документах³ по трем показателям: загрязнение атмосферы, уровень шума, загрязнение почвы, каждый из которых может быть охарактеризован четырьмя классами, что соответствует 64 вариантам сочетаний этих классов. Принимаем, что одинаковые по порядку классы разных показателей эквивалентны друг другу. Следовательно, можем рассчитать индекс загрязнения урбанизированных территорий автотранспортными средствами (ИЗУТ_{АТС}), который равен сумме произведений весов параметров (w) на соответствующие значения параметров:

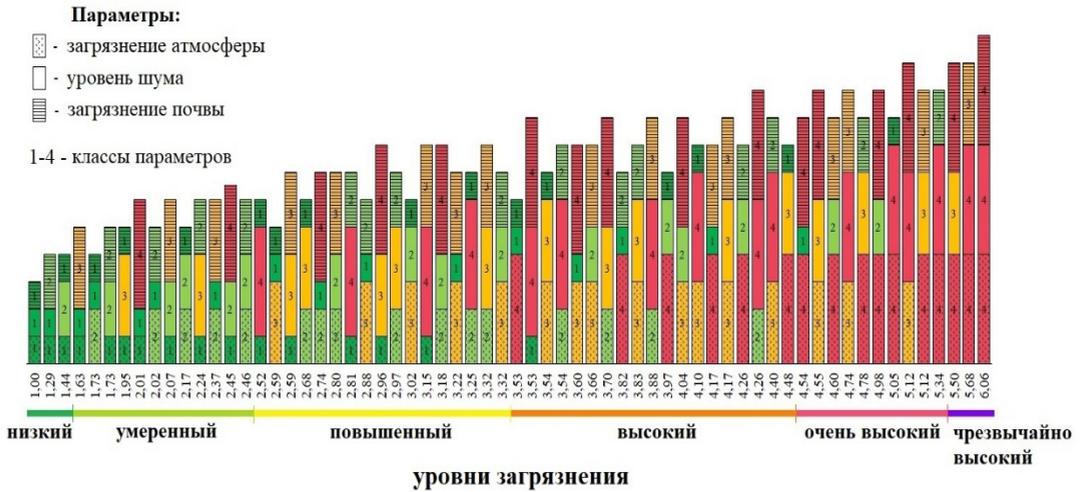
$$\text{ИЗУТ}_{\text{АТС}} = 0,5 \times (\text{ЗА})^{1,m} + 0,3 \times (\text{УШ})^{1,m} + 0,2 \times (\text{ЗП})^{1,m}, \quad (7)$$

где 0,5, 0,3, 0,2 – математические веса химического загрязнения атмосферы, уровня шума и химического загрязнения почвы соответственно; ЗА, УШ и ЗП – индексы классов показателей по порядку; $m = 0$, если ЗА, УШ, ЗП = 1; $m = 3$, если ЗА, УШ, ЗП > 1.

Возведение в степень 1,3 позволяет корректно ранжировать классы предлагаемого индекса загрязнения с учетом сочетаний классов параметров (выбросов в атмосферу, уровня шума, загрязнение почвы) и их математических весов. Ранжируя значения индекса, получаем классификацию для оценки загрязнения урбанизированных территорий автотранспортом (рис.).

В качестве апробации предлагаемого индекса на основе результатов ранее проведенных исследований [11–13] авторами были осуществлены расчеты для городов Иркутской агломерации, которые показали, что рассматриваемая территория отличается высоким уровнем загрязнения (табл. 3). Следует отметить, что при одинаковых качественных показателях количественные значения индекса отличаются. Так, в городах Иркутск и Ангарск значения ИЗУТ_{АТС} составляют 3,54, что соответствует верхней границе предложенной градации (см. рис.), в то время как в Усолье-Сибирском и Шелехове ИЗУТ_{АТС} равны 4,48, т.е. практически на границе с чрезвычайно высоким уровнем загрязнения, что свидетельствует о необходимости привлечения повышенного внимания к проблеме загрязнения городов. Исходя из ранжирования параметров первоочередные меры должны быть направлены на снижение выбросов в атмосферный воздух (ЗА = 4).

³ См.: Постановление главного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 „Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания“»; РД 52.04.667-2005. Руководящий документ. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию.



Визуализация классификации комплексного индекса загрязнения урбанизированных территорий автотранспортными средствами

Источник: составлено С.А. Новиковой.

Таблица 3. Индекс загрязнения урбанизированных территорий автотранспортными средствами (ИЗУТ_{атс}) в городах Иркутской агломерации

Города Иркутской агломерации	Загрязнение атмосферы (ЗА)	Уровень шума (УШ)	Загрязнение почвы (ЗП)	ИЗУТ _{атс}	Уровень загрязнения
Иркутск	3	3	1	3,54	Высокий
Ангарск	3	3	1	3,54	Высокий
Усолье-Сибирское	4	3	1	4,48	Высокий
Шелехов	4	3	1	4,48	Высокий

Источник: составлено С.А. Новиковой, С.М. Угай.

Таким образом, в работе предложен способ определения индекса загрязнения урбанизированных территорий автотранспортными средствами, позволяющий выявить уровень техногенной нагрузки на состояние окружающей среды, а метод анализа иерархии обеспечивает системный подход при оценке комплексных экологических проблем.

Заключение

Интерес к использованию результатов сводных расчетов для управления качеством компонентов окружающей среды в городах Российской Федерации постоянно возрастает. Более того, одной из стратегических задач развития страны является кардинальное снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха в крупных промышленных центрах⁴.

Описанный в работе способ позволяет в первом приближении оценить общую загрязненность урбанизированных территорий на основе трех показателей:

⁴ Указ Президента РФ от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».

- 1) загрязнение атмосферного воздуха;
- 2) уровень шума;
- 3) загрязнение почвы.

При наличии апробации технически данный подход позволяет получать необходимую информацию об уровне загрязнения урбанизированных территорий, удобен и прост в использовании. Комплексный индекс может считаться универсальным, так как основан на общепринятых классификациях включенных в него показателей и потенциально может быть применен в любом населенном пункте, подпадающем под действие нормативно-правовых актов⁵.

Список литературы

- [1] *Новикова С.А.* Влияние загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения Байкальского региона // Национальные приоритеты России. 2018. № 3 (30). С. 65–71.
- [2] *Седых В.А., Куропан С.А., Мазуров Г.И., Козлов А.Т., Закусилов В.П.* Интегральная геоэкологическая оценка техногенного загрязнения городской среды крупного центра металлургической промышленности (на примере г. Липецка) // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2023. Т. 17. № 2. С. 84–93. <http://doi.org/10.22363/10.31161/1995-0675-2023-17-2-84-93>
- [3] *Угай С.М., Голохваст К.С., Михайлова О.Г.* Экологическая оценка шумового загрязнения Приморского края по мнению его жителей: монография. Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2023. 110 с.
- [4] *Игнатьев Ю.А., Александрова М.Л., Кульбицкий Г.Н., Бабаина Е.В.* Интегральный индекс техногенного загрязнения как мера экологической безопасности потребляемой человеком продукции // Медицина экстремальных ситуаций. 2011. № 1 (35). С. 22–28.
- [5] *Саати Т.Л.* Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Thomas L. Saaty. *The Analytic Hierarchy Process*, 1993. 320 с.
- [6] *Мыслыва Т.Н.* Использование метода анализа иерархий и оценки факторов множественного влияния при прогнозировании потенциальных зон залегания подземных вод // Мелиорация. 2021. № 3 (97). С. 50–66.
- [7] *Шестаков Н.И., Титаренко Б.П.* Сравнение биопозитивности покрытий дорожных одежд методом анализа иерархий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. № 3 (84). С. 25–34.
- [8] *Ковальский Ф.С., Мосолов А.С., Акинин Н.И.* Анализ применения методов смещенного идеала и анализа иерархий при категорировании объекта топливно-энергетического комплекса // Безопасность труда в промышленности. 2021. № 3. С. 15–20.
- [9] *Королева Л.А., Малыгин И.Г.* Использование метода анализа иерархий для экологической оценки локомотивной тяги на водородных топливных элементах // Транспорт: наука, техника, управление: научный информационный сборник. 2023. № 7. С. 18–26.

⁵ См.: Постановление главного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 „Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания“»; РД 52.04.667-2005. Руководящий документ. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию.

- [10] Колибаба О.Б., Козлова М.В., Гаряев А.Б. Разработка критериев оценки эффективности методов обращения с твердыми коммунальными отходами // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2024. № 3. С. 20–28.
- [11] Новикова С.А. Загрязнение атмосферы крупных городов Иркутской области выбросами автотранспортных средств // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2015. Т. 11. С. 64–82.
- [12] Новикова С.А. Оценка шумового загрязнения города Иркутска автомобильным транспортом // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2019. № 5. С. 111–120. <http://doi.org/10.22363/10.31857/S2587-556620195111-120>
- [13] Новикова С.А. Оценка влияния выбросов автомобильного транспорта на геоэкологическое состояние почв и растительности городов Иркутской агломерации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31, № 4. С. 533–543. <http://doi.org/10.22363/10.22363/2313-2310-2023-31-4-000-0>

Сведения об авторах:

Новикова Светлана Александровна, старший преподаватель кафедры «Техносферная безопасность», Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15; аспирант Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, Российская Федерация, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, ул. Центральная, д. 26. ORCID: 0000-0003-2534-3379; SPIN-код: 8593-1545. E-mail: eco-science@mail.ru

Угай Сергей Максимович, доктор технических наук, доцент, начальник специального опытного проектно-конструкторско-технологического бюро, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Российская Федерация, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, ул. Центральная, д. 26. ORCID: 0000-0003-1615-5544; SPIN-код: 6524-6765. E-mail: usm64@mail.ru



ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-347-364
EDN: MXBILH
УДК 502/504

Научная статья / Research article

Анализ потенциала применения искусственного торфяного грунта на основе нефтешламов

П.К. Семянцева✉, А.А. Ильченко^{ID}

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Российская Федерация
✉s.polina2015@mail.ru

Аннотация. Нефтешламы являются одним из опасных источников загрязнения окружающей среды, наносящих значительный вред экосистемам. В настоящее время отсутствуют эффективные технологии по их утилизации, эти данные подтверждаются результатами проведенного авторами SWOT-анализа существующего способа обращения с данными отходов – шламонакопления. Рассмотрено новое технологическое решение переработки нефтешламов в искусственный торфяной грунт. Описан процесс получения искусственного торфа из нефтешламов, приведены основные характеристики и свойства полученного материала. Представлены авторские результаты лабораторных исследований: оценка физико-химических характеристик искусственного торфяного грунта, таких как его плотность, влажность, содержание органических веществ, концентрация тяжелых металлов и других вредных веществ, а также выполнен эксперимент по исследованию плодородных свойств. Был проведен анализ потенциала и возможности внедрения данного материала в практику. Полученные выводы могут быть полезны для дальнейших исследований и разработок в области утилизации и переработки нефтешламов и улучшения экологической устойчивости торфяных грунтов.

Ключевые слова: вторичное сырье, искусственный торфяной грунт, нефтешламы, обезвреживание нефтешламов, шламонакопители, физико-химические свойства грунта, устойчивое развитие, утилизация отходов

© Семянцева П.К., Ильченко А.А., 2024



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

Вклад авторов. Семянцева П.К. – разработка идеи исследования, сбор и анализ исходных материалов, проведение лабораторных исследований; Ильченко А.А. – подбор научной литературы, руководство над проведением эксперимента в лаборатории, структурирование статьи и редактирование текста.

История статьи: поступила в редакцию 23.01.2024; доработана после рецензирования 15.03.2024; принята к публикации 12.08.2024.

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

Для цитирования: Семянцева П.К., Ильченко А.А. Анализ потенциала применения искусственного торфяного грунта на основе нефтешламов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 347–364. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-347-364>

Analysis of the potential for the use of artificial peat soil based on oil sludge

Polina K. Semyantseva✉, Angela A. Ilchenko^{ID}

Gubkin University, Moscow, Russian Federation

✉s.polina2015@mail.ru

Abstract. Oil sludge is one of the dangerous sources of environmental pollution, which causes significant damage to ecosystems. The technologies used for their disposal do not show efficiency, these data are confirmed by the authors' SWOT analysis of the existing method of waste data management – sludge accumulation. The paper considers a new technological solution for processing oil sludge into artificial peat soil. The study describes the process of obtaining artificial peat from oil sludge, the main characteristics and properties of the resulting material. The authors present the results of laboratory studies: assessment of the physico-chemical characteristics of artificial peat soil, such as its density, humidity, organic matter content, concentration of heavy metals and other harmful substances, as well as an experiment on the study of fertile properties. An analysis of the potential and possibility of introducing this material into practice was also carried out. The findings can be useful for further research and development in the field of oil sludge utilization and processing and improving the environmental sustainability of peat soils.

Keywords: secondary raw materials, artificial peat soil, oil sludge, neutralization of oil sludge, sludge accumulators, physical and chemical properties of soil, sustainable development, waste disposal

Authors' contribution. Semyantseva P.K. – development of a research idea, collection and analysis of source materials, laboratory research, writing a text; Ilchenko A.A. – selection of scientific literature, guidance on conducting an experiment in the laboratory, structuring the article and editing the text.

Article history: received 23.01.2024; revised 15.03.2024; accepted 12.08.2024.

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

For citation: Semyantseva PK, Ilchenko AA. Analysis of the potential for the use of artificial peat soil based on oil sludge. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(4):347–364. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-347-364>

Введение

Топливная промышленность является одной из ключевых отраслей народного хозяйства в мире и в большей степени определяет экономику, социальную политику и состояние окружающей среды. Нефтегазовые предприятия предоставляют необходимое топливо для транспорта, производства энергии и отопления, а также других сфер деятельности. Они создают рабочие места и генерируют значительные доходы для государства. Однако имеются отрицательные последствия. При разработке полезных ископаемых оказывается серьезное воздействие на окружающую природную среду. При этом наиболее сильное влияние на состояние гидросферы, атмосферы и почвы оказывает не сама добыча, переработка или транспорт углеводородов, а их отходы – нефтешламы [1].

Нефтешламы – это отходы, образующиеся в результате добычи, переработки и использования нефти и нефтепродуктов. Они содержат вредные вещества, такие как тяжелые металлы, нефтяные углеводороды, соли и другие химические соединения. Воздействие нефтешламов на окружающую природную среду может быть серьезным. При попадании в водные системы, нефтешламы загрязняют поверхностные и грунтовые воды, что негативно сказывается на здоровье рыб и других гидробионтов. Это может привести к вымиранию некоторых видов и нарушению экосистемы. Кроме того, загрязненная вода становится непригодной для использования в сельском хозяйстве и питьевом водоснабжении. Нефтешламы могут нанести значительный вред атмосфере, особенно если применяется термический метод их обезвреживания. При сжигании нефтешламов выделяются токсичные газы, такие как оксиды азота и серы, а также углеводороды, которые способствуют усилению парникового эффекта и загрязнению воздуха. В результате возникают проблемы с атмосферным загрязнением и изменением климата. Попадание отходов нефтешламов в почву может привести к деградации и ухудшению плодородия почвы. Некоторые вещества могут быть поглощены растениями и попасть в пищевую цепочку, что может представлять опасность для живых организмов, включая человека.

Таким образом, отходы нефтешламов становятся серьезной проблемой для окружающей среды. В целях минимизации негативного влияния необходимо разрабатывать и применять эффективные методы утилизации и очистки таких отходов, а также строго контролировать их хранение и транспортировку. Такие меры помогут сократить негативные последствия и сохранить природную среду для будущих поколений [1].

Несмотря на наличие технологий и предприятий, занимающихся их переработкой, объемы образующихся отходов все еще значительны. Работа в

данной области включает разработку эффективных и экологически безопасных методов утилизации, строгий контроль за выбросами и разливами, а также стимулирование использования вторичного сырья. Ежегодно в Российской Федерации образуется свыше 500 тысяч тонн отходов, а общее количество отходов в шламовых амбарах на 2022 г. равняется 4,5 млн т. Их образование происходит при эксплуатации нефтяных месторождений вследствие:

- 1) сбросов при подготовке нефти;
- 2) сбросов при зачистке нефтяных резервуаров;
- 3) нефтесодержащих промывочных жидкостей, используемых при производстве буровых работ;
- 4) сбросов при испытании и капитальном ремонте скважин;
- 5) аварийных разливов при добыче и транспорте нефти [3; 4].

Однако нефтешламы могут быть также использованы как вторичное сырье. Их переработка и утилизация позволяет извлекать ценные компоненты, такие как нефтяной кокс, битум, углеродные материалы и другие продукты. Кроме того, переработка нефтешламов помогает снизить вредные воздействия на окружающую среду. Необработанные нефтешламы могут приводить к загрязнению почвы, воды и воздуха, а также негативно влиять на здоровье людей и животных. Процесс переработки позволяет снизить концентрацию вредных веществ и утилизировать их безопасным образом.

К сожалению, в настоящее время нет возможности с абсолютной уверенностью определить экологически чистый, экономически обоснованный и ресурсосберегающий метод переработки нефтесодержащих отходов. В каждом конкретном случае это зависит от химического состава нефтешлама, продолжительности его хранения, количества механических примесей и других факторов. Актуальность этой проблемы определяется не только необходимостью улучшения экологической ситуации, но также и экономическими аспектами, поскольку при правильной обработке нефтешламы могут служить вторичным источником ценных нефтепродуктов [6].

Цель исследования – анализ потенциала использования искусственного торфяного грунта при строительстве дорог и промышленных площадок, рекультивации и пересыпке полигонов ТКО, в сельском хозяйстве и садоводстве.

Задачи исследования:

- 1) выявить недостатки использования шламовых амбаров;
- 2) изучить физико-химические характеристики искусственного торфяного грунта;
- 3) оценить применимость искусственного грунта в различных сферах хозяйства.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования была взята проба искусственного торфяного грунта, созданного из нефтешламов весом в 3 кг. Отбор проб

производился согласно стандарту, разработанному для грунта ГОСТ 12071–2014¹. Была отобрана точечная проба при помощи почвенного бура, далее грунт был помещен в специальный бокс с герметичной крышкой (для оценки влажности). Следующим шагом был оформлен сопроводительный талон на упакованный образец. При транспортировке образец не испытывал резкие динамические и температурные воздействия. Отобранная проба грунта была передана в лабораторию сроком хранения, не превышающего 1,5 месяца. Для проведения исследования физических свойств грунта подготовка пробы к анализу осуществлялась согласно ГОСТ 5180–2015 в зависимости от типа испытания².

В работе применяются теоретические и практические методы исследования:

1) анализ:

– изучение научных статей, публикаций и отчетов, связанных с использованием нефтешламов и искусственного торфяного грунта.

– изучение существующих исследований в области утилизации нефтешламов и применения искусственного торфяного грунта в различных отраслях (например, в сельском хозяйстве, озеленении городской территории, рекультивации загрязненных участков);

2) сбор и обработка проб нефтешламов:

– отбор пробы искусственного торфяного грунта и его транспортировка в лабораторию;

– изучение физико-химических свойств искусственного торфяного грунта (например, влажность, плотность, содержание органического вещества);

3) оценка потенциала применения искусственного торфяного грунта:

– проведение лабораторных испытаний искусственного торфяного грунта для определения его удобрительных свойств;

– определение степени воздействия искусственного торфа на рост и развитие растений (например, при выращивании сельскохозяйственных культур);

– оценка эффективности использования искусственного торфа в разных отраслях хозяйства.

Результаты и обсуждение

В современном мире существует несколько методов ликвидации, утилизации или обезвреживания нефтешламов. Одним из таких методов является

¹ ГОСТ 12071–2014. Межгосударственный стандарт. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. Дата введения 01.07.2015 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.

² ГОСТ 5180–2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Дата введения 01.04.2016 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.

накопление нефтешламов в специальных контейнерах, называемых шламонакопителями, с последующей очисткой или сжиганием. Очистка нефтешламов производится с использованием различных технологий, например, механической, физико-химической или биологической очистки. Механическая очистка включает фильтрацию, сепарацию и отстаивание для удаления больших частиц и воды. Физико-химическая очистка основана на применении химических реагентов и физических процессов, таких как флотация, адсорбция и деэмульгирование, для удаления органических и неорганических загрязнений. Биологическая очистка основана на использовании микроорганизмов для биологического разложения нефтешламов. Сжигание нефтешламов принято считать самым эффективным методом утилизации, однако данный процесс может негативно сказываться на качестве и состоянии окружающей среды, поскольку приводит к выбросу вредных и загрязняющих веществ в атмосферу. Поэтому при сжигании нефтешламов обычно используются специальные системы очистки и обработки газов, чтобы минимизировать негативные воздействия.

Один из минусов хранения буровых отходов в шламонакопителях заключается в том, что данная методика не устраняет проблему самого существования отходов. Хотя шламонакопители могут временно удерживать буровые отходы, они не предоставляют эффективного решения для их полного удаления или переработки. Это может привести к накоплению отходов на длительное время, что имеет негативное влияние на окружающую среду. Более того, шламонакопители могут быть подвержены различным повреждениям, обрушениям или утечкам, которые могут привести к загрязнению почвы, воды и окружающей среды. Кроме того, хранение буровых отходов в шламонакопителях требует проведения постоянного контроля и тщательного обслуживания для предотвращения подобных возможных проблем. Важно отметить, что хранение отходов в шламонакопителях является временным решением. К тому же очень часто в практике наблюдается ряд нарушений в хранении отходов, не соблюдаются экологические стандарты, к примеру, отсутствует защитный слой из грунта, который предотвращает проникновение загрязнений в почву или подземные воды. Данный слой должен обладать минимальной толщиной, установленной нормативными документами, а также соответствующими характеристиками, необходимыми для снижения риска загрязнения. Кроме того, необходимо проводить регулярную инспекцию шламонакопителей, чтобы выявить возможные нарушения и принимать меры по их устранению. Это поможет предотвратить распространение загрязнений и снизить влияние хранения отходов на окружающую среду. В долгосрочной перспективе необходимо найти более устойчивые и эффективные методы для управления буровыми отходами, такие как их переработка, утилизация или реинъекция обратно в скважину. Эти методы могут быть более экологически безопасными и устойчивыми с точки зрения управления отходами.

Авторами составлен SWOT-анализ метода использования шламонакопителей. При его проведении было выявлено, что существующие способы хранения нефтешламов требуют применения более рациональных методов (рис. 1). SWOT-анализ является полезным инструментом для оценки методов обезвреживания нефтешламов и помогает принимать осознанные решения, основанные на их характеристиках и потенциале.

Сильные стороны



1. Эффективность хранения: шламонакопители обеспечивают надежное хранение нефтешламов, что позволяет предотвратить их выпуск в окружающую среду.
2. Защита окружающей среды: Эта система позволяет предотвратить загрязнение почвы и воды, защищая экосистему от негативных последствий нефтешламов.
3. Соответствие нормативным требованиям: хранение нефтешламов в шламонакопителях помогает соблюдать законодательные требования в отношении утилизации и обращения с нефтью и нефтепродуктами.

Слабые стороны



1. Потребность в регулярном обслуживании: шламонакопители требуют регулярной очистки и обслуживания, чтобы поддерживать их эффективность и предотвращать их переполнение.
2. Ограниченная вместимость: вместимость шламонакопителей может быть ограничена, что требует предусмотрения дополнительных резервных емкостей или систем обработки шлама при большом объеме накопления

Возможности:



1. Развитие новых технологий: возможность использования более передовых технологий и систем хранения, которые могут быть более эффективными в предотвращении загрязнений окружающей среды и облегчении обслуживания.
2. Привлечение специализированных поставщиков: сотрудничество с компаниями, специализирующимися на утилизации нефтешламов, может представлять возможности для более эффективной и безопасной обработки и утилизации отходов.

Риски:



1. Нарушение мер безопасности: нарушение мер безопасности при работе с шламонакопителями может привести к авариям или загрязнению окружающей среды.
2. Изменение законодательства: изменения в законодательстве, связанные с обращением нефтешламов, могут потребовать обновления систем хранения и обработки, что может повлечь за собой дополнительные расходы и трудности.
3. Негативное влияние на репутацию: если произойдут аварии или зафиксируется нарушение мер безопасности, это может привести к негативным последствиям для репутации предприятия.

Рис. 1. SWOT-анализ использования шламонакопителей
Источник: составлено П.К. Семянцевой, А.А. Ильченко.

Другим перспективным методом ликвидации нефтешламов, по мнению авторов, является их закачка в специально обустроенные скважины. Этот метод обычно применяется в сочетании с другими методами, например с очисткой или стабилизацией нефтешламов перед их закачкой. Процесс закачки заключается в том, что нефтешламы под давлением передают через специальную систему трубопроводов и впрыскивают в скважины на определенной глубине. Скважины для этой цели подготавливаются с учетом геологических и инженерно-технических особенностей месторождения и состава нефтешламов. Использование специально обустроенных скважин обеспечивает надежное и безопасное удержание нефтешламов внутри земной коры. Данный метод имеет ряд преимуществ.

Во-первых, он позволяет изолировать нефтешламы от поверхностных водных ресурсов и почвы, предотвращая их дальнейшую загрязненность.

Во-вторых, это эффективный способ утилизации больших объемов нефтешламов, который позволяет сократить их воздействие на окружающую среду.

В-третьих, метод достаточно надежен и безопасен, предотвращая возможность утечки и разлива нефтешламов.

Однако необходимо отметить, что применение данного метода требует детального изучения геологических, гидродинамических и химических особенностей месторождения и нефтешламов. Также необходимо учитывать местные экологические требования и законодательство, чтобы обеспечить безопасность и минимизировать потенциальные риски для окружающей среды и здоровья человека

В данной статье рассматривается именно метод рециклинга – создание из нефтешламов различных материалов. Один из основных продуктов производства – техническое углеродное волокно. Данный материал имеет высокую прочность и жесткость, при этом является легким и термоустойчивым. Однако это не единственный материал, переработанный из данного вида отходов. Интересным и уникальным становится опыт создания из нефтешламов искусственного торфяного грунта, который относится к 4–5-й категории опасности. Вследствие переработки буровых отходов и добавления в них фрезерного верхового торфа (сфагноума) низкой степени разложения (из-за чего в грунте появляются органические включения, такие как кусочки древесины, корней и растительных волокон) образуется грунт, имеющий 4–5-ю категорию с возможностью его дальнейшего использования для строительства и укрепления дороги промышленных площадок, рекультивации полигонов ТКО и их пересыпки. Образец вышеописанного торфа был отобран из искусственно созданных отвалов (рис. 2) авторами и доставлен в лабораторию для исследования. Состав грунта разнообразен в него входят и нефтепродукты, и хлориды, и отработанные буровые растворы, и буровые сточные воды, а также тяжелые металлы и многие другие вещества, не превышающие свое ПДК (ОДК) для почв.

В работе было проведено изучение физико-химических характеристик вышеупомянутого грунта. Первоначально рассматривались следующие свойства грунта: структура, влажность, устойчивость, содержание органического вещества, наличие новообразований и включений.



Рис. 2. Отвалы искусственного торфяного грунта

Источник: фото П.К. Семянцевой.

Структура грунта имеет большое значение при строительстве. Правильное понимание и учет структуры грунта позволяет строить более прочные и устойчивые сооружения. Влияние грунта на строительство может быть связано со следующими факторами:

1) несущая способность: различные типы грунта имеют разные характеристики несущей способности. Например, песчаный грунт обычно имеет высокую несущую способность, в то время как глинистый грунт может быть менее стабильным. Понимание этого позволяет инженерам определить необходимые меры для укрепления грунта или принять решение об избежании строительства на неподходящем участке;

2) водоотвод и дренаж: структура грунта может влиять на способность грунта пропускать воду или на аккумуляцию влаги. Это важный аспект при строительстве фундамента, трубопроводов и других сооружений. Неправильная дренажная система или наличие водоносных грунтов может привести к проблемам с влажностью или затоплению сооружений;

3) устойчивость: некоторые грунты могут быть неустойчивыми, особенно на склонах или при воздействии возмущающих факторов, таких как землетрясения или перепады температур. Предварительное изучение структуры грунта позволяет предотвратить возможные опасности и предусмотреть дополнительные меры укрепления;

4) влияние на строительство: различные типы грунта требуют разных методов строительства и материалов. Например, при строительстве на глинистом грунте может потребоваться использование свай, чтобы обеспечить необходимую поддержку. В противном случае возможно возникновение процесса проседания грунта, который, в свою очередь, может привести к структурным повреждениям здания.

В целом структура грунта является существенным аспектом при проектировании и строительстве, поэтому необходимо уделить ей внимание и провести все необходимые исследования перед началом работ. При определении структуры почвы по классификации по С.А. Захарову, применяемой для природных почв: объект имеет неправильную округлую форму, на его поверхности наблюдаются неровные округлые и шероховатые разломы, и его грани не выражены, размер частиц 10–3 мм, следовательно, структура грунта крупнокомковатая. Полученные данные не дают возможность в целом оценить возможности исследуемого грунта. Крупнокомковатая структура может иметь положительные и отрицательные стороны:

1) комковатая структура может указывать на высокую плотность грунта. Это может быть положительным фактором при строительстве, поскольку плотный грунт обычно обладает хорошей несущей способностью. Однако в связи с этим может потребоваться применение специальной техники или методов для удержания и обработки грунта;

2) комковатая структура грунта может также указывать на наличие органических материалов или примесей, в частности корней растений или мусора, которые свидетельствуют о неоднородности, а следовательно, такой грунт способен распадаться при минимальном механическом воздействии.

Далее были изучены влажность и устойчивость образца. Влажность грунта играет важную роль в строительстве. Влажность грунта может влиять на его свойства, такие как плотность, устойчивость и грунтовое натяжение. Если грунт слишком сухой, он может легко обвалиться или не дать необходимой поддержки строительным конструкциям. Вместе с тем слишком влажный грунт может вызывать нестабильность и усадку построенных объектов. Исследуемый грунт имеет высокую влажность (количественное значение зафиксировать не удалось), в ходе эксперимента при соблюдении правил сушки образцов почвы данный объект сушился около 5 суток. Отобранный образец грунта спустя 5 месяцев нахождения в лаборатории по настоящий момент имеет высокий показатель влажности. Исследуемый грунт создавался специально для использования в качестве строительного материала. К категориям земель, на которых возможно применение исследуемого грунта, относятся земли промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земли для обеспечения космической деятельности, земли обороны, безопасности и земли иного специального назначения³.

³ Постановление Правительства Российской Федерации от 10.07.2018 № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель».

Однако в ходе экспериментов в полевых условиях было выяснено, что данный материал при минусовых температурах не промерзает, а при положительных на нем не растут даже сорняки, помимо этого в нем может содержаться до 85 % воды, что вызывает вопросы о его надежности как строительного материала. Кроме того, проведен анализ содержания органических составляющих в грунте. Органическое вещество в почве выполняет роль сложного источника питательных веществ для растений. Выявленное количество органического вещества (около 60 %) является достаточно высоким показателем и указывает на относительно плодородную почву. При этом необходимо учитывать качество органического вещества, так как оно может быть разного типа и содержать различные питательные вещества. Поскольку объект был создан искусственно, новообразований, участвующих в почвообразовательных процессах, в нем не обнаружено. Вместе с тем найдено огромное количество включений биологического происхождения – остатки корней, стеблей, стволов растений. Процесс работы в лаборатории представлен на рис. 3.



Рис. 3. Изучение физических свойств искусственного торфяного грунта в лаборатории
Источник: фото П.К. Семянцевой, А.А. Ильченко.

Далее проводились исследования химических свойств грунта путем подготовки к анализу образца и определения состава почвенных вытяжек. Данные рН-метра показали довольно высокие показатели $pH = 7,8$, данное значение превышает общепринятый стандарт. К примеру, низинный торф имеет слабокислый или нейтральный состав ($pH = 6-7$), а верховой, наоборот, характеризуется повышенной кислотностью ($pH = 2-4$). Обычно торф имеет кислую среду с pH значением ниже 7. Однако в данном случае торф может

быть обработан или иметь влияние других факторов, которые повысили его рН, что может быть вызвано, например, воздействием минеральных добавок или других материалов в процессе производства или обработки торфа. Это может иметь важное значение при использовании торфа для определенных сельскохозяйственных или садоводческих целей, так как многие растения предпочитают кислую среду.

Реакций в почвенной вытяжке на никель, медь не наблюдается, что указывает на их относительно малом содержании в грунте или же о полном отсутствии. Обнаружено небольшое содержание свинца, но в пределах ПДК. Также было измерено значение солесодержания, измеряемое в мг/л, которое отражает суммарное количество растворенных в воде примесей. Кондуктометр показал значение 2000 мг/л, однако для исследуемой водной вытяжки это не предел, поскольку данное значение просто является максимальным для применяемого прибора, которым было проведено измерение. При этом необходимо акцентировать внимание на взаимосвязи повышенного рН с увеличенным солесодержанием в контексте химического равновесия. Вода взаимодействует с солевыми соединениями, разлагая их на ионы. Если содержание солей в растворе сильно повышено, то количество освобожденных ионов также будет высоким. Это приводит к увеличению концентрации освобожденных гидроксидных ионов (OH^-) в растворе. Гидроксидные ионы являются основаниями и могут повышать рН раствора. Поэтому сильно повышенное содержание солей в растворе может, в свою очередь, привести к повышению рН. Однако важно отметить, что другие факторы, такие как буферные системы или наличие кислот, также могут влиять на рН раствора. Поэтому, хотя повышенное содержание солей может способствовать повышению рН, оно может являться не единственной причиной.

Одним из основных характеристик почвы/грунта является его электропроводность (ЕС). Метод измерения электропроводности основывается на способности солей проводить электрический ток. Следовательно, ЕС определяет концентрацию растворенных солей в почвенном растворе. Чем выше значение ЕС, тем легче току протекать через почву благодаря повышенной концентрации солей. Значение ЕС также зависит от влажности почвы, фазового состояния воды, температуры, плотности, гранулометрического состава и других факторов. Кондуктометр зафиксировал значения электрической проводимости 3999 мкСм/см. Указанное значение также является максимальным для данного прибора. Высокая электропроводность почв говорит о наличии большого количества растворенных солей или минеральных веществ в почве. Высокая электропроводность может также указывать на загрязнение почвы химическими соединениями или присутствие металлов. Важно отметить, что высокая электропроводность может быть нежелательна для растительного роста, так как может приводить к выщелачиванию питательных веществ из почвы и создавать неблагоприятные условия для развития растений. Электропроводность оказывает влияние на скорость поставки питательных веществ

растениям – с увеличением ЕС возрастает концентрация солей в почве, что затрудняет поглощение воды растениями. При очень высокой концентрации солей вода покидает растение и поступает в питательный раствор, что может привести к гибели растения. Таким образом, ЕС является критически важным показателем, необходимым для принятия обоснованных решений в агрономии. Этот параметр почвы оказывает влияние на выбор сельскохозяйственных культур и определение необходимого сорта с учетом уровня солености, присутствующего в почве. Зная уровень солености почвы, можно принимать решения по культивации, размеру полей и мерам по ирригации. Процесс измерения химических характеристик и исследуемого образца представлен на рис. 4.



Рис. 4. Исследование химических свойств искусственного торфяного грунта
 Источник: фото П.К. Семянцевой, А.А. Ильченко.

Результаты проведенного лабораторного исследования приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты лабораторного исследования

Вещество	Анализ	ПДК
Свинец, мг/кг	100	130,0
Медь, мг/кг	0	132,0
Никель, мг/кг	0	80,0
Ph	7,8	< 5,5
Минерализация, г/л	2000	< 500
Электрическая проводимость, мкСм/см	3999	< 1000

Источник: составлено П.К. Семянцевой, А.А. Ильченко.

Во время исследования искусственного грунта также был проведен эксперимент по выращиванию льна в целях подтверждения самого важного показателя – плодородности. Растение было выбрано неслучайно, поскольку оно имеет ряд преимуществ:

1) является растением-фиторемедиатором, способным очищать почву от загрязняющих веществ. Он может поглощать и аккумулировать вредные вещества, такие как тяжелые металлы, пестициды и другие примеси, в своих корнях и стеблях и улучшать качество почвы;

2) быстро растет и имеет короткий цикл развития, что позволяет быстро установить его в загрязненной почве. Он может быть выращен в кратчайшие сроки и использован для оценки эффективности реабилитации почвы на загрязненных участках;

3) обладает высокой толерантностью к загрязнителям в почве, таким как тяжелые металлы. Это делает его подходящим для роста на участках, которые могут содержать высокие концентрации вредных веществ;

4) может быть использован в различных условиях и климатических зонах, что делает его привлекательным выбором для опытов по ремедиации загрязненных почв.

Для начала было взято 3 контейнера, заполненных соответственно черноземом, черноземом и торфяным грунтом 1/1 и торфяным грунтом. Далее каждый из этих контейнеров был увлажнен отстоянной водой. В каждый контейнер было посажено по 35 семян льна. Спустя три дня появились первые всходы (только в контейнере с черноземом). Спустя еще 3 дня в том же контейнере проросли 28 семян, в двух других лен так и не взошел. Опыт имел трехкратную повторяемость, результат был каждый раз идентичен первому (рис. 5).



Рис. 5. Исследование грунта на плодородные свойства

Источник: фото П.К. Семянцевой, А.А. Ильченко.

В связи с полученными в ходе эксперимента высокими показателями солесодержания/минерализации совершенно очевидным становится факт неспособности растений выжить в данном виде грунта. Повышенная минерализация почвы может негативно влиять на круговорот азота в природе. Обычно азот, содержащийся в органических формах, преобразуется в аммиак (аммонизация), а затем в нитриты и нитраты (нитрификация). Однако при сильной минерализации эти процессы могут быть прерваны или замедлены. Всё это может привести к неравновесию в концентрации азота в почве. Поэтому для поддержания плодородия почвы и круговорота азота важно контролировать минерализацию и обеспечивать адекватное количество органического материала в почве. Данное равновесие может быть достигнуто путем использования удобрений, повышения содержания органического вещества в почве, снижения загрязнения и других агротехнических мероприятий [2]. Авторы не исключают возможность применения данного грунта в выращивании растений с меньшей пропорцией исследуемого образца, однако полученные высокие показатели электропроводности и минерализации требуют более глубокого специализированного лабораторного исследования для возможности безопасного использования искусственного торфа как для окружающей среды, так и для человека в целом.

Использование торфяного грунта для рекультивации полигонов ТКО может быть важным этапом в восстановлении почвенного плодородия. Однако формирование естественного плодородного слоя займет значительное количество времени. Скорость формирования плодородного слоя зависит от множества факторов, включая состав и качество используемого торфяного грунта, климатические условия, деятельность микроорганизмов, а также других факторов разложения органического материала. Приблизительные оценки свидетельствуют о том, что для формирования 1 см естественного плодородного слоя может потребоваться не менее 100 лет. Данное время может варьироваться в зависимости от условий и процессов разложения. Однако из-за повышенной влажности исследуемого образца микробиологическое почвообразование встает под вопросом, так как маловероятно, что спустя даже большой промежуток времени, такой как 50–100 лет, в данном грунте появятся почвообразующие микроорганизмы. Помимо этого, согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 10.07.2018 № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель»⁴, полигон считается рекультивированным, только если на этапе биологической рекультивации на его территории было проведено озеленение и запущены естественные процессы почвообразования, что невозможно сделать с использованием данного искусственного торфяного грунта. Таким образом, настоящее исследование позволило подтвердить, что грунт, созданный из обезвреженного нефтяного

⁴ Постановление Правительства Российской Федерации от 10.07.2018 № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель»

шлама, не подходит для заявленных целей, таких как рекультивация, так как никакая растительность на нем не приживается.

Согласно ГОСТу 25100–95⁵, техногенные грунты классифицируются отдельно от естественных грунтов и их свойства и характеристики могут отличаться. Техногенный грунт, как созданный и измененный человеком, имеет свои особенности по сравнению с естественными грунтами. Он может содержать сильно измененную структуру и композицию, что влияет на его физические свойства. Дисперсный связанный грунт – это грунт, в котором частицы имеют низкую общую адгезию и формируют слабые связи между собой. Из-за этого он не обладает высокой прочностью и неспособен выдерживать большие нагрузки и растяжение. Капиллярная вода, находящаяся в составе грунта, образует слабые молекулярные связи, которые также могут снизить его прочность. Согласно исходной документации, исследуемый грунт относится к дисперсным связанным, а значит, не способен выдерживать большие нагрузки и растяжения, так как капиллярная вода в его составе формирует слабые молекулярные связи⁶.

Техногенный грунт часто используется для обсыпки дорог и строительства, рекультивации и пересыпке отходов ТКО на полигонах, однако есть одно важное свойство материала – он не должен вспучиваться и не набухать, что совершенно не характерно для исследуемого искусственного торфяного грунта. Поскольку искусственный торф, как и натуральный, имеет высокую степень водонепроницаемости и способность удержания влаги, а следовательно, постоянно набухает, он не подходит для использования по заявленному назначению (ГОСТ 25100–95). Такое свойство может быть опасно и нежелательно при его использовании для обсыпки дорог и строительства, а также при рекультивации и пересыпке отходов ТКО на полигонах. Вспучивание и набухание могут привести к значительным проблемам с устойчивостью и долговечностью таких конструкций, а также повлиять на качество работы полигонов [2].

В ходе проведения экспериментов не удалось установить применимость данного грунта. Химические свойства искусственного грунта не обеспечивают его пригодность для использования в сельскохозяйственных целях. Физические свойства грунта, в связи с его высокой влажностью, не позволяют его использовать в строительстве из-за возникающих сомнений в его устойчивости.

⁵ ГОСТ 25100–95. Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация. Дата введения 01.07.1996 / Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации и техническому нормированию в строительстве.

⁶ ГОСТ 13672–76. Торф фрезерный для производства брикетов. Технические требования. Дата введения 30.06.1977 / Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР.

Заключение

Переработка и утилизация нефтешламов являются важными мерами, которые позволяют использовать вторичное сырье и снизить негативное воздействие на окружающую среду. Правильное управление нефтесодержащими отходами способствует устойчивому развитию нефтегазовой промышленности и обеспечивает более экологически чистое будущее.

Правильное управление нефтесодержащими отходами имеет важное значение для устойчивого развития нефтегазовой промышленности и обеспечивает экологически более чистое будущее. Это позволяет снизить риск загрязнения почвы, водных ресурсов и атмосферы, а также уменьшить негативное воздействие на биологическое разнообразие и здоровье людей.

В процессе переработки и утилизации нефтешламов применяются различные технологии и методы. Например, механическая и химическая очистка позволяют удалять загрязнения и отделить ценные компоненты для последующего использования. Термическая переработка, такая как пиролиз, позволяет превратить нефтешламы в полезные продукты, в частности топливо и уголь.

Однако необходимо отметить, что переработка и утилизация нефтешламов являются сложными процессами, требующими тщательного контроля и соблюдения строгих экологических стандартов. Они включают в себя правильное хранение, транспортировку, обработку и утилизацию отходов, а также мониторинг за соблюдением требований во время всего процесса.

Всё более жесткие требования и нормативы, направленные на охрану окружающей среды, стимулируют развитие новых технологий и инноваций в области переработки и утилизации нефтешламов. Продвижение более эффективных и экологически чистых методов обращения с отходами помогает минимизировать их негативное воздействие на окружающую среду и способствует устойчивому развитию нефтегазовой промышленности.

Самое важное свойство любого торфа – улучшение качества почвы, повышения плодородия. Благодаря большому содержанию органического вещества торфяной грунт способен улучшать физические и химические свойства почвы, повышая ее плодородность и эффективность использования воды и питательных веществ растениями. Однако необходимо провести дополнительные исследования, чтобы определить оптимальные условия использования искусственного торфяного грунта, его влияние на окружающую среду и возможные противопоказания. В целом применение искусственного торфяного грунта на основе нефтешламов представляется перспективным и важным шагом в решении экологических проблем и повышении устойчивости сельского хозяйства.

Идея создания искусственного торфяного грунта из нефтешламов действительно имеет потенциал быть экологически и экономически эффективной. Вместо традиционного извлечения торфа, который является долговечным процессом и может иметь негативные последствия для экосистемы,

использование нефтешламов может предоставить более устойчивую альтернативу.

Торфяной грунт является важным компонентом в сельском хозяйстве и садоводстве, так как обладает хорошей способностью удерживать влагу и содержит необходимые питательные вещества для растений. Создание искусственного торфяного грунта из нефтешламов может помочь снизить потребность в традиционном торфе, что может иметь позитивный эффект на окружающую среду. Однако перед использованием искусственного торфяного грунта из нефтешламов авторы повторно делают акцент на необходимости провести исследования и тестирование, чтобы убедиться в его безопасности и эффективности. Также необходимо учитывать потенциальные негативные последствия использования нефтешламов в сельском хозяйстве, такие как загрязнение почвы или растворение токсичных веществ в растительные культуры.

Таким образом, создание искусственного торфяного грунта из нефтешламов может быть одним из шагов на пути к устойчивому развитию, обеспечивая утилизацию отходов и улучшение экологической эффективности не только в промышленности, но и в сельском и лесном хозяйстве.

Список литературы

- [1] Горбаев А.В. Применение бактерий *Rhodococcus erythropolis* для получения из нефтешламов искусственного грунта технического в условиях Восточной Сибири // Вестник евразийской науки. 2021. Т. 13. № 6.
- [2] Карманова А.А. Определение электропроводности и общей минерализации почв г. Архангельск // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2021. № 1. С. 58–63 с.
- [3] Маликова М.Ю. Исследование и совершенствование технологии утилизации нефтешламов. Краснодар. 2004. 124 с.
- [4] Минигазимов Н.С., Расветалов В.А., Зайнулин Х.Н. Утилизация и обезвреживание нефтесодержащих отходов. Уфа: Экология, 1999. 299 с.
- [5] Назаров В.П., Освальд Е.С., Лаврентьева Д.В. Пожарная опасность нефтешламовых амбаров, проблемы, связанные с их утилизацией. 2020. 4 с.
- [6] Немченко А.Г., Гапуткина К.А., Блехер Я.С. Обезвреживание и переработка нефтяных шламов. ЦНИИТЭнефтехим, 1974. 73 с.

Сведения об авторах:

Семянцева Полина Кирилловна, студентка I курса, направление 05.04.06 «Экология и природопользование», факультет геологии и геофизики нефти и газа, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Российская Федерация, 119296, г. Москва, Ленинский проспект, д. 65. E-mail: s.polina2015@mail.ru

Ильченко Анжела Асхатовна, старший преподаватель, кафедра геоэкологии, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Российская Федерация, 119296, г. Москва, Ленинский проспект, д. 65. ORCID: 0009-0008-7155-2909; SPIN-код: 1221-7931; AuthorID: 1192627. E-mail: anjela-husainova@rambler.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-365-384

EDN: MYOVNQ

УДК 504.03

Научная статья / Research article

Углеродный след энергетического сектора

Л.Р. Гайнуллина¹  , А.Р. Фасыхов¹,
Н.Ф. Тимербаев² , В.Р. Ибрагимова²

¹Казанский государственный энергетический университет, г. Казань,
Российская Федерация

²Научно-технический центр «Альтернативная энергетика», г. Казань,
Российская Федерация
 gainullina7819@mail.ru

Аннотация. Внимание всего мира направлено на антропогенную составляющую климатических изменений. Поскольку значительный вклад в эти изменения вносит энергетический сектор (77,9 %), Россия имеет в качестве источника производства энергии природный газ, нефть и уголь, при этом актуальным остается вопрос использования ресурсной низкоуглеродной базы, применения новых технологий улавливания и утилизации углерода, использования возобновляемых источников энергии. Цель исследования – анализ углеродного следа генерирующих предприятий и различных источников энергии, а также определение пути развития использования низкоуглеродных источников, например АЭС и ГЭС, применения новых технологий в системе отопления, технологий утилизации хладагентов, вторичных энергоресурсов и т. д. Результаты исследования: углеродный след энергетического сектора рассмотрен по охватам Score 1 и Score 2. Анализ углеродного следа генерирующих предприятий (Score 1) показал, что наибольший вклад оказывают электрические станции на органическом топливе с удельными показателями выбросов CO₂ 450-1000 г/кВт·ч. Гидроэлектростанции, относящиеся к категории электростанций на возобновляемых источниках энергии (ВЭС), из-за большой суммарной эмиссии метана с водохранилищ находятся на втором месте (24 г/кВт·ч), опережая по выбросам атомные электростанции с удельным показателем выбросов 12 г/кВт·ч. Ветровые электростанции (11 г/кВт·ч) близки по углеродной нейтральности к атомным электростанциям. Неоднозначное положение одного из лидеров зеленой энергетики, солнечных электростанций (48 г/кВт·ч) связано с этапом утилизации применяемого оборудования. Также представлены удельные значения выбросов категории Score 2. По результатам анализа энергетического сектора охватов Score 1 и 2 приведены рекомендации по снижению углеродного следа.

© Гайнуллина Л.Р., Фасыхов А.Р., Тимербаев Н.Ф., Ибрагимова В.Р., 2024



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

Ключевые слова: парниковые газы, производство электрической энергии, производство тепловой энергии, возобновляемые источники энергии

Вклад авторов. Гайнуллина Л.Р. – организация сбора данных, дизайн исследования, написание текста; Фасыхов А.Р. – сбор и обработка результатов исследования, расчетные уточнения удельных показателей выбросов, анализ полученных данных; Тимербаев Н.Ф. – концепция исследования; Ибрагимова В.Р. – анализ литературы по выбросам парниковых газов.

История статьи: поступила в редакцию 23.03.2024; доработана после рецензирования 15.05.2024; принята к публикации 26.08.2024.

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

Для цитирования: Гайнуллина Л.Р., Фасыхов А.Р., Тимербаев Н.Ф., Ибрагимова В.Р. Углеродный след энергетического сектора // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 365–384. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-365-384>

Carbon footprint of the energy sector

Leysan R. Gainullina¹  , Aidar R. Fasykhov¹,
Nail F. Timerbaev² , Victoria R. Ibragimova

¹Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

²Scientific and Technical Center for Alternative Energy, Kazan, Russian Federation

 gainullina7819@mail.ru

Abstract. The world's attention is focused on the anthropogenic component of climate change. The energy sector (77.9%) makes a significant contribution to these changes. Russia, has natural gas, oil and coal as a source of energy production, while the issue of using low-carbon resource base, application of new technologies of carbon capture and utilization, use of renewable energy sources remains relevant. The purpose of this study is to analyze the carbon footprint of generating enterprises and various energy sources, and to determine the way of development of the use of low-carbon sources, such as nuclear power plants and hydroelectric power plants, the application of new technologies in the heating system, refrigerant utilization technologies, secondary energy resources, etc. Results: The carbon footprint of the energy sector has been considered for Scope 1 and Scope 2. The analysis of the carbon footprint of generating enterprises (Scope 1) showed that the largest contribution is made by fossil fuel power plants with specific CO₂ emission rates of 450–1000 g/kWh. Hydroelectric power plants belonging to the category of renewable energy power plants (RES) due to large total methane emissions from reservoirs are in the second place (24 g/kWh), ahead of nuclear power plants with specific emission rate of 12 g/kWh. Wind power plants (11 g/kWh) are close to nuclear power plants in terms of carbon neutrality. The ambiguous position of one of the leaders of green energy, solar power plants (48 g/kWh) is associated with the stage of utilization of the equipment used. Specific emission values of Scope 2 category are also given. Based on the results of the analysis of the energy sector of Scope 1 and 2, recommendations for reducing the carbon footprint are given.

Keywords: greenhouse gases, electricity generation, heat generation, renewable energy.

Authors' contribution. *Gainullina L.R.* – organization of data collection, research design, text writing; *Fasykhov A.R.* – collection and processing of research results, calculation refinements of specific emission indicators, analysis of obtained data; *Timerbaev N.F.* – research concept; *Ibragimova V.R.* – literature analysis on greenhouse gas emissions.

Article history: received 23.03.2024; revised 15.05.2024; accepted 26.08.2024.

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

For citation: Gainullina LR, Fasykhov AR, Timerbaev NF, Ibragimova VR. Carbon footprint of the energy sector. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(4):365–384. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-365-384>

Введение

Предприятия всех размеров и всех отраслей все больше осознают необходимость сокращения выбросов парниковых газов и решения вопросов устойчивого развития в рамках своей деятельности, чтобы стать бизнесом с нулевым уровнем углеродного следа. Основой эффективной стратегии снижения углеродного следа предприятия является точное отслеживание, распределение и измерение выбросов парниковых газов. Парниковые выбросы предприятий делятся на три категории. Четкое разделение и расчет по этим категориям является сложным, но необходимым процессом на пути уменьшения воздействия предприятия на климат.

Согласно Протоколу о парниковых газах¹ выбросы категории Score 1 включают прямые выбросы парниковых газов предприятия из источников (котлы, печи, транспортные средства), принадлежащих или контролируемых данным предприятием. В первую очередь к таким предприятиям относятся генерирующие электроэнергетические компании и поставщики, контролирующие свои объекты по производству энергии и продающие ее в местную сеть. Эта же категория охватывает технологические выбросы, которые высвобождаются во время промышленных процессов и производства (например, заводские пары, химикаты).

В отличие от прямых выбросов косвенные выбросы (Score 2 и Score 3) являются следствием операционной деятельности отчитывающейся организации, но возникают из источников, не принадлежащих ей и не контролируемых ею. Для многих компаний значительные выбросы парниковых газов приходятся именно на Score 2, следовательно, снижение общего углеродного следа компании может быть осуществлено за счет энергосбережения и применения энергоэффективных устройств [1]. Косвенные выбросы Score 2 включают парниковые газы от потребителей энергии, такой как электроэнергия, пар, тепло или охлаждение, вырабатываемой за пределами

¹ The Greenhouse Gas Protocol // [Ghgprotocol.org](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf). URL: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf> (accessed: 09.10.2022).

площадки и потребляемой предприятием. Например, электроэнергия, приобретаемая у коммунальной компании, централизованное отопление, пар, используемый в промышленных процессах, вырабатываются за пределами предприятия, поэтому выбросы парниковых газов при их производстве считаются косвенными.

Косвенные выбросы категории Score 3 определяются жизненным циклом товаров и услуг (закупка сырья и комплектующих, доставка, продажа, использование, утилизация продукции по окончании срока ее службы, утилизация отходов, деловые поездки и т.д.) [2]. В этой категории определены 15 типов выбросов, подсчет и декларирование которых пока не требуют [1].

Цель исследования – оценка углеродного следа объектов энергетики, определение удельных показателей выбросов углекислого газа, сравнительный анализ источников энергии, а также определение пути развития использования низкоуглеродных источников, например АЭС и ГЭС, применения новых технологий в системе отопления, технологий утилизации хладагентов, вторичных энергоресурсов и т.д.

Методики и исследования

Ведущая роль в электроэнергетической отрасли России (67 %) принадлежит тепловым электрическим станциям (ТЭС). Поэтому объем выбросов ТЭС (всего их в России около 400) достаточно большой. По виду потребляемого топлива они подразделяются на ТЭС, работающие на природном газе – 71 %, угле – 27,5 %, жидком топливе (мазуте) и альтернативных видах топлива – 1,5 %. Следовательно, углеродный след электроэнергетики в целом весьма значителен. На рис. 1 приведены выбросы в атмосферу углекислого газа при сжигании различных видов органического топлива².

В зависимости от вида топлива при его сжигании на ТЭС образуются оксиды серы и оксиды азота, углекислый газ, фтористые соединения, золотые частицы, оксиды металлов, а также газообразные продукты неполного сгорания топлива [3–5]. Годовые выбросы ТЭС мощностью 1 МВт на различных видах органического топлива представлены в табл. 1 [5].

Углеродный след при сжигании топлива зависит от его вида и от технологии сжигания (табл. 2). При сжигании природного газа выбросы CO₂ составляют 1,85 т CO₂/(тыс. м³), при сжигании каменного угля – 2,7–2,8 т CO₂/т, в зависимости от марки угля, топочного мазута – 3,1 т CO₂/т. Также количество выбросов газообразных продуктов зависит от технологии сжигания топлива и условий функционирования оборудования. Зависимость выбросов оксидов азота от типа камеры сгорания приведена в табл. 2 [6]. На примере оксида азота рассмотрим зависимость концентрации его выбросов от выбранного типа камеры сгорания (табл. 2) [6].

² Выбросы парниковых газов и их взаимосвязь с выработкой электроэнергии // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2019. № 9. С. 82–89. URL: <https://www.c-o-k.ru/archive-cok?num=9&year=2019> (дата обращения: 25.12.2023).

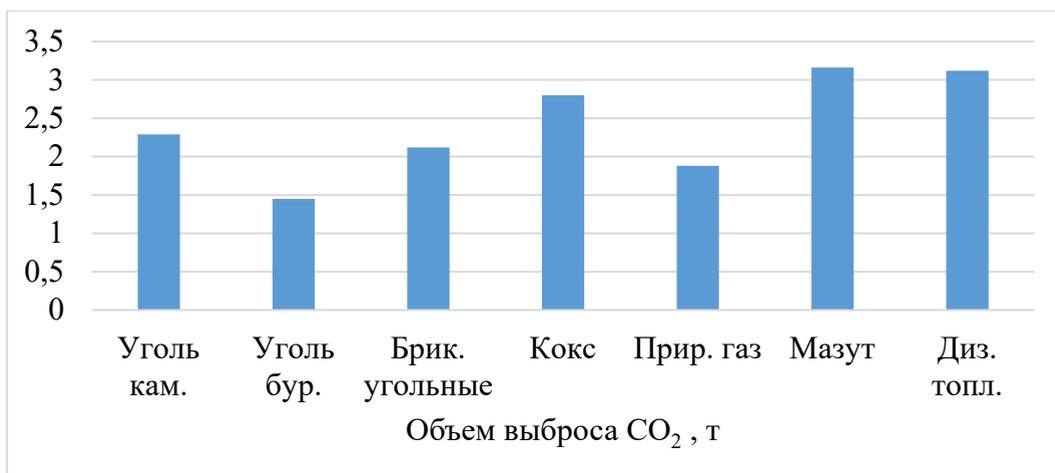


Рис. 1. Количество выбросов углекислого газа в атмосферу при сжигании топлива (на 1 т топлива)

Источник: составлено Л.Р. Гайнуллиной, А.Р. Фасыховым, Н.Ф. Тимербаевым, В.Р. Ибрагимовой на основе: Выбросы парниковых газов и их взаимосвязь с выработкой электроэнергии // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2019. № 9. С. 82–89.

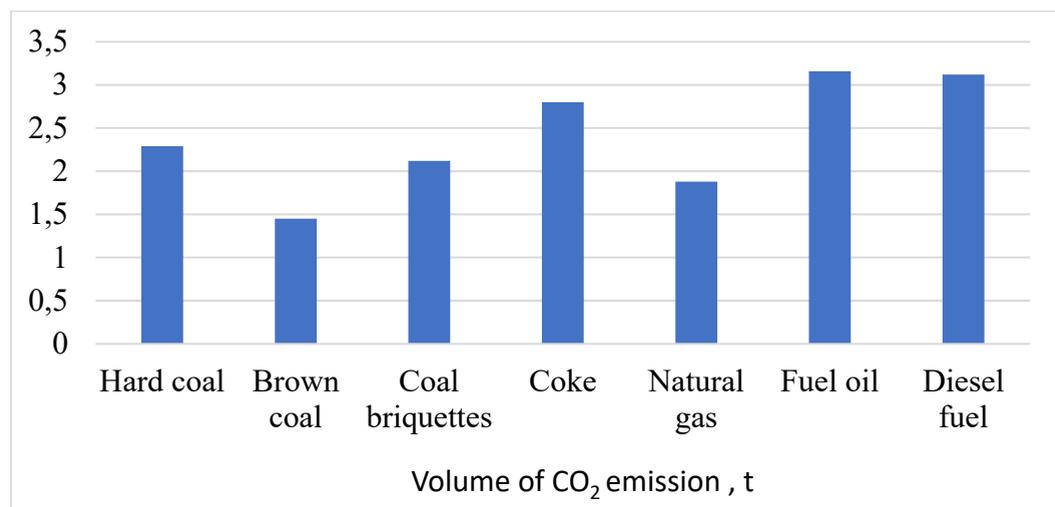


Figure 1. Amount of carbon dioxide emissions into the atmosphere at fuel combustion (per 1 t of fuel)

Source: Compiled by L.R. Gainullina, A.R. Fasykh, N.F. Timerbaev, V.R. Ibragimova based on Greenhouse gas emissions and their relationship with electricity generation. *Plumbing, Heating, Air Conditioning*. 2019;(9):82–89.

Таблица 1. Средние годовые выбросы ТЭС мощностью 1 МВт

Выбросы	Выбросы при сжигании, т		
	угля	мазута	газа
SO ₂	138	98	0,013
NO _x	20,9	21,8	12,2
CO _x	0,5	0,009	–
C _x H _y	0,21	0,68	–
R-CH=O	0,05	0,12	0,03
Сажа	4,5	0,73	0,45
Σ	164,8	121,3	12,7

Источник: составлено Л.Р. Гайнуллиной, А.Р. Фасыховым, Н.Ф. Тимербаевым, В.Р. Ибрагимовой на основе [4].

Table 1. Average annual emissions of 1 MW TPP

Emissions	Combustion emissions, t		
	coal	fuel oil	gas
SO ₂	138	98	0.013
NO _x	20.9	21.8	12.2
CO _x	0.5	0.009	–
C _x H _y	0.21	0.68	–
R-CH=O	0.05	0.12	0.03
Soot	4.5	0.73	0.45
Σ	164.8	121.3	12.7

Source: compiled by L.R. Gainullina, A.R. Fasykh, N.F. Timerbaev, V.R. Ibragimova based on [4].

Основным антропогенным источником выбросов оксидов азота в атмосферу являются ТЭС, сжигающие органическое топливо.

Среднее значение углеродного следа сжигаемого на ТЭС природного газа составляет около 450 г/кВт·ч, а угля – около 1000 г/кВт·ч.

Таблица 2. Концентрация оксидов азота от выбранного типа камеры сгорания

Тип ГТУ	Тип камеры сгорания	Вид топлива	Коэффициент избытка воздуха в отработавших газах за турбиной, α _{гр}	Содержание кислорода в продуктах сгорания, %	Концентрация NO _x , мг/нм ³	
					Без совершенствования конструкций камер сгорания	С изменением конструкции
ГТ-100-750 ЛМЗ	Регистровая, блочная	Газотурбинное	4,1	15,9	275	–
ГТ-35-770 ХТЗ	Регистровая, выносная	Газ	4,6	16,4	225	–
		Газотурбинное	4,7	16,5	200	–
ГТ-25-770-П ЛМЗ	Регистровая, выносная	Газ	5,5	17,0	135	–
ГТГ-12	Высокофорсированная, блочная	Дизельное	5,1	16,9	190	–
ГТП-25 НЗЛ	Микрофакельная, кольцевая	Газ	4,1	15,9	85	–
ГТЭ-150 ЛМЗ	Высокофорсированная, блочная	Газ	3,5	15,0	220	150
		Газотурбинное	3,5	15,0	270	210
ГТЭ-45 ХТЗ	Регистровая, кольцевая	Газ	4,0	15,8	220	100
		Дизельное, газотурбинное	4,0	15,8	240	150

Источник: составлено Л.Р. Гайнуллиной, А.Р. Фасыховым, Н.Ф. Тимербаевым, В.Р. Ибрагимовой на основе: Выбросы парниковых газов и их взаимосвязь с выработкой электроэнергии // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2019. № 9. С. 82–89.

Table 2. Concentration of nitrogen oxides from the selected type of combustion chamber

GTP type	Type of combustion chamber	Type of fuel	Excess air ratio in exhaust gases behind the turbine, α_{ex}	Oxygen content in combustion products, %	NO _x concentration, mg/nm ³	
					Without improving combustion chamber designs	With the change in design
GT-100-750 LMZ	Register, block	Gas turbine	4.1	15.9	275	–
GT-35-770 KHTZ	Register, remote	Gas	4.6	16.4	225	–
		Gas turbine	4.7	16.5	200	–
GT-25-770-P LMZ	Register, remote	Gas	5.5	17.0	135	–
GTG-12	High-force, block-type	Diesel	5.1	16.9	190	–
GTP-25 NZL	Micro-flare, circular	Gas	4.1	15.9	85	–
GTE-150 LMZ	High-force, block-type	Gas	3.5	15.0	220	150
		Gas turbine	3.5	15.0	270	210
GTE-45 KHTZ	Register, circular	Gas	4.0	15.8	220	100
		Diesel, Gas turbine	4.0	15.8	240	150

Source: compiled by L.R. Gainullina, A.R. Fasykh, N.F. Timerbaev, V.R. Ibragimova based on Greenhouse gas emissions and their relationship with electricity generation. *Plumbing, Heating, Air Conditioning*. 2019;(9):82–89.

Атомные электростанции (АЭС) считаются одними из самых чистых источников энергии, о чем свидетельствует исследование, проведенное экспертами ресурса Our World in Data³. В соответствии с этими данными выбросы парниковых газов на ГВт·ч на угольных электростанциях превышают выбросы на АЭС в 273 раза⁴. Согласно представленным данным АО «Концерн Росэнергоатом», 11 АЭС (37 энергоблоков) России по итогам 2020 г. впервые выработали более 20 % всей электроэнергии страны. Действующие и планируемые АЭС России, по данным на январь 2022 г., представлены на рис. 2⁵.

Россия находится в числе лидеров по развитию новых технологий выработки электроэнергии на АЭС. АЭС России позволяют ежегодно снижать выбросы CO₂ на 100 млн т CO₂-экв.⁶

³ Углеродный след АЭС ниже, чем у любых других энергостанций // Национальная ассоциация нефтегазового сервиса. 07.09.2021. URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/258259287> (дата обращения: 08.11.2022).

⁴ Там же.

⁵ См.: [7]; Атомные станции России // Росэнергоатом. URL: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/atomnye-elektrostantsii-rossii/ (дата обращения: 20.11.2022).

⁶ Обзор Российских практик в сфере низкоуглеродного развития и адаптации к изменениям климата / Министерство экономического развития Российской Федерации. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/f400e099af8482132163> (дата обращения: 16.11.2022).

Действующие и планируемые АЭС России Данные на январь 2022

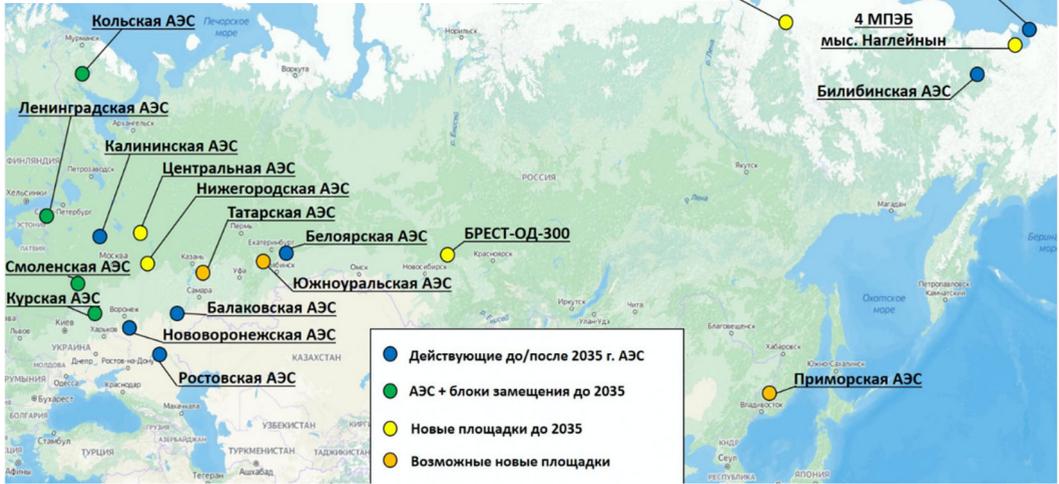


Рис. 2. Действующие и планируемые АЭС России

Источник: Новые АЭС России и рост доли атома до 25 % // Блог компании ITSOFT. 2022.

URL: <https://habr.com/ru/post/649235/> (дата обращения: 15.11.2022);

Тихонов С. Станет ли атомная энергетика альтернативой ветрякам // Российская газета.

Федеральный выпуск. 2021. № 231 (8582). URL: <https://rg.ru/2021/10/07/stanet-li-atomnaia-energetika-alternativoj-vetriakam.html> (дата обращения: 25.11.2022).

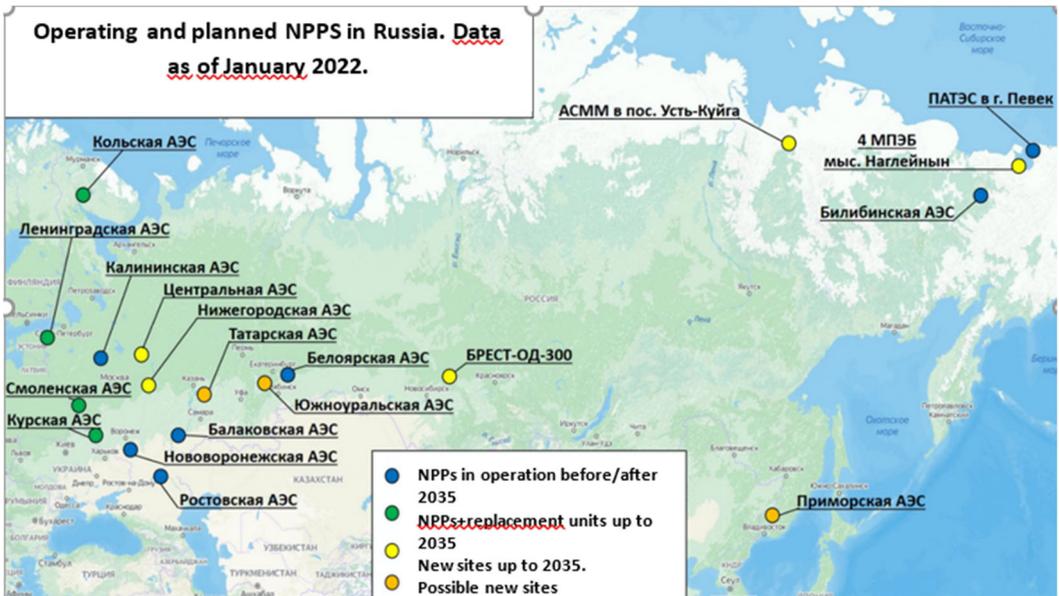


Figure 2. Operating and planned NPPs in Russia

Source: New NPPs in Russia and the growth of the share of atom to 25%. Blog of ITSOFT company. 2022.

(In Russ.). Available from: <https://habr.com/ru/post/649235/> (accessed: 15.11.2022).

Tikhonov S. Will nuclear energy become an alternative to wind turbines. *Rossiyskaya Gazeta. Federal issue.*

2021;231(8582). (In Russ.). Available from: <https://rg.ru/2021/10/07/stanet-li-atomnaia-energetika-alternativoj-vetriakam.html> (accessed: 25.11.2022).

Рассчитывая углеродный след генерирующих предприятий, необходимо учитывать не только производственный процесс, но и этап строительства, и вывод из эксплуатации.

Углеродный след АЭС в РФ с учетом производства оборудования составляет 9 г/кВт·ч, из них:

- начальные стадии ядерного топливного цикла – 57 %⁷;
- производство электроэнергии – 28 %⁸;
- строительство – 16 % (цемент – 6, нелегированная сталь – 3, арматурная сталь – 2 %)⁹;

– эмиссия CO₂ при выводе из эксплуатации – 3 %, а при эксплуатации – 9 %.

20,24 % установленной мощности электростанций в России приходится на гидроэлектростанции. Гидроэнергетику относят к энергетике с возобновляемым источником энергии. Однако углеродный след гидроэнергетики больше по сравнению с АЭС.

Строительный цикл включает бетоны и материалы для плотин. Произведенный нами расчет углеродного следа ГЭС на примере Чебоксарской ГЭС показал, что этап строительства занимает около 80 % выбросов, 20 % – выбросы в процессе эксплуатации (из них 80 % – эмиссия метана водохранилища, 20 % – от технологического оборудования, ЛЭП, трансформаторов и др.).

Значительные выбросы углекислого газа и особенно метана образуются в результате деструкции органических веществ, преимущественно донных осадков в аэробных и анаэробных условиях [7; 8]. Учитывая, что парниковый потенциал газа метана в 25 раз выше, чем у углекислого газа, гидроэнергетика также вносит вклад в углеродный след страны (табл. 3) [8].

Оценка суммарной эмиссии метана с водохранилищ РФ приведена в табл. 4 [9].

Электрические станции, работающие на возобновляемых источниках энергии – солнечной и ветровой энергии, относят к «зеленой» энергетике. Однако для таких станций необходимо учитывать углеродный след оборудования и утилизации, особенно для солнечных электрических станций. Углеродный след ВЭС (уровень выброса, который был осуществлен на стадии производства оборудования) составляет 11 г CO₂ на 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии, СЭС – 44 г CO₂ на 1 кВт·ч¹⁰.

Сравнительные данные средних значений удельных выбросов парниковых газов в пересчете на CO₂ экв./кВт·ч объектов генерации электроэнергии в течение их жизненного цикла приведены на рис. 3.

⁷ Новое исследование французской EDF подтвердило очень низкоуглеродное качество атомной энергии // Атомная энергия. 23 июня 2022. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2022/06/23/125792> (дата обращения: 20.11.2022).

⁸ Там же.

⁹ Там же.

¹⁰ См.: [16]; Обзор климатической политики и мер в различных секторах экономики // Информационный бюллетень «Изменение климата». 2021. № 92. С. 6–9.

Таблица 3. Мощности источников метана

Мощности источников метана, млн т в год		
Источник	Глобальный вклад	Российский вклад
Естественные источники		
Болота	50–70	21,0
Озера	1–25	1,1
Океаны	1–17	
Искусственные источники		
Водохранилища		0,4

Источник: составлено Л.Р. Гайнуллиной, А.Р. Фасыховым, Н.Ф. Тимербаевым, В.Р. Ибрагимовой на основе [8].

Table 3. Methane source capacities

Methane source capacities, mln tons per year		
Source	Global contribution	Russian contribution
Natural sources		
Swamps	50–70	21.0
Lakes	1–25	1.1
Oceans	1–17	
Artificial sources		
Reservoirs		0.4

Source: compiled by L.R. Gainullina, A.R. Fasykh, N.F. Timerbaev, V.R. Ibragimova based on [8].

Таблица 4. Оценка суммарной эмиссии метана с водохранилищ субъектов РФ, 2019

Субъект РФ	Выделение CH_4 -C/год, т	Субъект РФ	Выделение CH_4 -C/год, т
Омская обл.	6,6	Смоленская обл.	1746,4
Псковская обл.	14,6	Воронежская обл.	1785,2
Сахалинская обл.	14,6	Пензенская обл.	1798,6
Республика Кабардино-Балкария	32,9	Курская обл.	1853,8
Республика Чечня	37,9	Свердловская обл.	2324,9
Республика Северная Осетия – Алания	42,0	Оренбургская обл.	2834,7
Забайкальский край	55,7	Республика Калмыкия	2859,3
Республика Бурятия	68,4	Краснодарский край	3674,0
Калининградская обл.	92,0	Челябинская обл.	3705,9
Алтайский край	98,0	Пермский край	4117,8
Республика Коми	144,6	Республика Башкортостан	4188,9
Орловская обл.	148,3	Ленингр. обл. и г. Санкт-Петербург	4498,8
Хабаровский край	163,7	Иркутская обл.	4876,3
Республика Дагестан	165,5	Московская обл. и г. Москва	6487,9
Магаданская обл.	187,5	Ставропольский край	7162,2
Владимирская обл.	234,5	Республика Чувашия	7574,1
Курганская обл.	250,3	Республика Адыгея	7732,0
Тюменская обл.	269,4	Ростовская обл.	9784,4
Республика Тыва	328,0	Красноярский край	9869,1
Брянская обл.	337,9	Ульяновская обл.	10 246,6
Республика Мордовия	355,9	Тверская обл.	11 588,9
Мурманская обл.	433,6	Астраханская обл.	12 022,8
Приморский край	520,7	Вологодская обл.	12 708,7
Республика Крым и г. Севастополь	535,5	Ивановская обл.	12 885,3
Республика Алтай	610,3	Волгоградская обл.	13 558,8
Кемеровская обл.	645,6	Ярославская обл.	19524,9

Окончание табл. 4

Субъект РФ	Выделение CH ₄ -C/год, т	Субъект РФ	Выделение CH ₄ -C/год, т
Калужская обл.	682,6	Республика Марий Эл	21 988,5
Республика Хакассия	690,2	Нижегородская обл.	23 668,8
Тульская обл.	724,7	Саратовская обл.	29 249,1
Республика Удмуртия	766,2	Самарская обл.	37 449,8
Кировская обл.	910,7	Республика Татарстан	79 251,4
Республика Карачаево-Черкесия	965,4	Томская обл.	нет данных
Белгородская обл.	1033,3	Камчатский край	нет данных
Республика Саха	1093,3	Еврейская АО	нет данных
Республика Карелия	1129,4	Ненецкий АО	нет данных
Тамбовская обл.	1250,1	Ханты-Мансийский АО – Югра	нет данных
Рязанская обл.	1314,0	Чукотский АО	нет данных
Новосибирская обл.	1337,4	Ямало-Ненецкий АО	нет данных
Амурская обл.	1350,7	Архангельская обл.	нет данных
Липецкая обл.	1542,1	Новгородская обл.	нет данных
Костромская обл.	1742,1	Республика Ингушетия	нет данных
Итого 395 344,4			

Источник: составлено Л.Р. Гайнуллиной, А.Р. Фасыховым, Н.Ф. Тимербаевым, В.Р. Ибрагимовой на основе [8].

Table 4. Estimated total methane emissions from reservoirs of the Russian Federation subjects, 2019

Subject of the Russian Federation	CH ₄ -C emission/year, tons	Subject of the Russian Federation	CH ₄ -C emission/year, tons
Omsk Region	6.6	Smolensk Region	1 746.4
Pskov Region	14.6	Voronezh Region	1 785.2
Sakhalin Region	14.6	Penza Region	1 798.6
Kabardino-Balkaria Republic	32.9	Kursk Region	1 853.8
Chechnya Republic	37.9	Sverdlovsk Region	2 324.9
North Ossetia-Alania Republic	42.0	Orenburg Region	2 834.7
Zabaikalsky Krai	55.7	Republic of Kalmykia	2 859.3
Republic of Buryatia	68.4	Krasnodar Region	3 674.0
Kaliningrad Region	92.0	Chelyabinsk Region	3 705.9
Altai Krai	98.0	Perm Region	4 117.8
Komi Republic	144.6	Republic of Bashkortostan	4 188.9
Oryol Region	148.3	Leningrad Region and Saint Petersburg	4 498.8
Khabarovsk Krai	163.7	Irkutsk Region	4 876.3
Republic of Dagestan	165.5	Moscow Region and Moscow	6 487.9
Magadan Region	187.5	Stavropol Region	7 162.2
Vladimir Region	234.5	Republic of Chuvashia	7 574.1
Kurgan Region	250.3	Republic of Adygea	7 732.0
Tyumen Region	269.4	Rostov Region	9 784.4
Tuva Republic	328.0	Krasnoyarsk Region	9 869.1
Bryansk Region	337.9	Ulyanovsk Region	10 246.6
Republic of Mordovia	355.9	Tver Region	11 588.9
Murmansk Region	433.6	Astrakhan Region	12 022.8
Primorsky Krai	520.7	Vologda Region	12 708.7
Republic of Crimea and Sevastopol	535.5	Ivanovo Region	12 885.3
Altai Republic	610.3	Volgograd Region	13 558.8
Kemerovo Region	645.6	Yaroslavl Region	19 524.9
Kaluga Region	682.6	Mari El Republic	21 988.5
Republic of Khakassia	690.2	Nizhny Novgorod Region	23 668.8
Tula Region	724.7	Saratov Region	29 249.1

End of the table 4

Subject of the Russian Federation	CH ₄ -C emission/year, tons	Subject of the Russian Federation	CH ₄ -C emission/year, tons
Udmurtia Republic	766.2	Samara Region	37 499.8
Kirov Region	910.7	Republic of Tatarstan	79 251.4
Republic of Karachay-Cherkessia	965.4	Tomsk Region	No data
Belgorod Region	1 033.3	Kamchatka Krai	No data
Sakha Republic	1 093.3	Jewish Autonomous Okrug	No data
Republic of Karelia	1 129.4	Nenets Autonomous Okrug	No data
Tambov Region	1 250.1	Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra	No data
Ryazan Region	1 314.0	Chukotka Autonomous Okrug	No data
Novosibirsk Region	1 337.4	Yamalo-Nenets Autonomous Okrug	No data
Amur Region	1 350.7	Arkhangelsk Oblast	No data
Lipetsk Region	1 542.1	Novgorod Oblast	No data
Kostroma Region	1 742.1	Republic of Ingushetia	No data
Total			395 344.4

Source: compiled by L.R. Gainullina, A.R. Fasykh, N.F. Timerbaev, V.R. Ibragimova based on [8].

Участниками выбросов Score 2 являются жилой сектор и предприятия, покупающие тепловую энергию.

Существенный углеродный след имеют отопление и горячее водоснабжение котельными, работающими на газовом топливе, мазуте, дизельном топливе, угле, антраците, древесных пеллетах. Для различных видов топлива были определены удельные выбросы CO₂ в г/кВт·ч тепловой энергии (рис. 4).

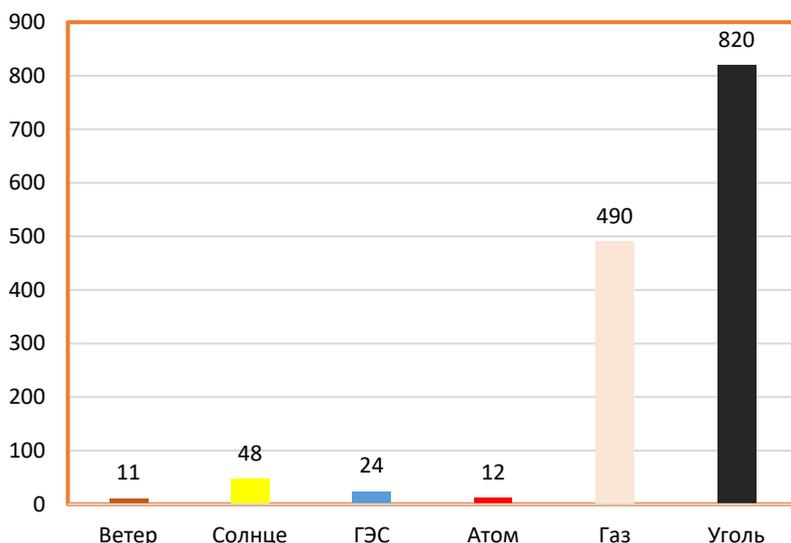


Рис. 3. Средние значения удельных выбросов парниковых газов CO₂ экв./кВт·ч объектов генерации электроэнергии

Источник: составлено Л.Р. Гайнуллиной, А.Р. Фасыховым, Н.Ф. Тимербаевым, В.Р. Ибрагимовой на основе: Углеродный след. Выбор системы отопления.

URL: https://ru.frwiki.wiki/wiki/Empreinte_carbone (дата обращения: 15.11.2023);

Приказ Минприроды России от 27.05.2022 № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» (зарегистрировано в Минюсте России 29.07.2022 № 69451)

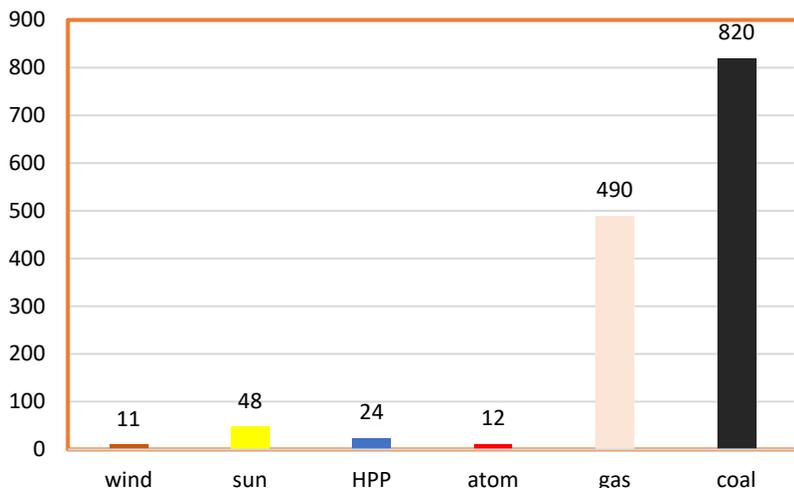


Figure 3. Average values of specific greenhouse gas emissions CO₂ eq./kWh of electricity generation facilities [13–14]

Source: compiled by L.R. Gainullina, A.R. Fasykh, N.F. Timerbaev, V.R. Ibragimova based on Carbon footprint. Choosing a heating system (In Russ.).

Available from: https://ru.fwiki.wiki/wiki/Empreinte_carbone (accessed: 15.11.2023);

Order of the Ministry of Natural Resources of Russia from 27.05.2022 N 371 "On approval of methods for quantitative determination of greenhouse gas emissions and greenhouse gas removals" (registered in the Ministry of Justice of Russia on 29.07.2022 N 69451)

Наименьший углеродный след у древесины, поскольку объем выбросов CO₂ при сжигании древесины равноценен количеству поглощения CO₂ при ее росте¹¹.

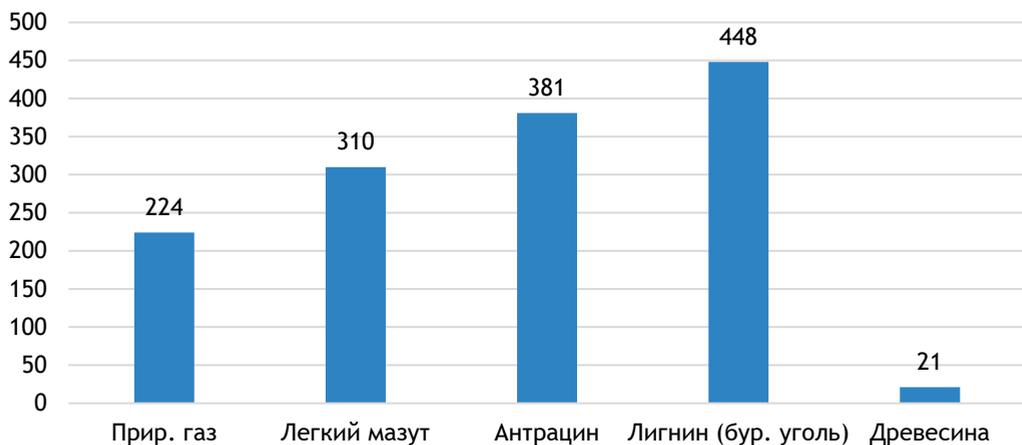


Рис. 4. Удельные выбросы CO₂, г/кВт·ч энергии

Источник: составлено Л.Р. Гайнуллиной, А.Р. Фасыховым, Н.Ф. Тимербаевым, В.Р. Ибрагимовой на основе Приказа Минприроды России от 27.05.2022 № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» (зарегистрировано в Минюсте России 29.07.2022 № 69451)

¹¹ См.: Обзор климатической политики и мер в различных секторах экономики // Информационный бюллетень «Изменение климата». 2021. № 92. С. 6–9; Расчет парниковых газов от энергетической деятельности предприятий (сжигание топлива). URL: <https://sro150.ru/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovykh-gazov> (дата обращения: 20.11.2022).

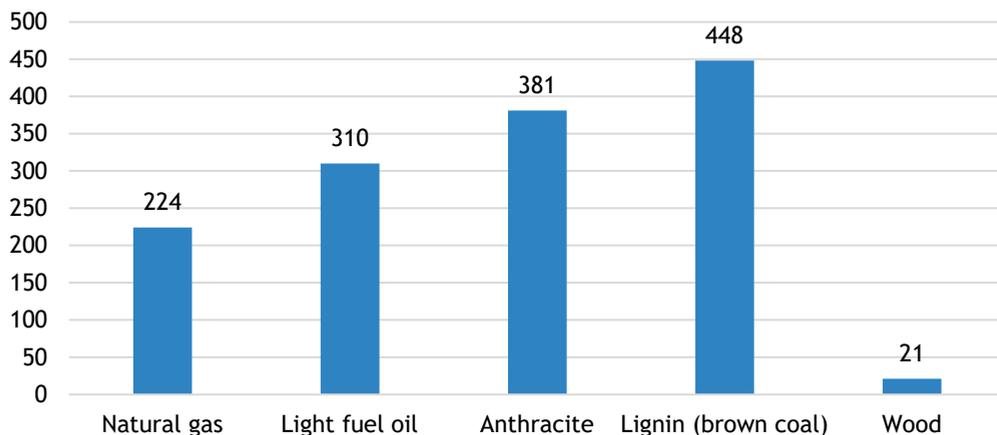


Figure 4. Specific CO₂ emissions, g/kWh of energy

Source: compiled by L.R. Gainullina, A.R. Fasykh, N.F. Timerbaev, V.R. Ibragimova based on Order of the Ministry of Natural Resources of Russia from 27.05.2022 N 371 “On approval of methods for quantitative determination of greenhouse gas emissions and greenhouse gas removals” (registered in the Ministry of Justice of Russia on 29.07.2022 N 69451)

Различные способы получения тепловой и электрической энергии дают возможность регулировать углеродный след в широком интервале значений. Углеродный след энергопотребления жилья приведен на рис. 5. Экологичная электроэнергия, вырабатываемая с помощью возобновляемых источников энергии, различных типов тепловых насосов, таких как «грунт–вода», геотермальный тепловой насос, способствует значительному снижению углеродного следа производства тепловой энергии при энергоснабжении, например, жилого сектора (табл. 5).

Пример сравнения выбросов парниковых газов от отопления дома приведен в табл. 5¹².

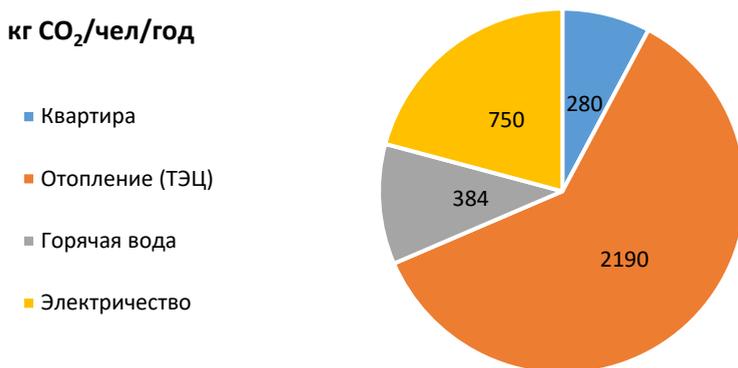
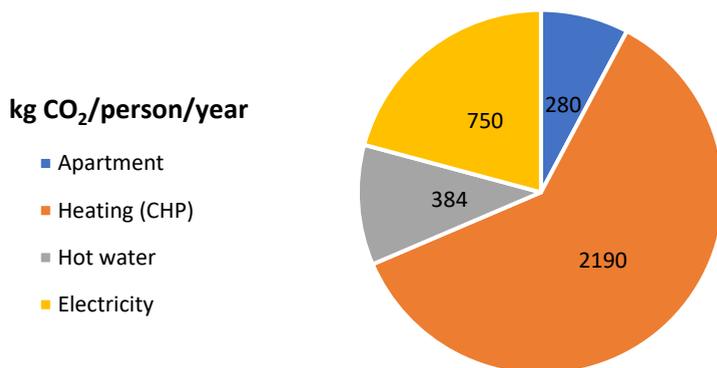


Рис. 5. Энергопотребление жилья

Источник: составлено Л.Р. Гайнуллиной, А.Р. Фасыховым, Н.Ф. Тимербаевым, В.Р. Ибрагимовой на основе [10].

¹² Углеродный след. URL: https://ru.frwiki.wiki/wiki/Empreinte_carbone (дата обращения: 20.11.2022).

Figure 5. **Energy consumption of housing**

Source: compiled by L.R. Gainullina, A.R. Fasykh, N.F. Timerbaev, V.R. Ibragimova based on [10].

Таблица 5. Выбросы парниковых газов при различных энергетических решениях отопления жилого дома

Энергетическое решение	Потребность в энергии, кВт·ч/год	Потребление, кВт·ч _{гр} /год	Содержание CO ₂ экв/кВт·ч	Выбросы годовые, т CO ₂ экв. год
Электрическое отопление с джоулевым эффектом (конвектор)	10 000	10 000	180	1,8
Масляный котел	10 000	11 000	300	3,3
Газовый котел	10 000	10 500	234	2,4
Электрический тепловой насос	10 000	4 000 (аэротермальный); 2900 (геотермальный)	180	0,72 (аэротермальный); 0,52 (геотермальный)
Котел на дровах	10 000	14 000	13	0,2

Источник: Углеродный след. Выбор системы отопления. URL: https://ru.fwiki.wiki/wiki/Empreinte_carbone (дата обращения: 20.11.2022).

Table 5. **Greenhouse gas emissions for different energy solutions for heating a residential building**

Energy solution	Energy requirement, kWh/year	Consumption, kWh/year	CO ₂ content, eq/kWh	Annual emissions, tCO ₂ eq per year
Electric heating with joule effect (convector)	10 000	10 000	180	1.8
Oil boiler	10 000	11 000	300	3.3
Gas boiler	10 000	10 500	234	2.4
Electric heat pump	10 000	4 000 (aerothermal); 2900 (geothermal)	180	0.72 (aerothermal); 0.52 (geothermal)
Wood fired boiler	10 000	14 000	13	0.2

Source: Carbon footprint. Choosing a heating system. Available from: https://ru.fwiki.wiki/wiki/Empreinte_carbone (accessed: 20.11.2022).

Изменения климата приводят к росту потребления электроэнергии климатотехникой. К 2050 г. именно климатотехника будет крупнейшим потребителем электроэнергии. Системы охлаждения уже сегодня расходуют около 10 % производимой в мире электроэнергии. Углеродный след процесса кондиционирования с учетом уничтожения хладагентов будет только расти.

Выбор хладагента определяется рядом факторов, среди которых рабочее давление и температура в системе, холодильный коэффициент, удельная холодопроизводительность и т.д. В качестве хладагентов в кондиционерах используют различные фреоны: R22 (хлордифторметан), R290 (пропан), смеси R401a (–b, –c), R409A и др. Одним из наиболее часто используемым хладагентом является гидрофторуглерод R134a. Этот хладагент относится к группе высокопарниковых газов. Почти 3 % от всех парниковых газов принадлежит именно гидрофторуглеродам¹³.

Углеродный след хладагентов (в ед. массы – CO₂-экв) состоит из:

1) объема хладагента, выпущенного в атмосферу за время эксплуатации оборудования, включая утечки;

2) объема выбросов, образующихся при сжигании ископаемого топлива для производства энергии, которая необходима для эксплуатации оборудования в течение всего срока его службы¹⁴.

Опасность выбросов парниковых газов усугубляется временем их существования в атмосфере. Парниковая активность выражается через «потенциал глобального потепления» (ПГП), приведенного в виде коэффициента способности молекул задерживать солнечную радиацию или количество энергии, которое будет поглощено 1 т газа за определенный (в данном случае за 100 лет) период времени (табл. 6)¹⁵.

Еще один показатель, который необходимо учитывать при выборе хладагента, – это потенциал разрушения озонового слоя (табл. 7). Этот показатель связан с используемыми в том числе в холодильном оборудовании соединениями хлора и брома, так как эти виды галогенов легко разрушают стратосферный озон.

Таблица 6. Потенциал глобального потепления

Парниковый газ	Время существования в атмосфере, лет	ПГП за 100 лет
Углекислый газ CO ₂	Переменное значение	1
Метан CH ₄	12	25
Закись азота N ₂ O	114	298
Трифторметан CHF ₃	270	800
Хлортрифторметан CClF ₃	640	400
Гексафторид серы SF ₆	3200	800
1,1,1,2-тетрафторэтан HFC-134a	14	430

Источник: составлено Л.Р. Гайнуллиной, А.Р. Фасыховым, Н.Ф. Тимербаевым, В.Р. Ибрагимовой на основе Приказа Минприроды России от 27.05.2022 № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» (зарегистрировано в Минюсте России 29.07.2022 № 69451); Утилизирующая компания Омега. URL: <https://omega-ekb.com/utilizaciya-kladagenta> (дата обращения: 20.11.2022).

¹³ См.: Углеродный след. URL: https://ru.frwiki.wiki/wiki/Empreinte_carbone (дата обращения: 20.11.2022); Охрана окружающей среды в России. 2020: стат. сб. Росстат, 2020. 113 с.

¹⁴ Воздействие холодильных систем на климат. Основные положения и рекомендации. Технический отчет. URL: https://www.ozoneprogram.ru/upload/files/o/ocenka_okep/dopolnenie3.pdf (дата обращения: 20.11.2022).

¹⁵ Утилизирующая компания Омега. URL: <https://omega-ekb.com/utilizaciya-kladagenta> (дата обращения: 20.11.2022); CO₂-эквивалент. URL: <https://plus-one.ru/sustainability/co2-ekvivalent> (дата обращения: 20.11.2022).

Table 6. **Global warming potential** [14; 16]

Greenhouse gas	Atmospheric lifetime, years	GWP for 100 years
Carbon dioxide CO ₂	Variable value	1
Methane CH ₄	12	25
Nitrous oxide N ₂ O	114	298
Trifluoromethane CHF ₃	270	800
Chlorotrifluoromethane CClF ₃	640	400
Sulfur hexafluoride SF ₆	3200	800
1,1,1,2-tetrafluoroethane HFC-134a	14	430

Source: compiled by L.R. Gainullina, A.R. Fasykh, N.F. Timerbaev, V.R. Ibragimova based on Order of the Ministry of Natural Resources of Russia from 27.05.2022 N 371 “On approval of methods for quantitative determination of greenhouse gas emissions and greenhouse gas removals” (registered in the Ministry of Justice of Russia on 29.07.2022 N 69451) (In Russ.); Omega Waste Management Company. (In Russ.). Available from: <https://omega-ekb.com/utilizaciya-xladagenta> (accessed: 20.11.2022).

Таблица 7. **Значения озоноразрушающего потенциала некоторых хладагентов**

Парниковый газ	Озоноразрушающий потенциал
Трихлорфторметан R11	1
Хлорфторуглерод R12	1
Хлорпентафторэтан R115	0,6
Хлортрифторметан CClF ₃	400
Гексафторид серы SF ₆	0
1,1,1,2-тетрафторэтан R-134a	0,000015

Источник: составлено Л.Р. Гайнуллиной, А.Р. Фасыховым, Н.Ф. Тимербаевым, В.Р. Ибрагимовой на основе Приказа Минприроды России от 27.05.2022 № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» (зарегистрировано в Минюсте России 29.07.2022 № 69451); Утилизирующая компания Омега. URL: <https://omega-ekb.com/utilizaciya-xladagenta>. (дата обращения: 20.11.2022).

Table 7. **Ozone Depletion Potential Values of Some Refrigerants** [14; 16]

Greenhouse gas	Ozone Depleting Potential
Trichlorofluoromethane R11	1
Chlorofluorocarbon R12	1
Chloropentafluoroethane R115	0.6
Chlorotrifluoromethane CClF ₃	400
Sulfur hexafluoride SF ₆	0
1,1,1,2-tetrafluoroethane R-134a	0.000015

Source: compiled by L.R. Gainullina, A.R. Fasykh, N.F. Timerbaev, V.R. Ibragimova based on Order of the Ministry of Natural Resources of Russia from 27.05.2022 N 371 “On approval of methods for quantitative determination of greenhouse gas emissions and greenhouse gas removals” (registered in the Ministry of Justice of Russia on 29.07.2022 N 69451) (In Russ.); Omega Waste Management Company. (In Russ.). Available from: <https://omega-ekb.com/utilizaciya-xladagenta> (accessed: 20.11.2022).

Выводы

Снижение углеродного следа в энергетике возможно в следующих направлениях:

1) уменьшение доли источников энергии в виде органического топлива, переход на возобновляемые источники энергии. Огромный потенциал гидроэнергетики в нашей стране позволяет значительно увеличить долю электроэнергии, вырабатываемой на ГЭС. Развитие программы локализации ВИЭ, повышение эффективности электростанций [11], разработка новых методик оценки и прогнозирования параметров ветра и солнечной активности [12] позволит увеличить долю ВИЭ в энергетике;

2) экологичное отопление – геотермальное, солнечными коллекторами и т.д. Например, геотермальное отопление на 20 % экономичнее отопления газовым котлом;

3) утилизация хладагентов. Хладагент может быть разных видов, и для каждого возможно подобрать рациональный способ утилизации: применяемые в холодильных установках и агрегатах; преобразователи на производстве пластмасс; реагенты для сухого травления; сырье применяется в системе пожаротушения¹⁶;

4) для эффективной работы над снижением углеродного следа необходимо учитывать все этапы жизненного цикла энергетики, включая строительство, эксплуатацию и утилизацию оборудования.

Список литературы

- [1] *Ермакова М.С.* Выбросы парниковых газов: раскладываем по полочкам // Экология производства. 2021, февраль. С. 98–105. URL: <https://news.ecoindustry.ru/wp-content/uploads/2021/02/Ermakova.pdf> (дата обращения: 25.12.2023).
- [2] *Умнов В.А., Коробова О.С., Скрыбина А.А.* Углеродный след как индикатор воздействия экономики на климатическую систему // Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право. 2020. № 2. С. 85–93. <http://doi.org/10.28995/2073-6304-2020-2-85-93>
- [3] *Никонова Р.А., Дрягина Д.Р.* Защита окружающей среды при эксплуатации ТЭС // Современные инновации. 2018. № 3 (25). С. 12–15.
- [4] *Yihshuan Wu, Jian Hua.* Investigating a Retrofit Thermal Power Plant from a Sustainable Environment Perspective – A Fuel Lifecycle Assessment Case Study // Sustainability. 2022. Vol. 14. No. 8. <http://doi.org/10.3390/su14084556>
- [5] *Силаева П.Ю., Силаев А.В.* Особенности рассеивания выбросов диоксида азота предприятиями энергокомплекса и их влияние на население мегаполисов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26. № 1. С. 63–72. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2018-26-1-63-72>
- [6] *Плотникова И.Н., Володин С.А., Кочнева Ю.Ю., Салыхова А.Р.* Актуальные вопросы декарбонизации / под научной редакцией М.Х. Салахова и М.С. Тагирова. Казань: Изд-во «ФЭН» Академии наук РТ, 2021. 56 с.
- [7] *Ваулин И.* Гидроэнергетика подтверждает статус безуглеродной // Атомный эксперт. Серия: Экология. 2020. № 1–2. URL: https://atomicexpert.com/carbonless_hydropower. (дата обращения: 25.11.2022).
- [8] *Бажин Н.М.* Метан в окружающей среде // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. 2010. № 93. С. 1–56.
- [9] *Тихонов С.* Станет ли атомная энергетика альтернативой ветрякам // Российская газета. Федеральный выпуск. 2021. № 231 (8582). URL: <https://rg.ru/2021/10/07/stanet-li-atomnaia-energetika-alternativoj-vetriakam.html> (дата обращения: 25.11.2022).

¹⁶ Воздействие холодильных систем на климат. Основные положения и рекомендации. Технический отчет. URL: https://www.ozoneprogram.ru/upload/files/o/ocenka_okep/dopolnenie3.pdf (дата обращения: 20.11.2022).

- [10] Халилуллина А.Р. Возобновляемые источники энергии в виде геотермального теплового насоса // Инновационная наука. 2019. № 2. С. 42–44.
- [11] Алхадж Хассан Ф., Алали Ш., Гайнуллина Л.Р. Повышение эффективности ветровых электростанций // iPolytech Journal. 2022. Т. 26. № 2. С. 217–227. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-2-217-227>
- [12] Хассан Ф. А., Гайнуллина Л.Р., Тимербаев Н.Ф. Методика оценки и прогнозирования среднегодовой скорости и направления ветра на основе данных ветроизмерений // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 3 (55). С. 59–68.

References

- [1] Ermakova MS. Emissions of greenhouse gases: laying them out on the shelf. *Ecology of production*. February 2021:98–105. (In Russ.). Available from: <https://news.ecoindustry.ru/wp-content/uploads/2021/02/Ermakova.pdf> (accessed: 25.12.2023).
- [2] Umnov VA, Korobova OS, Skryabina AA. Carbon footprint as an indicator of the impact of the economy on the climate system. *RSUH/RGGU BULLETIN. Series Economic Management. Low*. 2020;2:85–93. (In Russ.). <http://doi.org/10.28995/2073-6304-2020-2-85-93>
- [3] Nikonova RA, Dryagina DR. Protection of the environment during the operation of thermal power plants. *Modern innovations*. 2018;(3):12–15. (In Russ.).
- [4] Yihsuan Wu, Jian Hua. Investigating a Retrofit Thermal Power Plant from a Sustainable Environment Perspective – A Fuel Lifecycle Assessment Case Study. *Sustainability*. 2022;14(8):4556. <http://doi.org/org/10.3390/su14084556>
- [5] Silaeva PY, Silaev AV. Peculiarities of dispersion of nitrogen dioxide emissions by the energy complex enterprises and their impact on the population of megapolises. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2018;26(1):63–72. (In Russ.). <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2018-26-1-63-72>
- [6] Plotnikova IN, Volodin SA, Kochneva YuYu, Salyakhova AR. *Current issues of decarbonization*. Salakhov MH, Tagirov MS. (eds.). Publishing house “FEN” of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; 2021. 56 p. (In Russ.).
- [7] Vaulin I. Hydropower confirms the status of carbon-free. *Atomny expert. Series: Ecology*. 2020;1–2. (In Russ.). Available from: https://atomicexpert.com/carbonless_hydropower (accessed: 25.11.2022).
- [8] Bazhin NM. Methane in the environment. *Ecology. A series of analytical reviews of world literature*. 2010(93):1–56. (In Russ.).
- [9] Tikhonov S. Will nuclear energy become an alternative to windmills. *Rossiyskaya Gazeta. Federal issue*. 2021(231). (In Russ.). Available from: <https://rg.ru/2021/10/07/stanet-li-atomnaia-energetika-alternativnoj-vetriakam.html>
- [10] Khalilullina AR. Renewable energy sources in the form of geothermal heat pump. *Innovation Science*. 2019;(2):42–44.
- [11] Hassan FA, Alali Ch, Gainullina LR. Increasing the efficiency of wind farms. *iPolytech Journal*. 2022;26(2):217–227. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-2-217-227>
- [12] Hassan Fouad A, Gainullina LR, Timerbaev NF. Methodology to estimate and forecast the average the annual speed and direction of the wind based on wind measurement data. *Bulletin of Kazan State Energy University*. 2022;14(55):59–68. (In Russ.).

Сведения об авторах:

Гайнуллина Лейсан Раисовна, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной экологии и безопасности труда, Казанский государственный энергетический университет, Российская Федерация, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51. ORCID: 0000-0001-5414-7647. E-mail: gainullina7819@mail.ru

Фасыхов Айдар Равилович, аспирант, кафедра инженерной экологии и безопасности труда, Казанский государственный энергетический университет, Российская Федерация, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51. E-mail: fara.388@mail.ru

Тимербаев Наиль Фаритович, доктор технических наук, директор Научно-технического центра «Альтернативная энергетика», Российская Федерация, 420034, г. Казань, ул. Декабристов, д. 85Б. ORCID: 0000-0001-9170-2056. E-mail: cpekgeu@gmail.com

Ибрагимова Виктория Рустемовна, заместитель директора Научно-технического центра «Альтернативная энергетика», Российская Федерация, 420034, г. Казань, ул. Декабристов, д. 85Б. E-mail: cpekgeu@gmail.com

Bio notes:

Leysan R. Gainullina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Ecology and Labor Safety, Kazan State Power Engineering University, 51 Krasnoselskaya St, Kazan, 420066, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5414-7647. E-mail: gainullina7819@mail.ru

Aidar R. Fasykhov, Postgraduate student, Department of Engineering Ecology and Labor Safety, Kazan State Power Engineering University, 51 Krasnoselskaya St, Kazan, 420066, Russian Federation. E-mail: fara.388@mail.ru

Nail F. Timerbaev, Doctor of Technical Science, Director of the Scientific and Technical Center for Alternative Energy, 85B Dekabristov St, Kazan, 420034, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9170-2056. E-mail: cpekgeu@gmail.com

Victoria R. Ibragimova, Deputy Director of the Scientific and Technical Center for Alternative Energy, 85B Dekabristov St, Kazan, 420034, Russian Federation. E-mail: cpekgeu@gmail.com



DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-385-399
EDN: NDMMLE
УДК 504.03

Научная статья / Research article

Анализ системы управления ТКО в г. Бисау, Республика Гвинея-Бисау, в свете целей устойчивого развития

Ф. Нантунге✉, М.Д. Харламова

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

Аннотация. Проведен анализ существующей системы обращения с твердыми городскими отходами в столице Республики Гвинея-Бисау – г. Бисау. На основе анализа выявлены факты неэффективного управления отходами, отсутствия оперативного контроля и систематизации данных в системе городской санитарной очистки города, что обусловлено отсутствием необходимой технической подготовки на уровне органа городского управления – городского совета г. Бисау. Выявленными локальными причинами недостаточного качества и эффективности предоставляемых услуг по санитарной очистке города являются финансовые ограничения и нехватка квалифицированного персонала. Вместе с тем проблема заключается в отсутствии на уровне страны политики устойчивого управления отходами.

Ключевые слова: твердые городские отходы, морфологический состав, санитарная очистка города, комплексное управление отходами, муниципалитет, финансовые аспекты, социальные аспекты, технологические аспекты.

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

История статьи: поступила в редакцию 13.04.2024; доработана после рецензирования 25.05.2024; принята к публикации 17.08.2024.

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

© Нантунге Ф., Харламова М.Д., 2024



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

Для цитирования: Нантунге Ф., Харламова М.Д. Анализ системы управления ТКО в г. Бисау, Республика Гвинея-Бисау, в свете целей устойчивого развития // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 385–399. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-385-399>

Analysis of the MSW management system in Bissau, Guinea-Bissau, in the light of sustainable development goals (SDG)

Fernando Nantunge✉, **Marianna D. Kharlamova**

RUDN University, Moscow, Russian Federation

✉nantunge@mail.ru

Abstract. The study analyzes the existing system of solid municipal waste management in the capital of the Republic of Guinea-Bissau – Bissau. Based on the analysis, facts of ineffective waste management, lack of operational control and systematization of data in the system of urban sanitation of the city were revealed, which is due to the lack of necessary technical training at the level of the city government – the city council of Bissau. The identified local reasons for the insufficient quality and efficiency of the provided services for sanitation of the city are financial constraints and lack of qualified personnel. On the other hand, the problem is the lack of a sustainable waste management policy at the country level.

Keywords: municipal solid waste; morphological composition; city sanitation; integrated management; municipality; financial aspects; social aspects; technological aspects.

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

Article history: received 13.04.2024; revised 25.05.2024; accepted 17.08.2024.

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

For citation: Nantunge F, Kharlamova MD. Analysis of the MSW management system in Bissau, Guinea-Bissau, in the light of sustainable development goals (SDG). *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(4):385–399. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-385-399>

Введение

Одна из самых больших проблем, стоящих перед современным обществом, – это совмещение экономического развития с сохранением стабильности окружающей среды. С одной стороны, окружающая среда является средством поддержания человеческой деятельности, предоставления ресурсов и ассимиляции отходов, с другой стороны, эта зависимость привела к ряду экологических проблем, являющихся результатом неадекватного управления и неправильного использования различных природных ресурсов [5].

Республика Гвинея-Бисау – это страна с нестабильной политической ситуацией и институциональным управлением очень разнообразная в культурном и этническом плане, характеризуется очень высоким ростом населения,

отсутствием государственной и частной инфраструктуры, отсутствием конкретных правил обращения с отходами и трудностями с техническим персоналом. Это привело к большим трудностям в области управления отходами. Твердые коммунальные отходы (ТКО) представляют собой серьезную проблему для окружающей среды и общественного здравоохранения, поскольку от централизации услуг в конечном итоге выигрывает только часть населения, а остальная часть вынуждена использовать свои собственные ресурсы, чтобы выживать в загрязненной отходами окружающей среде. Средства, которые использует местное население для решения проблемы отходов, зависят от сознательности и конкретных возможностей жителей [1]. Поэтому для большинства населения наиболее практичным решением является захоронение на стихийных свалках и пустырях или открытое сжигание. В сезон дождей реки и дренажные каналы также превращаются в свалки мусора (рис. 1).



Рис. 1. Стихийная свалка мусора вдоль дороги (а); водоотводный канал, забитый мусором (б)

Источник: фото Ф. Нантунге, М.Д. Харламовой.

Figure 1. Spontaneous garbage dump along the road (a); drainage channel clogged with garbage (b)

Source: photo by the F. Nantungue, M.D. Kharlamova.

Чтобы гарантировать социальный, экономический и экологический баланс, необходимо уделять больше внимания проблемам, связанным с отходами как на институциональном уровне, так и на уровне общества в целом. Новый подход также необходим, чтобы идти в ногу с темпами роста городов [8].

Таким образом, **цель исследования** – разработка адекватной системы управления городскими отходами в городе Бисау, направленной на сохранение окружающей среды и улучшение качества жизни населения и отвечающей принципам и целям устойчивого развития.

Материалы и методы

Город Бисау, столица Республики Гвинея-Бисау, расположен в эстуарии реки Геба, в 80 км от Атлантического океана (рис. 2). Численность населения (постоянных жителей) г. Бисау составляет более 388 тыс. человек (данные на 1 ноября 2023 г.). Рельеф вокруг города низинный и заболоченный. Климат города саванный (почти на грани перехода к муссонному), с дождливым сезоном с июня по октябрь и крайне высокой влажностью воздуха (среднее значение 67 %), в течение всего года. Ветер преимущественно южных и юго-западных направлений, а средняя температура воздуха составляет 26 °С.



Рис. 2. Расположение Гвинеи-Бисау на Африканском континенте и города Бисау в разрезе стран

Источник: [6]

Figure 2. The location of Guinea-Bissau on the African continent and the cities of Bissau by country
Source: [6]

Автономный с политико-административной точки зрения сектор г. Бисау состоит из многочисленных кварталов, разбросанных по всему его территориальному пространству, составляющему 77,5 км².

Метод исследования был основан на результатах наблюдений, сбора и анализа библиографических данных, анализе законодательной базы управления городскими отходами в Гвинее-Бисау: Закона об охране окружающей среды, постановлений Министерства окружающей среды Гвинеи-Бисау, Комплексных отходов, Управление плоскими твердыми отходами (PGIRS – Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – План управления твёрдыми отходами в Колумбии)¹. Сбор фактической информации проводился по запросу у местных органов власти и Министерства окружающей среды, а также на основе анализа спутниковых снимков и картографической информации.

Результаты и их обсуждение

В Республике Гвинея-Бисау управление отходами регулируется Основным законом об охране окружающей среды (LBA) и Законом № 1/2011, недавно одобренным Национальным народным собранием. Закон LBA является основным юридическим документом, определяющим на национальном уровне основы управления твердыми отходами². В ст. 21 Закона установлено, что отходы, в том числе токсичные, могут использоваться в качестве источников сырья и энергии с целью сокращения их объемов путем принятия следующих мер:

- ✓ разработки новых чистых технологий;
- ✓ внедрения превентивных методов, направленных на переработку и повторное использование продукции в качестве сырья;
- ✓ использования фискальных и финансовых инструментов, поощряющих переработку и использование отходов и сточных вод.

Ответственность за определение и реализацию экологической политики лежит на Генеральном управлении окружающей среды (DGA), связанном с Секретариатом по окружающей среде и устойчивому развитию. В том числе в прямые обязанности DGA входит сотрудничество в определении политики управления отходами и поощрение разработки новых технологий в области окружающей среды [3].

В соответствии с местным муниципальным законодательством Департамент санитарии несет ответственность за предоставление услуг по сбору, транспортировке и окончательному удалению твердых отходов в порядке, совместимом с политикой и стратегией, определенной DGA, включая форму финансирования и оказания услуг (NA MABA, 2010). Как учреждение, отвечающее за услуги по уборке городов в муниципалитете г. Бисау, городской совет также несет ответственность за покрытие всех расходов, связанных с вводом системы в эксплуатацию.

¹ Brazil. Law No. 12,305 of August 2, 2010 Establishes the National Solid Waste Policy; amends Law No. 9605 of February 12, 1998. p. 72–80; Bissau. Code of Conduct of the City Council of Bissau, approved by Decree No. 1998 of August 8, 1968.

² Bissau. Code of Conduct of the City Council of Bissau, approved by Decree No. 1998 of August 8, 1968.

В табл. 1 представлен перечень услуг по санитарной очистке города – сбору и уборке городских отходов, и указаны стороны, ответственные за их реализацию.

Таблица 1. Услуги по уборке городов в муниципалитете г. Бисау и соответствующие ответственные лица

Осуществляемые городские услуги по уборке	Ответственные стороны и исполнители		
	Городской совет Бисау (СМВ)	Контракт с третьими лицами (частные компании)	Исполнитель
Сбор бытовых отходов	X		
Сбор спецотходов – щебня	X		
Специальный сбор отходов – обрезка деревьев	X		X
Сбор отходов от медицинских учреждений	X (неопасные отходы)		X (термическое обезвреживание опасных и инфицированных отходов)
Сбор отходов из портов и аэропортов			X
Сбор промышленных отходов			X
Сбор коммерческих отходов	X	X	
Подметание дорог общего пользования	X		
Очистка желобов и дренажных канав	X		
Уборка общественных парков/скверов/садов	X		
Уборка рынков	X		X (внутренняя уборка)
Обработка отходов	X	X	X
Окончательная утилизация отходов	X		
Прочие услуги – (вывоз отходов по специальным договорам)		X	

Источник: Городской совет Бисау (СМВ, 2012) [4].

Table 1. Urban cleaning services in the municipality of Bissau and the respective responsible persons

Urban cleaning services provided	Responsible parties and executors		
	Bissau City Council (CMB)	Contract with third parties (private companies)	Performer
Household waste collection	X		
Special waste collection – rubble	X		
Special waste collection — tree trimming	X		X
Waste collection from medical facilities	X (non-hazardous waste)		X (thermal treatment of hazardous and infected waste)
Port and airport waste collection			X
Industrial waste collection			X
Commercial waste collection	X	X	
Road sweeping	X		
Gutter and drainage ditch cleaning	X		
Public parks/squares/gardens cleaning	X		
Market cleaning	X		X (internal cleaning)
Waste treatment	X	X	X
Final waste disposal	X		
Other services — (waste removal under special contracts)		X	

Source: Bissau City Council (CMB, 2012) [4].

Как видно из данных табл. 1, на уровне муниципалитета г. Бисау не предусмотрены меры по эффективному управлению городскими отходами.

По данным Городского совета Бисау (2022), в г. Бисау производится около 200 т отходов в день, при уровне их образования на душу населения 0,5 кг/день. Морфологический состав отходов представлен на диаграмме (рис. 2).

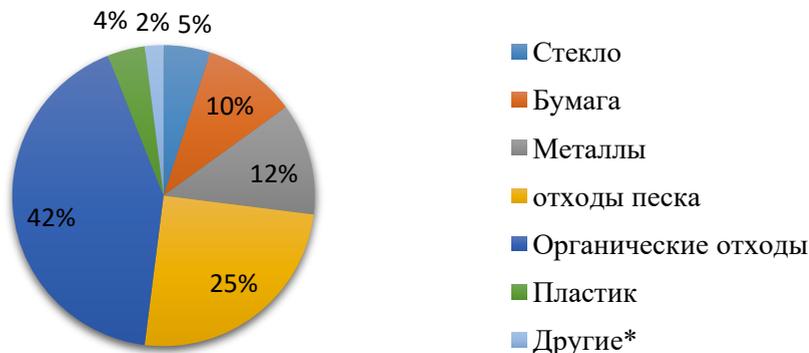


Рис. 2. Морфологический состав городских отходов г. Бисау

Источник: составлено Ф. Нантунге, М.Д. Харламовой по данным Городского совета Бисау и Международной ассоциации добровольцев-мирян, LVIA, 2016 [7]

Примечание*. В категорию «другие» входят отходы резины, ткани/тряпки/текстиля, которые из-за малой индивидуальной представленности были сгруппированы в одну категорию.

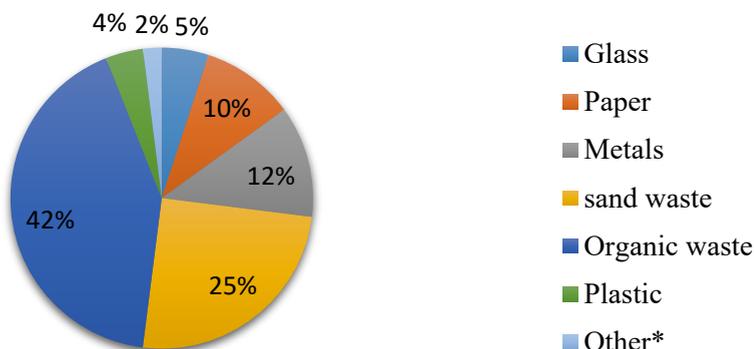


Figure 2. Morphological composition of urban waste in Bissau

Source: compiled by F. Nantungue, M.D. Kharlamova according to the data of the City Council of Bissau and the International Association of Lay Volunteers, LVIA, 2016 [7]

Как видно из диаграммы (см. рис. 2), муниципальные твердые отходы состоят в основном из органических веществ, почвы, пластика, текстильных изделий, стекла и металлов. Из них органическая фракция, земля и песок (смет с улиц, большинство которых немощеные), составляет наибольшую часть.

Большие объемы образующихся отходов связаны в основном со значительным ростом населения, наблюдавшимся за последние два десятилетия (по данным городского совета Бисау, 2020). В сочетании с беспорядочным занятием земель увеличение населения имеет серьезные последствия для

несовершенной городской системы санитарной уборки города, поскольку не сопровождается планированием и расширением инфраструктуры, гарантирующей минимальное качество необходимых услуг [5]. Для наглядности в табл. 2 представлено сравнение некоторых параметров городских услуг по уборке в Бисау за 2010 и 2020 гг.

Таблица 2. Сравнение параметров санитарной уборки в г. Бисау в 2010 и 2020 гг.

Параметр	2010 г.*	2020 г.**
Население	277 848	387 909
Годовое производство/генерация ТКО (тонн/день)	99	150
Процент населения, обслуживаемого системой сбора ТКО	70 %	55 %
Коэффициент образования ТКО на душу населения (кг/житель/день)	0,4	0,4

Источник: составлено Ф. Нантунге, М.Д. Харламовой по данным * NA MABA, 2010; ** INEP, 2020.

Table 2. Comparison of sanitation parameters in the city of Bissau in 2010 and 2020

Parameter	2010 *	2020 **
Population	277-848	387-909
Annual MSW generation (tons/day)	99	150
Percentage of population served by the MSW collection system	70%	55%
MSW generation per capita (kg/inhabitant/day)	0,4	0,4

Source: compiled by F. Nantungue, M.D. Kharlamova data from * NA MABA, 2010, ** INEP, 2020.

Кодексом Положений предусмотрен сбор за обращение с отходами, который должен покрывать расходы на услуги по уборке и сбору отходов за счет доходов от различных муниципальных сборов, таких как рыночные сборы, регистрационные сборы, плата за размещение, а также за счет лицензий и проверок, а также других предоставляемых услуг. Однако в настоящий момент сбор как за жилые, так и за нежилые помещения не взимается, хотя его реализация широко обсуждалась среди местных властей³. До сих пор не достигнут консенсус, который привел бы к его одобрению. Это обусловлено несколькими факторами, которые заслуживают внимания:

- ✓ отсутствие правового обеспечения и критериев расчета ставок (основа расчета);
- ✓ низкое качество или ограниченный охват услугами по уборке и, как следствие, недовольство и нежелание населения оплачивать данные услуги;
- ✓ неопределенность, связанная с повышением качества услуг при реализации уровня собираемости.

В целом, по данным городского совета Бисау, ежедневные расходы на услуги по уборке городов находятся в пределах 1246,8 долл. США (что эквивалентно 750 080 XOF в местной валюте). Таким образом, ресурсы, выделяемые на расходы на услуги городской уборки, ограничены и едва могут покрыть расходы, связанные с эксплуатацией и обслуживанием системы. И, как результат, не остается финансовых ресурсов для инвестирования как в подготовку кадров, так и в расширение инфраструктуры, чтобы удовлетворить растущий спрос на рассматриваемые услуги.

³ Bissau. Code of Conduct of the City Council of Bissau, approved by Decree. No. 1998 of August 8, 1968.

Технологические и социальные аспекты управления отходами в г. Бисау

Утилизация отходов – это один из методов, используемых для уменьшения воздействия отходов на окружающую среду, а также способ уменьшить нагрузку на природные ресурсы для более устойчивой экономики.

В Гвинее-Бисау не существует организованной системы управления городскими отходами и их обработки, поэтому методы, используемые для сбора или повторного использования отходов, малочисленны. Однако некоторые из них возникли как способ преодоления социального неравенства и источник дополнительного дохода для семей. Также следует подчеркнуть, что экономика Республики Гвинеи-Бисау во многом зависит от импорта продукции из зарубежных стран, в основном из Сенегала, Гамбии и Гвинеи-Конакри. Большинство из этих продуктов являются жизненно важными, что приводит к появлению большого количества потребителей и связанному с этим большому объему отходов. Многие из этих товаров имеют упаковку, пользующуюся большой популярностью среди населения. Отходы являются источником дохода для многих семей, становясь в конечном итоге почти невидимыми в глазах представителей правительства [9].

Таким образом, к различным типам идентификации отходов в стране применяются разные типы использования и утилизации.

- *Пластиковые и стеклянные отходы.* Стеклянные и пластиковые бутылки (объемом до 1 литра) высоко ценятся населением. Как правило, они используются для хранения или для продажи продуктов (например, пальмового масла, оливкового масла, лимонного сока и др.), так как денег часто недостаточно, чтобы купить/продать продукт целиком в упакованном виде.

- *Металлические отходы.* Отходы цветного металла, а именно алюминиевые банки из-под газировки и пива, используются для кустарного изготовления кастрюль и некоторой кухонной утвари по желанию покупателя. В яму, вырытую в земле, помещаются формы разных размеров, куда заливают расплавленный металл.

- *Отходы бумаги/картона.* Макулатуру население использует для копчения рыбы, разжигания дров и древесного угля. Картон часто служит крышками для повторно использованных бутылок, а также для подготовки спальных мест. Несмотря на это, бумагу и картон по-прежнему можно часто встретить на улицах городов, поскольку их использование незначительно.

- *Биоорганические отходы.* Биоорганические отходы, а именно растительные остатки, используются на корм домашним животным; ветки, полученные в результате обрезки, служат топливом для получения древесного угля; пальмовые ветки после обрезки и сушки при комнатной температуре применяют для изготовления традиционных метелок [2].

Организация системы сбора, вывоза и захоронения городских отходов

Для сбора городских отходов в г. Бисау СМВ предоставляет стационарные мусорные контейнеры в стратегически важных точках города, обычно в

местах, куда возможен доступ для мусороуборочных машин, соответствующих различным районам сбора городского совета Бисау (СМВ) (рис. 3) либо в районе Праça (центр города), либо на главном проспекте.

Однако месторасположение этих точек неудобно для большинства населения, проживающего в труднодоступных местах. Из-за недостаточного количества контейнеров, а также низкой частоты вывоза они часто переполняются, что приводит к скоплению мусора на дорогах, который разносят животные и люди, ищущие вторсырье (рис. 4).

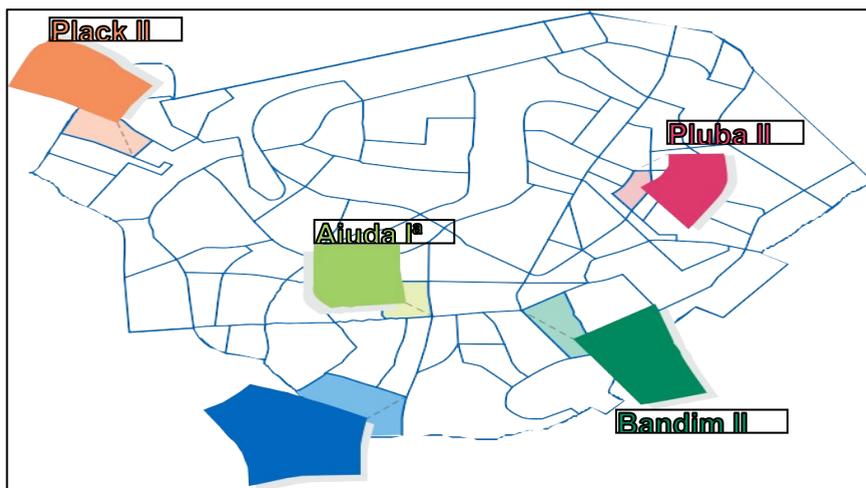


Рис. 3. Карта города Бисау, показывающая зоны сбора городского совета г. Бисау
Источник: составлено Ф. Нантунге, М.Д. Харламовой.

Figure 3. Map of the city of Bissau, showing the gathering areas of the City Council of Bissau
Source: by the F. Nantungue, M.D. Kharlamova.



Рис. 4. Переполненный контейнер и сборщик, собирающий вторсырье
Источник: фото Ф. Нантунге, М.Д. Харламовой.

Figure 4. An overflowing container and a collector collecting recyclables
Source: photo by the F. Nantungue, M.D. Kharlamova.

Поэтому такие практики, как сжигание и захоронение мусора, распространены в большинстве районов города. Также очень распространена практика размещения отходов на пустырях, дорогах общего пользования и в дренажных каналах (см. рис. 1).

В г. Бисау осуществляется только традиционный смешанный сбор отходов, при этом услуги по сбору мусора ограничиваются основными районами центра города. По данным городского совета Бисау, из 200 т отходов ежедневно собирается около 55 % всех образующихся в муниципалитете отходов, 50 % из которых поступает из центра города и только 5 % – из периферийных районов.

По данным того же источника, низкий процент охвата периферийных районов централизованным сбором мусора объясняется главным образом труднодоступностью улиц, которые являются узкими и немощеными. Кроме того, СМВ также указывает на отсутствие сотрудничества со стороны населения в вопросах правильной упаковки отходов, при этом большинство просто выбрасывает отходы на пустыри [10]. В табл. 3 показаны частота вывоза, время и тип оборудования, используемого для выполнения услуг санитарной очистки г. Бисау.

Таблица 3. Частота вывоза отходов и используемое оборудование

Частота	Смена	Часы вывоза	Используемое оборудование	Сектор
Ежедневно	I	08.00–16.00	2 трактора-сборщика и 1 прицеп объемом 3 м ³	–
Ежедневно	II	22.00–09.00	2 грузовика грузоподъемностью по 7 тонн каждый; 2 контейнеровоза по 6 м ³ каждый и грузовик сопровождения объемом 3,5 м ³	Рынки отдаленных районов

Источник: Городской совет Бисау (СМВ).

Table 3. Frequency of waste removal and equipment used

Frequency	Shift	Collection hours	Equipment used	Sector
Daily	I	08.00–16.00	2 collector tractors and 1 trailer with a capacity of 3 m ³	–
Daily	II	22.00–09.00	2 trucks with a carrying capacity of 7 tons each; 2 container trucks of 6 m ³ each and an escort truck with a volume of 3.5 m ³	Markets in remote areas

Source: Bissau City Council (CMS).

Как видно из табл. 3, частота вывоза отходов ежедневная, но сбор и вывоз производятся нерегулярно из-за отсутствия технического обслуживания и постоянных поломок автопарка. Из всего парка автотранспорта, задействованного в санитарной очистке города, в рабочем состоянии находится всего 8 единиц из 17 (табл. 4). Поскольку нарушается логистика сбора и вывоза отходов, контейнеры остаются заполненными в доступных местах в течение длительного периода, иногда даже в течение нескольких лет (Mid-Atlantic Biosolids Association, 2010) [10].

У бригад, работающих по сбору и вывозу мусора, часто наблюдается полное или частичное отсутствие средств личной гигиены и индивидуальной защиты.

Собранные смешанные отходы вывозятся для размещения на санкционированные свалки. В городе Бисау до 2022 г. существовало две свалки, однако в настоящее время, поскольку одна из свалок выработала свой ресурс и практически выведена из эксплуатации, функционирует только свалка, расположенная в муниципальном округе Антула, в 10 км от центра города.

Таблица 4. Опись материалов и оборудования муниципалитета

Описание	Количество транспортных единиц		Собственность СМВ / взят в аренду (А)	Обслуживание СМВ / третья сторона
	работающие	неисправные		
Уплотнитель автомобиля	0	3	С	СМВ
Грузовик с открытым кузовом или самосвал	3	3	С	СМВ
Трактор с самосвальным прицепом	2	0	С	СМВ
Погрузчик	1	0	А	Третья сторона
Контейнеровозы	2	2	С	СМВ
Вспомогательный легкий автомобиль	1	1	С	СМВ
Бульдозер	1	0	А	Третья сторона

Источник: составлено Ф. Нантунге, М.Д. Харламовой.

Table 4. Inventory of materials and equipment of the municipality

Description	Number of vehicles		Owned by CMB / leased (A)	Service CMB / third party
	working	faulty		
Vehicle seal	0	3	С	СМВ
Open-body truck or dump truck	3	3	С	СМВ
Tractor with dump trailer	2	0	С	СМВ
Loader	1	0	А	Третья сторона
Container trucks	2	2	С	СМВ
Auxiliary light vehicle	1	1	С	СМВ
Bulldozer	1	0	А	Третья сторона

Source: compiled by F. Nantungue, M.D. Kharlamova.

Из-за отсутствия централизованной системы отдельного сбора или последующей сортировки в пунктах постоянного размещения все собранные отходы, включая отходы домовладений, рыночные отходы, щебень, а также неинфекционные медицинские отходы, размещаются на захоронение на этой свалке [11].

Процедуры утилизации ограничиваются сбросом и сжиганием отходов с целью увеличения срока полезного использования свалки. Для оказания услуг по захоронению СМВ используют бульдозер, самосвал и экскаватор.

Территория не имеет изолирующего ограждения, а служба наблюдения носит случайный характер, что обеспечивает доступ посторонних лиц и животных на территорию, как показано на рис. 5.



Рис. 5. Официальная свалка г. Бисау (район Антула)

Источник: фото Ф. Нантунге, М.Д. Харламовой.

The official landfill of Bissau (Antula district)

Source: by the author F. Nantungue, M.D. Kharlamova.

Меры по совершенствованию системы обращения с ТКО в Гвинее-Бисау

С учетом ограничений и недостатков, выявленных на этапе диагностики, предлагаются следующие меры и действия: обновить муниципальный кодекс поведения; обеспечить более высокую степень участия «ONGs» и общественных организаций в управлении ТКО в Бисау; внедрить взимание платы для крупных производителей; провести инвентаризацию отходов и создать базу данных для сбора информации обо всей городской системе очистки; провести экономическое обоснование коммерциализации перерабатываемого материала и полученного компоста, если применимо, которое докажет получение социальных и экономических выгод для общества.

Выводы

На основании проведенного анализа были сделаны следующие выводы.

1. Закон об охране окружающей среды (LBA № 1/2011) является основным юридическим документом, определяющим на национальном уровне основы управления твердыми отходами. Однако данный документ нуждается в обновлении, поскольку разрабатывался без учета реальности уплотнения городов, с которым в настоящее время сталкиваются городские власти.

2. В Гвинее-Бисау не существует организованной системы управления городскими отходами и их обработки, поэтому методы, используемые для сбора или повторного использования отходов, малочисленны. Некоторые из них возникли как способ преодоления социального неравенства и источник дополнительного дохода для местного населения.

3. В настоящее время в г. Бисау осуществляется только традиционный смешанный сбор отходов, при этом услуги по сбору мусора ограничиваются основными районами центра города. По данным городского совета Бисау (2022), из 200 т отходов, ежедневно собирается около 55 % всех образующихся в муниципалитете отходов, 50 % из которых поступает из центра города и только 5 % из периферийных районов.

4. Городской совет Бисау (СМВ) столкнулся с серьезными проблемами в адекватном предоставлении городских услуг по уборке в связи с недостатком средств, взимаемых с населения в виде тарифов на санитарную очистку города, которые покрывают только часть расходов на эксплуатацию и техническое обслуживание. В целом, по данным городского совета Бисау (2020), ежедневные расходы на услуги по уборке городов находятся в пределах 1250 долларов (что эквивалентно 750 080 ХОФ в местной валюте).

5. Управление городскими отходами в г. Бисау осуществляется стихийно по инициативе местного населения; в пригородных районах сбор мусора осуществляется только жителями. В результате пустующие земли и дороги общего пользования служат местом складирования мусора, что является источником инфекционных заболеваний и размножения насекомых и грызунов.

6. Правительственная программа по повышению эффективности санитарной очистки городов реализуется в г. Бисау только в сезон дождей из-за угрозы распространения инфекционных заболеваний, связанных с наличием отходов, в первую очередь малярии.

7. Возможности управления и контроля служб СМВ обусловлены нехваткой человеческих ресурсов как с точки зрения квалификации, так и количества, при этом предприятию приходится часто прибегать к найму временного персонала для оказания услуг.

8. Политика в области поощрения вторичного использования компонентов отходов, дифференцированного сбора и кампании по повышению осведомленности населения в г. Бисау обычно реализуется международными партнерами, неправительственными организациями или даже молодежным сообществом.

Список литературы / References

- [1] Bastos B A De, Rodriguez GG, Teixeira TCMS, Arraez VS Yes. Sanitary landfill: a brief discussion of the application in the Vale do Araguaia region of Goiás. *Journal of Interdisciplinary Research Vale do Araguaia-REIVA*. 2019;2(03):64. Available from: <http://reiva.emnuvens.com.br/reiva/article/view/95/76> (accessed: 20.01.2024).
- [2] Haug RT. Compost engineering. Principles and practice. Ann Arbor Science Publishers. *Lancaster P.A. Municipality of Bissau. Image*. 2018:1–9. Available from: https://www.facebook.com/camaramunicipal.debissau.1/videos_by (accessed: 15.12.2023).
- [3] Ezeudu OB, Ezeudu TS, Ugochukwu UC, Agunwamba JC, Oraelosi TC. Enablers and Barriers to Implementation of Circular Economy in Solid Waste Valorization: The Case of Urban Markets in Anambra, Southeast Nigeria // *Environmental and Sustainability Indicators 2021*. Vol. 12. <http://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100150>
- [4] Bernardo J. *A methodological proposal for urban solid waste management in Africa*. Recife; 2008. p. 51.
- [5] Bruschi DM, Ribeiro AM, Peixoto MD. Providing Essential Social Services in Contexts of State Fragility and Social Transition – Document No. 444427 – GW. World Bank, Republic of Guinea-Bissau, 2008. p. 74.

- [6] Bernardo JOSE. A proposed methodology for municipal solid waste management in Africa. Recife, Brazil: UFRPE and Specialist in History Teaching; 2008. p. 74. Available from: <https://www.didinho.org/Arquivo/UMAPROPOSTAMETODOLOGICAPARAAGESTAOERESIDUOSSOLIDOSURBANOSNAAFRICA.pdf>. (accessed: 10.12.2023).
- [7] Debra JC, Vidal DG, Dinis MAP. *Raising awareness of solid waste management through formal education for sustainable development: a review of evidence from developing countries*. Recycling; 2021. p. 6.
- [8] Debra JC, Vidal DG, Dinis MAP. Environmental sustainability of waste: Organic value and socio-economic benefits for sustainable development in Ghana. *World Series on Sustainable Development*. Leal Filho V, Vidal DG, Dinis MAP. (eds.). Cham, Switzerland: Springer; 2022. p. 425–437.
- [9] Diaz MEPG. *Schools of Environmental Verification (EVA) in Guinea-Bissau: Contribution to Sustainable Development (Master's Thesis)*. University of Lisbon, School of Social Sciences and Humanities, Portugal. 12.01.2022. p. 150–200. Available at: 2015_ECSH_DEP_Dissertacao_Manhantoo Evalina Pereira Gomes Dias 1.1.pdf (iscte-iul.pt) https://mkscienceset.com/articles_file/512-_article1730786490.pdf (accessed: 02.02.2024).
- [10] David VE, Wenchao J, John Y, Mmerek D. Solid waste management in Monrovia, Liberia: implications for sustainable development. *J. Solid Waste Technology. Manager*. 2019;45:102–110. <http://doi.org/10.5276/JSWTM.2019.102>

Сведения об авторах:

Нантунге Фернандо, студент II курса аспирантуры, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: nantunge@mail.ru

Харламова Марианна Дмитриевна, кандидат химических наук, доцент департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, руководитель основной образовательной программы магистратуры по направлению 05.04.06 «Экология и природопользование – Зеленая экономика и устойчивое развитие предприятий», Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: kharlamova-md@rudn.ru

Bio notes:

Fernando Nantungue, 2nd year master's student in the specialty 'Occupational Safety, Industrial and Environmental Safety Management' (HSE – Management), Institute of Ecology, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, 117198, Moscow, Russian Federation. E-mail: nantunge@mail.ru

Marianna D. Kharlamova, PhD in Chemistry (Environmental Science), Associate Professor, Department of Environmental Safety and Quality Product Management, Head of The Main Educational Master's Program in the Direction of 05.04.06 "Ecology and environmental management – Green Economy and sustainable development of Enterprises", Institute of Ecology, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, 117198, Moscow, Russian Federation. E-mail: kharlamova-md@rudn.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-400-408

EDN: NENIJZ

УДК 628.2:626.8

Научная статья / Research article

Экологизация обработки природных вод, содержащих растворенные органические вещества

Т.Ю. Попова, В.Л. Головин, В.Н. Волкова  *Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация* vladavibi@bk.ru

Аннотация. Представлен опыт эксплуатации водоочистных комплексов, проведен анализ опасных последствий предварительного хлорирования при обесцвечивании природных вод, рассмотрены механизмы воздействия хлорсодержащих компонентов на органические примеси, содержащиеся в неочищенной воде. Определена необходимость предварительной обработки воды до предхлорирования, обеспечивающей обязательную деструкцию комплексоорганических соединений. Обоснованы принципы предварительной обработки природных вод в биологически активной среде, что позволит исключить образование токсичных веществ и патогенных микроорганизмов.

Ключевые слова: очистка воды, растворенные органические вещества, цветность, опасность бактериологического загрязнения, токсичные продукты

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

История статьи: поступила в редакцию 11.04.2024; доработана после рецензирования 15.05.2024; принята к публикации 15.08.2024.

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

Для цитирования: Попова Т.Ю., Головин В.Л., Волкова В.Н. Экологизация обработки природных вод, содержащих растворенные органические вещества // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 400–408. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-400-408>

© Попова Т.Ю., Головин В.Л., Волкова В.Н., 2024



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

Intensification of storm water treatment of wood transferring wood termination facilities

Tatyana Yu. Popova, Viktor L. Golovin, Vladislava N. Volkova  

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

 vladavibi@bk.ru

Abstract. The study presents the experience of operating water treatment plants, analyzes the dangerous consequences of pre-chlorination during the discoloration of natural waters, and examines the mechanisms of action of chlorine-containing components on organic impurities contained in untreated water. The necessity of pretreatment of water before prechlorination, which ensures the mandatory destruction of organo-complex compounds, has been determined. The principles of pretreatment of natural waters in a biologically active environment are substantiated, which will eliminate the formation of toxic substances and pathogenic microorganisms.

Keywords: water purification, dissolved organic substances, chromaticity, danger of bacteriological contamination, toxic products

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

Article history: received 11.04.2024; revised 15.05.2024; accepted 15.08.2024.

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

For citation: Popova TYu, Golovin VL, Volkova VN. Intensification of storm water treatment of wood transferring wood termination facilities. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(4):400–408. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-400-408>

Введение

Мировая практика очистки высокоцветных природных вод в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения показывает, что в последние годы даже при усложнении технологий не удается в полной мере добиться достаточно полного устранения из воды опасных примесей. Одной из причин указанной проблемы оказывается недостаточный учет трансформации различных химических веществ, применяемых при водоподготовке активно взаимодействующих с растворенными органическими веществами (РОВ), часть которых определяет окрашивание воды – цветность. При этом образующиеся в процессе очистки воды токсичные вещества и бактериологические продукты часто могут быть не менее опасными, чем известные природные и антропогенные загрязнители водоисточников [1; 2].

Таким образом, становится очевидным, что при использовании традиционных технологий очистки воды, в которых основой является применение химических компонентов – хлора при первичном хлорировании (предхлорировании), коагулянтов, флокулянтов и других реагентов, не в полной мере учитывается природа водных примесей, а результат взаимодействия может существенно изменить свойства воды вплоть до появления в ней токсичных веществ [3]. Следовательно, актуальной становится задача экологизации

водоподготовки как совершенствования и рационального использования технологий, отвечающих современным требованиям по обеспечению требуемого качества очищаемой воды при исключении рисков образования опасных продуктов и сохранении всех основных свойств окружающей среды.

Материалы и методы

В мировой практике водоподготовки до последнего времени для обработки высокоцветных вод, содержащих растворенные органические вещества (РОВ), преимущественно используются реагентные методы очистки с предварительным хлорированием и осветлением воды в отстойниках или осветлителях со слоем взвешенного осадка при фильтровании ее через зернистые загрузки. Однако опыт применения таких технологий показывает, что в большинстве случаев эффективность очистки оказывается крайне низкой [3; 4].

Ранее считалось, что исключение образования хлорорганических соединений в питьевой воде возможно посредством применения вместо первичного хлорирования УФ-облучения [5]. Причем отмечалось, что это решение применимо для исходной воды поверхностных источников с небольшим содержанием органических загрязнений. Такой вывод может быть основан только на предположении об угнетающем действии УФ-облучения на микробиом, присутствующий в воде, содержащей РОВ, и при отсутствии хлорреагентов хлорорганические соединения не образуются. При этом на снижение концентрации РОВ УФ-облучение оказывать влияние не может. Деструктивно влиять на сложные устойчивые РОВ могут только ферменты микроорганизмов, которые обязательно присутствуют в обрабатываемой воде. При этом численность микроорганизмов по закону толерантности Шелфорда всегда соответствует объему «пищевых продуктов» в среде. Кроме того, не следует забывать о том, что при использовании УФ-обеззараживания с определенной энергетической мощностью также существует риск формирования токсичных и мутагенных продуктов при трансформации различных соединений, присутствующих в обрабатываемой воде [5].

Предварительная дезинфекция методом озонирования продолжительное время рассматривалась вполне уместным вариантом даже при обработке природных вод, содержащих РОВ [6]. Однако, как выясняется, при этом образуются еще более токсичные, по сравнению с хлорорганикой, озонорганические соединения и не гарантируется отсутствие активных видов микроорганизмов. Следовательно, не исключена биокоррозия металлических конструкций и образование канцерогенных компонентов на основе РОВ. Механизм воздействия озона на содержащиеся в воде органические соединения видоизменяет их с образованием канцерогенных веществ, которые могут оказывать отрицательное воздействие на здоровье человека [7]. При озонировании в водопроводных разводящих трубопроводах обнаруживается также эффект интенсификации развития болезнетворных микроорганизмов, источником которого служат биоразлагаемые органические соединения [8–10]. Кроме того,

известно, что озон в обслуживании более опасный токсичный ингредиент, чем хлор, он усиливает процессы коррозии, может взрываться, требует подготовленного обслуживающего персонала и специальных мер безопасности [11–13].

Результаты и их обсуждение

Технология предварительного удаления РОВ должна в обязательном порядке включать мероприятия эффективной деструктивной обработки – активного воздействия на сложные комплексоорганические вещества, обеспечивая их элиминирование. При этом она должна быть достаточно простой и малозатратной. Таким образом, деструктивные воздействия на РОВ с целью их извлечения должны проводиться до поступления воды в очистные устройства на стадии предварительной очистки. Усиление деструкции РОВ возможно при искусственно создаваемых оптимальных условиях иммобилизации микроорганизмов в специальных устройствах – биореакторах, в которых формируется специфичный микробиом. При этом следует иметь в виду, что количественный и качественный состав микроорганизмов будет всегда формироваться и видоизменяться в соответствии с изменяющимися условиями среды – воды, содержащей РОВ.

Биореакторы можно размещать непосредственно в водохранилищах или в помещениях на территории в пределах водоочистных комплексов. Важным условием работы биореакторов является создание оптимальных условий для иммобилизованного микробиома, которые определяются хемотропным режимом. Оптимальные условия метаболической активности иммобилизованных микроорганизмов в биореакторах могут быть созданы за счет применения сетчатых носителей с развитой поверхностью, конструкция таких устройств разработана в АО ДальНИИГиМ [10]. В этих биокатализаторах обеспечивается равномерная проточность в рабочей зоне питательного субстрата – обрабатываемой воды, содержащей органику, а также самопроизвольный сброс избыточной биомассы и упрощенная регенерация насадки. Механизм расщепления комплексоорганических соединений с участием микроорганизмов достаточно сложен и, в частности, объясняется тем, что некоторые микроорганизмы для обеспечения своей жизнедеятельности используют органическую часть молекулы или энергию реакций преобразования таких соединений. Подобные микроорганизмы в ходе своего метаболизма используют для обеспечения своей жизнедеятельности органическую часть сложных соединений и при этом для разрушения молекул этих соединений – некоторые продукты метаболизма, например перекись водорода, чем существенно «экономят» энергию для обеспечения этого процесса.

Обеспечивать регулирование видового состава микробиома в биореакторах с целью снижения риска развития патогенной и потенциально патогенной микрофлоры возможно за счет введения в очищаемую воду микробиологических препаратов, включающих штаммы только непатогенных видов,

например «Эм-Био Аква», производимого в Приморском крае. Причем необходимо обеспечить их численное преимущество, что позволит подавить конкурирующие виды, представленные в том числе патогенными и потенциально патогенными микроорганизмами. Следует отметить, что биотрансформация РОВ с участием микроорганизмов проходит на молекулярном уровне и, как считается, скорость протекания таких процессов существенно (на несколько порядков) выше по сравнению с физико-химическими методами деструкции.

Предварительная обработка воды непосредственно в водохранилище [6] обладает некоторыми преимуществами, поскольку образующийся осадок остается в водохранилище и не поступает на очистные сооружения. В свободном объеме при введении микробиологических препаратов существенно замедлен процесс деструкции РОВ, что особенно заметно при низкой мутности воды и подтверждается результатами исследований на натурном объекте.

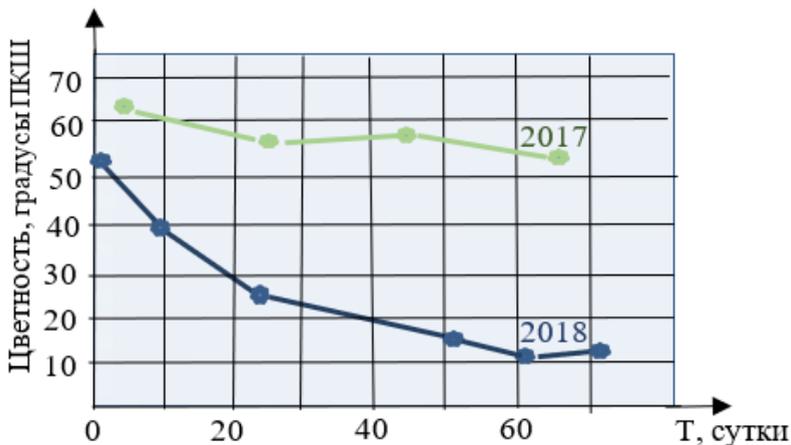
Исследования по снижению РОВ с помощью препарата «Эм-Био Аква» проводились на искусственно образованном для рекреационных целей пруду в одном из микрорайонов п. Лучегорска (Приморский край) [6; 13]. Пруд представляет собой слабопроточный водоем глубиной до 1,5 м и общим объемом до 3,2 тыс. м³. Продолжительное время в теплый период года вода в нем имела повышенную цветность в пределах 50–60 градусов ПКШ, что свидетельствовало о наличии в воде растворенной органики, при этом присутствовал запах до 4–6 баллов. Препарат «Эм-Био Аква» общим объемом до 200 л вносился однократно относительно равномерным разбрызгиванием по поверхности пруда. Одновременно в воду пруда рассредоточено вносились глиняные шаровидные окатыши (clay gall). При проводимом эксперименте в пруд было внесено 230 глиняных окатышей (около 1 окатыша на 10 м²), что примерно в 20 раз меньше установленной практикой нормы. Шаровидные окатыши – ЭМ-колобки, получаемые из глины, замешанной на микробиологическом препарате с добавлением патоки (питательный продукт), в которых интенсивно развиваются непатогенные микроорганизмы, содержащиеся в «Эм-Био Аква». При размещении глиняных окатышей в водной среде они оказываются длительно действующим источником поступления в воду микроорганизмов, способных обеспечить деструкцию РОВ.

Определение цветности после внесения препарата показало, что только после 30–60 сут цветность понизилась до 10–20 градусов ПКШ. Для сравнения приведен график цветности за тот же сезон (июль-август) 2017 г., когда препарат не вносился и цветность оставалась относительно высокой за весь теплый период года (рис.).

Результаты эксперимента доказывают, что при тщательном обосновании регламента и дозы микробиологического препарата вполне реально проводить предварительную обработку воды непосредственно в водохранилище. Следует отметить, что при существенно заниженной концентрации препарата «Эм-Био Аква» отмечена достаточно высокая эффективность снижения РОВ, даже если судить только по окрашивающим воду веществам. При этом

отмечен также и эффект дезодорации воды в пруду – за 20–30 суток уровень запаха снизился вдвое с 4–5 до 2 баллов.

Взаимодействие микроорганизмов с РОВ в пределах емкости водохранилища (в свободном объеме) обеспечивает выделение и накопление осадка в придонной его части. При этом необходимо исключить попадание в воду водохранилища патогенных бактерий и вирусов. Если донный осадок в водоеме имеет достаточно большое содержание микроорганизмов, а концентрация РОВ в воде больше, чем в осадке, то он оказывается «поставщиком» этих микроорганизмов в водную среду.



Изменение цветности воды в пруду п. Лучегорска при внесении микробиологического препарата «Эм-Био Аква»

Источник: составлено Т.Ю. Поповой.

Повлиять на состав микробиома донного осадка и сформировать в нем непатогенную микрофлору возможно, например, посредством внесения глиняных шаровидных окатышей, изготавливаемых на основе препарата «Эм-Био Аква» (ЭМ-колобков). Таким образом регулируется численность и видовой микробиологический состав донного ила и снижается риск бактериологического заражения воды патогенными видами. Причем, как показали экспериментальные исследования на ряде водоемов Приморского края, донный осадок самоуплотняется в основном за счет высвобождения связанной воды вследствие деструктивного воздействия микроорганизмов и мощность илистого слоя может снижаться в 4–6 раз.

Видовой состав микробиома и количество микроорганизмов (C_M) – биомассы, например, на единицу объема аппарата (биореактора или водохранилища) зависят от большого числа факторов, и прежде всего от питательной ценности субстрата – концентрации РОВ в воде (C_{POB}) и форм этих веществ (A_{POB}), от температуры (t), концентрации водородных ионов (pH), величины мутности воды (M), от скорости потока (V), продолжительности взаимодействия – времени контакта (T) РОВ с микробиологически активной средой. Следует также учитывать значимость объема реакторов (W_p) и их геометри-

ческих параметров, поскольку они определяют активность смешивания продуктов и примесей, направленность потоков и режим вытеснения. Кроме того, определенное значение имеют и некоторые другие менее важные характеристики биореакторов. Значимость указанных факторов может изменяться в зависимости от типа биореакторов и условий их размещения, а механизм реакции допустимо представить функциональной зависимостью в следующем виде:

$$C_M = f \cdot (C_{POB}, A_{POB}, t, pH, M, V, T, W_p). \quad (1)$$

В теории реакторов механизм реакции обычно считается известным, поэтому применяется формальная кинетика, и несмотря на то, что в нашем случае процесс биотрансформации РОВ нельзя считать достаточно изученным, рассматривать этот процесс придется на моделях с учетом макрокинетических представлений о биохимических реакциях. При этом необходимо принимать во внимание ряд факторов, обычно в кинетике не учитываемых, принципиально связанных с протеканием реакции в объеме реактора, в частности разнопланового взаимодействия конкурирующих антагонистических видов микроорганизмов. Проведенный эксперимент позволяет установить, что в водохранилище (или в пруду) процессы проходят преимущественно в свободном объеме и при размещении на дне глиняных шаровидных окатышей непатогенные микроорганизмы постоянно поступают водоем, который работает как биореактор с прерывным режимом. Функциональная зависимость (1) и анализ результатов эксперимента позволяет сделать только предварительные выводы о том, что избранный подход в решении проблем деструкции РОВ и управления качественным составом микробиома вполне приемлем в практике водоподготовки – предварительной очистки воды.

В частности, необходимо определить основные расчетные характеристики и оптимальные дозы микробиологического препарата, необходимого для деструкции РОВ и регулирования видового состава микробиома в реакторах и водохранилищах. Как известно, нелинейность этих систем является причиной предпочтения численных методов решения. Математическое моделирование, широко применяемое в количественной микробиологии, с учетом переменных концентраций РОВ в субстрате – исходной воде и анализ с использованием систем дифференциальных уравнений дают возможность обосновать основные условия применения предлагаемой технологии предварительной обработки воды.

Заключение

При очистке природных вод, содержащих РОВ, следует учитывать важнейшие особенности, связанные с опасностью предварительного хлорирования. Такая опасность возникает по двум главным причинам. Во-первых, потому, что хлорреагенты образуют устойчивые к деструкции комплексорганические соединения. Во-вторых, встраиваясь в структуру

сложных молекул РОВ, хлорреагенты теряют свои дезинфицирующие свойства и обеззараживающий потенциал их существенно снижается. Образующиеся в процессе очистки воды токсичные и канцерогенные вещества, а также бактериологические продукты часто могут оказаться не менее опасными, чем известные природные загрязнители водоисточников.

Присутствие в воде РОВ, представляющих собой питательную ценность для микроорганизмов, показывает активное заполнение этой среды бактериями различных видов, а конкурентная борьба этих видов и мутагенные свойства микрофлоры приводят к образованию в очищаемой воде микробиоты непредсказуемого состава и степени опасности.

Применение биокатализаторов с иммобилизованными микроорганизмами для обработки природных, в частности высокоцветных, вод, содержащих РОВ, на первом этапе их очистки позволит достичь существенного экономического эффекта благодаря снижению эксплуатационных затрат. Такая предварительная обработка воды, обеспечит снижение доз коагулянта при отстаивании или осветлении, улучшит работу фильтров или осветлителей за счет повышения эффекта сорбции минерализованных загрязнителей; продлит срок службы системы подачи – распределения воды за счет снижения интенсивности либо полного прекращения процессов биокоррозии в трубопроводах, а также обеспечит улучшение органолептических свойств воды за счет отсутствия токсичных хлорорганических соединений и других ингредиентов, связанных с применением повышенных доз коагулянта.

Список литературы

- [1] *Войтов Е. Л.* Очистка маломутных природных вод с высоким содержанием органических соединений для питьевого водоснабжения: автореферат дис. ... д-ра технических наук: 05.23.04. Новосибирск, 2012. 35 с.
- [2] *Канивец У.С.* Реагентная предобработка маломутных цветных вод в технологической схеме с осветлителем со взвешенным осадком // *Строительство – формирование среды жизнедеятельности: сборник материалов семинара молодых ученых XXV Международной научной конференции*, Москва, 20–22 апреля 2022 года. Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2022. С. 91–96.
- [3] *Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л., Рудяк В.Я., Дегтярев В.В., Чиркунов Ю.А.* Инновационная технология подготовки подземных вод для питьевого водоснабжения поселков Западной Сибири // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2023. № 7 (775). С. 105–118.
- [4] *Хецуриани Е.Д., Манюшкин Д.К., Хецуриани Т.Е., Бондаренко В.Л.* Предупреждение загрязнения воды хлорорганическими соединениями при очистке природных вод // *Научные основы создания и реализации современных технологий здоровьесбережения: материалы IX Международной научно-практической конференции*, Ростов-на-Дону, 18 ноября 2022 года / ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России; ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции». Часть 1. Волгоград: Общество с ограниченной ответственностью «СФЕРА», 2022. С. 209–213.

- [5] *Кирпиченкова Е.В., Джикия И.З., Колодина Д.В., Онищенко Г.Г.* Гигиеническая эффективность ультрафиолетового обеззараживания воды в централизованных системах питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения (систематический обзор) // *Гигиена и санитария*. 2024. Т. 103, № 2. С. 104–112. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-2-104-112>
- [6] *Golovin V.L., Popova T.Y., Medved P.V., Bezborodov S.A.* Treatment Features of High-Color Natural Waters // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. International science and technology conference “Earth science”. 2021. Vol. 666. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/4/042039>
- [7] *Колошницын З.Н., Ушакова И.Г.* Возможности включения методов биологической предочистки в технологические схемы водоподготовки сибирских рек // *Каталог выпускных квалификационных работ ФГБОУ ВО Омский ГАУ: серия «Природообустройство и водопользование»: сборник работ*. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2022.
- [8] *Васильев А.Л.* Разработка технологий и установок для производства питьевой воды из поверхностных источников с использованием озона: дис. ... д-ра техн. наук. Специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов». Нижний Новгород, 2011. 390 с.
- [9] *Васильев А.Л., Тарасов А.С., Гусева Л.Д.* Современные методы обеззараживания питьевой воды // *Приволжский научный журнал*. 2022. № 3 (63). С. 83–89.
- [10] Патент № 2161594 С2 Российская Федерация, МПК C02F 1/64, C02F 3/34. Способ очистки подземных вод от устойчивых форм железа: № 99102891/12; заявл. 15.02.1999; опубл. 10.01.2001 / *Головин В. Л., Марченко А. Ю.*; заявитель: Государственное предприятие «Дальневосточный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации».
- [11] *Gutjahr S., Bork J., Hahn H.J.* Grundwasserfauna als Indikator für komplexe hydrogeologische Verhältnisse am westlichen Kaiserstuhl // *Grundwasser*. 2013. Vol. 18. P. 173–184.
- [12] *Boone S., Vigo C., Boone T.J., Byrne C., Ferrario J.* Per- and polyfluoroalkyl substances in source and treated drinking waters of The United States // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 653. P. 359–369. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.245>
- [13] *Popova T., Golovin V., Medved P.* Microbiological Treatment of High-Coloring Natural Waters // *International science and technology conference “FarEastCon-2019” IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020. Vol. 753. Article no. 052042. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/753/5/052042>

Сведения об авторах:

Попова Татьяна Юрьевна, старший преподаватель, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация, 690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, 10. E-mail: popova.tyu@dvfu.ru

Головин Виктор Леонтьевич, кандидат технических наук, доцент, профессор, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация, 690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, 10. E-mail: golovin.vl@dvfu.ru

Волкова Владислава Николаевна, кандидат технических наук, старший преподаватель, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация, 690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, 10. ORCID: 0000-0001-9078-9858. E-mail: vladavibi@bk.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-409-421

EDN: NHSBEF

УДК 504.06

Научная статья / Research article

Определение режима работы эжекционной флотационной установки для очистки сточных вод

Е.С. Антонова  , В.О. Карпикова

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Российская Федерация

 e.s.antonova@bmstu.ru

Аннотация. Рассмотрены способы повышения качества водовоздушной смеси, генерируемой эжекционной системой аэрации, используемой при флотационной очистке сточных вод, включающие использование эжекторов разных конструкций и диспергирующих устройств, изменение коэффициента эжекции и скорости истечения из сопла, применение пенообразователей. Показано, что для высокоэффективной очистки требуются пузырьки размерами порядка десятков микрометров, имеющих равномерное распределение по камере аэрации. Предложено использование системы аэрации, включающей эжектор, аэратор и диспергатор для более эффективного дробления пузырьков. Проведены эксперименты по определению параметров водовоздушной смеси (размеров пузырьков и интенсивности аэрации) при различных скоростях ее истечения из аэраторов разных конструкций. Определен режим работы, позволяющий генерировать наибольшее количество мелкодисперсных пузырьков размерами 75–115 мкм. При данном режиме работы был использован аэратор кольцевого сечения (внутренний диаметр 4 мм, наружный диаметр 6 мм), скорость истечения составила 13 м/с.

Ключевые слова: флотационная очистка сточных вод, эжектор, скорость истечения, размер пузырьков, интенсивность аэрации

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

История статьи: поступила в редакцию 19.03.2024; доработана после рецензирования 20.05.2024; принята к публикации 14.07.2024.

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

© Антонова Е.С., Карпикова В.О., 2024



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

Для цитирования: Антонова Е.С., Карпикова В.О. Определение режима работы эжекционной флотационной установки для очистки сточных вод // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 409–421. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-409-421>

Definition of the operating mode of ejection flotator for the wastewater treatment

Ekaterina S. Antonova  , Veronika O. Karpikova

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

 e.s.antonova@bmstu.ru

Abstract. The methods of the quality increase of the air-water mixture generated by ejection system of aeration for the flotation wastewater treatment are considered such as the use of various constructions of ejectors, use of dispersers, operating at different air-water rates and exit nozzle velocities, addition of surfactants. It is shown that for the highly efficient wastewater treatment microbubbles with the sizes less than 100 μm that are equally distributed in the flotation chamber are needed. The use of aeration system that includes ejector, aerator and disperser is offered. The experimental definition of air-water mixture characteristics (bubbles size and superficial gas velocity) was carried out with different exit nozzle velocities and types of aerators. The operating mode that allows the generation microbubbles with average sizes 75–115 μm was defined. At this mode the annular aerator with inside diameter 4 mm and outside diameter 6 mm was used, exit nozzle velocity was 13 m/s.

Keywords: flotation wastewater treatment, ejector, exit nozzle velocity, bubble size, superficial gas velocity

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

Article history: received 19.03.2024; revised 20.05.2024; accepted 14.07.2024.

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

For citation: Antonova ES, Karpikova VO. Definition of the operating mode of ejection flotator for the wastewater treatment. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(4):409–421. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-409-421>

Введение

Флотационная очистка сточных вод в настоящее время широко распространена. Сущность метода состоит в следующем: сточная вода насыщается пузырьками воздуха, к которым прилипают гидрофобные загрязнения, и образованный флотокомплекс всплывает, формируя пенный слой на поверхности жидкости [1; 2].

Эффективность флотации зависит от различных параметров: размера и формы пузырьков воздуха, интенсивности перемешивания, температуры воды, присутствия растворенных веществ [3–5]. Для высокой эффективности

требуется получение мелких пузырьков воздуха размерами в десятки микрометров, имеющих равномерное распределение по камере аэрации.

Флотация классифицируется по способу аэрации воды. Наиболее распространенные типы флотации: механическая (пузырьки воздуха достигают размеров 700–1500 мкм), пневматическая (1000–5000 мкм), напорная (30–70 мкм) и электрофлотация (20–40 мкм). Основными недостатками этих способов являются высокие энергозатраты (электрофлотация, механическая, напорная), невысокая эффективность очистки из-за крупных пузырьков (механическая, пневматическая), сложности эксплуатации, связанные с использованием резервуара, работающего под давлением нескольких атмосфер (напорная). В [4] отмечено, что 50–90 % электроэнергии, потребляемой системой очистки, приходится на систему аэрации, а затраты на неё могут составить 15–49 % от общих затрат.

Альтернативным и менее энергозатратным способом является флотация с эжекционной системой аэрации. Применение такого способа аэрации позволяет получить такой же объем воздуха, как и в предыдущих способах, но пузырьки будут меньшего размера в большем количестве [6; 7]. Эжектор – это струйный аппарат, предназначенный для перемещения одной среды другой высокоскоростной средой. Конструкция эжектора простая и надежная, а его использование позволяет исключить из схемы дополнительные устройства (компрессоры, устройства подачи реагента). Эжектор может быть использован в аэротенках, сооружениях биологической очистки, флотационных установках [8]. Однако применение простейших конструкций эжекторов позволяет генерировать пузырьки размерам более 1 мм, что не может обеспечить высокую эффективность очистки.

Добиться более эффективных параметров системы аэрации можно различными способами, например, за счет добавления химических веществ – пенообразователей [9], установки специальных диспергирующих устройств после эжектора [10; 11], изменения конструкции эжекторов [12; 13], изменения коэффициента эжекции и скорости истечения из сопла [14].

Для обеспечения высокой интенсивности аэрации необходимо получить максимальную степень эжекции (отношение расхода подсосываемого воздуха к расходу воды). Однако в работе [14] отмечено, что снижение степени эжекции позволяет добиться уменьшения среднего размера воздушных пузырьков. Таким образом, если при высоком значении степени эжекции происходит генерирование крупнодисперсных пузырьков, то высокая интенсивность аэрации наблюдается локально рядом с эжектором.

В работе [7] приведено сравнение сопла круглого и кольцевого сечений. Применение кольцевого сечения позволило повысить степень эжекции. Увеличение скорости потока (повышение расхода воды) на выходе из сопла с круглым поперечным сечением приводит к возрастанию степени эжекции, причем чем диаметр меньше, тем выше степень эжекции. Проведение эксперимента при одинаковых расходах воды снижает степень эжекции.

Для обеспечения более равномерного распределения пузырьков по камере в работах [12; 13] предложены эжектор с дополнительными наклонными соплами и использование небольших выходных патрубков на выходе водовоздушной смеси из эжектора.

Уменьшение размера пузырьков и их равномерное распределение позволяют повысить эффективность аэрации. Исследуя перечисленные параметры, можно установить режим работы, обеспечивающий более качественную очистку.

В данной работе предложено использование эжекционной системы аэрации с диспергатором, принцип действия которой заключается в том, что вода насыщается пузырьками воздуха в эжекторе, а затем их дробление происходит при истечении из аэратора на высокой скорости и последующем контакте с ребристой поверхностью вращающегося цилиндрического диспергатора. Вращение осуществляется за счет тангенциального подвода струи.

Цель исследования – определение режима работы, обеспечивающего наилучшие характеристики водовоздушной смеси для обеспечения эффективной флотационной очистки сточных вод.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования проведены на лабораторной установке, представленной на рис. 1.

Установка работает следующим образом: камера аэрации 1 и резервуар воды 2 предварительно заполняются водопроводной водой. Насос 3 откачивает воду из резервуара 2 и подает в камеру аэрации 1. Проходя через сужение эжектора 7, вода насыщается пузырьками за счет подсасывания воздуха из окружающей среды при возникновении разрежения. Для дробления пузырьков воздуха на более мелкие устанавливаются аэратор 8 и диспергатор 11. В качестве диспергатора использовалось цилиндрическое рифленое тело диаметром 40 мм и длиной 40 мм. В камеру аэрации поступает водовоздушная смесь. Расход воды и воздуха измеряется водосчетчиком 6 и ротаметром 10 соответственно. Камера аэрации разделена на две части тонкослойными перегородками.

Для определения параметров системы аэрации описанная установка была дополнена прямоугольной емкостью с измерительной шкалой 12, USB-микроскопом 13, компьютером 14 и источником света 15.

В ходе работы была проведена серия опытов с применением диспергатора и без его применения для определения характеристик при различных значениях скорости истечения. Были использованы два сопла круглого сечения с диаметрами $d = 4$ мм и $d = 6$ мм, а также аэратор кольцевого сечения с внутренним диаметром $d_{в} = 4$ мм и наружным диаметром $d_{н} = 6$ мм.

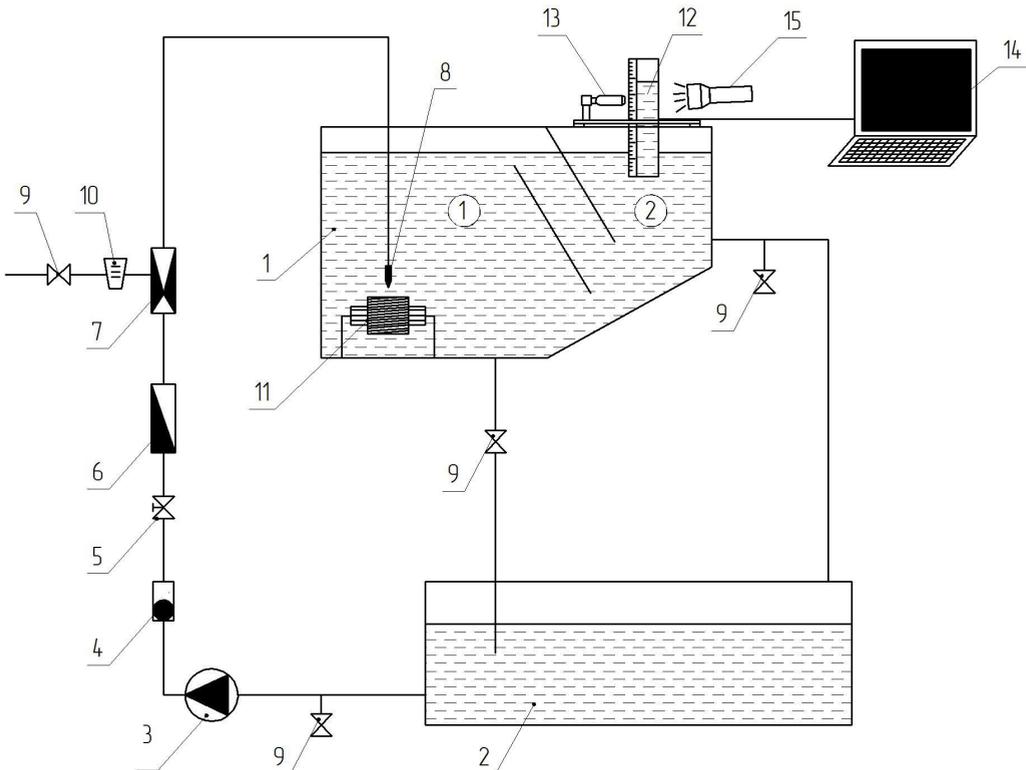


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

1 – камера аэрации; 2 – резервуар воды; 3 – насос; 4 – обратный клапан; 5 – регулирующий вентиль, 6 – водосчетчик; 7 – эжектор; 8 – аэратор; 9 – шаровый кран; 10 – ротаметр; 11 – диспергатор; 12 – прямоугольная емкость с измерительной шкалой; 13 – USB-микроскоп; 14 – компьютер; 15 – источник света; ①, ② – точки отбора проб

Источник: составлено Е.С. Антоновой, В.О. Карпиковой.

Figure 1. Scheme of laboratory set up:

1 – aeration chamber; 2 – water reservoir; 3 – pump; 4 – check valve; 5 – control valve; 6 – water meter; 7 – ejector; 8 – aerator; 9 – ball valve; 10 – rotameter; 11 – disperser; 12 – rectangular container with a measuring scale; 13 – USB microscope; 14 – computer; 15 – light source; ①, ② – sampling points

Source: compiled by E.S. Antonova, V.O. Karpikova.

Эксперимент проводился при постоянном расходе воды.

В ходе эксперимента проведено измерение размеров пузырьков и интенсивности аэрации в двух частях камеры аэрации (точки отбора проб 1 и 2). В камеру аэрации была установлена прямоугольная емкость. В каждом опыте была произведена видеосъемка пузырьков на установленный USB-микроскоп с использованием источника света. Полученные видео были разбиты на кадры (рис. 2), на каждом из которых с учетом масштаба проведены измерения размеров пузырьков.

Измерение интенсивности аэрации осуществлялось по методике, описанной в [15]. Для измерения засекалось время, за которое уровень воды в емкостях с мерной шкалой, установленных в точках замера, опустится на фиксированное расстояние (5 мм).



Рис. 2. Снимок воздушных пузырьков
 Источник: фото Е.С. Антоновой, В.О. Карпиковой.
Figure 2. Photo of air bubbles
 Source: Photo of by E.S. Antonova, V.O. Karpikova.

Результаты и их обсуждение

Было исследовано три режима работы установки, параметры которых представлены в табл. 1. Расход воды составлял 750 л/ч.

Таблица 1. Параметры режимов работы установки

Аэратор	Скорость истечения из аэратора м/с	Расход воздуха л/ч	Степень эжекции	Частота вращения диспергатора об/мин	Интенсивность аэрации	
					точка 1 м ³ /(м ² ·с)	точка 2 м ³ /(м ² ·с)
–			–			
Сопло d = 4 мм	16,6	15	0,020	без диспергатора	2,8·10 ⁻⁶	5,2·10 ⁻⁷
				966	<10 ⁻⁸	<10 ⁻⁸
Кольцевой аэратор d _в = 4 мм, d _н = 6 мм	13,0	42,8	0,057	без диспергатора	2,0·10 ⁻⁵	5,5·10 ⁻⁷
				648	4,5·10 ⁻⁶	8,3·10 ⁻⁷
Сопло D = 6 мм	7,4	42,8	0,057	без диспергатора	8,8·10 ⁻⁶	–
				588	1,4·10 ⁻⁶	1,0·10 ⁻⁶

Примечание. Прочерк (–) означает, что пузырьки не зафиксированы.
 Источник: составлено Е.С. Антоновой, В.О. Карпиковой.

Table 1. Operating modes parameters

Aerator	Exit nozzle velocity m/s	Air flowrate l/h	Air-water ratio	Dispersion rotation frequency rpm	Superficial gas velocity	
					point 1 m ³ /(m ² ·s)	point 2 m ³ /(m ² ·s)
–			–			
Nozzle d = 4 mm	16.6	15	0.020	without disperser	2.8·10 ⁻⁶	5.2·10 ⁻⁷
				966	<10 ⁻⁸	<10 ⁻⁸
Annular aerator d _v = 4 mm, d _n = 6 mm	13.0	42.8	0.057	without disperser	2.0·10 ⁻⁵	5.5·10 ⁻⁷
				648	4.5·10 ⁻⁶	8.3·10 ⁻⁷
Nozzle d = 6 mm	7.4	42.8	0.057	without disperser	8.8·10 ⁻⁶	–
				588	1.4·10 ⁻⁶	1.0·10 ⁻⁶

Note. – no bubbles were fixed.
 Source: compiled by E.S. Antonova, V.O. Karpikova.

Скорость истечения при уменьшении диаметра возрастает. Уменьшение диаметра аэратора приводит к снижению степени эжекции, что согласуется с результатами [7].

При использовании сопла с диаметром 6 мм в опыте без диспергатора получаются очень крупные воздушные пузырьки, которые выделяются непосредственно над диспергатором (точка 1) и не распространяются дальше. В опыте с соплом диаметром 4 мм и диспергатором получаются очень мелкие пузырьки воздуха, но при этом интенсивность аэрации минимальна. Диспергатор позволяет повысить равномерность распределения и уменьшить размеры получаемых пузырьков.

При статистической обработке данных, согласно [16], были получены функции плотностей распределения пузырьков (ФПР) по размерам. На рис. 3 представлены ФПР при использовании аэратора кольцевого сечения с диспергатором. Распределение является полидисперсным, и из него может быть выделено несколько групп пузырьков, описываемых функцией нормального распределения (на графиках показана линией). Точками обозначены экспериментальные данные.

Функции плотностей распределения пузырьков при тех же условиях без диспергатора для сравнения приведены на рис. 4.

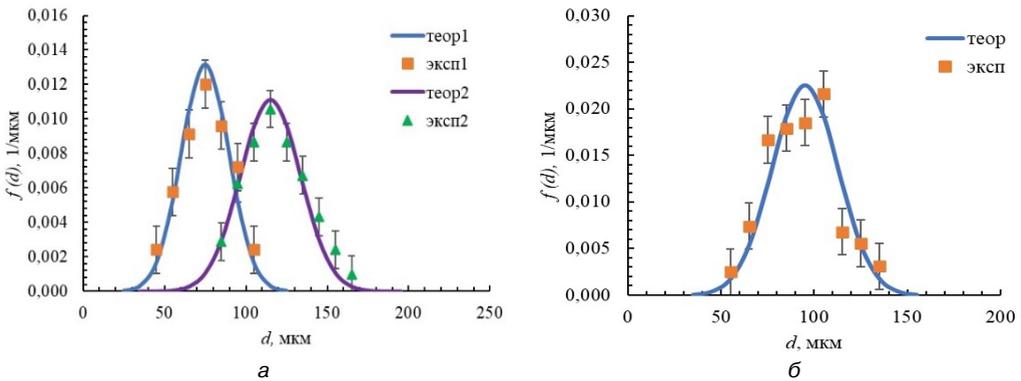


Рис. 3. Функции плотностей распределения пузырьков при работе установки с аэратором кольцевого сечения с диспергатором: а – точка 1; б – точка 2

Источник: составлено Е.С. Антоновой, В.О. Карпиковой.

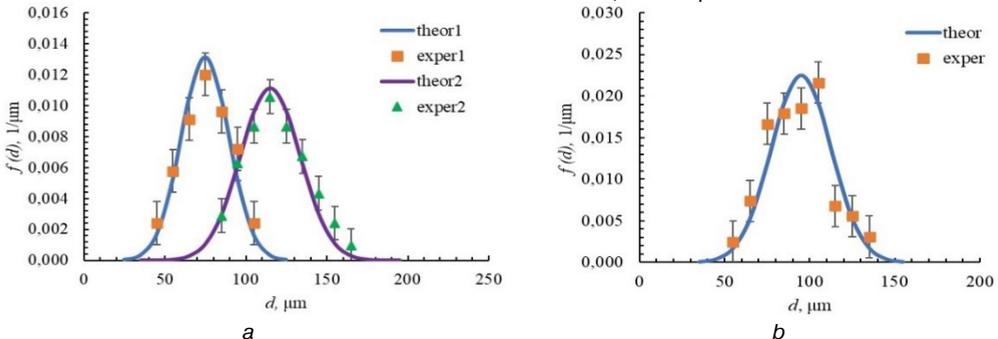


Figure 3. Distribution density function of bubbles during operation of the unit with annular aerator with disperser: a – point 1, b – point 2

Source: compiled by E.S. Antonova, V.O. Karpikova.

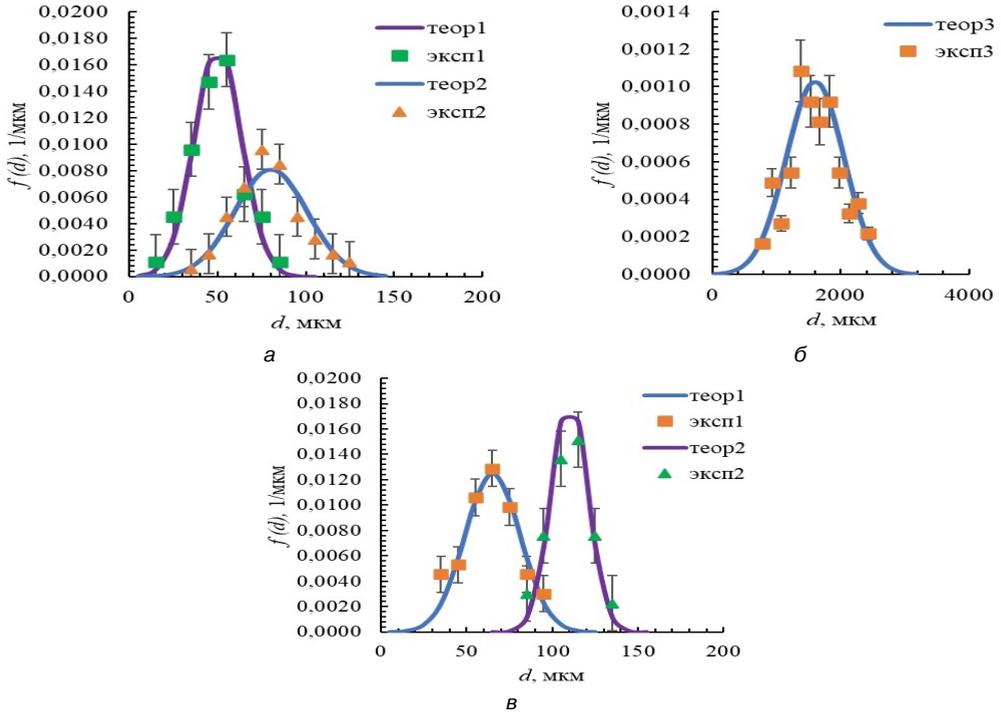


Рис. 4. Функции плотностей распределения пузырьков при работе установки с аэратором кольцевого сечения без диспергатора:

а – мелкодисперсные пузырьки в точке 1, б – крупнодисперсные пузырьки в точке 1, в – точка 2
 Источник: составлено Е.С. Антоновой, В.О. Карпиковой.

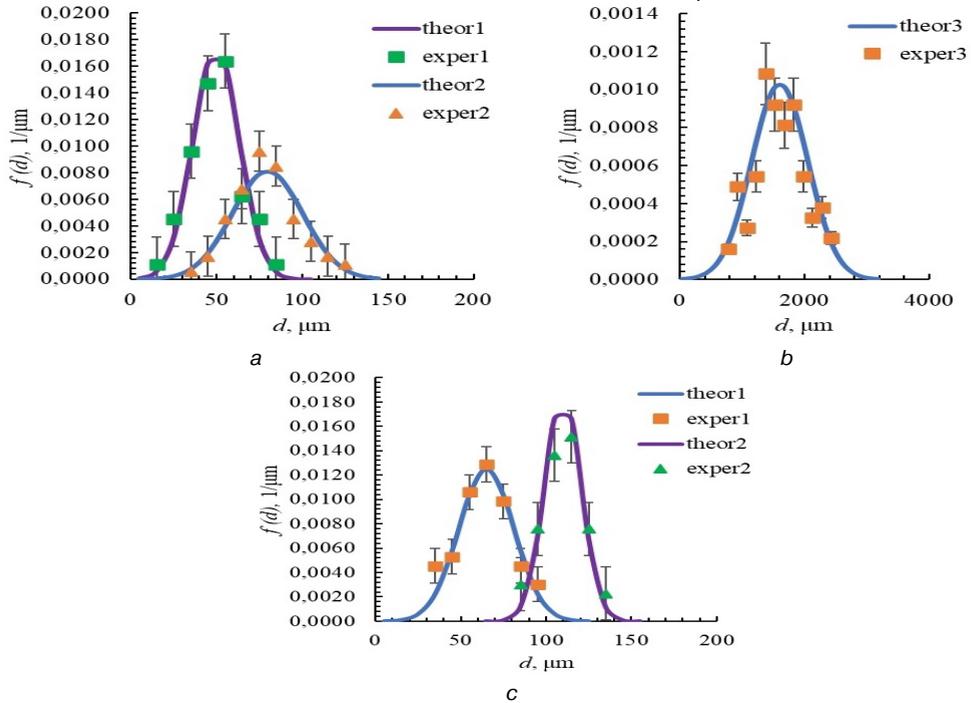


Figure 4. Distribution density function of bubbles during operation of the unit with annular aerator without disperser:

a – small bubbles in point 1, b – large bubbles in point 1, c – point 2
 Source: compiled by E.S. Antonova, V.O. Karpikova.

Аналогичная обработка данных проведена для каждого эксперимента. Размеры получаемых пузырьков со среднеквадратическими отклонениями (с.к.о.) и их доля представлены в табл. 2.

Использование сопла с диаметром 6 мм показало худший результат. В опыте без диспергатора не было получено распределение во второй точке, так как все пузырьки всплывали непосредственно над выходом из аэратора из-за своего размера (более 50 % пузырьков имели размеры свыше 1 мм). Использование диспергатора позволило уменьшить размеры получаемых пузырьков до десятков мкм, однако крупные пузырьки все равно присутствовали. В виде крупных пузырьков выделялось более 90 % воздуха.

При сопле с диаметром 4 мм генерировались самые мелкие пузырьки, но появилась проблема иного характера: на этом режиме эжектор имел низкую степень эжекции $\Theta = 0,02$. Крупнодисперсных пузырьков не наблюдалось.

Аэратор кольцевого сечения обеспечил генерирование мелкодисперсных пузырьков со средними размерами 75–115 мкм и их наиболее равномерное распределение в камере аэрации.

Таблица 2. Распределение пузырьков по размерам

Аэратор	Точка	№ группы	Средний размер, мкм	Доля пузырьков	с.к.о., мкм
Без диспергатора					
Сопло $d = 4$ мм	1	1	35	0,18	10,58
		2	70	0,22	11,23
		3	105	0,17	16,16
		4	1000	0,43	308,74
	2	1	35	0,27	7,57
		2	65	0,35	10,51
3		85	0,39	13,79	
Кольцевой аэратор $d_в = 4$ мм, $d_н = 6$ мм	1	1	50	0,34	13,40
		2	80	0,25	20,60
		3	1600	0,41	450,77
	2	1	65	0,51	16,21
		2	110	0,49	10,57
		3	1900	0,10	268,68
Сопло $d = 6$ мм	1	1	50	0,31	17,34
		2	102,5	0,10	14,50
		3	1000	0,40	328,87
		4	1900	0,10	268,68
		5	2200	0,09	209,92
С диспергатором					
Сопло $d = 4$ мм	1	1	12,5	0,34	3,51
		2	32,5	0,48	5,64
		3	55	0,18	7,43
	2	1	12,5	0,30	4,39
		2	32,5	0,34	6,62
		3	52,5	0,35	5,77
Кольцевой аэратор $d_в = 4$ мм, $d_н = 6$ мм	1	1	75	0,49	14,72
		2	115	0,51	18,45
	2	1	95	1,00	17,70
		2	290	0,11	22,30
Сопло $d = 6$ мм	1	1	65	0,71	21,55
		2	215	0,29	57,11
	2	1	65	0,89	22,30
		2	290	0,11	22,30

Источник: составлено Е.С. Антоновой, В.О. Карпиковой.

Table 2. Bubble size distribution

Aerator	Point	Group number	Average size, μm	Proportion	Standard deviation, μm
Without disperser					
Nozzle $d = 4 \text{ mm}$	1	1	35	0.18	10.58
		2	70	0.22	11.23
		3	105	0.17	16.16
		4	1000	0.43	308.74
	2	1	35	0.27	7.57
		2	65	0.35	10.51
Annular aerator $d_i = 4 \text{ mm}$, $d_o = 6 \text{ mm}$	1	1	50	0.34	13.40
		2	80	0.25	20.60
		3	1600	0.41	450.77
	2	1	65	0.51	16.21
		2	110	0.49	10.57
		3	1900	0.10	268.68
Nozzle $d = 6 \text{ mm}$	1	1	50	0.31	17.34
		2	102.5	0.10	14.50
		3	1000	0.40	328.87
		4	1900	0.10	268.68
		5	2200	0.09	209.92
With disperser					
Nozzle $d = 4 \text{ mm}$	1	1	12.5	0.34	3.51
		2	32.5	0.48	5.64
		3	55	0.18	7.43
	2	1	12.5	0.30	4.39
		2	32.5	0.34	6.62
		3	52.5	0.35	5.77
Annular aerator $d_i = 4 \text{ mm}$, $d_o = 6 \text{ mm}$	1	1	75	0.49	14.72
	2	2	115	0.51	18.45
Nozzle $d = 6 \text{ mm}$	1	1	65	0.71	21.55
		2	215	0.29	57.11
	2	1	65	0.89	22.30
		2	290	0.11	22.30

Source: compiled by E.S. Antonova, V.O. Karpikova.

Сравнивая аэраторы по интенсивности аэрации и распределению пузырьков, установлено, что аэратор кольцевого сечения является наиболее эффективным.

Установлено, что повышение скорости выхода водовоздушной смеси из аэратора приводит к уменьшению размера формирующихся пузырьков воздуха и увеличению их количества. Для использованного в работе эжектора по результатам проведенного эксперимента был определен наилучший режим работы при расходе воды 750 л/ч, расходе воздуха 42,8 л/ч. Повышение скорости (более 13 м/с) обуславливает снижение эффективности работы эжектора. Соответственно, дальнейшее повышение скорости неэффективно.

Заключение

На основе анализа литературных источников установлено, что эффективность эжекционной флотации зависит от ряда параметров, таких как геометрические параметры эжектора, скорость выхода водовоздушной смеси из аппарата, геометрия выходного сопла аэратора. Как и другие способы

флотации, эжекционная флотация эффективна при ограниченном диапазоне размеров воздушных пузырьков.

В результате проведенных экспериментальных исследований подобран наилучший режим работы, исходя из условий формирования мелкодисперсных пузырьков, равномерного их распределения в камере аэрации и высокой интенсивности аэрации. Наиболее эффективным вариантом оказалось использование аэратора кольцевого сечения ($d_b = 4$ мм, $d_n = 6$ мм) при скорости истечения 13 м/с совместно с диспергатором.

Список литературы

- [1] *Ксенофонтов Б.С.* Флотационная очистка сточных вод. М.: Новые технологии, 2003. 144 с.
- [2] *Зубарева Г.И.* Флотация в технологических схемах очистки промышленных сточных вод // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2019. № 4. С. 67–77. <http://doi.org/10.15593/2224-9826/2019.4.07>
- [3] *Журавлев Р.Г., Борисов Б.Н.* Выявление факторов, влияющих на работу систем аэрации в аэротенках // Наука, образование и культура. 2021. № 1 (56). С. 21–24.
- [4] *Drewnowski J., Remiszewska-Skwarek A., Duda S., Łagód G.* Aeration process in bioreactors as the main energy consumer in a wastewater treatment plant. Review of solutions and methods of process optimization // Processes. 2019. Vol. 7. No. 5. P. 311–332. <http://doi.org/10.3390/pr7050311>
- [5] *Гаврильев С.А., Иванов М.В.* Акустический мониторинг дисперсного состава пузырьков воздуха в аэрируемых процессах очистки сточных вод // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2021. № 3 (81). С. 14–22. <http://doi.org/10.17277/voprosy.2021.03.pp.014-022>
- [6] *Антонова Е.С.* Интенсификация процесса очистки сточных вод пищевого комбината с использованием флотационной машины с эжекционной системой аэрации с диспергатором // Научные труды КубГТУ. 2017. № 7. С. 63–70.
- [7] *Ледян Ю.П., Селивончик В.В., Щербакова М.К.* Применение струйной аэрации для повышения эффективности очистки воды в системе оборотного водоснабжения литейного цеха // Литье и металлургия. 2008. № 4 (49). С. 161–164.
- [8] *Murtazayev F.A., Mirzayev M.* Analysis of wastewater aeration methods in aeration tanks // Journal of new century innovations. 2022. Vol. 17, Issue 2. P. 136–141.
- [9] *Han Y., Zhu J., Shen L., Zhou W., Ling Y., Yang X., Wang S., Dong Q.* Bubble size distribution characteristics of a jet-stirring coupling flotation device // Minerals. 2019. Vol. 9. No. 6. P. 369. <https://doi.org/10.3390/min9060369>
- [10] *Ксенофонтов Б.С., Антонова Е.С.* Исследование дисперсного состава водовоздушной смеси, генерируемой эжекционной системой аэрации, в процессе флотационной очистки сточной воды // Безопасность в техносфере, 2016. Т. 5. № 4. С. 38–44. <http://doi.org/10.12737/23760>
- [11] *Антонова Е.С.* Исследование процесса очистки воды от нефтепродуктов во флотационной установке с эжекционной системой аэрации с диспергатором // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, 2017. Т. 25. № 4. С. 548–561. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2017-25-4-548-561>
- [12] *Zavodyanov I.I., Kapitonova S.N., Ksenofontov B.S.* Using an ejection system for supplying water and reagent in combined flotation apparatus // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ekaterinburg, 2020. Vol. 864. P. 1–6. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/864/1/012059>

- [13] Ткачева Л.Т., Бренч М.В., Демченко А.В. Улучшение качества воды для нужд сельскохозяйственного производства с применением газожидкостного эжектора // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Международной научно-практической конференции. Минск: БГАТУ, 2019. С. 219-221.
- [14] Grinis L., Lubashevsky N., Ostrovski Y. Influence of the flow rate ratio in a jet pump on the size of air bubbles // International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, 2015. Vol. 9. No. 7. P. 1161–1164.
- [15] Сазонов Д. В. Влияние типа насоса на параметры пневмогидравлической системы аэрации во флотационных аппаратах // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 10. С. 40–45.
- [16] Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высш. шк., 1999. 497 с.

References

- [1] Ksenofontov BS. *Flotation wastewater treatment*. Moscow: New technologies; 2003. (In Russ.).
- [2] Zubareva GI. Flotation in technological schemes for industrial wastewater treatment. *Bulletin of PNRPU. Construction and architecture*; 2019;(4):67–77. (In Russ.). <http://doi.org/10.15593/2224-9826/2019.4.07>
- [3] Zhuravlev RG, Borisov BN. Identification of factors influencing the operation of aeration systems in aeration tanks. *Science, education and culture*, 2021;(56): 21–24. (In Russ.).
- [4] Drewnowski J, Remiszewska-Skwarek A, Duda S, Łagód G. Aeration process in bioreactors as the main energy consumer in a wastewater treatment plant. Review of solutions and methods of process optimization. *Processes*, 2019;7(5):311–332. <https://doi.org/10.3390/pr7050311>
- [5] Gavril'ev SA, Ivanov MV. Acoustic monitoring of the dispersed composition of air bubbles in aerated wastewater treatment processes. *Issues of modern science and practice. University named after V.I. Vernadsky*, 2021;(81):14–22. (In Russ.). <https://doi.org/10.17277/voprosy.2021.03.pp.014-022>
- [6] Antonova ES. Intensification of the wastewater treatment process of a food plant using a flotation machine with an ejection aeration system with a dispersant. *Scientific works of KubSTU*, 2017;(7):63–70. (In Russ.).
- [7] Ledyan YUP, Selivonchik VV, Shcherbakova MK. Application of jet aeration to increase the efficiency of water purification in the recycling water supply system of a foundry. *Casting and metallurgy*. 2008;(49):161–164. (In Russ.).
- [8] Murtazayev FA, Mirzayev M. Analysis of wastewater aeration methods in aeration tanks. *Journal of new century innovations*. 2022;17(2):136–141.
- [9] Han Y, Zhu J, Shen L, Zhou W, Ling Y, Yang X, Wang S, Dong Q. Bubble size distribution characteristics of a jet-stirring coupling flotation device. *Minerals*, 2019;9(6):369. <https://doi.org/10.3390/min9060369>
- [10] Ksenofontov BS, Antonova ES. Research of Disperse Composition of Air-and-Water Mix Generated by Ejector Aeration System During Wastewater Flotation Treatment. *Safety in the technosphere*. 2016;5(4):38–44. (In Russ.). <http://doi.org/10.12737/23760>
- [11] Antonova ES. Investigation of oily wastewater treatment process in a flotation set up with ejection system of aeration with disperse. *Bulletin of RUDN university. Series: Ecology and life safety*. 2017;25(4):548–561. (In Russ.). <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2017-25-4-548-561>

- [12] Zavodyanov II, Kapitonova SN, Ksenofontov BS. Using an ejection system for supplying water and reagent in combined flotation apparatus. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Ekaterinburg. 2020;864:1–6. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/864/1/012059>
- [13] Tkacheva LT, Brench MV, Demchenko AV. Improving the quality of water for the needs of agricultural production using a gas-liquid ejector. *Technical and personnel support of innovative technologies in agriculture: materials of the International Scientific and Practical Conference*. Minsk: BSATU; 2019. p. 219–221. (In Russ.).
- [14] Grinis L, Lubashevsky N, Ostrovski Y. Influence of the flow rate ratio in a jet pump on the size of air bubbles. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*. 2015;9(7):1161–1164.
- [15] Sazonov DV. Influence of the pump type on the parameters of the pneumatic-hydraulic aeration system in flotation apparatus. *Water supply and sanitary technic*. 2017;10:40–45. (In Russ.).
- [16] Gmurman VE. *Theory of Probability and Mathematical Statistics*. Moscow: Higher school; 1999. (In Russ.).

Сведения об авторах:

Антонова Екатерина Сергеевна, кандидат технических наук, доцент, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1. ORCID: 0000-0003-4632-7984; SPIN-код: 4540-2715. E-mail: e.s.antonova@bmstu.ru

Карпикова Вероника Олеговна, студент, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1. E-mail: karpikova01@mail.ru

Bio notes:

Ekaterina S. Antonova, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University, 5, bldg 1, 2nd Baumanskaya St, Moscow, 105005, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4632-7984; SPIN-code: 4540-2715. E-mail: e.s.antonova@bmstu.ru

Veronika O. Karpikova, student, Bauman Moscow State Technical University, 5, bldg 1, 2nd Baumanskaya St, Moscow, 105005, Russian Federation. E-mail: karpikova01@mail.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-422-430
EDN: NINDLF
УДК 628.2:626.8

Научная статья / Research article

Технология очистки ливневых вод причальных сооружений перевалки древесины

С.Б. Кунденюк , В.Н. Волкова ✉

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация
✉vladavibi@bk.ru

Аннотация. В исследовании представлена разработанная авторами индивидуальная технология сбора и отведения поверхностного стока с сооружений портового комплекса по перевалке щепы в условиях сложившейся инфраструктуры порта. Выполнен анализ реализации проекта. Разработан инновационный коагулирующий состав, снижающий распреснение морского водоема, разработаны конструктивные решения для интенсификации работы очистных сооружений. Предложенные авторами технологические решения могут быть применены при проектировании ливневой канализации причальных сооружений и очистки стоков.

Ключевые слова: морской порт, перевалка щепы, поверхностный сток, аккумуляционная емкость, технология очистки, инновационный коагулирующий состав

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

История статьи: поступила в редакцию 09.04.2024; доработана после рецензирования 10.05.2024; принята к публикации 23.08.2024.

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

Для цитирования: Кунденюк С.Б., Волкова В.Н. Технология очистки ливневых вод причальных сооружений перевалки древесины // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 422–430. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-422-430>

© Кунденюк С.Б., Волкова В.Н., 2024



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

Intensification of storm water treatment of wood transferring wood termination facilities

Svetlana B. Kundenok^{ID}, Vladislava N. Volkova^{ID}✉

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

✉vladavibi@bk.ru

Abstract. The study presents the individual technology developed by the authors for the collection and disposal of surface runoff from the facilities of the port complex for the transshipment of wood chips in the conditions of the existing port infrastructure. An analysis of the project implementation was carried out. An innovative coagulating composition has been developed that reduces the desalination of sea water, and design solutions have been developed to intensify the operation of treatment facilities. The technological solutions proposed by the authors can be applied in the design of storm sewerage for berth structures and wastewater treatment.

Keywords: sea port, transshipment of wood chips, surface runoff, storage capacity, purification technology, innovative coagulating composition

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

Article history: received 09.04.2024; revised 10.05.2024; accepted 23.08.2024.

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

For citation: Kundenok SB, Volkova VN. Intensification of storm water treatment of wood transferring wood termination facilities. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(4):422–430. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-422-430>

Введение

В настоящее время во всем мире, в том числе и в России, остро стоят проблемы загрязнений воздуха, почвы, воды¹. Поверхностные сточные воды содержат органические загрязнения, которые гнивают и служат средой развития микроорганизмов, в том числе патогенных. Стоки деревообрабатывающей промышленности, в данном случае порт-пункта по перевалке технологической щепы, представляют угрозу для окружающей среды. В целях предотвращения опасности следует предусмотреть эффективную систему ливневой канализации. Современные природоохранные требования² обязывают предприятия обеспечить сбор и очистку поверхностного стока. Места расположения выпусков очищенных поверхностных стоков в акваторию

¹ Свод правил СП 32.13330.2018. Дата введения 2019-06-26. Утвержден Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25 декабря 2018 г. № 860/пр и введен в действие с 26 июня 2019 г. (актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения»). 2018. 142 с.

² Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 30.12.2023) Принят Государственной Думой 12 апреля 2006 года. Одобрен Советом Федерации 26 мая 2006 года. 53 с.

судоходных морских объектов необходимо проектировать в соответствии с СП 350.1326000.2018³ и согласовывать с органами местного управления, морского флота и надзорными организациями⁴.

Основными загрязняющими компонентами поверхностного стока сели-тебных территорий являются взвешенные вещества, нефтепродукты и БПК [3], а к специфическим загрязнениям с площадки перевалки технологический щепы относятся вещества, вымываемые из древесины, которые попадают в категорию фенолов. Для очистки таких вод применяются механические, реагентные, электрохимические [4–6], а для глубокой доочистки ионообмен-ные и сорбционные методы, в том числе с использованием современных модифицированных и нанокompозитных материалов [7; 8].

В данном исследовании выполнен анализ эксплуатации разработанной авторами индивидуальной технологии сбора и очистки поверхностного стока причальных сооружений. Площадка расположена на техногеннообразован-ной территории порта с развитой сетью коммуникаций, в границах существу-ющей санитарно-защитной зоне предприятия. Поверхность причала забето-нирована и используется для погрузки-разгрузки морских судов, высота над уровнем моря ~ 2,0 м.

В практике проектирования в большинстве случаев применяются насос-ные станции и очистные сооружения заглубленного типа заводского испол-нения из полиэтилена или стеклопластика, которые монтируются к железобе-тонным плитам. Если такие сооружения размещаются в обводненном грунте, необходимо выполнить расчет на всплытие с целью предупреждения их выталкивания и предусмотреть специальные мероприятия при проведении работ, что ведет к удорожанию стоимости строительства.

Цель исследования – разработка реагентного способа обработки вод с использованием природных материалов: морской воды, глинозема, известкового молока – и его конструктивное исполнение, обеспечивающее снижение нагрузки загрязняющих веществ на сорбционные фильтры при минимальных строительных и эксплуатационных затратах.

³ Свод правил. Нормы технологического проектирования морских портов. СП 350.1326000.2018. Дата введения 2018-09-01. Утвержден приказом Министерства транспорта Российской Федерации (Минтранс России) от 1 марта 2018 г. № 75 и введен в действие с 1 сентября 2018 г. 2018, 231 с.; Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.3684-21 Сани-тарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактиче-ских) мероприятий. 2021. 65 с.

⁴ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 3 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 „Санитарно-эпидемиологи-ческие требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и про-ведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий“». 2021. 75 с.

Материалы и методы

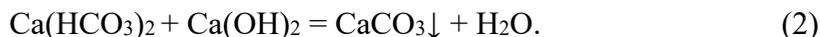
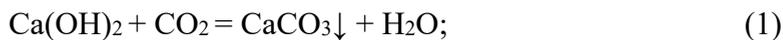
Физико-химический метод для очистки поверхностных вод применяется достаточно редко в связи с тем, что сооружения обработки вод преимущественно проточного типа и размещаются ниже уровня земли. А для размещения реагентного хозяйства необходим павильон. Высокой эффективностью удаления загрязняющих веществ обладает гидроксид магния и смешанные реагенты, в состав которых дополнительно включены кальций и калий [9; 10]. Известен реагентный метод использования морской воды, в состав которой входит значительное количество ионов магния и кальция в качестве коагулянта. Например, в способе очистки сточных вод [11] к сточным водам предприятий пищевой промышленности добавляется 25–35 % морской воды и производится обработка воды в электрофлотаторе. Для очистки сточных вод мокрой окорки древесины применяются соли алюминия, позволяющие снизить показатели загрязнений на 80–90 % [12]. Комбинированный метод очистки фенолсодержащих сточных вод, в основе которого лежит применение электрокоагуляционной обработки в постоянном электрическом поле и сорбции фенола на бентоните с концентрацией 0,1 %, временем отстаивания 3 ч, является наиболее эффективным при удалении фенолов.

Для решения поставленных задач выполнены теоретические и экспериментальные исследования коагуляции на натуральных сточных водах в лабораторных условиях по стандартным методикам с построением классической кривой Смолуховского.

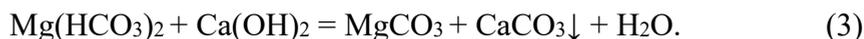
Результаты и их обсуждение

При гидролизе глинозема образуется гидроксид алюминия, а выделяющаяся серная или соляная кислота нейтрализуется находящейся в сточной воде двууглекислой солью. При образовании гидроксида ион металла проходит через серию промежуточных соединений в результате реакции его с гидроксильными ионами и полимеризации. В зависимости от значения pH воды и ее ионного состава при гидролизе сульфата алюминия возможно образование монокомплексов: $[\text{Al}(\text{OH})^{2+}]$, $[\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}]$, $[\text{Al}(\text{OH})_3]$, $[\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}]$, $[\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}]$, $[\text{Al}(\text{OH})_4]$ и продуктов их полимеризации.

Ионы кальция и магния из растворов осаждаются преимущественно содово-известковым и реже содово-каустическим методами. При добавлении к воде известкового молока на первом этапе происходит связывание растворенной в воде углекислоты, далее – устранение карбонатной жесткости:



Оптимальное значение pH для выпадения CaCO_3 в осадок составляет 8,5–9,0. Сложнее обеспечить выделение бикарбоната магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. При значении $\text{pH} < 10$ происходит реакция



Образующаяся соль MgCO_3 обладает сравнительно высокой растворимостью. Чтобы обеспечить ее выделение, добавляют известь, повышая pH до 10,3–10,5. В процессе известкования протекают химические реакции с образованием труднорастворимых соединений CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$. В нашем случае помимо ионов металлов в сток вводится сульфат-ион SO_4^{2-} морской воды и коагулята глинозема, который при известковании вступает в реакцию с ионами кальция при $\text{pH} = 8,5\text{--}13$ с образованием двухводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, выпадающего в виде осадка. Эти соединения имеют в основном положительный заряд и легко адсорбируются на поверхности отрицательно заряженных коллоидных частиц, а золи гидроокиси металлов, преимущественно магния, кальция и алюминия, в момент формирования флокул способны притягивать к себе специфическое загрязнение – фенолят-ион $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}$, вымываемое из древесины.

В нашем случае выпуск сточных вод располагается в причальной стенке морской акватории и ограничения по содержанию хлоридов стоках отсутствовали. В качестве основных коагулянтов использовались ионы магния и кальция морской воды. В качестве катализатора снижения порога их коагуляции с pH 11–12 до 9,6–9,8 применялся сульфат алюминия.

Как видно из таблицы, группы загрязнений в различных фазово-дисперсных состояниях присутствовали в поверхностном стоке. Это связано с тем, что в порту осуществляется перевалка различного рода пиленой древесины, круглого леса и технологической щепы. Для каждого вида продукции существуют специализированные причалы. Основными загрязняющими компонентами поверхностного стока порта являются взвешенные вещества и нефтепродукты. Также присутствуют фенолы и специфические вещества, вымываемые из древесины, которые попадают в категорию БПК.

Проведен ряд лабораторных экспериментов с различным процентным содержанием содержания магния кальция и алюминия в композитном составе. Выявлено что оптимальное количество морской воды составляет 15 %, а доза сульфата алюминия по активному веществу – 32 мг/л. При pH 9,6–9,8 и избыточной щелочности 2 ммоль/л алюминий полностью выпадает в осадок, магний практически весь, а кальций частично, в зависимости от количества сульфат-ионов в растворе. После протекания коагуляции pH снижается до 0,5–0,8 единиц.

На основе экспериментальных данных и [18] гидролиз, полимеризация и адсорбция протекают чрезвычайно быстро (до 1 с), далее происходит агрегация дестабилизированных частиц с образованием пространственной структуры, где на первом этапе происходит разрыв под собственным весом с образованием крупных хлопьев и затем процесс седиментации. Разработано инновационное конструктивное решение узла реагентной обработки (см. рис.), который включает три ввода реагента диффузор-конфузорной конструкции с последующим смешением с потоком воды и камеру коагуляции

с загрузкой пенополистирольными кубиками. Так как скорость осаждения коагулированных хлопьев выше, чем необработанного стока, реконструкция отстойника с тонкослойными модулями не требуется.

Исследование загрязняющих веществ

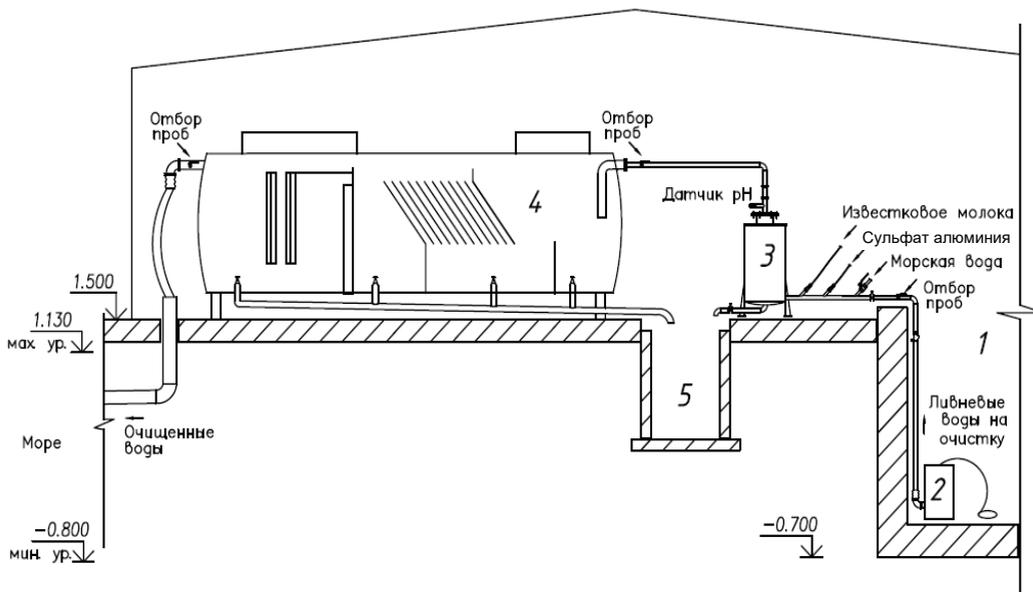
№	Наименование загрязняющего вещества	Исходная концентрация загрязняющего вещества, мг/л	Концентрации загрязнений, поступающие на доочистку		Снижение нагрузки на сорбционные фильтры, %
			Существующая схема очистки, мг/л	После реагентной обработки, мг/л	
1	Взвешенные вещества	1168,65	231	15	99
2	Нефтепродукты	15,65	8,54	2,4	85
3	БПК ₂₀	46,96	38,44	5,14	89
4	Азот аммонийный	2,65	3,25	0,01	100
5	Фосфаты (P)	1,088	5,21	0,01	99
6	Фенолы	0,06	0,02	0	100

Источник: составлено С.Б. Кунденюк и В.Н. Волковой.

Study of pollutants

No.	Name of the pollutant	Initial concentration of the contaminant, mg/l	Concentrations of pollutants entering the aftertreatment		Reducing the load on sorption filters, %
			The existing purification scheme, mg/l	After reagent treatment, mg/l	
1	Suspended solids	1168.65	231	15	99
2	Petroleum products	15.65	8.54	2.4	85
3	BOD ₂₀	46.96	38.44	5.14	89
4	Ammonium nitrogen	2.65	3.25	0.01	100
5	Phosphates (P)	1.088	5.21	0.01	99
6	Phenols	0.06	0.02	0	100

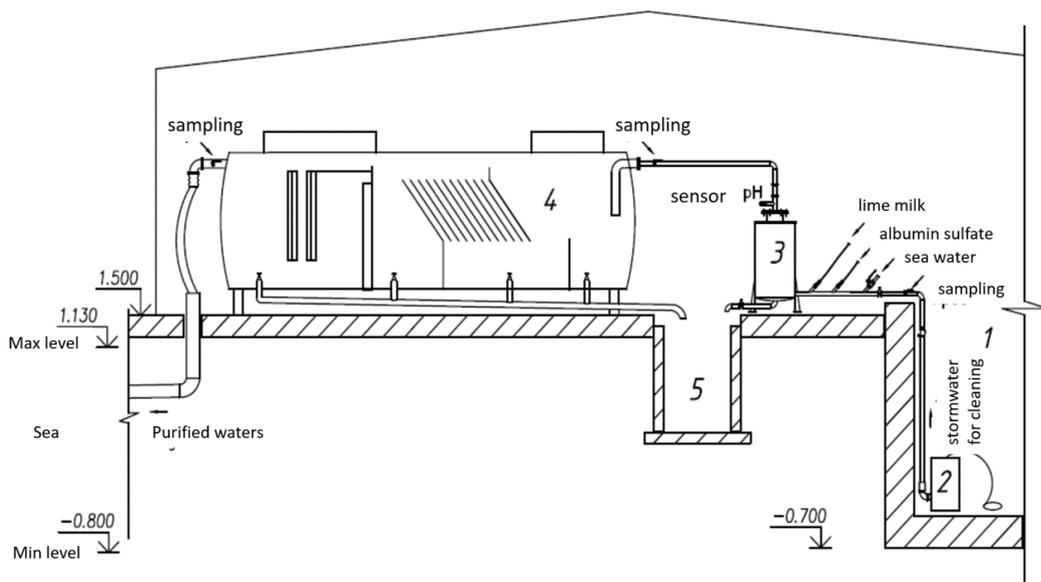
Source: compiled by S.B. Kundenok and V.N. Volkova.



Модернизация очистных сооружений:

- 1 – аккумуляторная емкость; 2 – погружной насос; 3 – камера коагуляции;
- 4 – очистные сооружения; 5 – приемный колодец осадка

Источник: составлено С.Б. Кунденюк.



Modernization of wastewater treatment plants

1 – storage capacity; 2 – submersible pump; 3 – coagulation chamber;
4 – treatment facilities; 5 – sediment receiving well

Source: compiled by S.B. Kundenok.

Заключение

Анализируя механизм протекания коагуляции: а именно формирование хлопьев одномоментно во всем объеме с образованием пространственной взаимосвязанной структуры из флокул, в состав которых входят ионы магния и кальция, связанные с ионом алюминия, можно сделать вывод, что реакция диссоциации сульфата алюминия является катализатором коагуляции магния и кальция при более низких значениях pH, чем в чистых растворах. Теоретически и экспериментально подтверждена высокая эффективность разработанной авторами технологии очистки вод на основе природных коагулянтов, что позволяет рекомендовать данное технологическое решение для широкого применения при разработке проектов и строительства новых и реконструкции существующих очистных сооружений. Использование морской воды для объектов, расположенных на морском побережье, не только уменьшает расход коагулянта, но и снижает распреснение водоемов.

Список литературы

- [1] Брянская Ю.В., Тен А.Э., Джумагулова Н.Т., Громов Г.Н. Гидравлические характеристики и расчет инновационных систем отвода поверхностных сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 2. С. 46–52. <https://doi.org/10.35776/VST.2021.02.05>
- [2] Тен А.Э. Повышение эффективности функционирования открытой системы сбора и отвода поверхностных сточных вод: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 2.1.4. М., 2022. 25 с.

- [3] Прожорина Т.И., Якунина Н.И., Нагих Т.В. Исследование влияния поверхностного стока с селитебных территорий на загрязнение Воронежского водохранилища // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2018. № 2. С. 115–120.
- [4] Галиева Ю.Р., Сурис А.Л. Исследование процесса очистки ливневых сточных вод от нефтепродуктов // Известия МГТУ «МАМИ». Серия 4. Химическое машиностроение и инженерная экология. 2013. Т. 4. № 1 (15). С. 67–72.
- [5] Москвичева А.В., Пухов М.В., Москвичева Е.В., Доскина Э.П., Игнаткина Д.О., Трегубов А.Ю. Практические аспекты электрохимической очистки фенолсодержащих сточных вод // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. № 51 (70). С. 150–159. EDN: YSGUDM
- [6] Кравченко Н.Н. Физико-химические исследования электрокоагуляционно-сорбционной очистки фенол содержащих сточных вод: автореферат дис. ... канд. техн. наук. 25.00.36 / Тюмен. гос. нефтегаз. ун-т. Тюмень, 2005. 22 с.
- [7] Sahraei R., Sekhavat Pour Z., Ghaemy M. Novel magnetic bio-sorbent hydrogel beads based on modified gum tragacanth/graphene oxide: Removal of heavy metals and dyes from water // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 142. P. 2973–2984. DOI:10.1016/j.jclepro.2016.10.170
- [8] Markandeya, Dhiman N, Shukla S.P., Kisku G.C. Statistical optimization of process parameters for removal of dyes from wastewater on chitosan cenospheres nanocomposite using response surface methodology // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 49. P. 597–606. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.078>
- [9] Патент № 1286534 СССР, МПК C02F1/52. Способ очистки животноводческих сточных вод: № 3915317/30–26; заявл. 25.06.1985; опубл. 30.01.1987 / Чернышев В.О., Котов В.В., Пронина Е.В.; заявитель и патентообладатель: Воронежский сельскохозяйственный институт им. К.Д. Глинки.
- [10] Патент № 2263078С1 РФ, МПК C02F1/52. Способ очистки сточных вод целлюлозно-бумажного производства: № 2004101915/15; заявл. 21.01.2004; опубл. 27.10.2005 / Гольфман Е.Д., Воронцов К.Б.; заявитель и патентообладатель: АГТУ (RU).
- [11] Патент РФ № 2440931С2, МПК C02F 1/465. Способ очистки сточных вод: № 2010100722/05; заявл. 11.01.2010; опубл. 27.01.2012 / Шапкин Н.П., Жамская Н.Н., Хальченко И.Г., Каткова С.А., Апанасенко О.А., Попынов Е.К.; заявитель и патентообладатель: Дальрыбвтуз (RU).
- [12] Байбородин А.М. Локальная очистка сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий методом коагуляции: автореферат ... канд. техн. наук: 05.21.03. Архангельск, 2014. 20 с.

References

- [1] Bryanskaya YuV, Ten AE, Dzhumagulova NT, Gromov GN. Hydraulic characteristics and calculation of innovative surface wastewater drainage systems. *Water supply and plumbing*. 2021; 2:46–52. <https://doi.org/10.35776/VST.2021.02.05>
- [2] Ten AE. *Improving the efficiency of an open system for collecting and discharging surface wastewater* (Abstract of the dissertation). Moscow; 2022. 25 p.
- [3] Prozhorina TI, Yakunina NI, Nagikh TV. Investigation of the effect of surface runoff from built-up areas on pollution of the Voronezh reservoir. *Bulletin of the VSU, series: Geography. Geoecology*. 2018; 2:115–120.
- [4] Galieva YuR, Suris AL. Investigation of the process of purification of stormwater wastewater from petroleum products. *Izvestia MGTU MAMI*. 2013;4(1):67–72.

- [5] Moskvicheva AV, Pukhov MV, Moskvicheva EV, Doskina EP, Ignatkina DO, Tregubov AYU. Practical aspects of electrochemical purification of phenol-containing wastewater. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*. 2018; 51:150–159. EDN: YSGUDM
- [6] Kravchenko N.N. Physico-chemical studies of electrocoagulation and sorption purification of phenolic wastewater. (Abstract of the dissertation). Tyumen; 2005. 22 p.
- [7] Sahraei R, Sekhavat Pour Z, Ghaemy M. Novel magnetic bio-sorbent hydrogel beads based on modified gum tragacanth/graphene oxide: Removal of heavy metals and dyes from water. *Journal of Cleaner Production*. 2017;142:2973–2984. DOI:10.1016/j.jclepro.2016.10.170
- [8] Markandeya, Diman N, Shukla SP, Kiska GK. Statistical optimization of the parameters of the process of removing dyes from wastewater on nanocomposites of chitosan cenospheres using the response surface technique. *The journal of environmentally friendly production*. 2017;149:597–606. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.078>
- [9] Chernyshev VO, Kotov VV, Pronina EV. *Method of wastewater treatment of animal husbandry*. USSR Patent N 1286534, IPC C02F1/52; applicant and patent holder: Voronezh Agricultural Institute named after K.D. Glinka. 3915317/30–26; application. 06/25/1985; publ. 30.01.1987.
- [10] Golfnan ED, Vorontsov KB. *Method of wastewater treatment of pulp and paper production*. Patent of the Russian Federation N 2263078C1, IPC C02F1/52; applicant and patent holder: AGTU (RU). 2004101915/15; application. 01/21/2004; published on 10/27/2005.
- [11] Shapkin NP, Zhamskaya NN, Khalchenko IG, Katkova SA, Apanasenko OA, Pypinov EK. *The method of wastewater treatment*. Patent of the Russian Federation N 2440931C2, IPC C02F 1/465; applicant and patent holder: Dalrybvtuz (RU). 2010100722/05; application dated 11.01.2010; publ. 27.01.2012.
- [12] Bayborodin AM. *Local wastewater treatment of pulp and paper enterprises by coagulation method* (Abstract of the dissertation). Arkhangel'sk; 2014. 24 p.

Сведения об авторах:

Кунденюк Светлана Борисовна, старший преподаватель, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация, 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс 10. ORCID: 0000-0002-2118-2718. E-mail: 14sveta65@mail.ru

Волкова Владислава Николаевна, кандидат технических наук, старший преподаватель, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация, 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс 10. ORCID: 0000-0001-9078-9858. E-mail: vladavibi@bk.ru

Bio notes:

Svetlana B. Kundenok, Senior Lecturer, technic Institute, Far Eastern Federal University, PolyRussky Island, village Ajax 10, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2118-2718. E-mail: 14sveta65@mail.ru

Vladislava N. Volkova, PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, Russky Island, village Ajax 10, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9078-9858. E-mail: vladavibi@bk.ru



ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-431-444

EDN: NJPHDW

УДК 504.06

Научная статья / Research article

Экологический мониторинг ландшафтных техногенных новообразований

Д.А. Достовалова¹, А.З. Глухов¹,
Н.С. Подгородецкий², С.П. Жуков¹

¹Донецкий ботанический сад, г. Донецк, Донецкая Народная Республика,
Российская Федерация

²Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка,
Донецкая Народная Республика, Российская Федерация

dasha.dostovalova1997@mail.ru

Аннотация. Шахтные породные отвалы относятся к категории ландшафтных техногенных новообразований и представляют собой комплекс антропогенно трансформированных природных компонентов. Породные отвалы наносят ущерб окружающей природной среде ввиду изъятия из пользования территорий земель сельскохозяйственного использования, выбросов продуктов горения, пылевидных частиц, смыва загрязнителей, засоления почв, эрозии склонов. Основным оптимальным мероприятием по снижению воздействия породных отвалов на окружающую среду для Донбасса является биологическая рекультивация их поверхности. Она основана на обязательном постоянном экологическом мониторинге, который представляет собой комплекс наблюдений за текущим состоянием и прогнозирование дальнейших изменений в состоянии атмосферного воздуха, поверхностных вод, радиационной обстановки, состоянии почв, флоры, фауны и здоровья населения на территории ландшафтного техногенного новообразования и прилегающих районах. Использование принципов экологического мониторинга позволит стабилизировать ландшафтное техногенное новообразование как экосистему и способствовать устойчивому развитию Донбасса как промышленного региона.

© Достовалова Д.А., Глухов А.З., Подгородецкий Н.С., Жуков С.П., 2024



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

Осуществлен мониторинг состояния зеленых насаждений породного отвала ш. 5/6 им. Димитрова, находящегося в черте г. Донецка, ДНР. Произведены инвентаризация зеленых насаждений и самого объекта озеленения, оценка эффективности рекультивационных мероприятий, определена средняя степень нарушенности растительного покрова на породном отвале. Приведены результаты исследований состояния древостоя породного отвала с использованием шкалы визуальной оценки. Проведена визуальная оценка следующих диагностических признаков ОЖС: густота кроны, наличие на стволе мертвых сучьев и степени повреждения листьев токсикантами, патогенами и насекомыми (средняя площадь некрозов, хлорозов и объеданий).

Ключевые слова: экологический мониторинг, антропогенное преобразование ландшафта, инвентаризация, рекультивация, древостой, токсикант

Информация о финансировании. Результаты были получены в рамках госзадания ФГБНУ Донецкий ботанический сад по теме FREG-2023-0002 «Качественные и функциональные характеристики почв сельскохозяйственных угодий в степной зоне и пути восстановления их биологической продуктивности», № 123101300198-3.

Вклад авторов. Достовалова Д.А. – сбор и обработка материалов; Глухов А.З. – анализ полученных данных; Подгородецкий Н.С. – сбор и обработка материалов; Жуков С.П. – сбор и обработка материалов.

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

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

Для цитирования: Достовалова Д.А., Глухов А.З., Подгородецкий Н.С., Жуков С.П. Экологический мониторинг ландшафтных техногенных новообразований // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 431–444. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-431-444>

Ecological monitoring of landscape technogenic neoplasms

Daria A. Dostovalova¹, Alexander Z. Glukhov¹,
Nikolay S. Podgorodetsky², Sergey P. Zhukov¹

¹Donetsk Botanical Garden, Donetsk, Donetsk People's Republic, Russian Federation

²Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka,
Donetsk People's Republic, Russian Federation

dasha.dostovalova1997@mail.ru

Abstract. Mine rock dumps belong to the category of landscape technogenic neoplasms and represent a complex of anthropogenically transformed natural components. Rock dumps cause some damage to the environment due to the withdrawal of agricultural land from use, emissions of gorenje products, dust particles, flushing of pollutants, soil salinization, erosion of slopes. The main optimal measure to reduce the impact of rock dumps on the environment for Donbass is the biological reclamation of their surface. It is based on mandatory continuous environmental monitoring, which represents a set of observations of the current state and forecasting of further changes in: the state of atmospheric air, surface waters, radiation conditions, soil conditions, flora, fauna and public health in the territory of a landscape

technogenic neoplasm and adjacent areas. The use of the principles of environmental monitoring will help to stabilize the landscape technogenic neoplasm as an ecosystem and contribute to the sustainable development of Donbass as an industrial region. The work carried out monitoring of the state of the green spaces of the rock dump sh. 5/6 named after. Dimitrov, located within the city of Donetsk, DPR. An inventory of green spaces and the landscaping object itself was carried out, an assessment of the effectiveness of reclamation measures was carried out, the average degree of disturbance of vegetation cover on the rock dump was determined. The results of studies of the state of the stand of a rock dump using a visual assessment scale are presented. A visual assessment of the following diagnostic signs of OCD was carried out: crown density, the presence of dead branches on the trunk and the degree of damage to the leaves by toxicants, pathogens and insects (the average area of necrosis, chlorosis and overeating).

Keywords: environmental monitoring, anthropogenic transformation of the landscape inventory, reclamation, stand, toxicant

Information about financing. The results were obtained within the framework of the state assignment of the Donetsk Botanical Garden Federal State Budgetary Institution on the topic FREG-2023-0002 “Qualitative and functional characteristics of soils of agricultural lands in the steppe zone and ways to restore their biological productivity”, No. 123101300198-3.

Authors’ contribution. *Dostovalova D.A.* – collection and processing of materials; *Glukhov A.Z.* – analysis of the data obtained; *Podgorodetsky N.S.* – collection and processing of materials; *Zhukov S.P.* – collection and processing of materials.

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

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

For citation: Dostovalova DA, Glukhov AZ, Podgorodetsky NS, Zhukov SP. Ecological monitoring of landscape technogenic neoplasms. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(4):431–444. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-431-444>

Введение

Под ландшафтным техногенным новообразованием (шахтный породный отвал) понимается земельный комплекс, сочетающий в себе природные и антропогенно трансформированные компоненты, которые полностью разрушили или существенно видоизменили природный ландшафт [1].

Ввиду своих физических и химических характеристик шахтные породные отвалы относятся к категории ландшафтных техногенных новообразований, что является наиболее характерным для Донбасского региона.

Основные отличительные признаки породных отвалов как ландшафтных техногенных новообразований:

– биологический круговорот элементов в значительной мере нарушен, определяющим видом является техногенная миграция;

– площади, занимаемые отвалами, непрерывно возрастают за счет уменьшения территорий, занятых биогенными и абиогенными естественными ландшафтами;

– отвалы являются отходами добычи минерального сырья (каменного угля);

– основные и основополагающие процессы отвала как экосистемы происходят в почве.

Экологический мониторинг ландшафтных техногенных новообразований – комплекс наблюдений за текущим состоянием и прогнозирование дальнейших изменений в состоянии атмосферного воздуха, поверхностных вод, радиационной обстановки, состоянии почв, флоры, фауны и здоровья населения на территории ландшафтного техногенного новообразования и в прилегающих районах.

Мониторинг состояния атмосферного воздуха должен проводиться на стационарных постах наблюдения и включать расчет критических нагрузок (потоков массы на единицу времени) и фактические показатели концентраций загрязняющих веществ (отсутствие превышения критических уровней). Мониторинг состояния поверхностных вод включает изучение гидродинамических и гидрохимических процессов, определяющих состояние и динамику поверхностной гидросферы. Мониторинг радиационной обстановки должен осуществляться на гидрометеостанциях с ежесуточным измерением мощности экспозиционной дозы уровня гамма-излучения. Мониторинг состояния почв с использованием учетных площадок включает изучение продуктивности почв на отвале и прилегающих территориях, содержание гумуса, наличие эрозий, загрязнение и затопление почв. Мониторинг состояния флоры на отвалах и прилегающих территориях – это наблюдения за состоянием надземной и корневой частей растений, их ассимилирующего аппарата, приростом растений и распространением ареалов видов, их устойчивостью к воздействию загрязнителей и жизненным циклом. Мониторинг фауны в районе расположения породных отвалов представляет собой изучение количества, видового состава, разнообразия, жизненного цикла фауны. Мониторинг состояния здоровья населения основан на расчете рождаемости, смертности, заболеваемости, численности и плотности населения, процентного соотношения разных возрастных групп.

По данным Министерства угля и энергетики ДНР, на территории Республики насчитывается около 800 породных отвалов, часть из которых расположены на административных территориях городов Донецк (144), Макеевка (118), Шахтерск (69) и Торез (67). Техногенная нагрузка в Донбассе в 5–10 раз выше средней. Общая площадь техногенных объектов на территории некоторых городов области достигает 10 % и более от их площади.

В качестве модельного выбран отвал шахты № 5/6 им. Димитрова, находящийся в одном из центральных районов г. Донецка, на пересечении двух магистральных проспектов – Дзержинского и Ильича. Отвал шахты № 5/6 начали эксплуатировать в 1915 г., а остановили в 1967 г., после 52 лет эксплуатации, исключая период ВОВ и послевоенного восстановления (1941–1954 гг.). Первоначально отвал имел 4 конусные вершины высотой до 48 м, общий объем породы составлял более полутора миллионов тонн. Площадь основания – 58 000 м², объем отходов – 900 тыс. м². Горение отмечалось

отдельными участками с самого начала отсыпки. В настоящее время форма отвала – неправильный конус [8].

Порода на отвале слабовеветренная, состоит из обломков породы разных размеров. Содержание фракции менее 1 мм от 11 до 27 %. Порода находится в стадии окисления.

Древесным зеленым растениям помимо процесса фотосинтеза особенно свойственны такие важнейшие функции, как климатообразующая, шумопоглощающая, фитонцидная, эстетическая и др. Зеленые насаждения, используемые при рекультивации породных отвалов, создаются с целью поглощения токсикантов из породы, поглощения шумовых волн (снижают уровень шума примерно на 20 %) [4; 9; 10; 12; 17].

Воздействие атмосферного загрязнения на растительность — биохимическое явление, затрагивающее в первую очередь метаболические и физиологические процессы и разрушающее микроскопические структуры клеток листа. Основным диагностическим признаком повреждения растений являются хлорозы и некрозы листовых пластинок. Наличие тех или иных диагностических симптомов повреждения растений позволяет, хотя и не всегда, осуществить индикацию, опознавание фактора (или факторов), вызвавшего данное повреждение [17].

Инвентаризация зеленых насаждений породного отвала дает возможность оценить состояние зеленых насаждений и самого объекта озеленения, оценить эффективность рекультивационных мероприятий, а также определить степень поврежденности древесной растительности на угольном отвале [15].

Цель исследования – мониторинг состояния зеленых насаждений модельного техногенного ландшафтного новообразования (породного отвала ш. 5/6 им. Димитрова, находящегося в черте г. Донецка, ДНР).

Задачи исследования: инвентаризация зеленых насаждений и самого объекта озеленения, оценка эффективности рекультивационных мероприятий, определение степени поврежденности древесного растительного покрова на породном отвале, анализ по экологическим группам, визуальная оценка следующих диагностических признаков ОЖС: густота кроны (в % от нормальной густоты), наличие на стволе мертвых сучьев (в % от общего количества сучьев на стволе) и степени повреждения листьев токсикантами, патогенами и насекомыми (средняя площадь некрозов, хлорозов и объеданий в % от площади листа), оценка темпов роста, степени развития, визуальных аномалий и повреждения, поражения патогенными насекомыми и микроорганизмами.

Материалы и методы исследования

Рекультивация отвала была выполнена по проекту Донецкого ботанического сада в 1977–1979 гг, с объединением нескольких разновозрастных конических отвалов в плоский многоярусный отвал и его биологической рекультивацией. С тех пор рекультивационные насаждения развились и стали

определяющим фактором развития экосистем отвала. Также тут проводилось испытание новых видов фиторекультивантов, что в итоге приблизило эти насаждения по видовому составу и декоративности к региональным парковым насаждениям [8].

Основные растения, произрастающие на отвале:

– северо-восточный склон (условно северный): акация белая – *Robinia pseudoacacia* L., вяз приземистый – *Ulmus pumila* L., ясень пенсильванский – *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., клен ясенелистный – *Acer negundo* L., айлант высочайший – *Ailanthus altissima* Mill.;

– юго-восточный склон (условно южный): акация белая – *Robinia pseudoacacia* L., клен татарский – *Acer tataricum* L.; бирючина обыкновенная – *Ligustrum vulgare* L., боярышник сглаженный – *Crataegus laevigata* Poir., клен остролистный – *Acer platanoides* L., клен ясенелистный – *Acer negundo* L., айлант высочайший – *Ailanthus altissima* Mill.

Инвентаризация зеленых насаждений проводилась в соответствии с Методикой инвентаризации городских зеленых насаждений [14].

Для определения относительного жизненного состояния (ОЖС) древо-стоя была взята методика В.А. Алексеева [3]. Для более детальной характеристики ОЖС деревьев использовались вспомогательные характеристики [3].

Состояние насаждений характеризовалось по признакам [3]:

– «хорошее» – насаждения здоровые, с хорошо развитой кроной, без существенных повреждений;

– «удовлетворительное» – насаждения здоровые, но с неправильно развитой кроной, со значительными, но не угрожающими их жизни ранениями или повреждениями, с дуплами и др.;

– «неудовлетворительное» – насаждения с неправильной и слабо развитой кроной, со значительными повреждениями, ранениями, зараженностью болезнями или вредителями, угрожающими их жизни.

Результаты исследования и их обсуждение

Породный отвал ш. 5/6 разделили условно на учетные участки. Первый учетный участок представляет групповая посадка *Robinia pseudoacacia* L., второй участок – одиночные экземпляры *Acer tataricum* L., третий участок – групповая посадка *Ligustrum vulgare* L., четвертый участок – одиночные экземпляры *Crataegus laevigata* Poir., пятый участок – групповая посадка *Ulmus pumila* L., шестой участок – групповая посадка *Betula pendula* Roth, седьмой участок – одиночные экземпляры *Acer negundo* L., восьмой участок – одиночные экземпляры *Quercus rubra* L., девятый участок – одиночные экземпляры *Rosa cinnamomea* L., десятый участок – одиночные экземпляры *Syringa vulgaris* L., одиннадцатый участок – одиночные экземпляры *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., двенадцатый участок – групповой самосев *Ailanthus altissima* Mill., тринадцатый участок – одиночные экземпляры *Prunus armeniaca* L., четырнадцатый участок – одиночные экземпляры *Sorbus*

intermedia Ehrh., пятнадцатый участок – одиночные экземпляры *Quercus robur* L., шестнадцатый участок – одиночные экземпляры *Prunus avium* L., семнадцатый участок – одиночные экземпляры *Malus sylvestris* L., восемнадцатый участок – одиночные экземпляры *Juglans regia* L., девятнадцатый участок – одиночные экземпляры *Populus alba* L., двадцатый участок – групповая посадка *Rhus typhina* L., двадцать первый участок – групповой самосев *Cornus mas* L., двадцать второй участок – одиночные экземпляры *Symphoricarpos albus* Dill., двадцать третий участок – одиночные экземпляры *Prunus mahaleb* L., двадцать четвертый участок – одиночные экземпляры *Prunus cerasifera* Ehrh. На каждом учетном участке проводились измерения расстояний между деревьями (кустарниками), определялось отношение их относительно друг друга, присваивался порядковый номер участка (выборка до 10 деревьев при групповой и рядовой посадке) [15]. Учитывались следующие данные: вид насаждений (групповая, рядовая посадка, одиночные экземпляры); порода (род, вид); состояние насаждений.

Спектр жизненных форм растений (по К. Раункиеру) показал, что 48 % от числа выявленных видов приходится на мезофанерофиты (11 видов) и микрофанерофиты представлены 52 % (13 видов).

Жизненные формы древесных растений определяли по И.Г. Серебрякову [15]. На исследуемой территории в наличии деревья I величины, характеризующиеся высотой от 25 м (*Betula pendula* Roth., *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., *Ailanthus altissima* Mill., *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., *Quercus robur* L., *Juglans regia* L., *Populus* L.), и кустарники высотой 0,5–5 м (*Acer tataricum* J., *Ligustrum vulgare* L., *Crataegus laevigata* Poir., *Rosa cinnamomea* L., *Syringa vulgaris* L., *Rhus typhina* L., *Cornus mas* L., *Symphoricarpos albus* Dill.). Деревья III величины (высотой до 15 м) представлены 5 видами (*Ulmus pumila* L., *Prunus armeniaca* L., *Malus sylvestris* L., *Prunus mahaleb* L., *Prunus cerasifera* Ehrh.). Реже встречаются деревья II величины (высотой от 10 до 25 м) (*Acer negundo* L., *Sorbus intermedia* Ehrh., *Prunus avium* L.).

Анализ распределения растений по экологическим группам по отношению к влаге [12] показал, что на долю мезофитов приходится 50 % от общего числа видов. Ксерофиты составляют 30 %, которые представлены тремя видами. Согласно классификации Г.Р. Эйтингена¹, по требовательности растений к освещенности, в древостое преобладают теневыносливые растения – 60 % от общего числа видов. Группы полутеневыносливых и светолюбивых растений представлены 40 % от общего количества.

Результаты инвентаризации зеленых насаждений породного отвала приведены в таблице.

¹ Эйтинген Г.Р. Лесоводство. М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1949. 368 с.

В результате инвентаризации выявлено, что преобладающее большинство зеленых насаждений породного отвала находятся в неудовлетворительном состоянии. В процентном соотношении от выборки это отображено на диаграмме (рис. 1).

Реже встречаются такие повреждения, как открытые прорости, однобокость кроны и механические повреждения.

Результаты инвентаризации зеленых насаждений породного отвала

Учет. участок	Вид насаждений	Порода (род, вид)	Кол-во стволов	Состояние	Примечания (повреждения, особые признаки)
1	Групповая посадка	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	1–3	Неудовл.	Наличие дупла, хлороз, пестролистность, гипогенезия побега и листа
2	Одиночные экземпляры	<i>Acer tataricum</i> L.	1–5	Неудовл.	Пестролистность, гипогенезия побега и листа, поражения побега
3	Групповая посадка	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	15	Неудовл.	Хлороз, пестролистность, нетипичный альбинизм, некроз
4	Одиночные экземпляры	<i>Crataegus laevigata</i> Poir.	1–10	Неудовл.	Неправильно развиты побеги
5	Групповая посадка	<i>Ulmus pumila</i> L.	1–3	Неудовл.	Пестролистность, хлороз, поражения побега
6	Групповая посадка	<i>Betula pendula</i> Roth	1–3	Неудовл.	Неправильно развита крона
7	Одиночные экземпляры	<i>Acer negundo</i> L.	1–3	Неудовл.	Неправильно развита крона, поражения кроны
8	Групповая посадка	<i>Quercus rubra</i> L.	1–3	Неудовл.	Гипогенезия побега
9	Одиночные экземпляры	<i>Rosa cinnamomea</i> L.	1–20	Неудовл.	Неправильно развиты побеги, недоразвиты побеги и листья, хлороз
10	Одиночные экземпляры	<i>Syringa vulgaris</i> L.	1–5	Удовл.	Гипогенезия побега
11	Одиночные экземпляры	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marsh.	1–3	Удовл.	Неправильно развитая крона
12	Групповой самосев	<i>Ailanthus altissima</i> Mill.	1	Неудовл.	Поражения побега
13	Одиночные экземпляры	<i>Prunus armeniaca</i> L.	1–3	Неудовл.	Поражения побега
14	Одиночные экземпляры	<i>Sorbus intermedia</i> Ehrh.	1–5	Удовл.	Гипогенезия побега
15	Одиночные экземпляры	<i>Quercus robur</i> L.	1–3	Неудовл.	Неправильно развитая крона
16	Одиночные экземпляры	<i>Prunus avium</i> L.	1–6	Удовл.	Гипогенезия побега
17	Одиночные экземпляры	<i>Malus sylvestris</i> L.	1–3	Неудовл.	Поражения побега
18	Одиночные экземпляры	<i>Juglans regia</i> L.	1–3	Удовл.	Гипогенезия побега
19	Одиночные экземпляры	<i>Populus alba</i> L.	1	Неудовл.	Неправильно развитая крона
20	Групповая посадка	<i>Rhus typhina</i> L.	1–5	Удовл.	Гипогенезия побега
21	Групповой самосев	<i>Cornus mas</i> L.	1–10	Удовл.	Гипогенезия побега
22	Одиночные экземпляры	<i>Symphoricarpos albus</i> Dill.	1–15	Удовл.	Гипогенезия побега
23	Одиночные экземпляры	<i>Prunus mahaleb</i> L.	1	Неудовл.	Поражения побега
24	Одиночные экземпляры	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh.	1	Удовл.	Гипогенезия побега

Источник: составлено Д.А. Достоваловой.

The results of the inventory of green spaces of the rock dump

Registr ation sites	Type of plantings	Breed (genus, species)	Number of barrels	Condition	Notes (damage, special signs)
1	Group boarding	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	1–3	Unsatisfactory	The presence of a hollow, chlorosis, variegated foliage, hypokinesia of the shoot and leaf
2	Single copies	<i>Acer tataricum</i> L.	1–5	Unsatisfactory	Variegated foliage, hypoginesia of the shoot and leaf, shoot lesions
3	Group boarding	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	15	Unsatisfactory	Chlorosis, variegation, atypical albinism, necrosis
4	Single copies	<i>Crataegus laevigata</i> Poir.	1–10	Unsatisfactory	Shoots are improperly developed
5	Group boarding	<i>Ulmus pumila</i> L.	1–3	Unsatisfactory	Variegated foliage, chlorosis, shoot lesions
6	Group boarding	<i>Betula pendula</i> Roth	1–3	Unsatisfactory	The crown is improperly developed
7	Single copies	<i>Acer negundo</i> L.	1–3	Unsatisfactory	The crown is improperly developed, crown lesions
8	Group boarding	<i>Quercus rubra</i> L.	1–3	Unsatisfactory	Hypoginesia of escape
9	Single copies	<i>Rosa cinnamomea</i> L.	1–20	Unsatisfactory	Shoots are improperly developed, underdeveloped shoots and leaves, chlorosis
10	Single copies	<i>Syringa vulgáris</i> L.	1–5	Unsatisfactory	Hypoginesia of escape
11	Single copies	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marsh.	1–3	Satisfactory	The crown is improperly developed
12	Group boarding	<i>Ailanthus altissima</i> Mill.	1	Unsatisfactory	Escape defeats
13	Single copies	<i>Prunus armeniaca</i> L.	1–3	Unsatisfactory	Escape defeats
14	Single copies	<i>Sorbus intermedia</i> Ehrh.	1–5	Satisfactory	Hypoginesia of escape
15	Single copies	<i>Quercus robur</i> L.	1–3	Unsatisfactory	The crown is improperly developed
16	Single copies	<i>Prunus avium</i> L.	1–6	Satisfactory	Hypoginesia of escape
17	Single copies	<i>Malus sylvestris</i> L.	1–3	Unsatisfactory	Escape defeats
18	Single copies	<i>Juglans regia</i> L.	1–3	Satisfactory	Hypoginesia of escape
19	Single copies	<i>Populus alba</i> L.	1	Unsatisfactory	The crown is improperly developed
20	Group boarding	<i>Rhus typhina</i> L.	1–5	Satisfactory	Hypoginesia of escape
21	Group self-seeding	<i>Cornus mas</i> L.	1–10	Satisfactory	Hypoginesia of escape
22	Single copies	<i>Symphoricarpos albus</i> Dill.	1–15	Satisfactory	Hypoginesia of escape
23	Single copies	<i>Prunus mahaleb</i> L.	1	Unsatisfactory	Escape defeats
24	Single copies	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh.	1	Satisfactory	Hypoginesia of escape

Source: compiled by D.A. Dostovalova.

Средний балл состояния для каждого вида деревьев вычисляется по формуле

$$K_j = \frac{\sum b_j}{N_j}, \quad (1)$$

где b_j – баллы состояния отдельных деревьев; N_j – общее число учтенных деревьев j -го вида.

Коэффициент состояния древостоя в целом определяется как среднее арифметическое средних баллов состояния различных деревьев на пробной площадке:

$$K = \frac{\sum K_j}{R}, \quad (2)$$

где R – число видов деревьев.

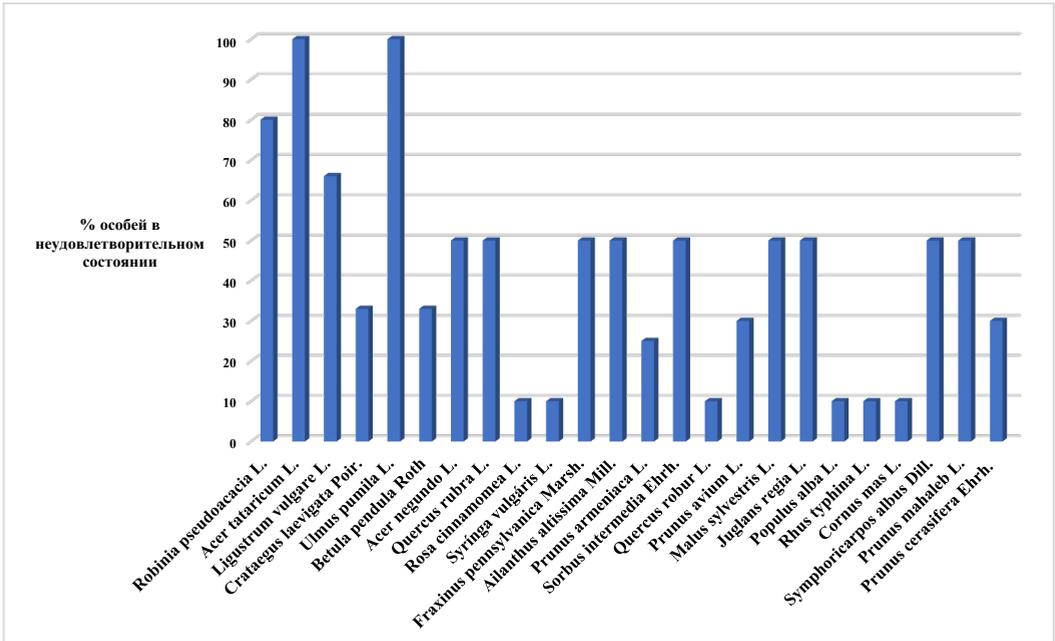


Рис. 1. Соотношение особей в неудовлетворительном состоянии ко всем особям выборки на учетных участках

Источник: составлено Д.А. Достоваловой.

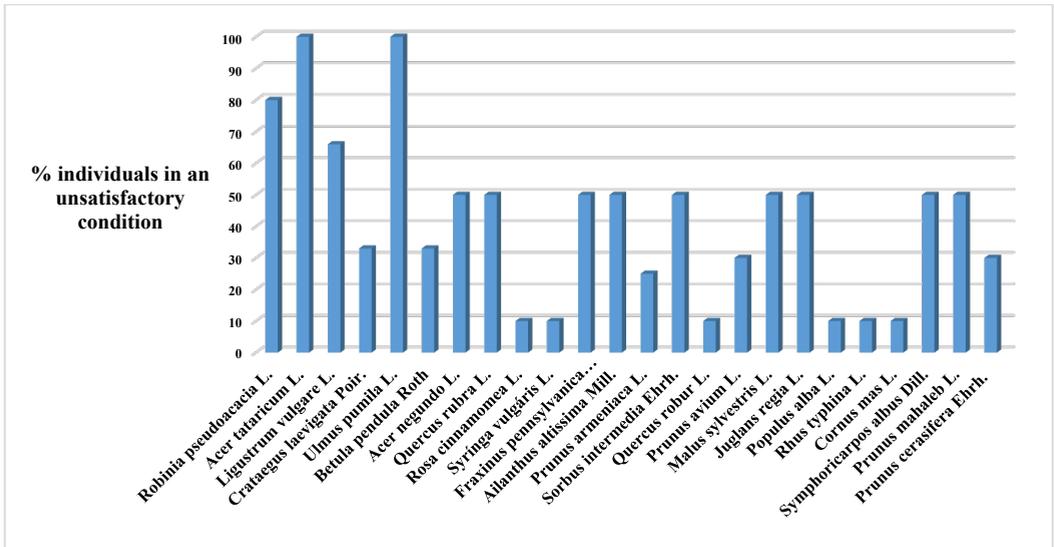


Figure 1. The ratio of individuals in unsatisfactory condition to all individuals of the sample at the registration sites

Source: compiled by D.A. Dostovalova.

Относительное жизненное состояние древостоя на исследуемой территории оценивается как «ослабленное» согласно шкале визуальной оценки деревьев по внешним признакам [1].

Наиболее распространенными патологическими явлениями среди древесных растений породного отвала ш. 5–6 являются точечный некроз

листьев (60 % от общего числа обследованных деревьев), краевой некроз (30 %) и хлороз листьев (70 %), наличие галлов насекомых на поверхности листьев (14 %) (рис. 2).



Рис. 2. Патологические явления среди древесных растений породного отвала
 Источник: составлено Д.А. Достоваловой.

Figure 2. Pathological phenomena among woody plants of the rock dump
 Source: compiled by D.A. Dostovalova.

Заключение

Таким образом, состояние зеленых насаждений и самого породного отвала ш. 5/6 характеризуется как неудовлетворительное, эффективность рекультивационных мероприятий недостаточна.

Обследование состояния отдельных особей древесных растений показало, что здоровые деревья составляют 29 % от общего числа древесных растений, ослабленные – 31 %, сильно ослабленные – 40 %.

Наиболее распространенными патологическими явлениями среди древесных растений породного отвала ш. 5–6 являются точечный некроз листьев (60 % от общего числа обследованных деревьев), краевой некроз (30 %) и хлороз листьев (70 %), наличие галлов насекомых на поверхности листьев (14 %).

Относительное жизненное состояние древостоя на породном отвале ш. 5–6 г. Донецка оценивается как «ослабленное».

Шахтные породные отвалы относятся к категории ландшафтных техногенных новообразований и представляют собой комплекс антропогенно трансформированных природных компонентов. Породные отвалы наносят определенный ущерб окружающей природной среде ввиду изъятия из пользования территорий земель сельскохозяйственного использования, выбросов продуктов горения, пылевидных частиц, смыва загрязнителей, засоления почв, эрозии склонов.

Основным оптимальным мероприятием по снижению воздействия породных отвалов на окружающую среду для Донбасса является биологическая рекультивация их поверхности. Она основана на обязательном постоянном экологическом мониторинге, который представляет собой комплекс наблюдений за текущим состоянием и прогнозирование дальнейших изменений в

состоянии атмосферного воздуха, поверхностных вод, радиационной обстановки, состоянии почв, флоры, фауны и здоровья населения на территории ландшафтного техногенного новообразования и прилегающих районах. Использование принципов экологического мониторинга позволит стабилизировать ландшафтное техногенное новообразование как экосистему и способствовать устойчивому развитию Донбасса как промышленного региона.

Список литературы

- [1] *Гридин В.Г.* Экологический мониторинг Кузбасса // Горн. информ.-аналит. бюл. 2008. № 2. С. 156–162.
- [2] *Данилов П.П., Саввинов Г.Н.* Техногенные поверхностные образования и формирование антропогенно преобразованных почв Западной Якутии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 8 (часть 2). С. 217–219.
- [3] *Алексеев В.А.* Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
- [4] *Голованов Я.М., Баранова О.Г.* К вопросу сохранения редких видов растений урбанофлор городов южной промышленной зоны республики Башкортостан // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. Ижевск, 2013. Вып. 1. С. 26.
- [5] *Гуреев И.И.* Приборное и методологическое обеспечение диагностики потребности растений в элементах питания // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 4. С. 506.
- [6] *Гуреев И.И., Жердев М.Н., Брежнев А.Н., Черноногов В.Г., Солоничкин В.Н.* Функциональная диагностика потребностей растений в питательных веществах // Электронный научный журнал Омского ГАУ. 2015. № 4. С. 26.
- [7] *Ермохин Ю.И., Бобренко И.А., Бобренко Е.Г.* Исторические аспекты развития метода комплексной диагностики питания сельскохозяйственных культур // Земледелие. 2015. № 2 (9). С. 7.
- [8] *Жуков С.П.* Слияние рекультивированных отвалов шахт с городским ландшафтом как вариант экологической оптимизации старопромышленных территорий // Сборник научных трудов ГНБС. 2018. Т. 147. С. 210–211.
- [9] *Коршиков И.И., Котов В.С., Михеенко И.П.* Фитоиндикация качества окружающей среды в техногенных районах // Каталог разработок Донецкого ботанического сада. Донецк, 1994. С. 14–15.
- [10] *Крючков А.Н.* Мониторинг состояния городских зеленых насаждений как часть эффективного управления зеленым хозяйством Г.О. Тольятти // Проблемы прикладной экологии. Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. № 4 (5). С. 1053.
- [11] *Кулагин А.А., Шагиева Б.А.* Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М.: Наука, 2005. С. 27.
- [12] *Майдебурга И.С., Чупахина Г.Н.* Оценка жизненного состояния древостоя в условиях города // Вестник РГУ им. И. Канта. Вып. 1. Естественные науки. Калининград, 2007. С. 88–97.
- [13] *Мартынова Е.А., Повх В.Н.* Фитоиндикация отвалов угольных шахт Донбасса в системе регионального биомониторинга // Проблемы охраны и рекультивации нарушенных земель. Материалы межреспубликанского совещания. Томск, 1992. С. 59–63.
- [14] *Поурбьяк П. С.* Основы лесной типологии. Киев: АН УССР, 1955. 456 с.
- [15] *Серебряков И.Г.* Экологическая морфология растений. М.: Высш. шк., 1962. 378 с.

- [16] Хархота А.И., Азурова И.В., Прохорова С.И. Фитоиндикация состояния техногенной среды с использованием популяционных параметров травянистых видов растений // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: материалы IX Всероссийской научной конференции с международным участием (Екатеринбург, 20–25 августа 2012 г.). Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2012. С. 284–290.

References

- [1] Gridin VG. Environmental monitoring of Kuzbass. *Gorn. inform.-Analytical bulletin*. 2008;(2):156–162. (In Russ.).
- [2] Danilov PP, Savvinov GN. Technogenic surface formations and the formation of anthropogenically transformed soils of Western Yakutia. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2013;(8)(part 2):217–219. (In Russ.).
- [3] Alekseev VA. Diagnostics of the vital state of trees and stands. *Forest science*. 1989;(4):51–57. (In Russ.).
- [4] Golovanov YaM, Baranova OG. On the issue of conservation of rare plant species of urban flora of cities in the southern industrial zone of the Republic of Bashkortostan. *Bulletin of the Udmurt University. Biology. Earth Sciences*. Izhevsk; 2013. Issue 1. p. 26. (In Russ.).
- [5] Gureev II. Instrumentation and methodological support for the diagnosis of plant needs in food elements. *Engineering technologies and systems*. 2022;32(4):506. (In Russ.).
- [6] Gureev II., Zherdev MN., Brezhnev AN., Chernonogov VG., Solonichkin VN. Functional diagnostics of plant nutrient requirements. *Electronic Scientific Journal of Omsk State University*. 2015;(4):26. (In Russ.).
- [7] Ermokhin YuI., Bobrenko IA., Bobrenko EG. Historical aspects of the development of the method of complex diagnostics of nutrition of agricultural crops. *Agriculture*. 2015;(2):7. (In Russ.).
- [8] Zhukov SP. Merging recultivated mine dumps with the urban landscape as an option for environmental optimization of old industrial territories. *Collection of scientific papers of the GNBS*. 2018;147:210–211. (In Russ.).
- [9] Korshikov II., Kotov VS., Mikheenko IP. Phytoindication of environmental quality in technogenic areas. In: *Catalog of developments of the Donetsk Botanical Garden*. Donetsk; 1994. p. 14–15. (In Russ.).
- [10] Kryuchkov AN. Monitoring the state of urban green spaces as part of effective management of the green economy of Togliatti. *Problems of applied ecology. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015;17(4):1053. (In Russ.).
- [11] Kulagin AA., Shagiya BA. *Woody plants and biological conservation of industrial pollutants*. Moscow: Nauka; 2005. p. 27. (In Russ.).
- [12] Maidebura IS., Chupakhina GN. Assessment the vital state of the stand in the conditions of the city. *Bulletin of the Russian State University named after I. Kant. Issue 1. Natural Sciences*. Kaliningrad; 2007. p. 88–97. (In Russ.).
- [13] Martynova EA., Povkh VN. Phytoindication of dumps of Donbass coal mines in the system of regional biomonitoring. In: *Problems of protection and reclamation of disturbed lands. Materials of the inter-republican meeting*. Tomsk; 1992. p. 59–63. (In Russ.).
- [14] Pogrebnayak PS. *Fundamentals of forest typology*. Kiev: Academy of Sciences of the Ukrainian SSR; 1955. 456 p. (In Russ.).
- [15] Serebryakov IG. *Ecological morphology of plants*. Moscow: Higher School; 1962. 378 p. (In Russ.).

- [16] Kharkhota AI., Agurova IV., Prokhorova SI. Phytoindication of the state of the technogenic environment using population parameters of herbaceous plant species. In: *Biological reclamation and monitoring of disturbed lands. Materials of the IX All-Russian Scientific Conference with international participation (Yekaterinburg, August 20–25, 2012)*. Yekaterinburg: Publishing House of the Ural University; 2012. p. 284–290. (In Russ.).

Сведения об авторах:

Достовалова Дарья Александровна, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории тропических и субтропических растений, Донецкий ботанический сад, Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, 283023, г. Донецк, пр. Ильича, д. 110. ORCID: 0000-0001-6308-6524. E-mail: dasha.dostovalova1997@mail.ru

Глухов Александр Захарович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Донецкий ботанический сад, Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, 283023, пр. Ильича, д. 110. ORCID: 0000-0001-9675-7611. E-mail: glukhov.az@mail.ru

Подгородецкий Николай Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры техно-сферной безопасности, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, 286123, г.о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2. ORCID: 0009-0000-7553-7222. E-mail: n.s.podgorodetskiy@donnasa.ru

Жуков Сергей Петрович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории дендрологии, Донецкий ботанический сад, Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, 283023, пр. Ильича, д. 110. ORCID: 0000-0003-0236-0467. E-mail: ser64luk@yandex.ru

About the authors:

Daria A. Dostovalova, Junior Researcher at the Research Laboratory of Tropical and Subtropical Plants, Donetsk Botanical Garden, 110 Ilyich Ave., Donetsk, 283023, Donetsk People's Republic, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6308-6524. E-mail: dasha.dostovalova1997@mail.ru

Alexander Z. Glukhov, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Donetsk Botanical Garden, 110 Ilyich Ave., Donetsk, 283023, Donetsk People's Republic, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9675-7611. E-mail: glukhov.az@mail.ru

Nikolay S. Podgorodetsky, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Donbass National Academy of Construction and Architecture, 2 Derzhavina St, Makeevsky Island, Makeevka, 286123, Donetsk People's Republic, Russian Federation. ORCID: 0009-0000-7553-7222. E-mail: n.s.podgorodetskiy@donnasa.ru

Sergey P. Zhukov, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Scientific Research Laboratory of Dendrology, Donetsk Botanical Garden, 110 Ilyich Ave., Donetsk, 283023, Donetsk People's Republic, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0236-0467. E-mail: ser64luk@yandex.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-445-453

EDN: NKPIVN

УДК 550.462

Научная статья / Research article

Микроэлементный состав компонентов снежного покрова города Читы и его окрестностей

Е.А. Бондаревич  

Читинская государственная медицинская академия, Чита, Российская Федерация
 bondarevich84@mail.ru

Аннотация. Исследовано варьирование концентраций химических элементов снежного покрова в талой воде и нативной пыли в условиях урбанизированной территории г. Чита и его окрестностей в сравнении с фоновым участком и данными литературы из других регионов России и Монголии. Изучение накопления соединений химических элементов в компонентах снежного покрова позволяет оценивать степень загрязнения приземного слоя атмосферы в условиях техногенеза и выявлять ключевые источники загрязнения. Цель исследования – сравнение количеств ряда микроэлементов в талой снеговой воде и в нативном пылевом остатке в разных по степени техногенной нагрузке районах. Материалы – пыль и талая вода снега, в которых рентгенофлуоресцентным методом полного внешнего отражения на спектрометре S2 Picofox (Bruker Nano GmbH, Германия) определялось количественное содержание 22 химических элементов. Выявлено низкое содержание ионных форм элементов в водной фазе снега с превышением ПДК по Mn в 1,5–2 раза в условиях техногенеза. Концентрации водорастворимых форм микроэлементов были сопоставимыми с данными из других регионов. Пылевая фракция снега, напротив, характеризовалась существенным загрязнением труднорастворимыми формами химических элементов, при этом превышения ПДК (ОДК) не отмечено, а в сравнении с кларком для почв населенных пунктов наблюдалось незначительное превышение содержания As, Sn и W. Пылевая фракция снежного покрова Читы по сравнению с фоном обогащена Th, Rb, Cr и Ga, в Читинском районе выявлено интенсивное накопление в пыли Cr, As и Sr. Значительно большие количества микроэлементов по сравнению с забайкальскими пробами определялись для городов Улан-Батор, Благовещенск, и в несколько меньших количествах – Тюмени и Тобольск. Массовая доля водорастворимых форм для большинства микроэлементов была существенно меньше 0,1 %, при этом выявлена тенденция увеличения количества ионных форм элементов от урбанизированной территории к фоновым участкам.

© Бондаревич Е.А., 2024



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

Ключевые слова: снежный покров, Восточное Забайкалье, химические элементы, рентгенофлуоресцентный анализ

История статьи: поступила в редакцию 27.02.2024; доработана после рецензирования 15.03.2024; принята к публикации 23.05.2024.

Заявление о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бондаревич Е.А. Микроэлементный состав компонентов снежного покрова города Читы и его окрестностей // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 445–453. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-445-453>

Trace element composition of snow cover components in the city of Chita and its environs

Evgeniy A. Bondarevich  

Chita State Medical Academy, Chita, Russian Federation

 bondarevich84@mail.ru

Abstract. The variation in the concentrations of chemical elements of snow cover in melt water and native dust in the urbanized area of Chita and its environs was studied in comparison with the background area and literature data from other regions of Russia and Mongolia. The study of the accumulation of compounds of chemical elements in the components of snow cover makes it possible to assess the degree of pollution of the surface layer of the atmosphere under technogenesis conditions and to identify key sources of pollution. The goal of the work was to compare the amounts of a number of microelements in melted snow water and in native dust residue in areas of different degrees of technogenic load. The materials were dust and snow meltwater, in which the quantitative content of 22 chemical elements was determined using the X-ray fluorescence method of total external reflection on an S2 Picofox spectrometer (Bruker Nano GmbH, Germany). A low content of ionic forms of elements in the aqueous phase of snow was revealed, with an excess of the maximum permissible concentration for Mn by 1.5–2 times under technogenesis conditions. The concentrations of water-soluble forms of trace elements were comparable to data from other regions. The dust fraction of snow, on the contrary, was characterized by significant contamination with sparingly soluble forms of chemical elements, while no excess of the maximum permissible concentration / approximately permissible concentration was noted, and in comparison with the Clarke for soils of populated areas, a slight excess of the content of As, Sn and W was noted. The dust fraction of the Chita snow cover, compared to the background, is enriched in Th, Rb, Cr and Ga; in the Chita region, intensive accumulation of Cr, As and Sr in the dust was revealed. Significantly larger amounts of microelements compared to Transbaikal samples were detected for the cities of Ulaanbaatar, Blagoveshchensk, and in somewhat smaller quantities Tyumen and Tobolsk. The mass fraction of water-soluble forms for most microelements was significantly less than 0.1%, while a tendency was revealed to increase the number of ionic forms of elements from the urbanized area to the background areas.

Keywords: snow cover, Eastern Transbaikalia, chemical elements, X-ray fluorescence analysis

Article history: received 27.02.2024; revised 15.03.2024; accepted 23.05.2024.

Conflicts of interest. The author declares no conflicts of interest.

For citation: Bondarevich EA. Trace element composition of snow cover components in the city of Chita and its environs. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(4):445–453. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-445-453>

Введение

Атмосферные аэрозоли в условиях резко континентального климата Забайкалья оказывают существенное негативное воздействие на экосистемы и население в холодный период года. Это связано с формированием плотного приземного слоя смога, усиливающегося в морозную безветренную погоду. Источниками загрязнений атмосферного воздуха в г. Чита являются различные виды топлива, полигоны твердых бытовых отходов, пыль от обезлесенных и нарушенных участков ландшафта, транспорт. Редкие снегопады с небольшим количеством выпадающих осадков усугубляют ситуацию, так как удаление взвешенных частиц и загрязняющих газов происходит на короткое время. При этом наблюдается аккумуляция загрязнителей в снежном покрове города и его окрестностей, что увеличивает загрязнение почвы, поверхностных и подземных вод. По данным систематических наблюдений, известно¹, что среднегодовое количество осадков в г. Чита составляет 336 мм, при этом с ноября по март включительно количество твердых осадков составляет 20 мм, или 6 % от среднегодового объема. Средняя толщина снежного покрова в городе 7 см, плотность снега – 150 кг/м³. Совокупность этих факторов приводит к существенному загрязнению снега в период снегонакопления и быстрой деградации снежного покрова из-за снижения альбедо в феврале во время оттепелей. Основными нерастворимыми компонентами снега в городе являются сажа и другие углеродсодержащие частицы, в то время как в удалении от урбанизированной территории это неорганические (силикатные) пылевые частицы почвы и горных пород.

Цель исследования – сравнение количества ряда микроэлементов в талой снеговой воде и в нативном пылевом остатке в разных по степени техногенной нагрузке районах.

Материалы и методы исследования

Пробы снега отбирались в период максимального снегонакопления в условиях Забайкалья в период третьей декады февраля до конца первой декады марта. Время снегостава составляло от 95 до 115 сут. Всего в г. Чита и его окрестностях было собрано 63 пробы снега, из них 3 пробы были использованы в качестве фоновых и отобраны в окрестностях с. Амодово (Читинский район), расположенного в 27 км к западу от города с наветренной стороны. В связи с маломощным снежным покровом, характерным для

¹ Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние наблюдения. Ч. 1–6. Вып. Бурятский АССР, Читинская область. Л.: Гидрометиздат, 1989. 550 с.

региона, пробы отбирали пластиковыми совками (без снятия 1,5 см снега у почвы) в полиэтиленовые пакеты. Проба формировалась путем смешивания керна снега из нескольких близлежащих площадок, общая масса пробы – 4–5 кг.

Определение содержания химических элементов проводилось рентгенофлуоресцентным методом полного внешнего отражения на спектрометре S2 Picofox (Bruker Nano GmbH, Германия). Талую воду предварительно отстаивали и фильтровали через бумажный фильтр «синяя лента», и после добавления внутреннего стандарта наносили 10,0 мкл пробы на кварцевый прободержатель, после высушивали. Аналогично проводили анализ твердого осадка. 10,0 мг пыли помещали в микропробирку, приливали 100,0 мкл 1,0 % раствора Тритона X-100 и 10,0 мкл стандарта, а после суспензию наносили на кварцевый прободержатель. Концентрацию элементов рассчитывали методом внутреннего стандарта, в качестве которого использовался стандартный образец соли германия, разбавленный деионизированной водой ($\Omega = 18,2$ МОм) с концентрацией 2,50 мг·л⁻¹.

Обработка аналитических данных проводилась с использованием программ «Microsoft Excel 2019» и «PAST 3.25». Данные приведены в медианной величине с 25 и 75 % квантилями. Величины ПДК и ОДК для воды и почв приведены в соответствии с СанПиНом 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Сформированные выборки по содержанию химических элементов разных функциональных зон по степени техногенной нагрузки сравнивались между собой непараметрическим критерием Краскала – Уоллиса. Значимыми считались выборки при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ данных, полученных в ходе изучения химического состава талой воды, не выявил существенных отличий по большинству микроэлементов между урбанизированной территорией, сельским ландшафтом и фоном (табл.). Закономерно отмечается снижение уровня растворимых форм микроэлементов в снежном покрове от городской среды к фоновым участкам. Наибольшие отличия выявлены для Mn, Fe, Zn и Sn. Вероятно, это обусловлено геохимическими особенностями почв района исследования и обогащением пылевых частиц перечисленными микроэлементами при сжигании твердого топлива и движущимися механизмами машин. Превышение величины ПДК выявлено только по марганцу как для Читы, так и для Читинского района в 1,5 и 1,9 раза соответственно (табл.).

В результате попарного сравнения выборок не выявлено значимых отличий по критерию Краскала – Уоллиса между парами «Чита – Читинский район» ($H = 0,60, p = 0,44$) и «Чита – фон» ($H = 2,90, p = 0,09$), однако значительно отличались совокупности медианного содержания химических элементов в паре «Читинский район – фон» ($H = 5,03, p = 0,03$). Данные особенности характеризуют наибольшие отличия концентраций микроэлементов в талой воде и указывают на интенсивное перемещение и поступление загрязнителей

в атмосферный воздух в Читинском районе. Столь существенная эмиссия водорастворимых форм микроэлементов обусловлена широким использованием в качестве топлива бурого угля в котельных в условиях низкоэтажной застройки пригородов г. Читы и сел района.

**Медианное содержание химических элементов в талой снеговой воде, мг·л⁻¹,
и пылевом остатке, мг·кг⁻¹**

Химический элемент	Талая вода, мг/л			ПДК ¹	Нативная пыль, мг/кг			Кларк городских почв [1]	ПДК ОДК ²
	Me				Me				
	Q ₂₅ –Q ₇₅				Q ₂₅ –Q ₇₅				
Чита	Читинский район	Фон	Чита	Читинский район	Фон				
Ti	0,026	0,03	0,01	0,10	730,59	462,61	35,90	4600	—*
	0,02–0,04	0,02–0,03	0,01–0,04		639,37–860,59	369,47–586,43	21,76–50,33		
V	0,02	0,02	0,009	0,10	11,66	7,20	0,65	104,86	150,0
	0,01–0,02	0,02–0,04	0,009–0,02		9,63–16,33	5,37–10,57	0,26–1,03		
Cr	0,01	0,02	0,007	0,05	8,22	6,46	0,85	80,0	—
	0,01–0,02	0,02–0,04	0,01–0,02		6,52–10,61	4,14–9,36	0,29–0,96		
Mn	0,15	0,19	0,02	0,10	149,64	147,57	9,54	728,70	1500,0
	0,11–0,21	0,05–0,40	0,02–0,04		125,51–181,52	116,79–242,14	4,79–12,94		
Fe	0,19	0,25	0,09	0,30	7821,01	5119,13	423,74	2,2·10 ⁴	—
	0,15–0,25	0,13–0,84	0,08–0,10		7,2·10 ³ –8,6·10 ³	4,0·10 ³ –7,0·10 ³	243,39–572,55		
Co	0,006	0,008	0,003	0,10	0,62	0,42	0,04	14,09	—
	0,005–0,007	0,006–0,008	0,002–0,004		0,61–0,65	0,39–0,46	0,03–0,05		
Ni	0,005	0,006	0,003	0,02	3,09	3,12	0,26	32,99	—
	0,004–0,005	0,004–0,008	0,002–0,005		1,79–4,31	2,09–5,16	0,16–0,31		
Cu	0,006	0,007	0,005	1,0	6,73	7,16	0,37	38,97	—
	0,004–0,008	0,005–0,01	0,004–0,009		3,73–12,74	4,36–11,16	0,28–0,49		
Zn	0,05	0,095	0,03	5,0	47,08	34,49	1,87	158,0	—
	0,03–0,10	0,05–0,34	0,01–0,05		32,12–63,78	21,57–59,36	0,97–2,57		
Ga	0,003	0,004	0,002	—	4,39	2,52	0,16	16,19	—
	0,003–0,004	0,003–0,004	0,002–0,004		2,98–6,04	2,07–3,14	0,10–0,20		
As	0,003	0,004	0,001	0,01	5,53	5,55	0,24	15,92	—
	0,002–0,004	0,003–0,007	0,001–0,003		2,94–8,87	3,79–7,51	0,22–0,30		
Se	0,002	0,003	0,001	0,01	0,14	0,10	0,01	—	—
	0,002–0,003	0,002–0,004	0,001–0,003		0,13–0,15	0,10–0,12	0,008–0,011		
Br	0,005	0,004	0,001	0,20	0,38	0,44	0,04	—	—
	0,004–0,007	0,002–0,005	0,001–0,003		0,23–0,78	0,29–0,69	0,02–0,08		
Rb	0,003	0,004	0,002	0,10	39,91	12,34	0,88	58,0	—
	0,003–0,004	0,002–0,004	0,002–0,003		19,73–61,37	10,21–13,76	0,44–1,21		
Sr	0,19	0,11	0,008	7,0	53,80	81,14	3,45	457,83	—
	0,14–0,24	0,03–0,25	0,003–0,01		26,67–124,18	50,83–136,92	3,08–4,72		
Sn	0,16	0,20	0,08	2,0	12,34	8,25	0,75	6,77	—
	0,14–0,18	0,17–0,21	0,06–0,15		11,70–13,23	7,79–8,92	0,69–0,89		
Cs	0,05	0,07	0,03	—	4,49	3,02	0,28	—	—
	0,05–0,05	0,06–0,07	0,02–0,07		4,42–4,69	2,88–3,24	0,25–0,33		
Ba	0,09	0,06	0,03	0,70	75,49	112,83	5,40	853,12	—
	0,05–0,14	0,05–0,08	0,02–0,06		33,03–172,16	86,37–159,81	3,78–7,23		
W	0,004	0,006	0,003	0,05	0,53	0,31	0,02	0,288	—
	0,004–0,005	0,005–0,006	0,002–0,005		0,17–1,31	0,20–0,67	0,01–0,02		
Pb	0,003	0,005	0,002	0,01	8,28	7,55	0,36	54,49	—
	0,003–0,004	0,004–0,013	0,001–0,003		2,38–12,77	5,02–12,46	0,32–0,51		
Th	0,005	0,006	0,003	—	2,06	0,25	0,02	—	—
	0,004–0,005	0,005–0,007	0,001–0,004		0,49–4,04	0,22–0,60	0,01–0,03		
U	0,007	0,008	0,004	0,015	0,39	0,28	0,03	—	—
	0,006–0,007	0,007–0,009	0,003–0,006		0,38–0,40	0,27–0,29	0,02–0,004		

Примечания:

¹ Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде питьевой систем централизованного, в том числе горячего, и нецентрализованного водоснабжения, воде подземных и поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, воде плавательных бассейнов, аквапарков.

² Величина ПДК/ОДК (мг·кг⁻¹) с учетом фона (кларка).

* — нормирующий показатель отсутствует.

Источник: составлено Е.А. Бондаревичем.

Выявленные медианные концентрации по ряду микроэлементов сопоставимы с показателями других населенных пунктов и регионов России. По меди, бром, свинцу мышьяку и селену аналогичные данные приведены для талой воды Алтайского края [2], а также по никелю, кобальту, марганцу и железу в г. Благовещенск [3; 4]. По кобальту, меди, марганцу, железу, свинцу и никелю в г. Архангельск [5], по мышьяку, меди, стронцию и цинку в г. Улан-Батор [6], по цинку, меди и железу в г. Кызыл [7] и по свинцу, никелю, меди и кобальту для оз. Байкал [8]. По ряду микроэлементов в условиях урбанизированной территории Читы выявлены существенные превышения содержания, которые могут достигать десяти – тридцатикратной величины. Так, в талой воде снежного покрова в г. Чита существенно выше содержание марганца, бария, ванадия, хрома, железа, цинка и титана по сравнению со снеговой водой акватории оз. Байкал [8]. По сравнению с г. Улан-Батор на один порядок выше концентрации кобальта, хрома, никеля, свинца и ванадия [6]. Количество тория на три порядка, а урана на один порядок больше, чем в снежном покрове г. Благовещенск [3]. Растворимые формы титана, марганца, железа и цинка в талой воде г. Читы превышали на 1–2 порядка показатели для Алтайского края [2]. Наибольшие отличия по концентрациям водорастворимых форм химических элементов в талой воде г. Читы были с данными фоновых концентраций центрального сектора Западной Сибири и превышали на 1 порядок величины по титану, кобальту, селену, стронцию, а по ванадию, хром и олову на 2-3 порядка [9].

По сравнению с городами и регионами со сходными природно-климатическими и техногенными факторами существенных отличий в содержании водорастворимых форм микроэлементов не выявлено. Сравнение совокупностей данных по критерию Краскала – Уоллиса не зафиксировано значимых результатов в парах Чита – Кызыл ($H = 2,82, p = 0,09$), Читинский район – Кызыл ($H = 1,46, p = 0,23$), значимо отличались Кызыл – фон (с. Аمودово) ($H = 7,17, p = 0,007$) (элементы Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As и Pb). В парах Чита – Улан-Батор и фон – Улан-Батор также не выявлено достоверных отличий ($H = 3,60, p = 0,06$ и $H = 1,22, p = 0,27$ соответственно), а в паре Читинский район – Улан-Батор критерий выявил значимые отличия ($H = 4,68, p = 0,03$) (элементы V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr и Pb). Во всех парах сравнения между забайкальскими пробами и пробами из г. Благовещенск не выявлено значимых отличий по совокупности концентраций Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn и Pb ($H = 0,01–2,48, p = 0,11–0,91$). Значимые отличия по концентрациям водорастворимых форм элементов во всех сравниваемых парах были обнаружены с данными оз. Байкал: Чита – Байкал $H = 8,93, p = 0,003$, Читинский район – Байкал $H = 9,73, p = 0,002$ и фон – Байкал $H = 5,13, p = 0,02$ (элементы Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr и Pb). Также отмечено снижение концентрации ионов изучаемых элементов по железу, стронцию и бром в условиях г. Чита по сравнению с зимним периодом 2020–2021 гг. [10].

Анализ данных по содержанию микроэлементов в пылевой фракции снежного покрова выявил существенные отличия между выборками г. Читы

и Читинского района относительно фонового участка. Наибольшее содержание в нативной пыли г. Читы относительно фона отмечено для тория (103 раза) и рублидия (45 раз), остальные микроэлементы имели кратность превышения от 9,67 раза (Cr) до 27,4 раза (Ga). В пробах Читинского района кратность превышения фоновых концентрации была несколько ниже и варьировала в пределах от 7,6 раза (Cr) до 23,1 (As) и 23,5 (Sr) (см. табл.). Нормирование содержания химических элементов и их соединений в пыли и твердом остатке снега отсутствует, по этой причине можно ориентироваться на соответствующие величины кларка, ПДК/ОДК для городских почв [1]. В ходе исследования выявлено незначительное превышение нормирующего показателя (кларка почв) для мышьяка, олова и вольфрама, тогда как по остальным микроэлементам, даже в условиях урбанизированной территории, количество было на 1–2 порядка меньшим, чем кларковое содержание и ПДК (ОДК) (см. табл.).

Попарное сравнение совокупностей данных по критерию Краскала – Уоллиса не выявило значимых отличий по медианному содержанию микроэлементов в группах Чита – Читинский район ($H = 0,25$, $p = 0,61$), однако значимо отличались пары Чита – фон ($H = 11,91$, $p = 0,0006$) и Читинский район – фон ($H = 8,96$, $p = 0,003$).

Содержание микроэлементов в пылевой фракции снежного покрова в г. Чита по большинству показателей существенно превышало значения для других регионов и населенных пунктов. Так, для фоновых территорий Западной Сибири [9; 11] содержание Co в забайкальских пробах было большим на 3 порядка, Ni, Zn, Cu и Pb – на 4 порядка, V, Cr, Mn, Fe, As, Sr, Ba и U – на 5 порядков, а Rb, Cs и Th – на 6 порядков. Также низкие величины накопления микроэлементов в пыли фиксировались в условиях г. Кызыл [7], Благовещенск [4] и в Алтайском крае [2], и отличия составили 1–3 порядка по сравнению с г. Чита, однако железа в пылевой фракции тувинских проб было на 5 порядков, а в алтайских на 4 порядка меньше. Существенно большими были значения количества микроэлементов в пыли г. Улан-Батор [6] и г. Благовещенск [4]. Так, содержание As в условиях г. Улан-Батор было в 4,4 раза выше, а V, Cr, Zn, Sr и Pb отличалось на 1 порядок, тогда как Co, Ni и Cu было больше на 3 порядка [6]. Для г. Благовещенск фиксировались большие количества Ni, Cu и Pb (на 1 порядок) и 6–8-кратное превышение содержания Cr и Zn [4]. Наиболее близкими по медианному содержанию микроэлементов в пылевой фракции снежного покрова были результаты из городов Тюмень и Тобольск [12]. Сопоставимыми были количества V, Zn, As, Sr, Sn, Ba, W, однако количество Cr, Ni и Cu в этих населенных пунктах превышали забайкальские показатели на 1 порядок.

Таким образом, содержание микроэлементов в пылевой фракции в различных регионах страны имеет огромный разброс показателей, однако для экологически чистых районов величины имели минимальные показатели, тогда как техногенно-нарушенные ландшафты характеризовались сильным загрязнением. В условиях г. Чита выявлено существенное загрязнение пыли,

которое значимо отличалось по критерию Краскала – Уоллиса по сравнению с выборками городов Кызыл, Благовещенск, Улан-Батор. По данному критерию отсутствуют значимые отличия в парах Чита – Тюмень ($H = 1,6$, $p = 0,21$ по V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Sn, Cs, Ba, W и Pb), Читинский район – Тюмень, Чита – Тобольск ($H = 2,05$, $p = 0,15$), Читинский район – Тобольск ($H = 2,9$, $p = 0,09$), тогда как в парах Тюмень – Амодово (фон) и Тобольск – Амодово (фон) этот критерий выявил существенные отличия ($H = 16,35$ и $H = 17,36$ при $p < 0,001$ соответственно).

Количество водорастворимых форм микроэлементов к их содержанию в пыли снежного покрова г. Чита составляло менее 0,1 %. Концентрация водорастворимых форм ряда микроэлементов (Co, Se, Br, Sn, Cs и U) было существенно большим и составляло величины от 1 до 32 % при этом максимальное количество ионных форм микроэлементов отмечался для проб фоновое участка. Это обусловлено низкими величинами накопления соединений элементов в пыли и отсутствием их термохимической конверсии в системах сжигания топлива с образованием труднорастворимых веществ (оксидов, сульфидов, силикатов и т.д.).

Выводы

1. Методом неразрушающего рентгенофлуоресцентного анализа изучен микроэлементный состав талой воды и пылевой фракции снежного покрова г. Чита и его окрестностей. Значимых отличий по концентрации водорастворимых форм элементов между городом и сельскими поселениями Забайкалья не выявлено. Количество микроэлементов в условиях фона было минимальным, однако даже в условиях урбанизированной территории не отмечено превышения ПДК, за исключением Mn.

2. По сравнению с городами и регионами со сходными природно-климатическими и техногенными факторами существенных отличий в содержании водорастворимых форм микроэлементов не выявлено.

3. В результате сравнения данных между зимними сезонами 2021 и 2024 гг. отмечено снижение концентрации в талой снеговой воде соединений железа, стронция и брома.

4. Пылевая фракция снежного покрова Читы по сравнению с фоном обогащена торием, рубидием, хромом и галлием, в Читинском районе выявлено интенсивное накопление в пыли хрома, мышьяка и стронция. Превышений ПДК (ОДК) и кларковых показателей для почв в пылевой фракции не отмечено.

5. Пыль снежного покрова г. Читы содержала значительно большие количества микроэлементов, чем пыль в большинстве других городов и регионах, данные по которым присутствуют в литературных источниках. Близкие количественные показатели зафиксированы для городов Тюмень и Тобольск, а наибольшие отличия отмечены по сравнению с Катунским заповедником (Республика Алтай) и центральным сектором Западной Сибири.

6. Массовая доля водорастворимых форм для большинства микроэлементов была существенно меньше 0,1 %, при этом выявлена тенденция увеличения количества ионных форм элементов от урбанизированной территории к фоновым участкам.

Список литературы

- [1] *Алексеевко В.А., Алексеевко А.В.* Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2013. С. 254–257.
- [2] *Павлов В.Е., Суторихин И.А., Хвостов И.В., Зинченко Г.С.* Снежный покров как индикатор загрязнения урбанизированной территории Алтайского края // *Оптика атмосферы и океана*. 2009. Т. 22, № 1. С. 96–100.
- [3] *Павлова Л.М., Радомская В.И., Юсупов Д.В.* Высокотоксичные элементы в снежном покрове на территории г. Благовещенска // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2015. № 1. С. 27–35.
- [4] *Куимова Н.Г., Сергеева А.Г., Шумилова Л.П., Павлова Л.М., Борисова И.Г.* Эколого-геохимическая оценка аэротехногенного загрязнения урбанизированной территории по состоянию снежного покрова // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2012. № 5. С. 422–435.
- [5] *Чагина Н.Б., Айвазова Е.А., Иванченко Н.Л., Варакин Е.А.* Анализ снежного покрова придорожных территорий г. Архангельска // *Вестник Северного (Арктического) федерального университета*. Серия: Естественные науки. 2015. № 2. С. 129–141.
- [6] *Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Сорокина О.И., Гунин П.Д., Бажа С.Н., Энх-Амгалан С.* Геохимия ландшафтов Улан-Батора // *Известия Российской академии наук*. Серия географическая. 2013. № 5. С. 109–124.
- [7] *Тасоол Л.Х., Янчат Н.Н., Жданок А.И., Чутикова С.А.* Загрязнение снежного покрова территории г. Кызыла // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2014. № 6. С. 507–517.
- [8] *Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Лопатина Д.Н., Янчук М.С.* Загрязнение снега на акватории оз. Байкал и прилегающей территории // *Водные ресурсы*. 2017. Т. 44, № 3. С. 340–353. <https://doi.org/10.7868/S032105961703004X>
- [9] *Ермолов Ю. В., Махатков И.Д., Худяев С.А.* Фоновые концентрации химических элементов в снежном покрове центрального сектора Западной Сибири // *Оптика атмосферы и океана*. 2014. Т. 27, № 9. С. 790–800.
- [10] *Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Лескова О.А., Самойленко Г.Ю.* Мониторинг уровня загрязнения атмосферы по накоплению химических элементов в талой воде снегового покрова // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25, № 8. С. 47–53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-8-47-53>
- [11] *Папина Т.С., Эйрих А.Н., Малыгина Н.С., Эйрих С.С., Останин О.В., Яшина Т.В.* Микроэлементный и изотопный состав снежного покрова Катунского природного биосферного заповедника (Республика Алтай) // *Лёд и Снег*. 2018. Т. 58, № 1. С. 41–55. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-1-41-55>
- [12] *Захарченко А.В., Тигеев А.А.* Микроэлементы в пыли снежного покрова на примере городов Тюмень и Тобольск // *Лёд и Снег*. 2023. Т. 63, № 3. С. 397–409. <https://doi.org/10.31857/S2076673423030146>

Сведения об авторе:

Бондаревич Евгений Александрович, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры химии и биохимии, Читинская государственная медицинская академия, Российская Федерация, 672000, г. Чита, ул. Горького, д. 39а. ORCID: 0000-0002-0032-3155. E-mail: bondarevich84@mail.ru



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

SHORT MESSAGE

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-454-458

EDN: NNWDWA

UDC 519.8:551.46

Short message / Сообщение

**Ecological and economic bases for development
and implementation of carbon sequestration related climate
projects in Russia**Yulia L. Zakirova¹, Anastasia V. Lazareva²¹RUDN University, Moscow, Russian Federation²MGIMO University, Moscow, Russian Federationkolomiytsev@vniigim.ru

Abstract. The article examines the emerging national carbon market in Russia, the incentives and competitive advantages of domestic business at the carbon market as the economic basis for development and implementation of carbon sequestration projects in Russia. The Russian Federation, which has committed itself to taking measures to mitigate climate change, has set a goal of achieving carbon neutrality by 2060 in two possible ways: through direct emissions reduction and carbon capture (sequestration), storage (deposition). The national carbon trading system being actively created in Russia allows the state to fulfill its international climate obligations, but at the same time act as an independent regulator in this area and proactively protect domestic producers from possible unfair competition and arbitrariness on the part of participants in the global carbon market.

Keywords: mitigating climate change, climate projects, carbon sequestration, carbon market

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

Article history: received 17.08.2024; revised 10.09.2024; accepted 12.09.2024.

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

© Zakirova Yu.L., Lazareva A.V., 2024



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

For citation: Zakirova YuL, Lazareva AV. Ecological and economic bases for development and implementation of carbon sequestration related climate projects in Russia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(4):454–458. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-454-458>

Эколого-экономические основы разработки и реализации в России климатических проектов, связанных с секвестрацией углерода

Ю.Л. Закирова¹  , А.В. Лазарева² 

¹ *Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация*

² *МГИМО МИД России, Москва, Российская Федерация*

 kolomiytsev@vniigim.ru

Аннотация. В качестве экономических оснований разработки и внедрения в России климатических проектов, связанных с секвестрацией углерода, рассматривается формирующийся национальный углеродный рынок России, стимулы и конкурентные преимущества отечественного бизнеса как участника углеродного рынка. Российская Федерация, взявшая на себя обязательства принимать меры по смягчению изменения климата, поставила цель достижения углеродной нейтральности к 2060 г. двумя возможными путями: путем прямого сокращения выбросов и улавливания (секвестрации), хранения (депонирования) углерода. Активно создаваемая в России национальная система торговли углеродными единицами позволяет государству выполнять свои международные климатические обязательства, но при этом выступать в качестве самостоятельного регулятора в этой области и превентивно защитить отечественных производителей от возможной недобросовестной конкуренции и произвола со стороны участников глобального углеродного рынка.

Ключевые слова: смягчение последствий изменения климата, климатические проекты, секвестрация углерода, углеродный рынок

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

История статьи: поступила в редакцию 17.08.2024; доработана после рецензирования 10.09.2024; принята к публикации 12.09.2024.

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

Для цитирования: *Zakirova Yu.L., Lazareva A.V. Ecological and economic bases for development and implementation of carbon sequestration related climate projects in Russia // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 454–458. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-454-458>*

Our country is currently actively creating a domestic carbon trading system according to internal rules. The national carbon market will be represented in two segments: regulated and voluntary. The regulated segment of the domestic carbon

market began with Federal Law 296-FZ of the Russian Federation dated July 2, 2021.¹ The law provides the basis for state accounting of emissions. At the same time, a phased introduction of carbon reporting is planned. According to the law, the circulation of carbon units is allowed in the territory of the Russian Federation, while quotas will be provided free of charge.

Effective April 1, 2024, tax laws have been amended to cover climate projects with carbon credits. According to the amendments, the sale of operator services in the territory of Russia for conducting operations within the register of carbon units is not subject to taxation.²

On February 13, 2023, Order of the Ministry of Economic Development No. 637 came into force,³ which establishes the form and procedure for the submission of a report on greenhouse gas emissions. Information on climate projects should be included in the carbon register, the results are verified for the release of carbon units.

Russian expert organizations are being created to assess carbon reporting and verify the results of climate projects. In November 2021, the first Russian body for the validation and verification of greenhouse gases, the RUDN Institute of Environmental Engineering, was accredited by the Federal Accreditation Service – “Rosaccreditatsiya”.

From March 1, 2022, to December 31, 2028, a pilot regional experiment is being conducted on Sakhalin to test and regulate, set up the mechanisms of the national accounting system, issuing quotas on emissions and trade in carbon units, assess its impact on the economic indicators of the region, and achieve carbon neutrality in the region by 2025. Other regions of the Russian Federation will be able to begin a regulated transition to carbon neutrality after the experiment on Sakhalin is completed (no earlier than 2025–2026) [1].

The following incentives for business as part of the climate agenda can be identified: political inevitability: legislation integrates business into the decarbonization process; the desire to maintain product profitability and competitive advantages at the domestic and foreign markets, to prevent a narrowing of the export market; soft government regulation: phased introduction of quotas, free quotas; tax benefits; eco-lending by banks with a reduced interest rate; the possibility of reducing the carbon footprint by implementing a climate project if

¹ Federal Law of the Russian Federation “On limiting greenhouse gas emissions” No. 296-FZ dated July 2, 2021. (In Russ.). Available from: <https://base.garant.ru/401420454/#friends>

² Tax Code of the Russian Federation. Part two. Section VIII. Federal taxes (articles 143–346). Chapter 21. Value added tax (articles 143–178). Article 149. Transactions not subject to taxation (exempt from taxation). (In Russ.). Available from: <https://base.garant.ru/10900200/11e2106fa4ec328ea2d88df540010b52/> (accessed: 20.12.2023).

³ Order of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation “On approval of the structure of the greenhouse gas emissions register, requirements for processing algorithms and format of information used in the greenhouse gas emissions register” No. 637 dated November 21, 2022. (In Russ.). Available from: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202302020047> (accessed: 20.12.2023).

direct emissions reduction is not possible, which is especially important for high-carbon industries; the ability to select the most economically feasible climate project; the possibility of creating your own carbon units and selling them at the domestic or foreign market; the opportunity to enter new markets; the possibility of attracting investments; the opportunity to occupy a niche and a leading position in the created domestic carbon market, as well as the external market, taking into account the unique natural features of the country; reputation of environmentally responsible suppliers and exporters.

The competitive advantages of Russia as a participant in the carbon market are the following: a relatively small carbon footprint from production; one of the cleanest energy industries; significant reduction in direct greenhouse gas emissions (excluding sequestration) – by 30% since 1990 [2]; national climate legislation has been created in Russia; the country is conducting a regional experiment to achieve the goal of carbon neutrality; sequestration potential of the country; the unique geographical location of Russia, the largest area of territory, diversity of ecological systems and opportunities for implementing various climate projects.

Thus, within the carbon market, Russia could act as a beneficiary, a leading supplier of climate projects attractive to investors.

References

- [1] Other regions of Russia will be able to begin a rigorous transition to carbon neutrality only after the completion of the experiment on Sakhalin – Ministry of Economic Development. In: *Energy Policy*. 2023 Jun 15. (In Russ.). Available from: <https://energypolicy.ru/drugie-regiony-rossii-smogut-pristupit-k-zhestkomu-perehodu-k-uglerodnoj-nejtralnosti-tolko-posle-zaversheniya-eksperimenta-na-sahaline-minekonomrazvitiya/novosti/2023/19/15/?ysclid=lzmuiejz32728459038> (accessed: 15.04.2024).
- [2] Burmatov ES. The EU is trying to drag Russia into an economic war with the help of a “green tax”. In: *Parliamentary newspaper*. 2021 Aug 1. (In Russ.). Available from: <https://www.pnp.ru/politics/burmatov-es-s-pomoshhyu-zelenogo-naloga-pytayutsyavtyanut-rossiyu-v-ekonomicheskuyu-voynu.html?ysclid=lzmv1xgd6x331945895> (accessed: 15.04.2024).

Список литературы

- [1] Другие регионы России смогут начать строгий переход к углеродной нейтральности только после завершения эксперимента на Сахалине – Министерство экономического развития // *Энергетическая политика*. 2023, 15 июня. URL: <https://energypolicy.ru/drugie-regionyrossii-smogut-pristupit-k-zhestkomu-perehodu-k-uglerodnoj-nejtralnosti-tolko-poslezaversheniya-eksperimenta-na-sahaline-minekonomrazvitiya/novosti/2023/19/15/?ysclid=lzmuiejz32728459038> (дата обращения: 15.04.2024).
- [2] *Бурматов Е.С.* ЕС пытается втянуть Россию в экономическую войну с помощью «зеленого налога» // *Парламентская газета*. 1 августа 2021 г. URL: <https://www.pnp.ru/politics/burmatov-es-s-pomoshhyu-zelenogo-naloga-pytayutsyavtyanut-rossiyu-v-ekonomicheskuyu-voynu.html?ysclid=lzmv1xgd6x331945895> (дата обращения: 15.04.2024).

Bio notes:

Yulia L. Zakirova, Ph.D., Master in Ecology and Nature Management, Associate Professor, the Department of Foreign Languages, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 8/5 Podolskoe Shosse, Moscow, 115093, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-4258-6252; SPIN-code: 2757-0930. E-mail: zakirova_yul@rudn.ru

Anastasia V. Lazareva, Ph.D., Associate Professor, English Language Department 5, MGIMO University, 76, Prospect Vernadskogo, Moscow, 119454, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1807-6375; SPIN-code: 1470-1234. E-mail: a.lazareva@inno.mgimo.ru

Сведения об авторах:

Закирова Юлия Львовна, магистр экологии и природопользования, доцент, кафедры иностранных языков, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, г. Москва, Подольское ш., д. 8. ORCID: 0000-0002-4258-6252; SPIN-код: 2757-0930. E-mail: zakirova_yul@rudn.ru

Лазарева Анастасия Владимировна, кандидат филологических наук, доцент, кафедры английского языка, Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации (МГИМО МИД России), Российская Федерация, 119454, Москва, проспект Вернадского, д. 76. ORCID: 0000-0002-1807-6375; SPIN-код: 1470-1234. E-mail: a.lazareva@inno.mgimo.ru