



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

2024 Том 32 № 3

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-3

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

**Научный журнал
Издается с 1993 г.**

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

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

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

Бобровицкий 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, Красноярск, Россия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Периодичность: ежеквартально

Языки публикаций: русский, английский.

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

Цели и тематика

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

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

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

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

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

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

Адрес редакции:

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

Адрес редакционной коллегии журнала:

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

Подписано в печать 16.09.2024. Выход в свет 30.09.2024. Формат 70×108/16.

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

Усл. печ. л. 8,05. Тираж 500 экз. Заказ № 1061. Цена свободная.

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

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

© Российский университет дружбы народов, 2024



RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

2024 VOLUME 32 No. 3

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-3

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Frequency: Quarterly

Publication languages: Russian, English.

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

Aims and Scope

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

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

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

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

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

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

Address of the editorial office:

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

Address of the editorial board of the journal:

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

Printing run 500 copies. Open price.

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ

- Тетельмин В.В.** Рост уровня Мирового океана в условиях глобального потепления 233
- Логачева Е.А., Бабичева О.О., Карпунина Л.В.** Оценка влияния полисахарида вешенки обыкновенной на устойчивость растений к токсическому воздействию нефтезагрязнений методом биотестирования 251

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

- Нестеренко В.М.** Шумозащитная эффективность зеленых насаждений города Брянска 259

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

- Аникина Н.А., Крышев А.И.** Расчет обобщенных показателей радиационно-экологического риска для районов Баренцева и Карского морей, подверженных воздействию ядерно и радиационно опасных объектов 274

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Обуздина М.В., Руш Е.А.** Модификация свойств некондиционного цеолитового сырья месторождений Восточного Забайкалья с целью получения эффективных сорбентов для очистки сточных вод 286

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Толмачева И.А., Ошлакова З.В.** Проблема формирования экологически ответственного сознания общественности на примере деятельности Министерства природных ресурсов Хабаровского края 294
- Примак Е.А., Иванова Е.А.** Формирование экологической культуры грамотного обращения с отходами 301

НОВОСТИ

- К 80-летию академика Владимира Владимировича Тетельмина 312
- Центр зеленой дипломатии создан на базе института экологии РУДН им. Патриса Лумумбы 316

CONTENTS

ECOLOGY

- Tetelmin V.V.** Sea level rising under global warming 233
- Logacheva E.A., Babicheva O.O., Karpunina L.V.** Evaluation of the effect of oyster mushroom polysaccharide on the resistance of plants to the toxic effects of oil pollution by biotesting 251

HUMAN ECOLOGY

- Nesterenko V.M.** The effectiveness of noise protection of the green spaces of the city of Bryansk 259

ENVIRONMENTAL MONITORING

- Anikina N.A., Kryshev A.I.** Calculation of generalized indicators of radiation-ecological risk for areas of the Barents and Kara Seas exposed to the influence of nuclear and radiation hazardous objects 274

INDUSTRIAL ECOLOGY

- Obuzdina M.V., Rush E.A.** Modification of the properties of nonconforming zeolite raw materials from deposits in Eastern Transbaikalia in order to obtain effective sorbents for wastewater treatment 286

SHORT MESSAGES

- Tolmacheva I.A., Oshlakova Z.V.** The problem of forming an environmentally responsible public consciousness on the example of the Ministry of Natural Resources of the Khabarovsk Territory 294
- Primak E.A., Ivanova E.A.** Fostering an environmental culture of competent waste management 301

NEWS

- To the 80th Anniversary of Academician Vladimir V. Tetelmin 312
- Creation of the Center of Green Diplomacy on the basis of the Institute of Environmental Engineering Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia 316



ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-3-233-250

EDN: ZRYSUA

УДК 551.5:574

Научная статья / Research article

Рост уровня Мирового океана в условиях глобального потепления

В.В. Тетельмин✉

Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

✉v-tetelmin@rambler.ru

Аннотация. Приведены эмпирические расчетные функции глобального потепления, а также результаты расчета роста уровня Мирового океана для трех сценариев декарбонизации мировой энергетики. Представлены функции роста уровня Мирового океана, отдельно учитывающие вклад таяния материковых льдов и вклад теплового расширения воды. Сделан вывод о недостижимости целей Парижского соглашения по удержанию температуры глобального потепления в пределах +2 °С. Даже при интенсивном сценарии декарбонизации мир в ближайшие 100 лет будет идти по траектории повышения глобальной температуры до 5 °С.

Ключевые слова: парниковые газы, глобальное потепление, сценарии декарбонизации, уровень Мирового океана

История статьи: поступила в редакцию 15.01.2024; доработана после рецензирования 15.02.2024; принята к публикации 14.03.2024.

Для цитирования: Тетельмин В.В. Рост уровня Мирового океана в условиях глобального потепления // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 3. С. 233–250. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-233-250>

© Тетельмин В.В., 2024



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

Sea level rising under global warming

Vladimir V. Tetelmin✉

RUDN University, Moscow, Russian Federation

✉v-tetelmin@rambler.ru

Abstract. Empirical calculation functions of global warming are presented, as well as the results of the sea level rising calculation for three scenarios of the world energy sector decarbonization. The functions of the sea level rising are given, separately considering the impact of continental ice melting and the impact of water thermal expansion. It is concluded that the goals of the Paris Agreement to keep global warming within +2°C are unattainable. Even under the intensive decarbonization scenario, the world will follow a trajectory of global temperature rise by 5°C over the next 100 years.

Keywords: greenhouse gases, global warming, decarbonization scenarios, sea level

Article history: received 15.01.2024; revised 15.02.2024; accepted 14.03.2024

For citation: Tetelmin VV. Sea level rising under global warming. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(3):233–250. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-233-250>

В XXI в. климатологи всего мира пришли к заключению, что наблюдаемое глобальное изменение климата – это следствие роста содержания антропогенных парниковых газов (АПГ) в атмосфере. Выбросы АПГ выводят из равновесия климатическую систему (КС) Земли, основными составляющими которой являются Мировой океан (МО), атмосфера и суша. За последние полтора века к 2020 г. в атмосфере накопилось около 182 ppm-eq АПГ, содержание которых повысилось до значений: CO₂ – 416 ppm, CH₄ – 1,88 ppm, N₂O – 0,335 ppm¹.

Основные следствия выбросов АПГ представлены в материалах Оценочных докладов МГЭИК, в которых приведена динамика выбросов парниковых газов с разбросом оценок ±3 %; повышение средней глобальной температуры приземного слоя атмосферы с погрешностью ±20 %; увеличение накопленной КС Земли парниковой тепловой энергии в период 1970–2020 гг. с разбросом оценок в пределах ±30 %², а также увеличение частоты природных стихийных бедствий и рост уровня Мирового океана (табл.).

Активный рост средней приповерхностной температуры Земли начался в 1980 г. с постоянным приращением 0,175 °C/10 лет. При этом пространственная картина глобального потепления неоднородная. В районе 32–40° северной широты потепление совпадает со средним значением глобального потепле-

¹ Здесь и далее содержание основных АПГ в атмосфере (CO₂, CH₄, N₂O) приводится в единицах объемной концентрации (млн⁻¹), эквивалентных потенциалу глобального потепления GWP диоксида углерода CO₂ (ppm-eq).

² МГЭИК. Изменение климата, Обобщенный доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в пятый оценочный доклад МГЭИК [основная группа авторов Р. Пачаури и Л. Мейер]. Женева: МГЭИК, 2014. С. 44.

ния, поверхность южнее указанной широты нагревается медленнее, а севернее – намного быстрее. Например, на берегах Гренландии и на арктическом побережье России тренд потепления характеризуется $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ [1]. Можно сказать, что «энерго-климатическая цена» использования человечеством ископаемого топлива оказалась очень высокой: каждый кВт·ч произведенной антропогенной энергии обеспечил через парниковый эффект накопление в КС Земли $25\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ парниковой тепловой энергии.

На графиках рис. 1 представлены детальные данные об энергетике потеплении атмосферы, суши и верхних слоев Мирового океана как доминирующего фактора КС Земли³. Из графика (рис. 1) следует, что за последние 50 лет КС Земли накопила $127\cdot 10^{15}\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ тепловой энергии, отраженной ПГ. Всего с 1900 по 2020 г. КС Земли аккумулировала примерно $Q_{\text{КС}} = 215\cdot 10^{15}\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ парниковой тепловой энергии. Главным аккумулятором парниковой тепловой энергии является Мировой океан – около 91 %, на сушу приходится около 5 %, на льды около 3 %; на атмосферу около 1,0 % накопленной энергии.

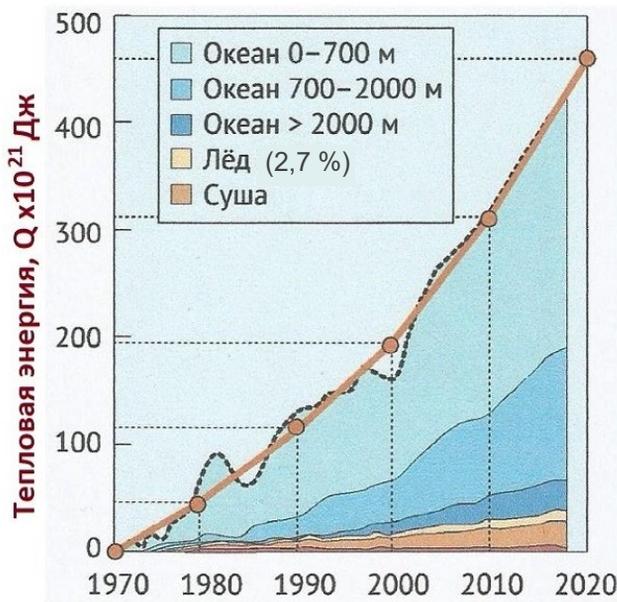


Рис. 1. Увеличение количества парниковой тепловой энергии, аккумулированной климатической системой Земли в период 1970–2020 гг.
Источник: составлено авторами.

³ Technical Summary. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. P. 33–144.

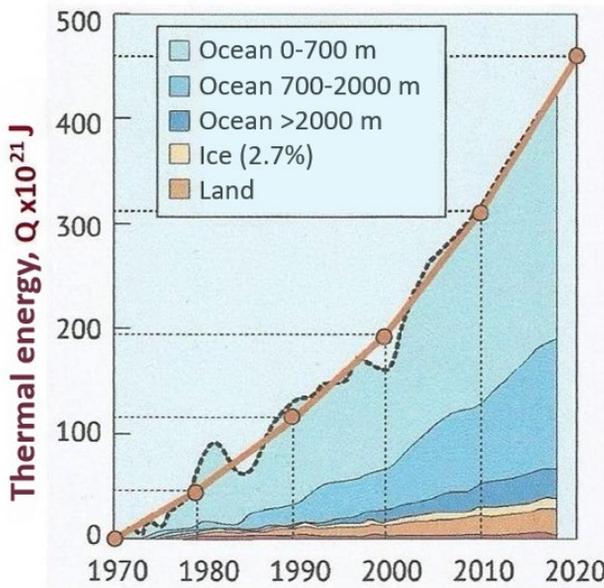


Figure 1. Increase in the amount of greenhouse thermal energy accumulated by the Earth's climate system in 1970–2020

Source: compiled by the authors.

В таблице приведены систематизированные натурные данные об изменении энергетических показателей КС Земли и росте уровня Мирового океана. На графиках (рис. 1) и в таблице отражены результаты передачи всех видов радиационной и нерадиационной парниковой тепловой энергии климатической системе Земли, включая все виды положительных и отрицательных обратных связей. Наиболее значимыми факторами проявления положительных обратных связей помимо снижения альбеда является усиление циклонической деятельности и конвективного переноса тепла из тропиков в высокие широты; деградация криолитозоны арктического шельфа и тундры с выбросом метана из газогидратных кластеров; увеличение абсолютной влажности сухого арктического воздуха, сопровождающееся увеличением парникового эффекта.

На основании данных рис. 1 получена следующая эмпирическая зависимость интенсивности нагрева КС Земли $\Delta Q_{КС}$ от концентрации K ppm-eq антропогенных ПГ в атмосфере [2]:

$$\Delta Q_{КС} = 276 \cdot 1012 \cdot (K - 30) \text{ [кВт} \cdot \text{ч/10 лет]}, \quad (1)$$

где $320 \text{ ppm-eq} \geq K \geq 90 \text{ ppm-eq}$ – среднее значение объемной концентрации антропогенных ПГ в атмосфере в каждом расчетном 10-летнем периоде времени.

Динамика наблюдаемого до 2020 г. роста уровня Мирового океана как функция накопленной в КС Земли тепловой энергии, а также расчетного роста уровня при умеренном сценарии снижения выбросов антропогенных парниковых газов

Годы	Содержание парниковых газов K , ppm-eq	Интенсивность поглощения тепла КС Земли $Q_0 \times 10^{15}$, кВт·ч/10 лет	Накопленная энергия в КС Земли $Q_{КС} \times 10^{15}$, кВт·ч	Накопленная температура T_{AT} , °C	Общий рост уровня МО h , мм
1910	24,0	10,0	17,0	0,10	9,0
1930	34,3	11,5	37,6	0,20	28,0
1950	44,6	13,0	61,6	0,30	62,0
1970	70,0	13,8	88,0	0,40	96,0
1980	90,0	19,5	101,8	0,50	113
1990	112	24,6	121,1	0,625	130
2000	132	31,0	145,7	0,800	153
2010	155	38,3	176,7	0,975	186
2020	182	41,9	215,0	1,150	232
2050	246	59,5	314,0	1,70	393
2100	335	84,1	665,5	2,60	780

Источник: составлено авторами.

Dynamics of the sea level rising observed until 2020 as a function of the thermal energy accumulated in the Earth's CS, as well as the calculated level growth under the moderate scenario of reducing anthropogenic greenhouse gas emissions

Years	Greenhouse gas content K , ppm-eq	Heat absorption rate of the Earth's CS $Q_0 \times 10^{15}$, kW-h/10 years	Accumulated energy in the Earth's CS $Q_{CS} \times 10^{15}$ kW-h	Accumulated temperature T_{AT} , °C	Total sea level rising h mm
1910	24.0	10.0	17.0	0.10	9.0
1930	34.3	11.5	37.6	0.20	28.0
1950	44.6	13.0	61.6	0.30	62.0
1970	70.0	13.8	88.0	0.40	96.0
1980	90.0	19.5	101.8	0.50	113
1990	112	24.6	121.1	0.625	130
2000	132	31.0	145.7	0.800	153
2010	155	38.3	176.7	0.975	186
2020	182	41.9	215.0	1.150	232
2050	246	59.5	314.0	1.70	393
2100	335	84.1	665.5	2.60	780

Source: compiled by the authors.

Охлаждающее воздействие на КС Земли оказывают процессы испарения и таяния материковых и морских льдов: в течение 2020 г. года из МО испарилось около 1,2 м толщи воды и растаяло около 500 км³ материковых льдов. Каждые 400 км³ растаявших материковых льдов поднимают уровень МО на 1 мм. Процессы испарения и таяния препятствуют быстрому нагреванию планеты, сдерживая темп глобального потепления приземного слоя атмосферы в пределах 0,17–0,18 °C/10 лет. Таяние льда – это фазовый переход первого рода, поглощающий 332,4 Дж/г (83,6 кВт·ч/м³) тепловой энергии. В начале XXI в. Гренландия теряла около 162 км³/год льдов, а в 2020 г. теряет уже до 270 км³/год [3]. Холодные талые воды материковых льдов Гренландии воздействуют на теплое течение Гольфстрим. Площадь морских льдов Арктики сократилась с 7,7 млн км² в 1980 г. до 4,6 км² в 2015 г.

Рост уровня МО Δh за расчетный 10-летний период определяется двумя слагаемыми: ростом уровня за счет теплового расширения воды $\Delta h_{\text{в}}$, а также за счет таяния материковых льдов $\Delta h_{\text{л}}$ за 10-летний период:

$$\Delta h = (\Delta h_{\text{в}} + \Delta h_{\text{л}}) \text{ мм/10 лет.} \quad (2)$$

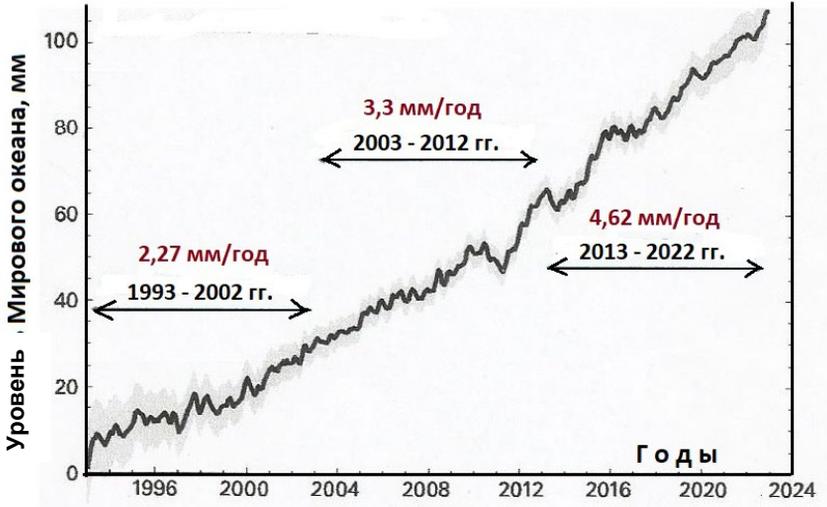


Рис. 2. Ускоряющийся рост уровня Мирового океана после 1993 г.
 Источник: составлено авторами.

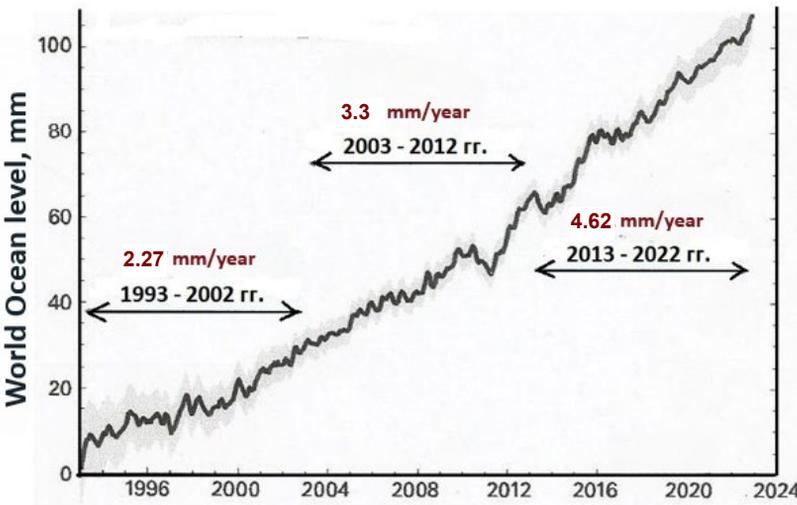


Figure 2. Accelerating sea level rise since 1993
 Source: compiled by the authors.

Рост уровня Мирового океана МО фиксируется с начала прошлого века (см. табл.) и проходит с нарастающей скоростью (рис. 2). В период 1900–1930 гг. скорость роста УМО составляла $\Delta h = 9 \text{ мм/10 лет}$, в 2010–2020 гг. увеличилась до 42 мм/10 лет^2 . В 2020 г. за счет интенсивного

таяния материковых льдов Гренландии (около $270 \text{ км}^3/\text{год}$), Антарктиды ($150 \text{ км}^3/\text{год}$) и Аляски ($100 \text{ км}^3/\text{год}$) в МО поступило $468/\text{км}^3$ талых вод, которые подняли его уровень примерно на $\Delta h_{\text{л}} = 13 \text{ мм}$ из общего поднятия $\Delta h = 42 \text{ мм}$ [3]. За счет теплового расширения воды уровень МО за рассматриваемый период поднялся примерно на $\Delta h_{\text{в}} = 29 \text{ мм}$. В общем поднятии уровня МО доля участия талых вод составила около 30 %.

Количество тепла $\Delta Q_{\text{л}}$, идущее на таяние материковых льдов, определяется выражением

$$\Delta Q_{\text{л}} = \Delta h_{\text{л}} \cdot S \cdot L \text{ кВт}\cdot\text{ч}/10 \text{ лет}, \quad (3)$$

где $S = 361 \cdot 10^{12} \text{ м}^2$ – площадь зеркала МО; $L = 83,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ – удельная теплота фазового перехода в системе «лед – вода». Подставляя в (3) известные физические параметры, получаем функцию

$$\Delta h_{\text{л}} = 33,1 \cdot 10^{-15} \cdot \Delta Q_{\text{л}} \text{ (мм}/10 \text{ лет)}, \quad (4)$$

где $\Delta Q_{\text{л}}$ – количество тепла, идущее на таяние льдов (кВт·ч).

В период 2010–2020 гг. на таяние объема 5200 км^3 материковых льдов потребовалось $\Delta Q_{\text{л}} = 0,39 \cdot 10^{15} \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ тепловой энергии, что составляет около 1 % от аккумулированной в этот период КС Земли энергии $\Delta Q_{\text{КС}} = 38,3 \cdot 10^{15} \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ парниковой тепловой энергии. В этот период КС Земли получила от растаявших материковых льдов всего 1 % тепла фазового перехода, в то время как приращение уровня МО за счет образовавшихся талых вод составило 30 %. В ОД-6 [3] указывается, что на весь лед земной поверхности расходуется примерно 2,7 % от общей накопленной парниковой КС Земли тепловой энергии $Q_{\text{КС}}$, из чего следует, что оставшаяся доля 1,7 % от $Q_{\text{КС}}$ расходуется на таяние арктического морского льда. По прогнозам, арктический морской лед во второй половине XXI в. будет в летние месяцы полностью отсутствовать [4].

Таяние материковых льдов происходит за счет прямого контакта поверхности льдов с нагревающимся приземным слоем атмосферного воздуха ТАТ. Процесс таяния льдов является градиентным процессом, поэтому он в первую очередь определяется средней температурой омывающего его поверхность воздуха, то есть средней температурой глобального потепления.

Поверхность льдов, на которой происходит фазовый переход, имеет постоянную температуру $0 \text{ }^\circ\text{C}$, в то время как воздух с каждым 10-летием все более нагревается. По мере потепления приземного слоя атмосферы увеличивается градиент температуры на границе фазового перехода «лед – вода», отчего пропорционально увеличивается скорость таяния материковых льдов и поступление талой воды в МО. В 2020 г. при температуре ТАТ = $1,16 \text{ }^\circ\text{C}$ растаяло около $V_{\text{л}} = 520 \text{ км}^3$ материковых льдов, откуда получаем функцию роста уровня МО за счет вклада вод от таяния материковых льдов:

$$\Delta h_{\text{л}} = 11,2 \cdot \text{ТАТ} \text{ (мм}/10 \text{ лет)}, \quad (5)$$

где ТАТ – средняя температура за расчетные 10 лет.

При современных параметрах орбиты Земли, когда планета находится в комфортном для жизни состоянии межледникового периода, зависимость максимального глобального потепления приземного слоя атмосферы T_{\max} от содержания выбросов антропогенных ПГ в атмосфере K определяется функцией [5]

$$T_{\max} = (20,9 \cdot 10^{-3}K - 12,3 \cdot 10^{-6}K^2) \text{ град}, \quad (6)$$

где K (ppm-eq) – объемное содержание в атмосфере антропогенных выбросов ПГ.

Из (6) следует, что при концентрации антропогенных ПГ в атмосфере $K = 850$ ppm-eq наступает «парниковое насыщение» атмосферы, при котором соответствующий максимально возможный вклад антропогенных ПГ в глобальное потепление составляет $T_{\max} = 8,9$ °С. Следует отметить, что основная цель Парижского Соглашения (ПС) по долговременному удержанию глобального потепления в пределах +2 °С является нереальной. Намеченная ПС ограничительная температурная отметка глобального потепления +2 °С будет преодолена в 2070 г. [6]. Из функции (6) следует, что температуру глобального потепления +2 °С можно было удержать в долговременном плане, если бы человечество обеспечило углеродную нейтральность в 1985 г., когда концентрация антропогенных ПГ в атмосфере не превышала 100 ppm-eq.

Продолжительность таяния льдов определяется продолжительностью роста температуры глобального потепления ТАТ до достижения ею максимального значения T_{\max} (6). Эта температура соответствует радиационно-равновесному состоянию КС Земли. Через некоторое время после достижения температуры T_{\max} установится материально-вещественный баланс между массой растаявшего льда и массой накопленных на поверхности льдов снежных осадков.

Основной вклад в рост уровня МО Δh обеспечивает тепловое расширение нагреваемой воды. Для нахождения функции связи между поглощением тепла МО и ростом его уровня необходимо знать среднее значение коэффициента β теплового расширения вод МО, который изменяется в широких пределах и зависит от температуры воды и давления. Физическая сущность этого коэффициента выражена зависимостью

$$\beta = \Delta V / V \cdot \Delta T \text{ град}^{-1}, \quad (7)$$

где $\Delta V = \Delta h_{\text{в}} \cdot S$ – увеличение объема воды за счет ее теплового расширения; $\Delta h_{\text{в}}$ – рост УМО за счет теплового расширения воды; S – площадь зеркала МО; V – объем нагретой воды; ΔT – изменение температуры воды.

Количество накопленного водами МО тепла определяется выражением

$$\Delta Q_{\text{в}} = \Delta T \cdot m \cdot C_{\text{в}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (8)$$

где $m = V \cdot \rho$ – масса нагретой воды (т); ρ – плотность воды (т/м³); $C_{\text{в}} = 1,16$ кВт·ч/т·град – удельная теплоемкость воды.

Подставляя сюда выражение (7), получаем функцию связи между физическими параметрами, характеризующими процесс нагревания воды МО:

$$\Delta Q_{\text{В}} = \Delta h_{\text{В}} \cdot S \cdot \rho \cdot C_{\text{В}} / \beta, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / 10 \text{ лет}. \quad (9)$$

Для периода 2010–2020 гг. из натуральных данных известны значения накопленного водами МО тепла $\Delta Q_{\text{В}}$ (см. рис. 1) и роста уровня МО за счет теплового расширения воды $\Delta h_{\text{В}}$ (см. рис. 2). Из функции (9) находим среднее эффективное значение коэффициента теплового расширения воды МО в условиях наблюдаемого глобального потепления: $\beta = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$. При известном коэффициенте β получаем функцию зависимости вклада теплового расширения воды от накопленной тепловой энергии климатической системой (КС) Земли за расчетный 10-летний период:

$$\Delta h_{\text{В}} = 0,75 \cdot 10^{-15} \cdot \Delta Q_{\text{КС}} \text{ (мм/10 лет)}, \quad (10)$$

где $\Delta Q_{\text{КС}}$ (кВт·ч/10 лет) – накопленная КС Земли тепловая энергия за расчетный 10-летний период, определяемая функцией (1). Формула (10) справедлива при следующем примерном соотношении тепла, накопленного МО $Q_{\text{МО}}$, и тепла, накопленного в КС Земли: $\Delta Q_{\text{В}} = 0,91 \cdot \Delta Q_{\text{КС}}$.

При известных слагаемых $\Delta h_{\text{Л}}$ (5) и $\Delta h_{\text{В}}$ (10) выражение (2), определяющее скорость роста уровня МО, можно представить в развернутом виде:

$$\Delta h = 11,2 \cdot \text{TAT} + 0,75 \cdot 10^{-15} \cdot \Delta Q_{\text{КС}} \text{ (мм/10 лет)}, \quad (11)$$

где $\Delta Q_{\text{КС}}$ – тепловая энергия, накопленная КС Земли в расчетный 10-летний период; TAT – средняя температура за расчетные 10 лет.

Функция (11) определяет общий рост уровня МО как сумму долей участия притока талых вод (первое слагаемое) и теплового расширения воды (второе слагаемое). Функцию общего роста уровня МО можно также определить из натуральных данных, полученных за период 1970–2020 гг. (см. табл.). За этот период КС Земли получила $\Delta Q_{\text{КС}} = 127 \cdot 10^{15}$ кВт·ч парниковой тепловой энергии, за счет чего уровень МО поднялся на 136 мм. В результате получаем линейную зависимость общего роста уровня МО от накопленной КС Земли парниковой тепловой энергии:

$$\Delta h = 1,07 \cdot 10^{-15} \cdot \Delta Q_{\text{КС}} \text{ (мм/10 лет)}. \quad (12)$$

Представляет интерес вопрос о том, насколько чувствительна реакция уровня МО на поступление одного и того же количества тепла отдельно материковым льдам и отдельно водам МО, когда $\Delta Q_{\text{Л}} = \Delta Q_{\text{В}}$. При этом условии из выражений (4) и (10) находим $\Delta h_{\text{Л}} = 47 \cdot \Delta h_{\text{В}}$ мм/10 лет, из чего следует вывод: при получении одинакового количества тепла талые воды материковых льдов почти в 47 раз сильнее поднимали бы уровень МО по сравнению с нагреваемой водой. Это означает, что в будущем для эффективного торможения роста уровня МО следует максимально препятствовать поступлению тепла материковым льдам, используя различные технологические приемы.

Около 56 % антропогенных выбросов CO₂ поглощают суша и МО, в котором растворено около 800 млрд т этого антропогенного газа. Закисление вод МО выбросами CO₂ приводит к устойчивому снижению показателя pH морских вод: с 1990 г. он снизился с 8,11 до 8,05 и уменьшается на 0,022/10 лет. С начала XXI в. увеличивается доля площади МО с волнами экстремальной морской жары. В 2019 г.⁴ волны жары наблюдались на 57 % поверхности МО [7]. Глобальное потепление увеличивает площадь МО с поверхностной температурой 27 °С, что увеличивает число термических депрессий и зон пониженного атмосферного давления, которые обеспечивают возникновение тропических циклонов (ТЦ). Теплая вода действует как мощный аккумулятор, из которого ТЦ черпают энергию. Циклоны как крупномасштабная разновидность конвекции в атмосфере способствуют ускоренному переносу накопившегося избыточного тепла из низких широт в высокие широты. В частности, тепло из большой площади тропиков глобально распределяется по меньшей площади приполярных областей. Площадь области годового стока тепла, переносимого конвективными потоками, почти в три раза меньше площади областей его источников. Частота и энергия циклонов, являющихся причинами гидрометеорологических стихийных бедствий, по мере глобального потепления увеличиваются [8].

Климатического суверенитета не может быть: ураганы, засухи, ливни, наводнения, волны жары, лесные пожары, деградация вечной мерзлоты, рост уровня МО и другие природные стихийные бедствия не знают границ. Перед современным человечеством стоит выбор: бороться или не бороться с глобальным изменением климата. По этому вопросу в сегодняшнем мире нет глобального климатического единства.

Можно не бороться с глобальным потеплением, продолжать использовать ископаемое топливо (ИТ) в прежнем объеме, при этом не испытывать дефицита энергии и таким образом оставаться гуманным по отношению к сегодняшнему населению Земли, но не быть гуманным по отношению к будущим поколениям, которым придется жить на максимально разогретой планете.

Можно проявить гуманность к будущим поколениям и бороться с потеплением: активно проводить декарбонизацию энергетики, исключить из использования ИТ, обречь современную цивилизацию на жизнь с дефицитом энергии во имя того, чтобы будущие еще не родившиеся жители Земли в XXII в. не жили в условиях невыносимой жары.

⁴ The heat is insurability and Resilience in a Changing Climate Emerging Risk Initiative-Position Paper/Group Chief Risk Officer (CRO). January.2019. 28. Laboratoire d'Etudes en Geophysique et Oceanographie Spatiales (LEGOS); data from AVISO altimetry (<https://www.aviso.altimetry.fr>).

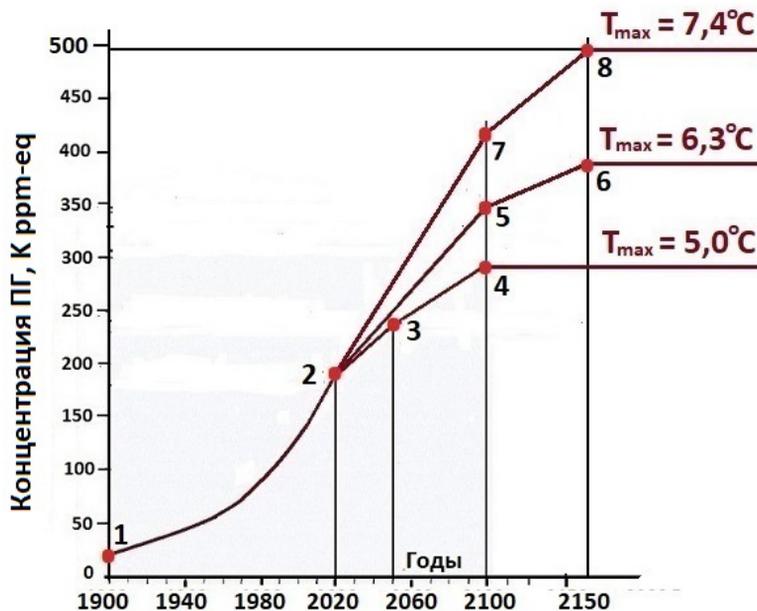


Рис. 3. Рост концентрации антропогенных ПГ в атмосфере:
 1-2 – реальный рост до 2020 г.; 2-3-4 – интенсивный сценарий; 2-5-6 – умеренный сценарий;
 2-7-8 – консервативный сценарий
 Источник: составлено авторами.

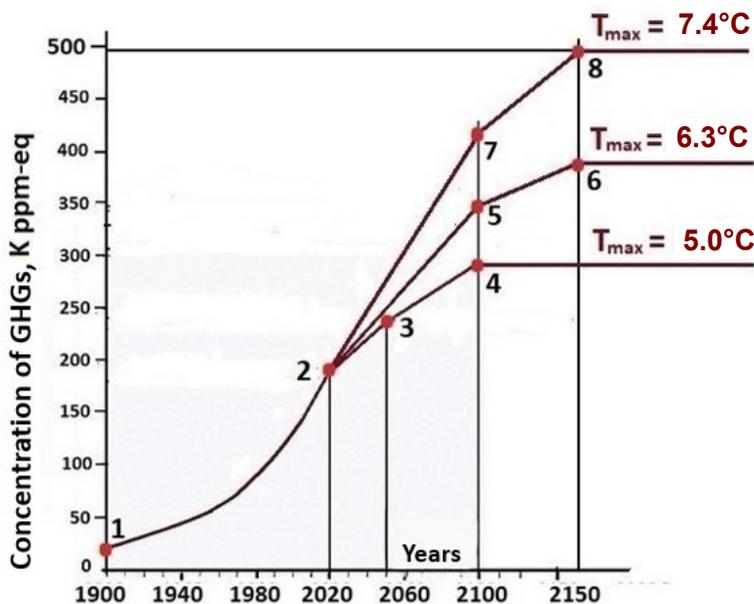


Figure 3. Graphs of growth in the concentration of anthropogenic GHGs in the atmosphere:
 1-2 – real growth before 2020; 2-3-4 – intensive scenario; 2-5-6 – moderate scenario;
 2-7-8 – conservative scenario
 Source: compiled by the authors.

На рис. 3 приведены графики роста концентрации антропогенных ПГ в атмосфере для трех возможных сценариев декарбонизации энергетики: интенсивный, умеренный и консервативный. При интенсивном сценарии выбросы CO_2 обнуляются к 2100 г., при умеренном и консервативном сценариях углеродная нейтральность достигается к 2150 г. при разных темпах снижения выбросов.

Конечно, человечество не согласится вернуться к лучине, но будет вынуждено идти на компромисс и реализовать один из сценариев декарбонизации энергетики. Приходит понимание того, что заканчивается пора безудержного роста использования природных ресурсов. Эта пора заканчивается не только из-за необходимости смягчить опасные последствия ГИК, но и от того, что к концу XXI в. ИТ может закончиться и его следует постепенно замещать альтернативными источниками энергии.

Результаты и последствия сокращения выбросов ПГ можно будет увидеть только через много лет из-за инертности климатической системы (КС) Земли. На рис. 4 представлены расчетные графики продолжительности достижения максимальной температуры глобального потепления T_{\max} (б) для каждого из трех сценариев борьбы с изменением климата. При достижении в 2100 г. углеродной нейтральности и постоянном значении концентрации $K = 292$ ppm-eq (интенсивный сценарий) потепление будет продолжаться еще 170 лет до достижения температуры $T_{\max} = 5^\circ\text{C}$ (график 1-1). Это лучшие климатические условия, которые может обеспечить современная цивилизация будущим еще не родившимся жителям планеты Земля. Однако реализовать этот сценарий быстрого отказа от ископаемого топлива, замещения его ВИЭ и обеспечения к 2100 г. углеродной нейтральности, скорее всего, не удастся по многим причинам и негативным социально-экономическим последствиям.

Если будущему человечеству после реализации умеренного сценария удастся к 2150 г. обеспечить углеродную нейтральность при $K = 390$ ppm-eq, то глобальное потепление будет продолжаться до 2340 г. до достижения температуры $6,3^\circ\text{C}$ (кривая 2-2). При консервативном сценарии снижения выбросов при накоплении в атмосфере концентрации $K = 497$ ppm-eq потепление будет продолжаться до 2400 г. до достижения радиационно-равновесного состояния при $7,4^\circ\text{C}$ (кривая 3-3). Таким образом, даже при интенсивном сценарии декарбонизации в ближайшие 100 лет мир будет идти по траектории повышения глобальной температуры на $4\text{--}5^\circ\text{C}$.

На рис. 5 представлены расчетные графики роста уровня МО для умеренного сценария декарбонизации. Интенсивность роста уровня МО от таяния льдов (график 1) носит линейный характер, потому что определяется интенсивностью роста глобальной температуры, которая растет с постоянным приращением $0,175^\circ\text{C}/10$ лет. Интенсивность роста уровня МО за счет теплового расширения воды (график 2) нелинейная, потому что определяется интенсивностью поглощения океаном тепла, которая определяется параболической зависимостью (см. рис. 1).

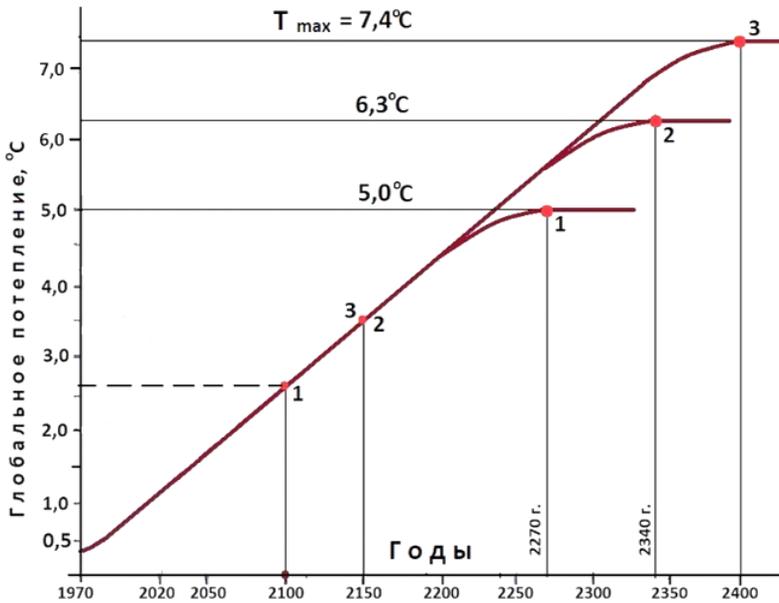


Рис. 4. Продолжительность роста температуры глобального потепления до достижения климатической системой Земли состояния радиационного равновесия для трех возможных сценариев обеспечения углеродной нейтральности: график 1-1 – интенсивный сценарий при $K = 292 \text{ ppm-eq}$; график 2-2 – умеренный сценарий при $K = 390 \text{ ppm-eq}$; график 3-3 – консервативный при $K = 497 \text{ ppm-eq}$
 Источник: составлено авторами.

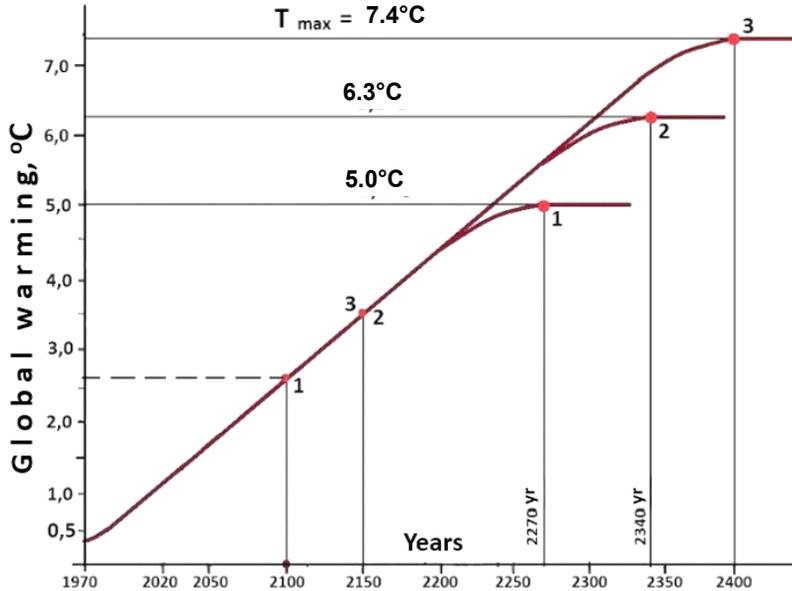


Figure 4. Graphs of the duration of global warming temperature increase until the Earth's climate system reaches a state of radiative equilibrium for three possible scenarios of ensuring carbon neutrality: graph 1-1 – intensive scenario at $K = 292 \text{ ppm-eq}$; graph 2-2 – moderate scenario at $K = 390 \text{ ppm-eq}$; graph 3-3 – conservative scenario at $K = 497 \text{ ppm-eq}$
 Source: compiled by the authors.

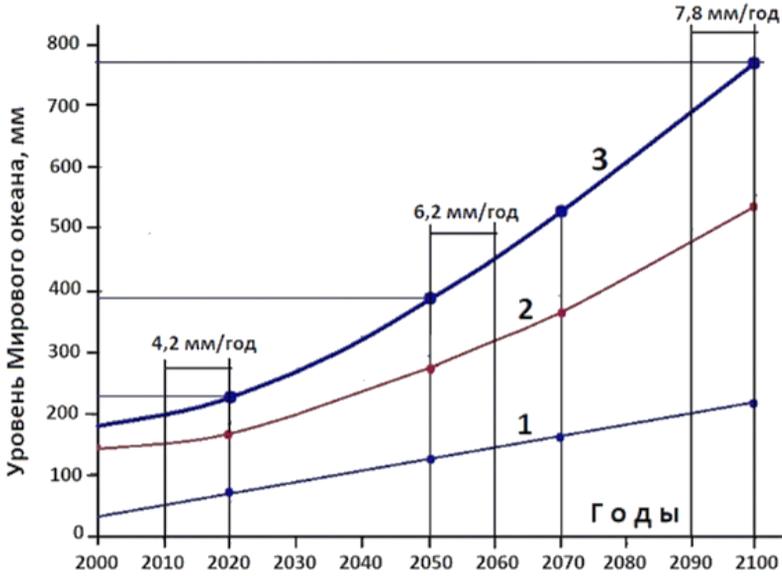


Рис. 5. Рост уровня МО, вызванного глобальным потеплением, при умеренном сценарии декарбонизации до 2100: 1 – рост за счет таяния материковых льдов; 2 – рост за счет теплового расширения воды МО; 3 – общий рост уровня
 Источник: составлено авторами.

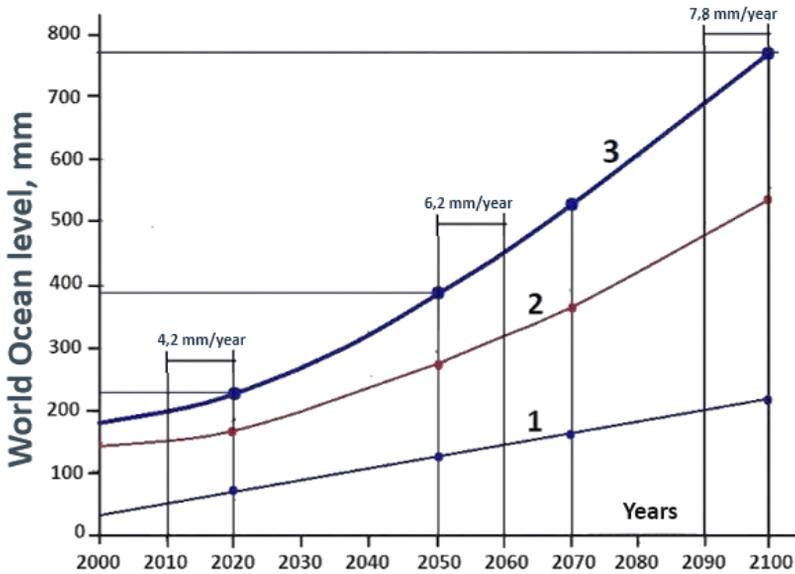


Figure 5. Graphs of the sea level rising caused by global warming under the moderate decarbonization scenario: 1 – growth caused by continental ice melting; 2 – growth caused by sea water thermal expansion; 3 – general level growth
 Source: compiled by the authors.

Доля участия талых вод в росте уровня МО растет, так как льды реагируют на повышение температуры атмосферы мгновенно, а МО прогревается медленно. Вклад талых вод материковых льдов в общий рост 3 уровня МО увеличивается от 19 % в 2020 г. до 27 % в 2100 г. При этом вклад талых вод в

увеличение уровня МО в каждом отдельном расчетном 10-летии постепенно увеличивается от 29 % в 2020 г. до 32 % в 2100 г. Общий рост уровня МО (график 3) увеличится от современного значения 232 мм до 780 мм в 2100 г. Подобная перспектива требует строительства новых и увеличения высоты действующих береговых защитных гидротехнических сооружений во всем мире.

На рис. 6 представлены графики роста уровня МО для трех сценариев снижения выбросов CO_2 и достижения углеродной нейтральности. Каждый сценарий характеризуется своей продолжительностью глобального потепления и своей максимальной температурой глобального потепления (см. рис. 4). При консервативном сценарии потепление будет продолжаться до 2400 г., пока Земля не нагреется до $7,4^\circ\text{C}$, при этом уровень МО поднимется почти на 2,51 м. При умеренном сценарии декарбонизации КС Земли придет в равновесное состояние в 2340 г., нагревшись до $6,3^\circ\text{C}$. Наилучший результат с наименьшими последствиями обеспечивает интенсивный сценарий декарбонизации, при котором радиационное равновесие наступит в 2270 г., глобальное потепление составит 5°C , уровень МО поднимется на 1,15 м.

Нагревание атмосферы имеет следующую особенность: по мере глобального потепления количество тепловой энергии, накопленной в атмосфере в каждом расчетном 10-летнем периоде, уменьшается относительно накопленной тепловой энергии КС Земли в целом. В результате при умеренном темпе декарбонизации к 2340 г., когда Земля вернется к радиационно-равновесному состоянию при $T_{\max} = 6,3^\circ\text{C}$, доля полученного атмосферой парникового тепла составит всего 0,5 % от общего тепла, полученного КС Земли.

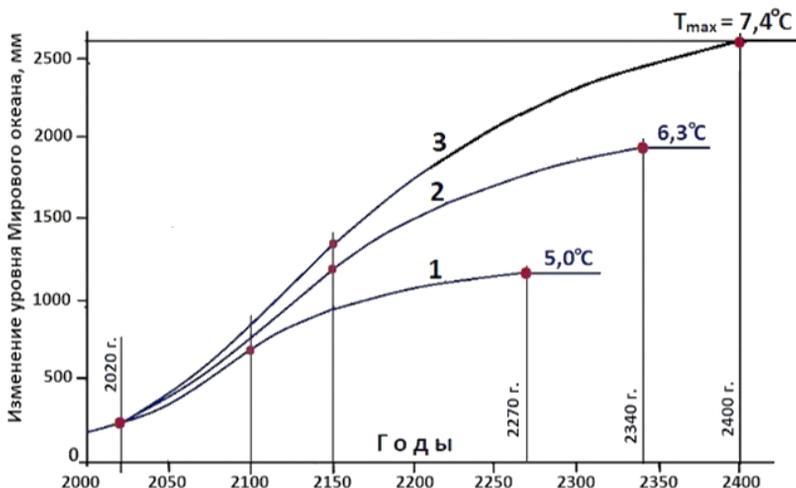


Рис. 6. Рост уровня Мирового океана для трех сценариев снижения выбросов CO_2 и достижения углеродной нейтральности: 1 – интенсивный при достижении нулевых выбросов в 2100 г.; 2 – умеренный при достижении нулевых выбросов в 2150 г.; 3 – консервативный при достижении нулевых выбросов в 2150 г.

Источник: составлено авторами.

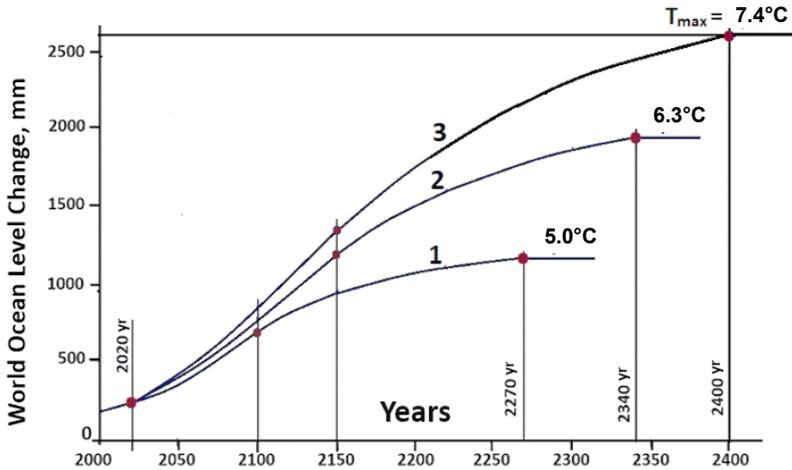


Figure 6. The sea level rising for three scenarios of reducing CO₂ emissions and achieving carbon neutrality: 1 – intensive scenario with achieving zero emissions in 2100; 2 – moderate scenario with achieving zero emissions in 2150; 3 – conservative scenario with achieving zero emissions in 2150
Source: compiled by the authors.

Выводы

Процессы испарения и таяния препятствуют быстрому нагреванию планеты, ограничивая темп глобального потепления приземного слоя атмосферы в пределах 0,17–0,18 °C/10 лет.

Единица тепловой энергии, пошедшая на таяние материковых льдов, в 47 раз больше поднимает уровень МО, чем единица тепловой энергии, пошедшая на нагревание вод МО. Каждые 400 км³ растаявших материковых льдов поднимают уровень МО на 1 мм. Для торможения роста уровня МО следует препятствовать поступлению тепла к материковым льдам, используя различные технологические приемы.

В современных условиях глобального потепления на таяние материковых льдов расходуется около 1 % от полученной климатической системой Земли тепловой энергии, в то время как образующиеся при этом талые воды обеспечивают подъем уровня Мирового океана (МО) на 30 %. Вклад талых вод в рост уровня МО пропорционален текущему значению средней приземной температуры атмосферы ТАТ в рассматриваемый расчетный период и определяется функцией (5).

В данных условиях эффективное значение коэффициента теплового расширения вод МО примерно равно $\beta = 3,5 \cdot 10^{-4}$ град⁻¹. Вклад теплового расширения воды в рост уровня МО пропорционален текущему значению поглощенной Землей парниковой тепловой энергии $Q_{\text{кс}}$ и определяется функцией (10).

Общий рост уровня МО может быть определен как линейная функция от накопленной климатической системой Земли парниковой тепловой энергии (12).

Декарбонизацию мировой энергетики следует осуществлять не только из-за необходимости смягчить опасные последствия изменения климата, но и потому, что к концу XXI в. геологические запасы ископаемого топлива могут быть исчерпаны и их следует постепенно замещать альтернативными источниками энергии.

Лучшие климатические условия, которые человечество может обеспечить будущим поколениям, могут быть реализованы при интенсивном сценарии декарбонизации и достижении в 2100 г. углеродной нейтральности при концентрации антропогенных парниковых газов (ПГ) $K = 292$ ppm-eq. В таком случае глобальное потепление будет продолжаться до 2270 г. до достижения Землей радиационно-равновесного состояния при температуре $T_{\max} = 5$ °C, при которой уровень МО поднимется на 1150 мм.

Основная цель Парижского Соглашения по долговременному удержанию глобального потепления в пределах +2 °C является нереальной. В соответствии с функцией (6) температуру глобального потепления +2 °C можно было удержать в долговременном плане при условии, если бы человечество обеспечило углеродную нейтральность в 1985 г., когда концентрация антропогенных ПГ в атмосфере не превышала 100 ppm-eq.

При умеренном сценарии декарбонизации глобальное потепление в 2100 г. составит 2,6 °C, а общий рост уровня МО составит примерно 780 мм, из которых на долю поступивших талых вод будет приходиться около 210 мм.

При умеренном и консервативном сценариях декарбонизации климатические условия для будущих поколений окажутся намного более тяжелыми. При умеренном сценарии максимальная расчетная глобальная температура составит 6,3 °C, а уровень МО поднимется на 1960 мм, при консервативном сценарии, соответственно, 7,4 °C и 2480 мм.

В ситуации неизбежности глобального потепления первоочередным способом борьбы за сохранение комфортного существования человечества на нагревающейся планете должны стать меры по адаптации жизненного пространства к изменению климата. Именно такие необходимые действия предусматривает Климатическая Доктрина РФ (п. 22), чтобы минимизировать грядущие катастрофические последствия глобального потепления на территории России.

Список литературы

- [1] Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Корнева И.А., Самохина О.Ф., Антипина У.И. Особенности температурного режима поверхности Земли в 2019 г. // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2020. № 1. С. 91–123. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2024-2-288-323>
- [2] Тетельмин В.В. Энергетический анализ особенностей глобального потепления и его последствий // *Вестник Российской академии естественных наук*. 2023. № 3. Т. 23. С. 91–99.
- [3] King M.D., Howat I.M., Candela S.G., Noh M. J., Jeong S., Noël B.P.Y., Broeke M.R. van den, Wouters B., Negrete A. Dynamic ice loss from the Greenland Ice Sheet driven by sustained glacier retreat // *Communications Earth & Environ*. 2020. No. 1. P. 1–7. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-0001-2>.

- [4] Тетельмин В.В. Расчет глобального потепления и его последствий для трех возможных сценариев декарбонизации энергетики // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2024. № 1. С. 34–42.
- [5] Тетельмин В.В. Формула максимального глобального потепления. // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. № 1. Т. 30. С. 45–57.
- [6] Тетельмин В.В. Расчетное подтверждение недостижимости климатических целей Парижского соглашения // Экология промышленного производства. 2024. № 2. С. 58–63.
- [7] Tanaka K.R., Van Houtan K.S. The recent normalization of historical marine heat extremes. // Maite de Castro. University of Vigo. Spain: PLOS Clim, 2022. 13 p. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm0000007>
- [8] Мохов И.И. Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // Вестник РАН. 2022. Т. 92. № 1. С. 3–14.

References

- [1] Gruza GV, Rankova EY, Korneva IA, Samokhina OF, Antipina UI. Features of the temperature regime of the Earth's surface in 2019. *Fundamental and Applied Climatology*. 2020;1:91–123. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2024-2-288-323>
- [2] Tetelmin VV. Energy analysis of the features of global warming and its consequences. *Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2023;3(23):91–99.
- [3] King MD, Howat IM, Candela SG, Noh MJ, Jeong S, Noel BPY, Broeke MR, Wouters B, Negrete A. Dynamic Ice Loss from the Greenland Ice Sheet Driven by Sustained Glacier Retreat. *Communications Earth & Environ*. 2020;1:1–7. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-0001-2>
- [4] Tetelmin VV. Calculation of global warming and its consequences for three possible scenarios of energy decarbonisation. *Use and protection of natural resources in Russia*. 2024;1:34–42.
- [5] Tetelmin VV. Formula of maximum global warming. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and life safety*. 2022;1:45–57.
- [6] Tetelmin VV. Calculated confirmation of unattainability of climate goals of the Paris Agreement. *Ecology of industrial production*. 2024;2:58–63.
- [7] Tanaka KR, Van Houtan KS. The recent normalization of historical marine heat extremes. *Maite de Castro. University of Vigo. Spain: PLOS Clim*; 2022. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm0000007>
- [8] Mokhov II. Climate change: causes, risks, consequences, problems of adaptation and regulation. *Vestnik RAS*. 2022;92(1):3-14.

Сведения об авторе:

Тетельмин Владимир Владимирович, академик РАН, член Общественного совета при Минэнерго РФ, доктор технических наук, профессор, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. SPIN-код: 54521315. E-mail: v-tetelmin@rambler.ru

Bio note:

Vladimir V. Tetelmin, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, member of the Social Council at the Ministry of Energy of the Russian Federation, D.Sc. in Engineering, Professor, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. SPIN-code: 54521315. E-mail: v-tetelmin@rambler.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-3-251-258

EDN: ZXAZWY

УДК 582.284:612.396.11:574(045)

Научная статья / Research article

Оценка влияния полисахарида вешенки обыкновенной на устойчивость растений к токсическому воздействию нефтезагрязнений методом биотестирования

Е.А. Логачева^{ORCID}, О.О. Бабичева[✉], Л.В. Карпунина^{ORCID}

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Российская Федерация

✉olesya.sultanova.98@mail.ru

Аннотация. В настоящее время во многих странах мира возрос интерес к поиску и изучению биологически активных соединений среди высших базидиомицетов. Полисахариды базидиомицетов находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Традиционно использование базидиомицетов проводится по трем основным направлениям: фармацевтическое, пищевое и экологическое. В связи с этим потребность в этих биополимерах неуклонно возрастает и требует изучения свойств перспективных полисахаридов грибного происхождения. На сегодняшний день внедрение их в производство является актуальной задачей современной биотехнологии.

Ключевые слова: базидиомицеты, вешенка обыкновенная, полисахариды, нефтезагрязнения, всхожесть, энергия прорастания

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

История статьи: поступила в редакцию 10.05.2023; доработана после рецензирования 12.10.2023; принята к публикации 20.04.2024.

Для цитирования: Логачева Е.А., Бабичева О.О., Карпунина Л.В. Оценка влияния полисахарида вешенки обыкновенной на устойчивость растений к токсическому воздействию нефтезагрязнений методом биотестирования // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 3. С. 251–258. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-251-258>

© Логачева Е.А., Бабичева О.О., Карпунина Л.В., 2024



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

Evaluation of the effect of oyster mushroom polysaccharide on the resistance of plants to the toxic effects of oil pollution by biotesting

Ekaterina A. Logacheva^{ORCID}, Olesya O. Babicheva[✉], Lidia V. Karpunina^{ORCID}

*Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering
named after N.I. Vavilov, Saratov, Russian Federation*
✉olesya.sultanova.98@mail.ru

Abstract. Currently, interest in the search and study of biologically active compounds among higher basidiomycetes has increased in many countries of the world. Polysaccharides of basidiomycetes are widely used in various sectors of the national economy. Traditionally, the use of basidiomycetes is carried out in three main areas: pharmaceutical, food and environmental. In this regard, the need for these biopolymers is steadily increasing and requires the study of the properties of promising polysaccharides of fungal origin. To date, their introduction into production is an urgent task of modern biotechnology.

Keywords: Basidiomycetes, oyster mushroom, polysaccharides, oil pollution, germination, germination energy

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

Article history: received 10.05.2023; revised 12.10.2023; accepted 20.04.2024.

For citation: Logacheva EA, Babicheva OO, Karpunina LV. Evaluation of the effect of oyster mushroom polysaccharide on the resistance of plants to the toxic effects of oil pollution by biotesting *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(3):251–258. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-251-258>

Введение

Высшие грибы – базидиомицеты имеют в своем составе широкий спектр различных биологически активных веществ, таких как полисахариды, терпены, протеины, пигменты, фенольные соединения, в том числе флавоноиды и др. [1]. Среди вышеперечисленных веществ наиболее широкий спектр применения имеют полисахариды, которые являются сырьевым источником в фармацевтической, пищевой и косметологической промышленности [2–7]. Кроме того, полисахариды высших грибов активно применяются и в сельском хозяйстве. Установлено, что биопрепараты, содержащие в своем составе полисахариды, увеличивают всхожесть и энергию роста растений. Растения, обработанные препаратами на основе полисахаридов, активно поглощают воду и минеральные вещества, тем самым катализируя фотосинтетическую активность и ускоряя созревание урожая [8; 9], способствуют повышению устойчивости растений к стрессам и фитопатогенным организмам на ранних стадиях онтогенеза, а также защищают от негативного воздействия экстремальных факторов (температуры, высушивания, УФ-радиации). Целью данной работы явилось изучение защитных свойств полисахаридов высших базидиальных грибов по отношению к токсическому воздействию нефтезагрязнений, широко распространенных в урбанизированных средах.

Методы и объекты исследования

Для оценки воздействия полисахаридов высших грибов – вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*) на прорастание семян растений в условиях загрязнения нефтепродуктами методом биотестирования использовали следующие тест-объекты: райграс многоукосный (*Lolium multiflorum* L.) (семейство Злаковые), используемый в травосмесях для газонов, применяемых в озеленении городской среды [10; 11] и кресс-салат (*Lepidium sativum* L.), сорт Ажур (семейство Крестоцветные).

В качестве загрязнителя использовали бензин марки АИ-92, дизельное топливо (ДТ), моторное масло Sintec, в трех концентрациях: 1, 5, 10 %.

Опытные образцы были обработаны раствором полисахарида *P. ostreatus* 0,06 % концентрации путем замачивания на 15 минут.

По количеству проросших семян определяли энергию прорастания и всхожесть семян: у кресс-салата – на 3-й и 5-й день, у райграса на 4-й и 8-й, в соответствии с ГОСТ 32592-2013¹.

При учете энергии прорастания подсчитывали нормально проросшие и незагнившие семена, а при учете всхожести отдельно – нормально проросшие, набухшие, твердые, загнившие и ненормально проросшие семена. К числу нормально проросших относят хорошо развитые корешки, развитые и неповрежденные подсемядольное колено, две семядоли. К числу непроросших относят набухшие семена, которые к моменту окончательного учета всхожести не проросли, но имеют здоровый вид, твердые семена, которые не набухли и не изменили своего внешнего вида, в соответствии с ГОСТ 32592-2013 [12]².

Энергию прорастания V , %, определяли в процентах по формуле

$$V = \frac{a}{b} \times 100 \%,$$

где a – число проросших семян; b – общее число семян, взятых для опыта.

Для получения сопоставимых результатов по итогам тестирования рассчитывали индекс токсичности оцениваемого фактора для каждого биологического тест-объекта.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли по стандартным методам с использованием параметрического t -критерия Стьюдента (достоверными считали различия при вероятности ошибки $p < 0,05$), а также с помощью методов параметрического и непараметрического анализа с использованием пакетов прикладных программ Statistica 8.0 for Windows (StatSoft Russia) и Microsoft Office Excel 2007.

¹ ГОСТ 32592-2013. Семена овощных, бахчевых культур, кормовых корнеплодов и кормовой капусты. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. URL: [https://internet-law.ru/gosts/gost/57229/function\(\)%7Bfor\(var%20a=\[\],b=0;b%3Cthis.length;b++\)a.contains\(this\[b\]\)%7C%7Ca.push\(this\[b\]\);return%20a%7D?ysclid=izcq5c7vdw286804155](https://internet-law.ru/gosts/gost/57229/function()%7Bfor(var%20a=[],b=0;b%3Cthis.length;b++)a.contains(this[b])%7C%7Ca.push(this[b]);return%20a%7D?ysclid=izcq5c7vdw286804155) (дата обращения: 01.10.2023).

² Там же.

Результаты исследований

Изучение влияния полисахарида *P. ostreatus* на некоторые процессы жизнедеятельности райграсса многоукосного и кресс-салата проводили в смоделированных условиях техногенного загрязнения методом биотестирования [12; 13]. Полисахарид грибов выделяли по методу Т.В. Тепляковой и др.³ Для этого загрязнение создавали внесением на дно чашки Петри загрязнителя и воды в расчете: для концентрации 1 % – 0,01 загрязнителя и 1 мл воды, для концентрации 5 % – 0,05 загрязнителя и 1 мл воды, для концентрации 10 % – 0,1 загрязнителя и 1 мл воды, затем на увлажненную фильтровальную бумагу помещали изучаемые семена тест-объектов в количестве 100 шт. (по 10 в каждую).

В процессе исследований, результаты которых отражены в табл. 1, было показано, что при воздействии бензина АИ-92 разных концентраций (1, 5 и 10 %) на семена райграсса многоукосного в опытных образцах, обработанных раствором полисахарида вешенки, отмечался больший процент всхожести, превышающий контрольные значения (семена, не обработанные полисахаридом) в 1,1; 1,2 и 1,4 раза соответственно, а энергия прорастания превышала контроль в 5 раз (только при концентрации АИ-92 10 %).

Таблица 1. Влияние полисахарида вешенки на всхожесть и энергию прорастания семян райграсса в условиях загрязнения /
Table 1. Effect of oyster mushroom polysaccharide on germination and germination energy of ryegrass seeds under pollution conditions

Загрязнитель/ Pollutant	Всхожесть/Germination		Энергия прорастания/Germination energy	
	Опыт/Experience	Контроль/Control	Опыт/Experience	Контроль/Control
	<i>M±m</i>	<i>M±m</i>	<i>M±m</i>	<i>M±m</i>
АИ 92 1 %	94,0±2,0*	85,0±2,9	74,0±5,9	64,0±5,9
АИ 92 5 %	75,0±2,9*	60,0±4,5	36,0±6,6	24,0±6,1
АИ 92 10 %	40,0±4,1*	28,0±1,8	30,0±5,1*	6,0±5,0
ДТ 1 %	88,0±3,8	80,0±4,1	50,0±10,7	34,0±6,9
ДТ 5 %	60,0±2,3	56,0±8,6	34,0±5,1*	20,0±4,5
ДТ 10 %	52,0±5,5*	38,0±1,5	24,0±5,9*	10,0±3,2
Масло/ Oil 1 %	52,0±3,8	42,0±3,8	30,0±3,2*	6,0±2,5
Масло/ Oil 5 %	43,9±4,0*	30,0±4,5	16,0±2,5*	0
Масло/ Oil 10 %	14,0±4,0	4,0±1,9	4,0±2,0	0

Примечание: * $p \leq 0,05$ относительно контроля. Источник: составлено авторами.
Note: * $p < 0.05$ relative to the control. Source: compiled by the authors.

В отношении ДТ положительное влияние ПС вешенки на всхожесть было установлено только при концентрации ДТ 10 %, которая превышала контроль в 1,4 раза, а скорость прорастания в опыте была больше в 1,7 и 2,3 раза при концентрации 5 и 10 %.

В случае загрязнения маслом семян райграсса, как видно из данных табл. 1, положительное влияние ПС вешенки на всхожесть было обнаружено

³ Пат. 2657431С1 Российская Федерация, МПКА61К 36/06(2006.01), В01D 11/02(2006.01), В01J 19/10(2006.01) / Теплякова Т. В. и др.; Общество с ограниченной ответственностью «Микопро» (ООО «Микопро») (RU). № 2000131736/09; заявл. 23.10.2017.; опубл. 13.06.2018.

только при концентрации 5 % (всхожесть растений была больше по сравнению с контролем в 1,5 раза), а энергия прорастания при концентрации 1 % была больше контроля в 5 раз, а при концентрации 5 % в контроле энергия прорастания не выявлена.

В отношении семян кресс-салата результаты отражены в табл. 2, видно, что при воздействии бензина АИ-92 разных концентраций (1, 5 и 10 %) в опытных образцах, обработанных раствором полисахарида вешенки, отмечался больший процент всхожести по сравнению с контролем только в отношении 1%-й концентрации в 1,2 раза, а энергия прорастания превышала контроль в 1,6 раза при концентрации АИ-92 5 %, а при концентрации 10 % энергия прорастания была обнаружена только в опыте.

Таблица 2. Влияние полисахарида вешенки на всхожесть и энергию прорастания кресс-салата в условиях загрязнения /
Table 2. The effect of oyster mushroom polysaccharide on the germination and germination energy of watercress in polluted conditions

Загрязнитель/ Pollutant	Всхожесть/Germination		Энергия прорастания/Germination energy	
	Опыт/Experience	Контроль/Control	Опыт	Опыт/Experience
	M±m	M±m	M±m	M±m
АИ 92 1 %	95,0±4,1*	78,0±4,8	80,0±5,0	68,0±4,2
АИ 92 5 %	58,0 ±2,4	60,0±3,2	56,0±7,1*	36,0±5,1
АИ 92 10 %	50,0 ±3,1	50,0±3,2	12,0±2,5*	0
ДТ 1 %	24,0±2,5	18,0±2,5	28,0±4,2*	12,0±2,7
ДТ 5 %	16,0±2,6*	8,0±0,9	14,0±2,5	12,0±2,0
ДТ 10 %	12,0±2,6*	6,0±2,0	8,0±3,4*	0
Масло/ Oil 1 %	16,0±2,5*	10,0±4,5	14,0±5,2	8,0±3,8
Масло/ Oil 5 %	2,0±2,2	4,0±3,0	6,0±2,5*	0
Масло/ Oil 10 %	4,0±2,5	0	0	0

Примечание: * $p \leq 0,05$ относительно контроля. Источник: составлено авторами.
Note: * $p < 0.05$ relative to the control. Source: compiled by the authors.

В отношении ДТ положительное влияние ПС вешенки на всхожесть было установлено при концентрации ДТ 5 и 10 %, которая превышала контроль в 2 раза в обоих случаях, а энергия прорастания при концентрации данного загрязнителя 1 % в опыте была больше в 2,3, а при концентрации ДТ 10 % энергия прорастания была обнаружена только в опыте.

В отношении масла положительное влияние ПС вешенки на всхожесть было установлено при концентрации 1 и 5 %, которая превышала контроль в 1,6 раза, а энергия прорастания была обнаружена в опыте при концентрации 5 %.

Заключение

Таким образом, показано, что полисахариды вешенки (*P. ostreatus*) способны оказывать положительное влияние на всхожесть и энергию прорастания семян райграсса многоукосного и семян кресс-салата в условиях загрязнения. Наибольшая всхожесть при обработке семян райграсса многоукосного полисахаридом вешенки была обнаружена при загрязнении бензином

АИ-92 в концентрации 1, 5 и 10 % и ДТ – 10 %, моторным маслом Sintec – 5 %, а энергия прорастания – при загрязнении 10 % бензина АИ-92, 5 и 10 % ДТ, 1 и 5 % моторного масла Sintec; при обработке семян кресс-салата при загрязнении бензином АИ-92 в концентрации 1, 5 и 10 %, а ДТ – 10 %, моторным маслом Sintec – 1 %, а энергия прорастания – при загрязнении 10 % бензина АИ-92, 5 и 10 % ДТ, 1 и 5 % моторного масла Sintec.

Список литературы

- [1] *Simon B., Anke O.* Hydroxylated unsaturated fatty acid from cultures of a *Filoboletus* species // *Phyto-chemistry*. 1994. Vol. 3. P. 815–816.
- [2] *Белова Н.В.* Современные направления исследования и методы анализа макромицетов // *Современная микология в России: материалы 2-го съезда микологов России*. М.: Национальная академия микологии, 2008. Т. 2. 107 с.
- [3] *Лебедева Г.В., Проскуряков М.Т., Кожухова М.А.* Выделение и характеристика фермента сычужного действия из плодовых тел вешенки обыкновенной // *Пищевая химия*. 2008. № 1. С. 143–151.
- [4] *Псурцева Н.В., Белова Н.В.* Биотехнология возможности использования коллекционных культур базидиомицетов // *Биотехнология*. 1994. № 7. С. 35–45.
- [5] *Сакович В.В., Жерносеков Д.Д.* Базидиомицеты как источники биологически активных веществ // *Вестник Полесского государственного университета*. 2018. № 4. С. 145 – 151.
- [6] *Asgher M., Ashraf H.N., Legge R.L.* Use of Basidiomycetes in Industrial Waste Processing and Utilization Technologies: Fundamental and Applied Aspects // *Biodegradation*. 2008. Vol. 3. 19. P. 771–775.
- [7] *Palmieri G., Bianco C., Cennamo G.* Purification, characterization and functional role of novel extracellular protease from *Pleurotus ostreatus* // *Applied and Env. Microbiology*. 2001. Vol. 3. 67 P. 172–184.
- [8] *Горин С.Е., Свиридов А.Ф., Бабьева И.П.* Перспективы изучения внеклеточных полисахаридов дрожжей // *Микробные метаболиты*. М.: Наука, 1979. 347 с.
- [9] *Карпунина Л.В., Урядова Г.Т., Фокина Н.А.* Изучение бактерицидных и фунгицидных свойств молочнокислых бактерий // *Таврический вестник аграрной науки*. 2019. № 4 (20). С. 117–124.
- [10] *Ерема И.А., Созинов О.В.* Газоведение. Гродно: ООО «ЮрСаПринт», 2015. 56 с.
- [11] *Хисматуллин М.М., Миннулин Г.С., Сафиоллин Ф.Н.* Использование традиционных и жидких концентрированных комплексных удобрений при возделывании злаковых травосмесей с участием райграса многоукосного // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33, № 5. С. 14–17.
- [12] *Лузянин С.Л., Неверова О.А.* Биоиндикация и биотестирование состояния окружающей среды: практикум. Кемерово: КеМГУ, 2020. 135 с.
- [13] *Назаренко Н.Н., Мосиенко М.Ю.* Биоиндикация окружающей среды. Челябинск: Изд-во Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2019. 115 с.

References

- [1] *Simon B, Anke T, Sterner O.* Hydroxylated unsaturated fatty acid from cultures of a *Filoboletus* species. *Phyto-chemistry*. 1994;3:815–816.
- [2] *Belova NV.* Modern directions of research and methods of analysis of macromycetes. *Modern mycology in Russia: Materials of the 2nd Congress of mycologists of Russia*. Moscow: National Academy of Mycology; 2008; vol. 2.

- [3] Lebedeva GV, Proskuryakov MT, Kozhukhova MA. Isolation and characterization of an enzyme of rennet action from the fruit bodies of oyster mushrooms. *Food chemistry*. 2008;1:143–151.
- [4] Psurtseva NV, Belova NV. Biotechnology of the possibility of using collection cultures of basidiomycetes. *Biotechnology*. 1994;7:35–45.
- [5] Sakovich VV, Zhernosekov DD. Basidiomycetes as sources of biologically active substances. *Bulletin of the Polesky State University*. 2018;4:145–151.
- [6] Asgher M, Ashraf HN, Legge RL. Use of Basidiomycetes in Industrial Waste Processing and Utilization Technologies: Fundamental and Applied Aspects Bhatti. *Biodegradation*. 2008;19:771–775.
- [7] Palmieri G, Bianco C, Cennamo G. Purification, characterization and functional role of novel extracellular protease from *Pleurotus ostreatus*. *Applied and Env. Microbiology*. 2001;3:172–184.
- [8] Gorin SE, Sviridov AF, Bab'eva IP. Prospects for the study of extracellular polysaccharides of yeast. In: *Microbial metabolites*. Moscow: Nauka; 1979.
- [9] Karpunina LV, Uryadova GT, Fokina NA. The study of bactericidal and fungicidal properties of lactic acid bacteria. *Tauride Bulletin of Agrarian Science*. 2019;4(20):117–124.
- [10] Erema IA, Sozinov OV. *Lawn science*. Grodno: YurSaPrint; 2015.
- [11] Khismatullin MM, Minnulin GS, Safiollin FN. The use of traditional and liquid concentrated complex fertilizers in the cultivation of cereal grass mixtures with the participation of multi-corn ryegrass. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2019;33(5):14–17.
- [12] Luzyanin SL, Luzyanin SL, Neverova OA. *Bioindication and biotesting of the state of the environment: a workshop*. Kemerovo: KemGU; 2020.
- [13] Nazarenko NN, Mosienko MYu. *Bioindication of the environment*. Chelyabinsk: Izd-vo Yuzhno-Ural. gos. guman.-ped. un-ta; 2019.

Сведения об авторах:

Логачева Екатерина Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Ботаника и экология», Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Российская Федерация, 410012, г. Саратов, пр-т им. Петра Столыпина, д. 4, стр. 3. ORCID: 0009-0008-0738-9932, eLIBRARY SPIN-код: 3020-7184. E-mail: Logacheva-Katia@mail.ru

Бабичева Олеся Олеговна, аспирант, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Российская Федерация, 410012, г. Саратов, пр-т им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3. E-mail: olesya.sultanova.98@mail.ru

Карпунина Лидия Владимировна, доктор биологических наук, профессор, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Российская Федерация, 410012, г. Саратов, пр-т им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3. ORCID: 0000-0002-9985-9944, eLIBRARY SPIN-код: 4160-5383. E-mail karpuninal@mail.ru

Bio notes:

Ekaterina A. Logacheva, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Botany and Ecology, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, 4, bldg 3, Pr-kt im. Pyotr Stolypin, Saratov, 410012, Russian Federation. ORCID: 0009-0008-0738-9932, eLIBRARY SPIN-code: 3020-7184. E-mail: Logacheva-Katia@mail.ru

Olesya O. Babicheva, graduate student, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, 4, bldg 3, Pr-kt im. Pyotr Stolypin, Saratov, 410012, Russian Federation. E-mail: olesya.sultanova.98@mail.ru

Lidia V. Karpunina, Doctor of Biological Sciences, Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, 4, bldg 3, Pr-kt im. Pyotr Stolypin, Saratov, 410012, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-9985-9944, eLIBRARY SPIN-code: 4160-5383. E-mail karpuninal@mail.ru



ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

HUMAN ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-3-259-273

EDN: VNIWOW

УДК 504.75.05

Научная статья / Research article

Шумозащитная эффективность зеленых насаждений города Брянска

В.М. Нестеренко  

*Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского,
г. Брянск, Российская Федерация
 vivo.mih@gmail.com*

Аннотация. Серьезнейшим отрицательным фактором для жизнедеятельности, а еще более для рекреации человека в городских условиях является городской шум, уровень которого за последнее время значительно возрос. Не исключением является и город Брянск – административный центр Нечерноземья Российской Федерации, в котором сосредоточено большое количество парков, скверов, лесопарков. Поэтому проведение оценки физических параметров уровня шума на улицах г. Брянска достаточно актуально. В исследовании рассмотрено состояние зеленых насаждений, расположенных вблизи магистралей общегородского значения, улиц районного значения и жилых, а также способность зеленых насаждений поглощать шум. Определен допустимый уровень звука в расчетных точках и сопоставлен с нормативными критериями. Выявлены характеристики полос зеленых насаждений с наиболее эффективной шумозащитой.

Ключевые слова: шумовое загрязнение, зеленые насаждения, уровень шума, спектр шума, Нечерноземье РФ

История статьи: поступила в редакцию 10.11.2023; доработана после рецензирования 12.11.2023; принята к публикации 15.02.2024.

© Нестеренко В.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: Нестеренко В.М. Шумозащитная эффективность зеленых насаждений города Брянска // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 3. С. 259–273. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-259-273>

The effectiveness of noise protection of the green spaces of the city of Bryansk

Victoria M. Nesterenko  

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

 vivo.mih@gmail.com

Abstract. The most serious negative factor for life, and even more so for human recreation in urban conditions, is urban noise, the level of which has increased significantly recently. The city of Bryansk is also an exception – the administrative center of the Non-Chernozem region of the Russian Federation, in which a large number of parks squares, and forest parks are concentrated. The evaluation of the physical characteristics of the main noise sources forming the noise regime and the averaged sample values of noise on the streets of Bryansk is quite relevant. The study considers the condition of green spaces located near highways of citywide significance, streets of district significance and residential, as well as the ability of green spaces to absorb noise. The permissible sound level at the calculated points was determined and compared with the regulatory criteria. The characteristics of the strips of green spaces with the most effective noise protection are revealed.

Keywords: noise pollution, green spaces, noise level, noise spectrum, non-Chernozem region of the Russian Federation

Article history: received 10.11.2023; revised 12.11.2023; accepted 15.1002.2024.

For citation: Nesterenko VM. The effectiveness of noise protection of the green spaces of the city of Bryansk. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(3):259–273. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-259-273>

Введение

Экологическая ситуация крупных городов на сегодняшний день весьма далека от экологического баланса, это напрямую связано с образованием урбанизированных территорий. Изменение естественных природных ландшафтов в ходе урбанизации неизбежно ведет к образованию квазинативных сообществ или полуприродных ландшафтов. Данный процесс неразрывно связан с развитием человеческого общества и идет в ногу со всеобщей индустриализацией. Увеличение городского населения значительно ускоряет данный процесс. Во всем мире окружающая среда в настоящее время претерпевает значительные изменения, в ходе которых образуются новые

антропогенные ландшафты, которые, в отличие от естественных ландшафтов, уже не могут отвечать социально-биологическим потребностям человека¹ [1; 2].

Анализируя санитарную и экологическую обстановку урбанизированных территорий, следует отметить возрастание шумового загрязнения в жилых районах, что, в свою очередь, оказывает негативное воздействие на здоровье населения и производительность труда. Корень проблемы полностью исходит из стремительного роста транспортных потоков в городах².

Цель исследования – оценка физических характеристик основных источников шума, формирующих шумовой режим, и усредненных выборочных значений шума на улицах крупной урбоэкосистемы Брянска (Нечерноземье РФ).

Материалы и методы исследования

Изучение шумового загрязнения проходило на территории города Брянска, который является административным центром Нечерноземья РФ. Уличная сеть города была разбита на три основные группы: магистрали (улицы с высокой интенсивностью движения транспорта), районные (средняя интенсивность движения транспортного потока), жилой застройки (улицы с низкой интенсивностью движения транспорта). К улицам с высокой интенсивностью движения транспорта относятся улицы Красноармейская, Ульянова, Никитинская, проспект Московский. К улицам со средней интенсивностью движения транспортного потока – проспект Станке Димитрова, проспект Ленина, улицы 3 Июля, имени Калинина, имени Горького, имени Куйбышева, XXII съезда КПСС, Молодежная, имени Дзержинского, имени Менжинского. К улицам с низкой интенсивностью движения транспорта – улицы Советская, имени Тютчева, имени Фокина, Пролетарская. По данной уличной сети происходит наибольший поток городского транспорта.

При измерении шумового загрязнения на данных территориях были исключены дополнительные шумоизолирующие экраны, а также посторонние источники шума и отсутствие больших перепадов в рельефе местности.

В измерениях применялось два аналогичных комплекта измерительной аппаратуры. Измерения шумового загрязнения проводились при помощи шумомера ШИ-01.

В ходе измерения были отобраны участки дорог с установленным скоростным режимом и удаленностью от перекрестков на 30–50 м. Обязательным условием проведения измерений на проезжей части было отсутствие осадков и ветра со скоростью, превышающей 3 м/с, которые могут исказить достоверность проводимых измерений. Все проводимые замеры осуществлялись во время наибольшего движения транспорта.

¹ Денисов В.В., Курбатова А.С., Денисова И.А. *Экология города: учебное пособие для студентов высших учебных заведений*. М.; Ростов н/Д: МарТ, 2008. 831 с.

² Там же.

Основными критериями при выборе количества точек измерения являлись длина улицы, типы перекрестков, профиль улицы, категория транспорта.

При условии отсутствия резких перепадов высот точка измерения уровня шума находилась в середине исследуемой улицы. В случаях присутствия уклона местности точка измерения располагалась в начале подъема. В местах пересечения нескольких улиц с высоким уровнем транспортного потока измерения на таком перекрестке проводились на расстоянии 100 м от места пересечения.

Были выделены характерные по функциональному использованию территории городских садов и скверов с последующей выборкой измерений.

Измерение шумового загрязнения проходило в двух локациях: первая – область непосредственного влияния главных источников шума на исследуемой территории; вторая – область в глубине сада и сквера. Все проводимые замеры были выполнены в течение суток. В течение каждого часа было проведено 4–6 замеров, с 7 часов утра до 23 часов вечера. Вместе с тем в течение каждого получаса были выполнены выборочные замеры по установлению эквивалентных уровней звука ($L_{\text{экв}}$).

Во время выполнения замеров уровня шума, исходящего от транспортного потока, состоящего из различного вида транспорта, микрофон шумомера был расположен за пределами проезжей части на расстоянии 7,5 м от центра дороги, на высоте 1,5 м от поверхности Земли, и направлен перпендикулярно движению транспорта. Выполняющий замеры оператор был удален на расстояние вытянутой руки от микрофона шумомера, в среднем данное расстояние равнялось 0,5 м.

За время проведения шумовых измерений, а именно с 7 ч утра до 23 ч вечера, количество зафиксированных транспортных средств, движущихся в обоих направлениях, варьировалось в пределах 800–1000 единиц. Фиксация каждого замера шума проходила с интервалом в 2–3 с, независимо от наличия или отсутствия на проезжей части транспортных средств.

Анализ спектральных характеристик проводился в стандартных полосах со среднегеометрическими частотами: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Продолжительность измерения, как правило, составляла 1–2 мин, с последующим занесением данных в полевой журнал. Для выявления погрешности замеров были выполнены контрольные измерения, которые показали отклонение не более 0,5–1,5 дБА при повторных замерах.

Кроме изучения распространения уровня шума был определен состав и интенсивность движения. После определения $L_{\text{экв}}$ в каждой точке исследовалась зависимость уровня шума от удаленности источника.

Результаты и их обсуждение

На основании проведенного комплексного анализа озелененных территорий г. Брянска было установлено, что все они имеют искусственное происхождение и несут высокую рекреационную нагрузку. Видовой состав зеленых

насаждений ограничен, как правило, 2-3 видами древесных растений, занимающих доминантную позицию в общем ансамбле насаждений. Также присутствует небольшое количество некоторых видов кустарников, пересекающих дорожно-тропиночную сеть, которая составляет 30-50 % от общей площади парка или сквера.

Обследование объектов показало, что при средней плотности размещения растений 200 шт./га древесные растения на них имеют недостаточные площадь питания и пространство для формирования нормально развитой кроны, вследствие чего у растений наступает преждевременное старение, которое усугубляется отрицательным влиянием городских условий.

Представленное видовое разнообразие и структура расположения зеленых насаждений являются характерными особенностями для крупных городов. Для каждой зеленой зоны города характерно свое видовое богатство, санитарно-эстетическое состояние зеленых насаждений, конфигурация, месторасположение, площадь, а также экологическая ситуация данной зоны и другие показатели, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика объектов исследования

№ п/п	Наименование объектов исследования	Площадь объектов, м ²	Месторасположение			Состояние насаждений и дорожно-тропиночной сети
			магистраль	перекресток	жилая зона	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Сквер (ул. Красноармейская)	7200	+			Удовлетворительное
2.	Сквер имени В. Сафроновой (ул. Красноармейская)	6500	+			Удовлетворительное
3.	Сад жилой зоны (ул. Красноармейская)	8800	+			Хорошее
4.	Сквер имени Ф.И. Тютчева (проспект Ленина)	6200		+		Удовлетворительное
5.	Сквер имени Вальцевой (проспект Ленина)	3300	+			Удовлетворительное
6.	Памятник архитектуры «Покровская Гора»	6000			+	Удовлетворительное
7.	Сквер Круглый (пл. имени Карла Маркса)	10500		+		Удовлетворительное
8.	Сквер перед ТЮЗом (ул. имени Горького)	2300			+	Удовлетворительное
9.	Сквер (ул. Пролетарская)	2600			+	Удовлетворительное
10.	Сквер (пл. Славянская, ул. имени Калинина)	7400	+			Удовлетворительное
11.	Сквер имени Кравцова (ул. имени Калинина)	2300		+		Удовлетворительное
12.	Сад жилой зоны (ул. Советская)	4800			+	Удовлетворительное
13.	Сквер 3 Июля (улица 3 Июля)	5300	+			Хорошее
14.	Сквер (ул. имени Пушкина)	8200	+			Удовлетворительное
15.	Сквер у ДК имени Кравцова	10200	+			Удовлетворительное
16.	Сквер имени В.И. Ленина (ул. имени Никитина)	4200	+			Удовлетворительное
17.	Сквер у ДК имени Горького (ул. имени Никитина)	3400	+			Удовлетворительное

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
18.	Сквер (ул. имени Ульянова)	7200	+			Удовлетворительное
19.	Сквер ДК «Юность» (ул. Комсомольская)	4700			+	Удовлетворительное
20.	Сад жилой зоны (ул. Брянской Пролетарской Дивизии)	1500			+	Удовлетворительное
21.	Сквер у ДК БМЗ (ул. имени Ульянова)	7500	+			Удовлетворительное
22.	Сквер имени Фокина (ул. имени Дзержинского)	6800		+		Удовлетворительное
23.	Сквер (ул. имени Б. Хмельницкого)	3400			+	Удовлетворительное
24.	Сквер у школы № 27 (проспект Московский)	2300	+			Удовлетворительное
25.	Сквер у стадиона «Брянских партизан» (ул. имени Менжинского)	2600	+			Удовлетворительное

Источник: составлено авторами.

Table 1. Characteristics of the objects of study

№	Name objects research	Area of objects, m ²	Location			Condition of plantings and road-path network
			high-way	cross-roads	living sector	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Square (st. Krasnoarmeyskaya)	7200	+			Satisfactory
2.	Name Square V. Safronova (st. Krasnoarmeyskaya)	6500	+			Satisfactory
3.	Living area garden (st. Krasnoarmeyskaya)	8800	+			Good
4.	Name Square F.I. Tyutchev (Lenin Avenue)	6200		+		Satisfactory
5.	Name Square Valtseva (Lenin Avenue)	3300	+			Satisfactory
6.	Monument of architecture «Pokrovskaya Gora»	6000			+	Satisfactory
7.	Square Round (area named after Karl Marx)	10500		+		Satisfactory
8.	Square in front of the Youth Theater (st. named after Gorky)	2300			+	Satisfactory
9.	Square (st. Proletarskaya)	2600			+	Satisfactory
10.	Square (sq. Slavyanskaya, st. named after Kalinin)	7400	+			Satisfactory
11.	Name Square Kravtsova (st. named after Kalinin)	2300		+		Satisfactory
12.	Living area garden (st. Sovietskaya)	4800			+	Satisfactory
13.	Square 3 July (st. 3rd of July)	5300	+			Good
14.	Square (st. named after Pushkin)	8200	+			Satisfactory
15.	Square near the Kravtsov Palace of Culture	10200	+			Satisfactory
16.	Name Square V.I. Lenin (st. named after Nikitin)	4200	+			Satisfactory
17.	Square near the Palace of Culture named after Gorky (st. named after Nikitin)	3400	+			Satisfactory
18.	Square (st. named after Ulyanov)	7200	+			Satisfactory

End of Table 1

1	2	3	4	5	6	7
19.	Square near the Palace of Culture «Youth» (st. Komsomolskaya)	4700			+	Satisfactory
20.	Living area garden (st. of the Bryansk Proletarian Division)	1500			+	Satisfactory
21.	Square near the House of Culture «Bryansk Machine-Building Plant» (st. named after Ulyanov)	7500	+			Satisfactory
22.	Fokin Square (st. named after Dzerzhinsky)	6800		+		Satisfactory
23.	Square (st. named after B. Khmel'nitsky)	3400			+	Satisfactory
24.	Square near school number 27 (Moskovsky Prospect)	2300	+			Satisfactory
25.	Square near the stadium «Bryansk partisans» (st. named after Menzhinsky)	2600	+			Satisfactory

Source: compiled by the authors.

В преобладающем большинстве случаев изучаемые участки находились в удовлетворительном состоянии.

Также опытным путем был установлен уровень шума, исходящий от общего потока транспортных средств на улично-дорожной сети, а также получены усредненные выборочные значения шума на самих территориях объектов исследования.

Результаты исследования измерения шума сведены в табл. 2.

Таблица 2. Шумовая характеристика объектов исследования

№ п/п	Наименование объектов исследования	Площадь объектов, м ²	Интенсивность транспорта, авт./ч			Уровень шума, дБА		L _{экв.}
			легкового	грузового	общая	у магистрали	за зел. насаж.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Сквер (ул. Красноармейская)	7200	2164	350	2514	68 70 67	55 53 55	65
2.	Сквер имени В. Сафроновой (ул. Красноармейская)	6500	1987	275	2262	72 72 74	62 64 66	70
3.	Сад жилой зоны (ул. Красноармейская)	8800	1850	230	2080	70 71 69	55 55 53	56
4.	Сквер имени Ф.И. Тютчева (проспект Ленина)	6200	230	24	254	57 55 57	48 48 49	51
5.	Сквер имени Вальцевой (проспект Ленина)	3300	1560	85	1645	70 72 70	62 64 63	65
6.	Памятник архитектуры «Покровская Гора»	6000	50	–	50	45 40 42	30 30 30	35
7.	Сквер Круглый (пл. имени Карла Маркса)	10500	150	5	155	55 57 55	45 45 43	45

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8.	Сквер перед ТЮЗом (ул. имени Горького)	2300	150	5	155	55 55 53	45 47 45	45
9.	Сквер (ул. Пролетарская)	2600	30	–	30	53 54 52	35 35 33	35
10.	Сквер (пл. Славянская, ул. имени Калинина)	7400	1600	130	1730	75 77 75	62 64 61	63
11.	Сквер имени Кравцова (ул. имени Калинина)	2300	1565	116	1681	68 70 68	52 53 50	63
12.	Сад жилой зоны (ул. Советская)	4800	665	74	739	62 63 61	55 55 53	54
13.	Сквер 3 Июля (улица 3 Июля)	5300	1365	156	1521	68 70 68	55 57 54	62
14.	Сквер (ул. имени Пушкина)	1800	2100	300	2400	72 74 72	65 65 63	70
15.	Сквер у ДК имени Кравцова	3400	280	70	350	62 64 62	53 55 52	62
16.	Сквер имени В.И. Ленина (ул. имени Никитина)	4200	850	85	935	67 65 67	56 54 55	61
17.	Сквер у ДК имени Горького (ул. имени Никитина)	2700	1500	75	1575	70 72 70	62 64 63	63
18.	Сквер (ул. имени Ульянова)	6200	780	115	895	69 71 68	58 59 57	62
19.	Сквер у ДК «Юность» (ул. Комсомольская)	4700	340	40	380	55 57 55	44 46 44	50
20.	Сад жилой зоны (ул. Брянской Пролетар- ской Дивизии)	1500	58	–	58	45 47 45	35 35 33	42
21.	Сквер у ДК БМЗ (ул. имени Ульянова)	7500	750	45	795	72 70 74	64 63 65	65
22.	Сквер имени Фокина (ул. имени Дзержинского)	6800	1800	130	1930	75 72 74	63 62 64	65
23.	Сквер (ул. имени Б. Хмельницкого)	3400	290	10	300	62 61 63	55 55 54	58
24.	Сквер у школы № 27 (проспект Московский)	2300	1650	230	1880	73 71 72	65 63 64	70
25.	Сквер у стадиона «Брянских партизан» (ул. имени Менжинского)	2600	230	25	255	67 65 69	55 54 57	60

Источник: составлено авторами.

Table 2. Noise characteristics of research objects

№	Name objects research	Area of objects, m ²	Transport intensity, cars/hour			Noise level, dBA		L _{экв.}
			passenger	cargo	general	the highway	or green spaces	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Square (st. Krasnoarmeyskaya)	7200	2164	350	2514	68 70 67	55 53 55	65
2.	Name Square V. Safronova (st. Krasnoarmeyskaya)	6500	1987	275	2262	72 72 74	62 64 66	70
3.	Living area garden (st. Krasnoarmeyskaya)	8800	1850	230	2080	70 71 69	55 55 53	56
4.	Name Square F.I. Tyutchev (Lenin Avenue)	6200	230	24	254	57 55 57	48 48 49	51
5.	Name Square Valtseva (Lenin Avenue)	3300	1560	85	1645	70 72 70	62 64 63	65
6.	Monument of architecture «Pokrovskaya Gora»	6000	50	–	50	45 40 42	30 30 30	35
7.	Square Round (area named after Karl Marx)	10500	150	5	155	55 57 55	45 45 43	45
8.	Square in front of the Youth Theater (st. named after Gorky)	2300	150	5	155	55 55 53	45 47 45	45
9.	Square (st. Proletarskaya)	2600	30	–	30	53 54 52	35 35 33	35
10.	Square (sq. Slavyanskaya, st. named after Kalinin)	7400	1600	130	1730	75 77 75	62 64 61	63
11.	Name Square Kravtsova (st. named after Kalinin)	2300	1565	116	1681	68 70 68	52 53 50	63
12.	Living area garden (st. Sovietskaya)	4800	665	74	739	62 63 61	55 55 53	54
13.	Square 3 July (st. 3rd of July)	5300	1365	156	1521	68 70 68	55 57 54	62
14.	Square (st. named after Pushkin)	1800	2100	300	2400	72 74 72	65 65 63	70
15.	Square near the Kravtsov Palace of Culture	3400	280	70	350	62 64 62	53 55 52	62
16.	Name Square V.I. Lenin (st. named after Nikitin)	4200	850	85	935	67 65 67	56 54 55	61
17.	Square near the Palace of Culture named after Gorky (st. named after Nikitin)	2700	1500	75	1575	70 72 70	62 64 63	63
18.	Square (st. named after Ulyanov)	6200	780	115	895	69 71 68	58 59 57	62
19.	Square near the Palace of Culture «Youth» (st. Komsomolskaya)	4700	340	40	380	55 57 55	44 46 44	50

End of Table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
20.	Living area garden (st. of the Bryansk Proletarian Division)	1500	58	–	58	45 47 45	35 35 33	42
21.	Square near the House of Culture «Bryansk Machine-Building Plant» (st. named after Ulyanov)	7500	750	45	795	72 70 74	64 63 65	65
22.	Fokin Square (st. named after Dzerzhinsky)	6800	1800	130	1930	75 72 74	63 62 64	65
23.	Square (st. named after B. Khmel'nitsky)	3400	290	10	300	62 61 63	55 55 54	58
24.	Square near school number 27 (Moskovsky Prospect)	2300	1650	230	1880	73 71 72	65 63 64	70
25.	Square near the stadium «Bryansk partisans» (st. named after Menzhinsky)	2600	230	25	255	67 65 69	55 54 57	60

Source: compiled by the authors.

По результатам полученных данных были построены графики. На рис. 1 показано изменение спектров шума применительно к постоянному (*a*) и непостоянному (*b*) движению.

На рис. 2 представлены спектры частот для различного вида транспорта.

На рис. 3–5 даны спектры проявления шума в зависимости от расположения объектов исследования.

Установлено, что человек не воспринимает октавную полосу со среднегеометрической частотой 63 Гц, в связи с чем исследование по шумозащитной эффективности зеленых зон в данном диапазоне не проводилось.

Следует отметить, что исследуемые нами транспортные потоки издают шум в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 125 и 250 Гц. В связи с этим эффективность зеленых насаждений в данном диапазоне наблюдается незначительно, поскольку шумовая нагрузка от транспорта поглощается и рассеивается почвой. Особенно данное явление наблюдается при наличии пористого слоя, уровень которого может меняться за счет опавших листьев, тем самым увеличивая коэффициент поглощения.

Таким образом, тенденция уменьшения уровня звука в октавной полосе со среднегеометрической частотой 125 Гц зелеными насаждениями не наблюдается, что отображено на рис. 3–5.

Рассматривая средние значение спектра звука в диапазоне от 500–2000 Гц, наблюдается так называемый эффект «звукового окна» – область пониженной шумозащитной эффективности зеленых насаждений, данное явление наблюдается на всех обследованных участках, что также отмечено в работах других авторов [4–6 и др.].

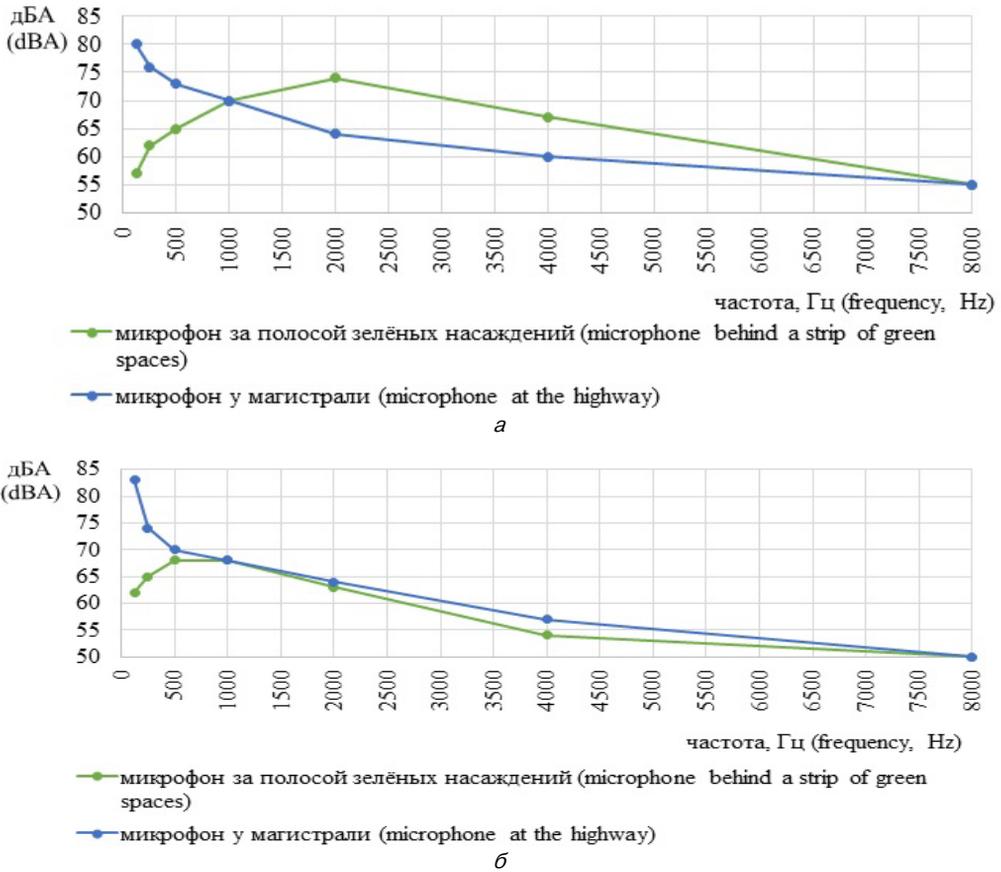


Рис. 1. Сравнение широкополосных октавных спектров шума применительно к постоянному (а) и непостоянному (б) движению.
 Источник: составлено авторами.

Figure 1. Comparison of broadband octave noise spectra in relation to constant (a) and non-constant (b) motion
 Source: compiled by the authors.

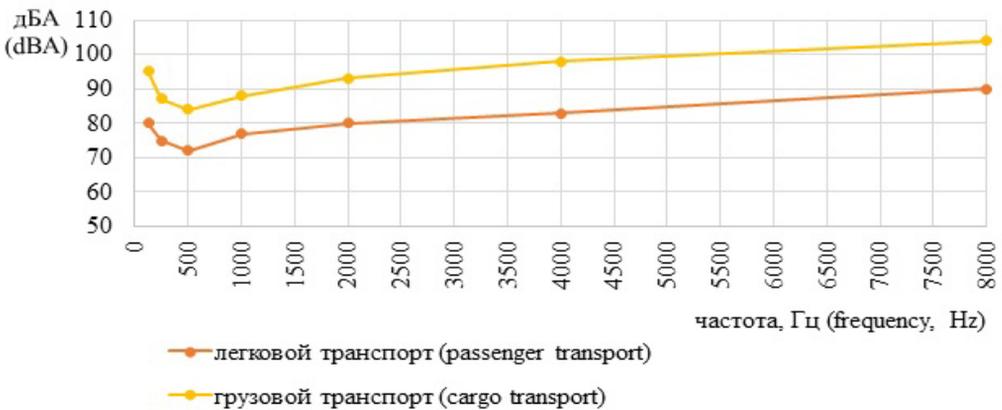


Рис. 2. Спектр октавного диапазона частоты для автотранспорта
 Источник: составлено авторами.
 Figure 2. Spectrum of the octave frequency range for motor vehicles
 Source: compiled by the authors.

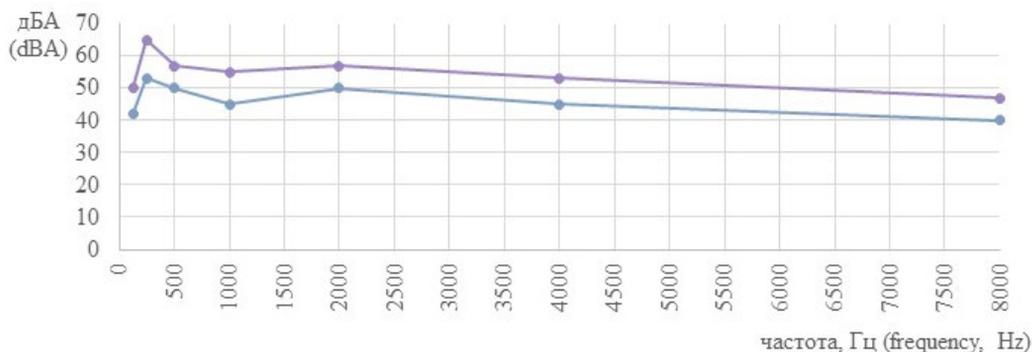


Рис. 3. Спектр проявления шума в городском сквере
Источник: составлено авторами.
Figure 3. Spectrum of noise manifestation in the city square
Source: compiled by the authors.

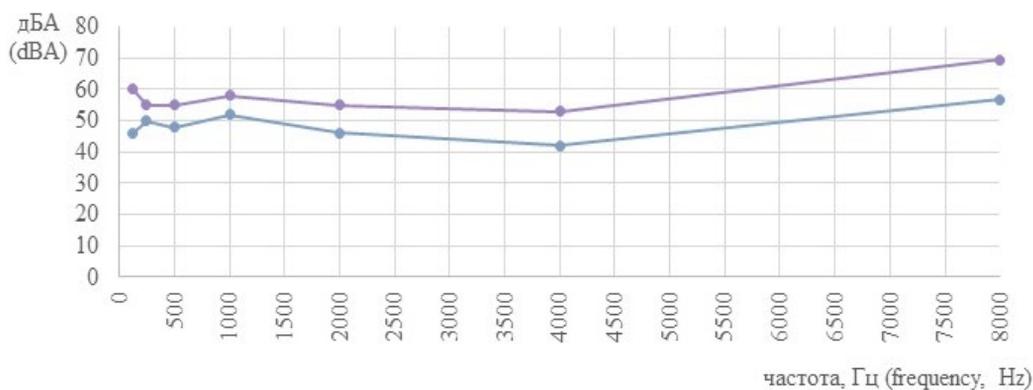


Рис. 4. Спектр проявления шума в садах жилой зоны
Источник: составлено авторами.
Figure 4. Spectrum of noise manifestation in residential area gardens
Source: compiled by the authors.

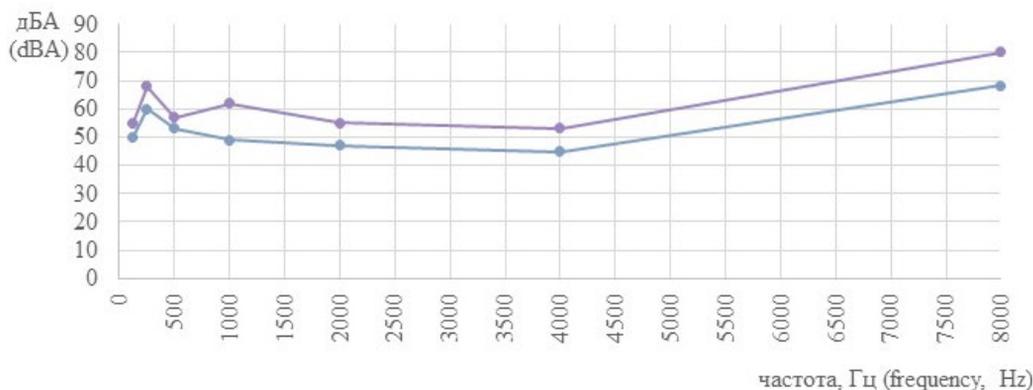


Рис. 5. Спектр проявления шума на магистрали
Источник: составлено авторами.
Figure 5. Spectrum of noise manifestation on the highway
Source: compiled by the authors.

Пониженная шумовая эффективность зеленых насаждений в диапазоне средних частот обусловлена многочисленными отражениями звука от зеленой массы деревьев, их стволов и веток. В результате рассеянный звук достигает земли, где происходят интерференционные наложения звуковых волн и, как следствие, их усиление. Таким образом, роль зеленых насаждений шириной 30–40 м в поглощении уровня шума в пределах средних частот колеблется в пределах 1–4 дБ.

Анализируя спектр звука высоких частот, наблюдается прямо пропорциональная закономерность снижения энергии как результата звукопоглощения и, как следствие, снижения уровней звука, начиная с октавной полосы со среднегеометрической частотой 2000 Гц, что приводит к увеличению эффективности зеленых насаждений в спектре высоких частот. Таким образом, даже узкие полосы зеленых насаждений имеют высокую эффективность поглощения, составляющую 5–10 дБ.

При рассмотрении спектра шумов на идентичных территориях можно наблюдать некоторые сходства в спектральных характеристиках, а именно при отсутствии зеленой биомассы наблюдаются те же закономерности, что и при ее наличии. При построении графика динамики спектральных характеристик можно отметить следующие тенденции. Первая закономерность выявлена на подъеме эффективности при частоте 250 Гц, вторая выражена в просадке шумозащитной эффективности на средних частотах, третья закономерность характеризуется увеличением шумозащитной функции на высоких частотах.

В результате изучения изменения графика спектра проявления шума высоких частот на уровне 8000 Гц в большинстве рассмотренных нами участков наблюдается снижение шумозащитной эффективности на 3,5–5,5 дБ при отсутствии зеленой биомассы насаждений. Данная закономерность позволяет говорить о влиянии биомассы зеленых насаждений на шумозащитную эффективность в высокочастотном диапазоне.

В целом изменение сезона (лето-осень) незначительно влияет на снижение уровня шума, так как происходит компенсация влияния одного фактора за счет другого. Так, в осенний период уменьшение шумозащитной эффективности из-за снижения концентрации листвы компенсируется повышенным коэффициентом поглощения почвы за счет опавших листьев. К началу вегетационного периода (весна) шумозащитная эффективность лиственной подстилки приблизилась к нулю. Наблюдается снижение эффективности зеленых зон (при ширине 20–65 м) на 2–4 дБА.

Анализируя уровень шума за зелеными полосами, различными по качеству и видовой структуре, отслеживается общая закономерность уменьшения шумозащитной эффективности на 1–3 дБА в самой удаленной точке. Наименьшая степень просадки шумозащитной эффективности, в зависимости от удаленности, наблюдается в местах наличия кустарников под кроной деревьев. Наличие разрывов в зеленых насаждениях, а также неравномерность в посадке пород снижают акустическую эффективность.

Снижение уровня шума биомассой зеленых насаждений было рассмотрено в результате исследования сезонных изменений. Все многообразие растительности в большинстве своем составляли породы древесно-кустарникового яруса лиственного типа (около 80 %). Около 20 % ассортимента растений было представлено смешанным типом. При рассмотрении эффективности зеленых полос в период отсутствия листвы наблюдается два условия: первое – отсутствие зеленой биомассы у лиственного и смешанного типа растений, а также у кустарников; второе – образование лиственной подстилки.

Снижение громкости на свободной улице вызывается наличием растительности – деревьев или кустарников, так как препятствия в звуковом поле лучше поглощают прямой луч.

На частотах в 250 Гц при густой растительности можно ожидать снижение шума примерно на 3 дБ. Однако уже при 500 Гц была обнаружена большая абсорбция (в случае если звук под углом проходит через густую листву, например живую изгородь). Тогда на участке снижение громкости, соответственно, будет от 7 до 10 дБ. Для высоких частот (1000 Гц и более) абсорбция растет в принципе гораздо сильнее. Для 1000 Гц она составляет 7 дБ, для 2000 Гц – 12 дБ и для 4000 дБ вплоть до 15 дБ на участках.

Достигнутые максимальные величины снижения звука получены при проходе звука через плотную листву. Это означает, что ряд деревьев с плотными, тесно примыкающими друг к другу кронами снижает шум уличного движения. Также можно отметить, что деревья не оказывают заметного влияния на коротком отрезке на низкие частоты уличного движения. На основном уровень шума уличного движения нельзя существенно повлиять путем глушения высоких частот, однако можно несколько изменить характер шума. Так как более низкие шумы менее неприятны, чем высокие, то озеленение благоприятно сказывается на смягчении шума уличного движения [7].

Заключение

На основании проведенного исследования следует, что совместная высадка деревьев и кустарников в общую зеленую полосу наилучшим образом оказывает влияние на снижение шумового загрязнения, пропуская шум через зеленую биомассу, поглощая его и рассеивая. Основная масса зеленых насаждений должна быть представлена деревьями и кустарниками, отличающимися высокими темпами роста. Расстояние между высаженными экземплярами растений должно быть минимально допустимым. Насаждения, занимающие кустарниковый ярус, должны плотно закрывать пустое пространство под кроной деревьев, для максимального повышения шумозащитной эффективности над поверхностью Земли. Наибольшей эффективностью будут отличаться посадки с расположением зеленых насаждений в шахматном порядке. В перспективе образования густого насаждения возможна свободная схема рассадки растений.

Список литературы

- [1] *Бондарик Г.К.* Экологическая проблема и природно-технические системы. М.: Икар, 2004. 152 с.
- [2] *Бузмаков С.А.* Антропогенная трансформация природной // Географический вестник. 2012. № 4. С. 46–50.
- [3] *Аксенов И.Я.* Транспорт и охрана окружающей среды. М.: Транспорт, 1986. 176 с.
- [4] *Карагодина И.Л.* Борьба с шумом и вибрацией в городах. М.: Медицина, 2000. 160 с.
- [5] *Крестьяшин С.И.* Проектирование зон защиты жилой застройки от шума транспортных магистралей: дис. ... канд. архитектуры. Л., 1992. 120 с.
- [6] *Осипов Г.Л.* Градостроительные меры борьбы с шумом. Стройиздат, 1975. 215 с.
- [7] *Нестеренко В.М.* Шумозащитная эффективность зеленых насаждений города Брянска // Материалы XLIV Международной научно-практической интернет-конференции «Проблемы и перспективы развития современной науки в странах Европы и Азии»: сборник научных трудов. Переяслав, 2022. С. 22–25.

References

- [1] Bondarik GK. *Ecological problem and natural-technical systems*. Moscow: Ikar; 2004 (In Russ.).
- [2] Buzmakov SA. Anthropogenic transformation of the natural environment. *Geographical Bulletin*. 2012;4:46–50. (In Russ.).
- [3] Aksenov IYa. *Transport and environmental protection*. Moscow: Transport; 1986 (In Russ.).
- [4] Karagodina IL. *Struggle with noise and vibration in cities*. Moscow: Meditsina; 2000 (In Russ.).
- [5] Krestyashin SI. Design of residential development protection zones from traffic noise (dissertation). Leningrad, 1992, 120 p. (In Russ.).
- [6] Osipov GL. Town-planning measures to combat noise Moscow: Stroyizdat; 1975 (In Russ.).
- [7] Nesterenko VM. Noise protection efficiency of green plantings of the city of Bryansk. *Materials of the XLIV International scientific and practical Internet conference «Problems and prospects of development of modern science in Europe and Asia»*. Collection of scientific papers. Pereyaslav, 2022;22-25. (In Russ.).

Сведения об авторе:

Нестеренко Виктория Михайловна, аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», Российская Федерация, 241036, г. Брянск, ул. Бежицкая, д. 14. ORCID: 0009-0007-7153-4500. E-mail: vivo.mih@gmail.com

Bio note:

Victoria M. Nesterenko, Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education «Bryansk State Academician I.G. Petrovski University», 14 Bezhitskaya St, Bryansk, 241036, Russian Federation. ORCID: 0009-0007-7153-4500. E-mail: vivo.mih@gmail.com



ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-3-274-285

EDN: ZMRGSU

УДК 502/504

Научная статья / Research article

Расчет обобщенных показателей радиационно-экологического риска для районов Баренцева и Карского морей, подверженных воздействию ядерно и радиационно опасных объектов

Н.А. Аникина  , А.И. Крышев 

Научно-производственное объединение «Тайфун», Обнинск, Российская Федерация
rosnovskaya@rpatyphoon.ru

Аннотация. Большая часть потенциальных источников радиоактивного загрязнения Арктики находится в Баренцевом и Карском морях. В связи с этим на указанных территориях регулярно проводятся научные исследования, результаты которых могут использоваться для определения и анализа радиационно-экологического риска. Целью и задачей работы является расчет интегральных показателей загрязнения радионуклидами (ИПЗ) и обобщенных показателей радиационно-экологических рисков (ОПР) в воде и донных отложениях районов Баренцева и Карского морей, подверженных воздействию ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО). Показано, что ИПЗ составляет от $9,5 \cdot 10^{-5}$ до $4,1 \cdot 10^{-4}$ для воды и от $1,2 \cdot 10^{-4}$ до $1,3 \cdot 10^{-2}$ для донных отложений, что на много меньше единицы. Расчетные значения ОПР для К-159 составляют от 3 до 6, что соответствует незначительному радиационному воздействию на морскую среду, для заливов и Новоземельской впадины от 12 до 18, что характеризуется слабым воздействием на радиационную обстановку. Таким образом, объекты оценки оказывают незначительное и слабое воздействие на радиационную обстановку в Арктическом регионе, но, с учетом потенциальной опасности, нуждаются в постоянном мониторинге компонентов морской среды для своевременного выявления радиационно-экологических изменений.

© Аникина Н.А., Крышев А.И., 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: Арктика, радиационно-экологический риск, интегральный показатель загрязнения, контрольный уровень, морская биота

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

История статьи: поступила в редакцию 20.01.2024; доработана после рецензирования 14.02.2024; принята к публикации 30.03.2024.

Для цитирования: Аникина Н.А., Крышев А.И. Расчет обобщенных показателей радиационно-экологического риска для районов Баренцева и Карского морей, подверженных воздействию ядерно и радиационно опасных объектов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 3. С. 274–285. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-274-285>

Calculation of generalized indicators of radiation-ecological risk for areas of the Barents and Kara Seas exposed to the influence of nuclear and radiation hazardous objects

Nelli A. Anikina^{ID}✉, Alexander I. Kryshev^{ID}

Research and Production Association “Typhoon”, Obninsk, Russian Federation
✉ rosnovskaya@rpatyphoon.ru

Abstract. Most of the potential sources of radioactive contamination in the Arctic are located in the Barents and Kara Seas. In this regard, scientific research is regularly carried out in these territories, the results of which can be used to determine and analyze radiation and environmental risk. The goal and objective of the work is to calculate integral indicators of radionuclide pollution and generalized indicators of radiation-ecological risks in water and bottom sediments of the Barents and Kara Seas areas exposed to nuclear and radiation hazardous facilities. It is shown that the index ranges from $9.5 \cdot 10^{-5}$ to $4.1 \cdot 10^{-4}$ for water and from $1.2 \cdot 10^{-4}$ to $1.3 \cdot 10^{-2}$ for bottom sediments, which is much less than one. Calculated values of the risk indicator for K-159 range from 3 to 6, which corresponds to an insignificant radiation impact on the marine environment, for bays and the Novaya Zemlya depression from 12 to 18, which is characterized by a weak impact on the radiation situation. Thus, the objects under assessment have an insignificant and weak impact on the radiation situation in the Arctic region, but, taking into account the potential danger, they require constant monitoring of the components of the marine environment in order to timely detect radiation-ecological changes.

Keywords: Arctic, radiation-ecological risk, integral indicator of pollution, reference level, marine biota

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

Article history: received 20.01.2024; revised 14.02.2024; accepted 30.03.2024

For citation: Anikina NA, Kryshev AI. Calculation of generalized indicators of radiation-ecological risk for areas of the Barents and Kara Seas exposed to the influence of nuclear and radiation hazardous objects. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(3):274–285. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-274-285>

Введение

Ежегодно Арктический регион России приобретает все большую значимость для экологии и мировой экономики. Через Российскую Арктику проходит «Северный морской путь», который является кратчайшей коммуникацией между Европой и Азией. Северный маршрут в три раза короче классического пути через Средиземное море и Индийский океан. На территории Арктики находятся значительные запасы биоресурсов и углеводородного сырья, а природные процессы, происходящие в этом регионе, оказывают влияние на климат всей планеты [1].

В прошлом Арктика подвергалась радиационному воздействию от таких источников, как испытания ядерного оружия в XX в.; сброс жидких радиоактивных отходов с европейских предприятий; затопленные и затонувшие атомные подводные лодки, ядерно и радиационно опасные объекты (ЯРОО); атмосферные выпадения после аварии на Чернобыльской АЭС [1]. Наибольшее воздействие источники поступления радионуклидов оказали на западные моря Арктического региона, а именно Баренцево и Карское. Баренцево море отличается высоким биологическим разнообразием за счет благоприятной температуры воды, которая вызвана теплым Нордкапским течением. Биота арктических морей более уязвима, чем обитатели водоемов умеренных широт [2].

При радиоактивном загрязнении морей пути облучения морских организмов могут существенно отличаться от путей облучения человека. Например, морская биота, проживающая постоянно или периодически вблизи дна, подвержена внешнему облучению радионуклидами от донных отложений. В этом случае необходимо отказаться от антропоцентрического подхода «Защищен человек = защищена окружающая среда» в пользу эоцентрического [3; 4]. МКРЗ были подготовлены публикация № 108 «Защита окружающей среды: концепция референтных животных и растений» и публикация № 124 «Защита окружающей среды при различных ситуациях облучения»¹. В основных нормах безопасности МАГАТЭ выдвинуто требование о необходимости подтверждения (а не гипотетического предположения), что окружающая среда защищена от воздействия радиоактивных загрязнителей². Также в соответствии с постановлением Правительства РФ № 639 важным

¹ ICRP Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants // Ann. ICRP. 2009. Vol. 38, no. 4–6. 251 p.; ICRP Publication 124. Protection of the environment under different exposure situations // Ann. ICRP. 2014. Vol. 43, no. 1. 59 p.

² Safety Standards Series, GSR Part 3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources. International Basic Safety Standards, IAEA, Vienna, 2014. 458 p.

принципом функционирования системы мониторинга является совершенствование инструментов и методов выявления изменений радиационной обстановки, оценки и прогноза радиационно-экологических рисков³.

ФГБУ «НПО «Тайфун» были разработаны рекомендации по оценке риска от радиоактивного загрязнения окружающей среды по данным мониторинга радиационной обстановки, которые позволяют выполнить интегральную радиоэкологическую оценку⁴. Одним из способов такой оценки является определение обобщенных показателей риска (ОПР) в компонентах водной среды с предварительным расчетом интегральных показателей загрязнения (ИПЗ) радионуклидами воды и донных отложений [7].

Ежегодно ФГБУ «НПО «Тайфун», в ходе экспедиций, проводит радиационный мониторинг компонентов морской среды вокруг ЯРОО. Одними из наиболее опасных, с точки зрения радиоэкологии, объектов являются:

- атомная подводная лодка (АПЛ) К-159, которая затонула при буксировке в Баренцевом море 30 августа 2003 г. в районе острова Кильдин;
- залив Литке архипелага Новая Земля, расположенный в зоне прошлых испытаний ядерного оружия;
- залив Степового архипелага Новая Земля, который содержит затопленные ТРО и АПЛ К-27 и также подвергся влиянию ядерных испытаний XX в.;
- Новоземельская впадина, в которой находятся затопленные твердые радиоактивные отходы и реактор АПЛ заказа № 421 [1]. Рассмотренные потенциальные радиационно опасные объекты представлены на рисунке.

По результатам радиационного мониторинга в воде, донных отложениях и биоте, вокруг ЯРОО, были обнаружены преимущественно следующие радионуклиды: ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ [1; 7].



Карта объектов исследования в Баренцевом и Карском морях

Источник: составлено авторами.

³ Постановление Правительства Российской Федерации «О государственном мониторинге радиационной обстановки на территории Российской Федерации» от 10.07.2014 № 639 (в редакции от 26.03.2021 г.).

⁴ Рекомендации Росгидромета Р 52.18.923-2022. Порядок оценки риска от радиоактивного загрязнения окружающей среды по данным мониторинга радиационной обстановки / И.И. Крышев, Н.Н. Павлова, Т.Г. Сазыкина и др. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». 2022. 28 с.

Материалы и методы

При определении обобщенного показателя риска учитываются несколько факторов: пространственный масштаб, интенсивность и продолжительность радиационного воздействия на окружающую среду.

Для расчета и анализа обобщенного показателя риска использовались рекомендации ФГБУ «НПО «Тайфун» Росгидромета⁵. Показатели риска рассчитывали по формуле

$$\text{ОПР} = A_{\text{пр}} \cdot A_{\text{вр}} \cdot \text{ИРВ}_6, \quad (1)$$

где $A_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий пространственный масштаб загрязнения территории, безразмерный; $A_{\text{вр}}$ – коэффициент, учитывающий временной масштаб радиационного воздействия, безразмерный; ИРВ_6 – показатель интенсивности радиационного воздействия на компоненты морской среды, безразмерный⁶.

Данные показатели определяли согласно градациям из рекомендаций⁷. С помощью шкалирования оценивали, насколько значительную площадь занимает загрязнитель и как долго радиационный объект воздействует на окружающую среду.

$A_{\text{пр}}$ и $A_{\text{вр}}$ определяются на основе данных мониторинга, модельных или экспертных оценок. $A_{\text{пр}}$ равен 1, если территория радиационного объекта не превышает 10 км²; 2 – для территории до 100 км², 3 – для территории площадью свыше 100 км². Если радиационный объект воздействует на окружающую среду не более месяца, то $A_{\text{вр}}$ равен 1; не более года – 2; более года – 3.

Одним из способов определения ИРВ_6 является сопоставление его с интегральным показателем загрязнения, который рассчитывается по формуле (2). Если ИПЗ значительно не отличается от фона, то ИРВ_6 равен 1; при $\text{ИПЗ} < 0,1$ ИРВ_6 равен 2; при $\text{ИПЗ} < 1$ ИРВ_6 равен 3; при $\text{ИПЗ} \geq 1$ ИРВ_6 равен 30 [10].

$$\text{ИПЗ} = \sum_i \frac{A_i}{A_{i, \text{min}}}, \quad (2)$$

где A_i – удельная активность (УА) i -го радионуклида в компоненте морской среды (вода, донные отложения, Бк/кг сырого веса); $A_{i, \text{min}}$ – контрольный

⁵ Рекомендации Росгидромета Р 52.18.923-2022. Порядок оценки риска от радиоактивного загрязнения окружающей среды по данным мониторинга радиационной обстановки / И.И. Крышев, Н.Н. Павлова, Т.Г. Сазыкина и др. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». 2022. 28 с.

⁶ Там же.

⁷ Там же.

уровень (КУ) активности i -го радионуклида в соответствующем компоненте морской среды (вода, донные отложения, Бк/кг сырого веса)⁸.

Контрольный уровень содержания радионуклидов в морской воде является показателем качества окружающей среды, который способен обеспечить приемлемый экологический риск за счет непревышения критерия предельно допустимого радиационно-экологического воздействия на объекты морской среды (пороговой мощности дозы, мГр/сут). Единицами измерения контрольных уровней являются Бк/л и Бк/кг в воде и донных отложениях соответственно, за счет чего их удобно использовать для оперативного мониторинга. С целью получения контрольных уровней содержания радионуклидов в воде и донных отложениях для региональной биоты ФГБУ «НПО «Тайфун» были разработаны рекомендации⁹ и утверждены Росгидрометом. Формула из рекомендаций отражает прямую зависимость контрольного уровня с максимально допустимой мощностью дозы, которая не приводит к появлению детерминированных эффектов у биоты. Таким образом, контрольный уровень – это отношение мощности дозы к показателям, отражающим особенности биоты, проживающей в рассматриваемом регионе; вид ионизирующего излучения от определенного радионуклида; накопление радионуклидов в биоте (коэффициент накопления); распределение радионуклидов между морской водой и донными отложениями (коэффициент распределения). Для определения коэффициентов накопления и коэффициентов распределения использовались данные удельных активностей радионуклидов, полученные в ходе мониторинга НПО «Тайфун» и значения из литературных источников [14; 15]. КУ содержания радионуклидов в компонентах Баренцева и Карского морей были рассчитаны ранее и приведены в публикациях [15; 16].

Удельные активности радионуклидов в воде и донных отложениях Баренцева, Карского морей и их районов, подверженных воздействию ЯРОО, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Удельные активности техногенных радионуклидов в пробах воды и донных отложений, отобранных вблизи ЯРОО Баренцева и Карского морей (2006–2021 гг.)

Объект оценки	Радионуклид	УА в воде, Бк/л	Двусторонний доверительный интервал УА в воде	УА в донных отложениях, Бк/кг	Двусторонний доверительный интервал УА в донных отложениях
1	2	3	4	5	6
Баренцево море					
К-159	¹³⁷ Cs	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$[1,1 \cdot 10^{-3} - 4,3 \cdot 10^{-3}]$	$2,5 \cdot 10^0$	$[1,6 \cdot 10^0 - 3,4 \cdot 10^0]$
	⁹⁰ Sr	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$[1,9 \cdot 10^{-3} - 3,8 \cdot 10^{-3}]$	$9,7 \cdot 10^{-1}$	$[3,6 \cdot 10^{-1} - 1,4 \cdot 10^0]$
	^{239,240} Pu	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$[1,4 \cdot 10^{-6} - 6,1 \cdot 10^{-6}]$	$2,8 \cdot 10^{-1}$	$[9 \cdot 10^{-4} - 1,1 \cdot 10^0]$

⁸ Рекомендации Росгидромета Р 52.18.923–2022. Порядок оценки риска от радиоактивного загрязнения окружающей среды по данным мониторинга радиационной обстановки / И.И. Крышев, Н.Н. Павлова, Т.Г. Сазыкина и др. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». 2022. 28 с.

⁹ Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в морских водах: рекомендации. Р 52.18.852–2016. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», 2016. 28 с.

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
Открытое Баренцево море	¹³⁷ Cs	1,7·10 ⁻³	[6,2·10 ⁻⁴ -2,8·10 ⁻³]	6·10 ⁻¹	[2·10 ⁻¹ -2,5·10 ⁰]
	⁹⁰ Sr	1,8·10 ⁻³	[1,0·10 ⁻³ -3,9·10 ⁻³]	7·10 ⁻¹	[4,9·10 ⁻¹ -7·10 ⁻¹]
	^{239,240} Pu	4,8·10 ⁻⁶	[2,4·10 ⁻⁶ -1,1·10 ⁻⁵]	8,3·10 ⁻¹	[3,1·10 ⁻¹ -1,1·10 ⁰]
Карское море					
Залив Литке	¹³⁷ Cs	1,5·10 ⁻³	[1,3·10 ⁻³ -1,8·10 ⁻³]	6,98	[0,38-13,05]
	⁹⁰ Sr	2,4·10 ⁻³	[1,9·10 ⁻³ -2,9·10 ⁻³]	0,58	[0,1-0,88]
	^{239,240} Pu	2,2·10 ⁻⁶	[1,4·10 ⁻⁶ -3,3·10 ⁻⁶]	0,32	[0,29-0,37]
Залив Степового	¹³⁷ Cs	2,1·10 ⁻³	[3,5·10 ⁻⁴ -1,4·10 ⁻²]	23,51	[0,59-1079]
	⁹⁰ Sr	3,2·10 ⁻³	[2,1·10 ⁻³ -6,2·10 ⁻³]	0,9	[0,1-29,57]
	^{239,240} Pu	2,9·10 ⁻⁶	[1,3·10 ⁻⁶ -5,0·10 ⁻⁶]	0,28	[0,22-0,6]
Новоземельская впадина	¹³⁷ Cs	5,0·10 ⁻⁴	[3,5·10 ⁻⁴ -7,2·10 ⁻⁴]	5,1	[0,67-7,1]
	⁹⁰ Sr	2,1·10 ⁻³	[1,7·10 ⁻³ -2,7·10 ⁻³]	0,65	[0,21-3,67]
	^{239,240} Pu	8,4·10 ⁻⁶	[1,0·10 ⁻⁶ -1,6·10 ⁻⁵]	0,34	[0,31-0,82]
Открытое Карское море	¹³⁷ Cs	3,6·10 ⁻⁴	—*	1,54	[0,31-3,74]
	⁹⁰ Sr	1,8·10 ⁻³	—*	0,20	—*
	^{239,240} Pu	1,1·10 ⁻⁶	—*	0,33	—*

* – недостаточное количество данных для определения доверительного интервала.

Источник: составлено авторами.

Результаты и обсуждение

Интегральные показатели загрязнения (ИПЗ) воды и донных отложений Баренцева моря рассчитывали по формуле 2.

Интегральные показатели загрязнения для К-159, заливов Литке, Степового и Новоземельской впадины рассчитывали по максимальным значениям удельных активностей, для того чтобы оценить радиационно-экологический риск в самых загрязненных местах расположения ЯРОО. Результаты расчетов интегральных показателей загрязнения представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Интегральные показатели загрязнения воды открытых Баренцева, Карского морей и их районов, подверженных воздействию ЯРОО

Объект оценки	Радионуклид	УА в воде, Бк/л	КУ, Бк/л [15; 16]	ИПЗ	Вклад радионуклида, %	ΣИПЗ
Баренцево море						
К-159	¹³⁷ Cs	4,3·10 ⁻³	115	3,7·10 ⁻⁵	39	9,5·10 ⁻⁵
	⁹⁰ Sr	3,8·10 ⁻³	439	8,6·10 ⁻⁶	9	
	^{239,240} Pu	6,1·10 ⁻⁶	0,124	4,9·10 ⁻⁵	52	
Открытое Баренцево море	¹³⁷ Cs	1,7·10 ⁻³	115	1,5·10 ⁻⁵	27	5,8·10 ⁻⁵
	⁹⁰ Sr	1,8·10 ⁻³	439	4,1·10 ⁻⁶	7	
	^{239,240} Pu	4,8·10 ⁻⁶	0,124	3,9·10 ⁻⁵	66	
Карское море						
Залив Литке	¹³⁷ Cs	1,8·10 ⁻³	51,8	3,5·10 ⁻⁵	29	1,2·10 ⁻⁴
	⁹⁰ Sr	2,9·10 ⁻³	298	9,7·10 ⁻⁶	9	
	^{239,240} Pu	3,3·10 ⁻⁶	0,0412	8,1·10 ⁻⁵	67	
Залив Степового	¹³⁷ Cs	1,4·10 ⁻²	51,8	2,7·10 ⁻⁴	66	4,1·10 ⁻⁴
	⁹⁰ Sr	6,2·10 ⁻³	298	2,1·10 ⁻⁵	51	
	^{239,240} Pu	5,0·10 ⁻⁶	0,0412	1,2·10 ⁻⁴	29	
Новоземельская впадина	¹³⁷ Cs	7,2·10 ⁻⁴	51,8	1,4·10 ⁻⁵	3	4,1·10 ⁻⁴
	⁹⁰ Sr	2,7·10 ⁻³	298	8,9·10 ⁻⁶	2	
	^{239,240} Pu	1,6·10 ⁻⁵	0,0412	3,9·10 ⁻⁴	95	
Открытое Карское море	¹³⁷ Cs	3,6·10 ⁻⁴	51,8	6,8·10 ⁻⁶	18	3,8·10 ⁻⁵
	⁹⁰ Sr	1,8·10 ⁻³	298	5,8·10 ⁻⁶	15	
	^{239,240} Pu	1,1·10 ⁻⁶	0,0412	2,5·10 ⁻⁵	67	

Источник: составлено авторами.

Из данных табл. 2 видно, что минимальные значения интегральных показателей загрязнения радионуклидами ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ имеют место для открытых Баренцева и Карского морей. Суммарный показатель загрязнения радионуклидами воды в районе затопления АПЛ К-159 в 1,6 раза превышает значение по открытому Баренцеву морю. Наибольший вклад в интегральный показатель загрязнения воды вблизи К-159 внес радионуклид $^{239,240}\text{Pu}$ (52 %).

Значения суммарных интегральных показателей загрязнения воды залива Степового и Новоземельской впадины на порядок превышают значение по открытому Карскому морю. Среди рассматриваемых объектов Карского моря наибольшие значения ИПЗ воды ^{137}Cs и ^{90}Sr характерны для залива Степового, $^{239,240}\text{Pu}$ – для Новоземельской впадины. Основной вклад в интегральный показатель загрязнения воды залива Литке и Новоземельской впадины внес радионуклид $^{239,240}\text{Pu}$ (67 и 95 % соответственно), что объясняется биологической эффективностью α -излучения. Для интегрального показателя загрязнения воды залива Степового доминирующим радионуклидом стал ^{137}Cs (66 %), что указывает на его превышение, в сравнении со значением открытого Карского моря.

Таблица 3. Интегральные показатели загрязнения донных отложений открытых Баренцева и Карского морей и их районов, подверженных воздействию ЯРОО

Объект оценки	Радионуклид	УА в донных отложениях, Бк/кг	КУ, Бк/кг [15; 16]	ИПЗ	Вклад радионуклида, %	ΣИПЗ
Баренцево море						
К-159	^{137}Cs	$3,4 \cdot 10^0$	$4,9 \cdot 10^4$	$6,9 \cdot 10^{-5}$	54	$1,2 \cdot 10^{-4}$
	^{90}Sr	$1,4 \cdot 10^0$	$1,9 \cdot 10^5$	$7,4 \cdot 10^{-6}$	6	
	$^{239,240}\text{Pu}$	$1,1 \cdot 10^0$	$2,3 \cdot 10^4$	$4,8 \cdot 10^{-5}$	40	
Открытое Баренцево море	^{137}Cs	$6 \cdot 10^{-1}$	$4,9 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	24	$5,1 \cdot 10^{-5}$
	^{90}Sr	$7 \cdot 10^{-1}$	$1,9 \cdot 10^5$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	7	
	$^{239,240}\text{Pu}$	$8,3 \cdot 10^{-1}$	$2,3 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	69	
Карское море						
Залив Литке	^{137}Cs	13,05	83 100	$1,6 \cdot 10^{-4}$	48	$3,3 \cdot 10^{-4}$
	^{90}Sr	0,88	298 000	$2,9 \cdot 10^{-6}$	1	
	$^{239,240}\text{Pu}$	0,37	2180	$1,7 \cdot 10^{-4}$	51	
Залив Степового	^{137}Cs	1079	83 100	$1,3 \cdot 10^{-2}$	97	$1,3 \cdot 10^{-2}$
	^{90}Sr	29,57	298 000	$9,9 \cdot 10^{-5}$	1	
	$^{239,240}\text{Pu}$	0,6	2180	$2,8 \cdot 10^{-4}$	2	
Новоземельская впадина	^{137}Cs	7,1	83 100	$8,5 \cdot 10^{-5}$	18	$4,7 \cdot 10^{-4}$
	^{90}Sr	3,67	298 000	$1,2 \cdot 10^{-5}$	2	
	$^{239,240}\text{Pu}$	0,82	2180	$3,8 \cdot 10^{-4}$	80	
Открытое Карское море	^{137}Cs	1,54	83 100	$1,8 \cdot 10^{-5}$	12	$1,6 \cdot 10^{-4}$
	^{90}Sr	0,20	298 000	$7,1 \cdot 10^{-7}$	1	
	$^{239,240}\text{Pu}$	0,33	2180	$1,4 \cdot 10^{-4}$	87	

Источник: составлено авторами.

Из данных табл. 3 видно, что наименьшие значения суммарных интегральных показателей загрязнения донных отложений характерны для открытых Баренцева и Карского морей. Следует отметить, что значение по донным отложениям открытого Карского моря в 3 раза превышает показатель загрязнения компонента открытого Баренцева моря. Интегральный показатель

загрязнения донных отложений в районе затопления К-159 в 2,3 раза выше значения открытого Баренцева моря, доминирующим радионуклидом выступает ^{137}Cs (54 %).

Значения суммарных показателей загрязнения донных отложений залива Литке, Новоземельской впадины и залива Степового в 2,1; 2,9 раза и на два порядка соответственно превышают показатель загрязнения по открытому Карскому морю. Максимальные значения интегральных показателей загрязнения донных отложений ^{137}Cs и ^{90}Sr по расчетам составили $1,3 \cdot 10^{-2}$ и $9,9 \cdot 10^{-5}$ для залива Степового, $^{239,240}\text{Pu}$ – $3,8 \cdot 10^{-4}$ для Новоземельской впадины. Доминирующим радионуклидом в показатель загрязнения донных отложений залива Литке и Новоземельской впадины выступает $^{239,240}\text{Pu}$ (51 и 80 % соответственно), для залива Степового основной вклад в интегральный показатель загрязнения внес ^{137}Cs – 97 %. Таким образом, можно наблюдать превышение ^{137}Cs в донных отложениях залива Степового в сравнении со значением по открытому Карскому морю.

Далее, с помощью полученных интегральных показателей загрязнения радионуклидами воды и донных отложений, по формуле (1) были рассчитаны обобщенные показатели риска для открытых Баренцева, Карского морей и их районов, подверженных воздействию ЯРОО. Для расчета обобщенных показателей риска требовалась оценка: коэффициента, учитывающего пространственный масштаб загрязнения территории ($A_{\text{пр}}$); коэффициента, учитывающего временной масштаб радиационного воздействия ($A_{\text{вр}}$); показателя интенсивности радиационного воздействия на компоненты природной среды (ИРВ_б).

Анализ интегральных показателей загрязнения показал, что необходимость оценки обобщенных показателей риска имеется непосредственно только для районов расположения ЯРОО.

Для воды и донных отложений в районе затопления АПЛ К-159 $A_{\text{пр}}$ был оценен как 1, так как площадь воздействия локальная – не более 10 км^2 . Компоненты заливов Карского моря оказывают местное воздействие на окружающую среду (от 10 до 100 км^2), поэтому $A_{\text{пр}}$ был выбран 2. По шкале пространственного масштаба радиационного воздействия на компоненты природной среды для открытых морей был выбран коэффициент, равный 3, так как площадь воздействия свыше 100 км^2 .

$A_{\text{вр}}$ на морскую воду и донные отложения для всех рассмотренных объектов был выбран 3, так как по градации объекты оценки относятся к продолжительному воздействию на окружающую среду – свыше 1 года.

Индекс радиационного воздействия выбирался с учетом полученных интегральных показателей загрязнения радионуклидами компонентов морской среды, согласно шкале из рекомендаций. Для открытых морей ИРВ_б на воду и донные отложения выбрали равным 1. Показатель загрязнения радионуклидами воды в районе затопления АПЛ К-159 значимо не отличался от регионального значения по открытому Баренцеву морю, соответственно, ИРВ_б был оценен как 1. Для заливов Литке, Степового и Новоземельской впадины ИРВ_б на воду приняли равным 2, так как ИПЗ превышают значение по открытому

Карскому морю на порядок и более. Результаты расчетов обобщенных показателей риска в воде и донных отложениях для районов, подверженных воздействию ЯРОО, представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 4. Результаты расчетов обобщенных показателей радиационно-экологических рисков в воде для открытых Баренцева, Карского морей и их районов, подверженных воздействию ЯРОО

Объект оценки	ИПЗ	A_{np}	A_{op}	ИРВ _с	ОПР	Градация воздействия на радиационную обстановку
Баренцево море						
К-159	$9,5 \cdot 10^{-5}$	1	3	1	3	Незначительное
Карское море						
Залив Литке	$1,2 \cdot 10^{-4}$	2	3	2	12	Слабое
Залив Степового	$4,1 \cdot 10^{-4}$	2	3	2	12	Слабое
Новоземельская впадина	$4,1 \cdot 10^{-4}$	2	3	2	12	Слабое

Источник: составлено авторами.

Из данных табл. 4 видно, что обобщенный показатель риска в воде в районе затопления АПЛ К-159 составил 3, следовательно, рассмотренный объект оказывает незначительное воздействие на радиационную обстановку в Баренцевом море.

Обобщенные показатели риска в воде Новоземельской впадины, заливов Литке и Степового составили 12. Согласно градации из рекомендаций, районы Карского моря, подверженные воздействию ЯРОО, оказывают слабое воздействие на радиационную обстановку.

Значение ИРВ_с на донные отложения в районе затопления АПЛ К-159, залива Литке и Новоземельской впадины оценили как 2 из-за превышения более чем на порядок значения интегрального показателя загрязнения для открытого Карского моря. Для залива Степового ИРВ_с составил 3, так как интегральный показатель загрязнения радионуклидами донных отложений объекта оценки на два порядка превышает значение по открытому Карскому морю.

Таблица 5. Результаты расчетов обобщенных показателей радиационно-экологических рисков в донных отложениях для открытых Баренцева, Карского морей и их районов, подверженных воздействию ЯРОО

Объект оценки	ИПЗ	A_{np}	A_{op}	ИРВ _с	ОПР	Градация воздействия на радиационную обстановку
Баренцево море						
К-159	$1,2 \cdot 10^{-4}$	1	3	2	6	Незначительное
Карское море						
Залив Литке	$3,3 \cdot 10^{-4}$	2	3	2	12	Слабое
Залив Степового	$1,3 \cdot 10^{-2}$	2	3	3	18	Слабое
Новоземельская впадина	$4,7 \cdot 10^{-4}$	2	3	2	12	Слабое

Источник: составлено авторами.

Из данных табл. 5 видно, что обобщенный показатель риска в донных отложениях района затопления АПЛ К-159 составил 6. Следовательно, донные отложения в месте затопления К-159 не представляют опасности для окружающей среды. Обобщенный показатель риска в донных отложениях для залива Литке и Новоземельской впадины составил 12, для залива

Степового – 18, согласно градации из рекомендаций. Эти районы нуждаются в мониторинге и анализе полученных данных с целью предупреждения негативных последствий для акватории Карского моря и обитающей в ней биоты.

Выводы

Полученные оценки показывают, что в настоящее время источники поступления техногенных радионуклидов в Баренцево и Карское моря оказывают незначительное или слабое воздействие на радиационную обстановку Арктики. В настоящее время данный регион не нуждается в проведении дополнительных природоохранных мероприятий, направленных на сохранение благоприятной окружающей среды. Однако, с учетом потенциальной опасности, нельзя исключать риск утечки радионуклидов из затопленных и затонувших ЯРОО, а также их дальнейшего поступления в морскую среду, что может привести к их переносу с течениями и мигрирующими видами рыб. Данная территория нуждается в продолжении радиационно-экологического мониторинга компонентов морской среды, что позволит своевременно заметить изменения в уровне радиоактивности и предпринять все усилия по сохранению акватории и обитающей в ней биоты. Радиационному мониторингу донных отложений в районе залива Степового следует уделить особое внимание, так как обобщенный показатель риска превышает риск для открытого Карского моря в два раза.

Список литературы

- [1] Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Васильев А.П. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию: радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в Арктические и Дальневосточные моря. М.: ИздАТ, 2005. 624 с.
- [2] Sazykina T.G., Kryshev A.I. Manifestation of radiation effects in cold environment: data review and modeling // Radiation and Environmental Biophysics, 2011. Vol. 50, no. 1. P. 105 – 114.
- [3] Алексахин Р.М. Ядерная энергия и биосфера. М.: Энергоиздат, 1982. 216 с.
- [4] Поликарпов Г.Г. Радиационная экология как научная основа радиационной защиты биосферы и человечества // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. Вып. 8. Екатеринбург, 2000. С. 3-28.
- [5] Крышев И.И., Павлова Н.Н., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Косых И.В., Бурякова А.А., Росновская Н.А. Оценка экологического риска от радиоактивного загрязнения окружающей среды // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20, № 3. С. 10–26. <http://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-3-10-26>
- [6] Булгаков В.Г., Каткова М.Н., Запелов М.А., Гниломедов В.Д., Семенова И.В., Самсонов Д.П., Лукьянова Н.Н., Сурнин В.А., Моршина Т.Н. Концентрации радиоактивных и токсических химических веществ в донных отложениях Карского моря // Метеорология и гидрология. 2023. № 4. С. 77-90. <http://doi.org/10.52002/0130-2906-2023-4-77-90>
- [7] Jensen L.K., Steenhuisen F., Standring W., Chen, J., Leppanen A.-P., Nikitin A.I., Kryshev A.I., Gudnason K., Gwynn J., Stocki T., Joensen H.P. Monitoring of radioactivity in the Arctic // AMAP Assessment 2015: Radioactivity in the Arctic. Oslo: AMAP, 2016. P. 35–57.

- [8] Gwynn J.P., Nikitin A.I., Shershakov V.M., Heldal H.E., Lind B., Teien H.C., Lind O.C., Sidhu R.S., Bakke G., Kazennov A., Grishin D., Fedorova A., Blinova O., Sværen I., Liebig P.L., Salbu B., Wendel C., Strålberg E., Valetova N., Petrenko G., Katrich I., Logoyda I., Osvath I., Levy I., Bartocci J., Pham M.K., Sam A. K., Nies H., Rudjord A.L. Main results of the 2012 joint Norwegian – Russian expedition to the dumping sites of the nuclear submarine K-27 and solid radioactive waste in Stepovogo Fjord, Novaya Zemlya // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016. Vol. 151. P. 417–426.
- [9] Yoshitome R., Kunito T., Ikemoto T., Tanabe S., Zenke H., Yamauchi M., Miyazaki N. Global Distribution of Radionuclides (^{137}Cs and ^{40}K) in Marine Mammals // *Environ. Sci. Technol.* 2003. Vol. 37. P. 4597–4602.
- [10] Beresford N. A., Wright S. M., Brown J. E., Sazykina T.G. Transfer and Uptake Models for Reference Arctic Organisms // *Review of approaches for the estimation of radionuclide transfer to reference Arctic biota*, 2003. 100 p.
- [11] Gwynn J.P., Brown J.E., Kovacs K.M., Lydersen C. The derivation of radionuclide transfer parameters for and dose-rates to an adult ringed seal (*Phoca hispida*) in an Arctic environment // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2006. Vol. 90. P. 197–209.
- [12] Gwynn J.P., Nikitin A.I., Shershakov V.M., Heldal H.E., Lind B., Teien H.C., Lind O. C., Sidhu R. S., Bakke G., Kazennov A., Grishin D., Fedorova A., Blinova O., Sværen I., Liebig P. L., Salbu B., Wendell C. C., Strålberg E., Valetova N., Petrenko G., Katrich I., Logoyda I., Osvath I., Levy I., Bartocci J., Pham M.K., Sam A., Nies H., Rudjord A.L. Main results of the 2012 joint Norwegian-Russian expedition to the dumping sites of the nuclear submarine K-27 and solid radioactive waste in Stepovogo Fjord, Novaya Zemlya // *Investigation into the radioecological status of Stepovogo fjord*. 2012. 69 p.
- [13] Brown J., Børretzen P., Dowdall M., Sazykina T., Kryshev I. The derivation of transfer parameters in the assessment of radiological impacts on Arctic marine biota // *Arctic*. 2004. Vol. 57, no. 3. P. 279–289.
- [14] Kryshev I.I., Sazykina T.G., Strand P., Brown J. E. Concentration factors of radionuclides in arctic marine biota // *Proceedings from the 5th International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic and Antarctic (St. Petersburg, 16–20 June 2002)*. NRPA, Østerås, 2002. P. 322–325.
- [15] Росновская Н.А., Крышев А.И., Крышев И.И. Определение в воде и донных отложениях Баренцева моря контрольных уровней содержания радионуклидов, обеспечивающих приемлемый экологический риск // *Морской биологический журнал*. 2022. Т. 7, № 4. С. 70–80. <http://doi.org/10.21072/mbj.2022.07.4.06>
- [16] Росновская Н.А., Крышев И.И., Крышев А.И., Каткова М.Н. Показатели качества морской среды по уровню активности радионуклидов для экосистемы Карского моря // *Метеорология и гидрология*. 2023. № 4. С. 91–98. <http://doi.org/10.52002/0130-2906-2023-4-91-98>

Сведения об авторах:

Аникина Нелли Александровна, инженер, лаборатория радиационно-экологического моделирования и анализа риска, институт проблем мониторинга, ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун», Российская Федерация, 249031, Обнинск, ул. Победы, д. 4. ORCID: 0000-0001-8839-5104, eLIBRARY SPIN-код: 7199-4800, AuthorID: 1143723. E-mail: rosnovskaya@rpatyphoon.ru

Крышев Александр Иванович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория радиационно-экологического моделирования и анализа риска, институт проблем мониторинга, ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун», Российская Федерация, 249031, Обнинск, ул. Победы, д. 4. ORCID: 0000-0001-6816-0260, eLIBRARY SPIN-код: 5696-7633. E-mail: kai@rpatyphoon.ru



ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-3-286-293

EDN: ZPRHNG

УДК 544.7

Научная статья / Research article

Модификация свойств некондиционного цеолитового сырья месторождений Восточного Забайкалья с целью получения эффективных сорбентов для очистки сточных вод**М.В. Обуздина¹ , Е.А. Руш²**¹ Государственный университет просвещения, Мытищи, Российская Федерация² Иркутский государственный университет путей сообщения,

Иркутск, Российская Федерация

 obuzdina_mv@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования различных модификаций на основе некондиционных цеолитсодержащих пород Холинского месторождения с низким содержанием клиноптилолита (50–55 %), что обосновывает целесообразность их вовлечения в производство сорбентов, эффективных для очистки сточных вод от нефтепродуктов и ионов тяжелых металлов. Исследованы различные способы модификации цеолитов высококремнийорганическими соединениями (гексаметилдисилазаном и тетраэтоксисилазаном), а также серным полимером на основе побочных продуктов производства эпихлоргидрина. Изучение микроструктур полученных образцов проводилось методом сканирующей электронной спектроскопии (СЭМ), рентгенофазового анализа (РФА) с применением порошковой рентгеновской дифрактометрии. Закрепление модификаторов на поверхности цеолита доказано методами ИК-спектроскопии, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (ЭДС). Сорбция ионов тяжелых металлов, таких как никель и цинк на модифицированных цеолитах, доказана методами ИК, ЭДР, атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП). Для доказательства сорбции нефтепродуктов применялись методы ИК, а также дифференциальная сканирующая калориметрия и термогравиметрия. Класс опасности (IV) для

© Обуздина М.В., Руш 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>

отработанных сорбентов установлен методом биотестирования на тест-объектах *Daphnia magna Straus* и *Chlorella vulgaris Beijer*.

Ключевые слова: некондиционное цеолитовое сырье, сточные воды, нефтепродукты, ионы тяжелых металлов

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

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

История статьи: поступила в редакцию 10.06.2023; доработана после рецензирования 12.11.2023; принята к публикации 15.01.2024.

Для цитирования: *Обуздина М.В., Рущ Е.А.* Модификация свойств некондиционного цеолитового сырья месторождений Восточного Забайкалья с целью получения эффективных сорбентов для очистки сточных вод // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 3. С. 286–293. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-286-293>

Modification of the properties of nonconforming zeolite raw materials from deposits in Eastern Transbaikalia in order to obtain effective sorbents for wastewater treatment

Marina V. Obuzdina¹, Elena A. Rush²

¹ State University of Education, Mytishchi, Russia

² Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

 obuzdina_mv@mail.ru

Abstract. The article presents the results of investigation of various modifications based on nonconforming zeolite raw materials rocks of the Holinsky deposit with a low clinoptilolite content (50–55%), which substantiates the feasibility of their involvement in the production of sorbents effective for wastewater treatment from oil products and heavy metal ions. Various methods of modifying zeolites have been studied: with high-silicon compounds (hexamethyldisilazane and tetraethoxysilane), as well as with a sulfur polymer based on by-products of the production of epichlorohydrin. The investigation of microstructures of obtained samples was carried out using scanning electron spectroscopy (SEM), X-ray phase analysis (XPA) using powder X-ray diffractometry. The fixation of modifiers on the zeolite surface has been proven by IR spectroscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). The sorption of heavy metal ions such as nickel and zinc on modified zeolites has been proven by IR, EDS, and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). To prove the sorption of oil products, IR methods were used, as well as differential scanning calorimetry and thermogravimetry. Class of hazard (IV) for spent sorbents was established by biotesting using *Daphnia magna Straus* and *Chlorella vulgaris Beijer*.

Keywords: nonconforming zeolite raw materials, wastewater, oil products, ions of heavy metals

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

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

Article history: received 10.06.2023; revised 12.11.2023; accepted 15.01.2024.

For citation: Obuzdina MV, Rush EA. Modification of the properties of nonconforming zeolite raw materials from deposits in Eastern Transbaikalia in order to obtain effective sorbents for wastewater treatment. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(3):286–293. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-286-293>

Введение

Предприятия горного производства являются крупнейшими потребителями минеральных ресурсов, большое количество образующихся отходов оказывают негативное влияние на все аспекты окружающей среды: атмосферу, гидросферу, литосферу. При разработке месторождения полезных ископаемых одновременно с полезными компонентами извлекается существенное количество пустых или некондиционных пород, которые складировываются открытым способом на прилегающей территории, являясь объектами негативного воздействия на экосистемы района размещения [1; 2].

В горной промышленности кондиционным цеолитовым сырьем считаются туфы с содержанием клиноптилолита (КПТ) от 70 % и более. В этом случае их можно использовать в медицине, сельском хозяйстве, для производства теплоизоляционных материалов и т.д. Большая часть цеолитовых туфов Холинского месторождения Восточного Забайкалья имеет недостаточное содержание клиноптилолита (50–55 %), что обосновывает целесообразность вовлечения данного сырья в производство иных видов продукции [3].

Целью исследования – изучение состава и свойств некондиционных цеолитсодержащих пород клиноптилолитового типа Холинского месторождения (НЦП) для производства сорбционных материалов, эффективных в отношении извлечения ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов из промышленных сточных вод предприятий железнодорожного транспорта и горно-металлургического комплекса.

Материалы и методы

НЦП относятся к слоистым силикатам с кристаллической решеткой в форме тетраэдров $[Al, Si]O_4$, которые упакованы довольно рыхло. Пустоты между ними заполнены водой, которую можно удалять и далее замещать различными загрязняющими веществами из сточных вод [4].

Природные цеолиты, как микропористые сорбенты, характеризуются такими физическими параметрами, как истинная и кажущаяся плотности, насыпная плотность и пористость. Размер микропор цеолитов 5–15 Å позволяет сорбировать нефтепродукты (2–30 Å) за счет развитой удельной поверхности и ионы тяжелых металлов, так как, например, радиус атома Ni

равен 124 пм, Cu – 126 пм, Zn – 138 пм, Fe – 126 пм, Cr – 130 пм (1 пикометр = 0,01 Å).

Текстурно-геометрические характеристики НЦП, отображающих высокую пористость, – 40,87 % при среднем радиусе пор (по объему) – 0,362 мкм и поверхности микропор – 6,21 мкм. Насыпная плотность 1006–779 кг/м³. Размеры входных окон (3–13) Å. Диаметры пор не превышают 10 Å [5].

В качестве модификаторов для улучшения адсорбционных характеристик НЦП предложены высококремнийорганические соединения [(СН₃)₃Si⁻]₂NH гексаметилдисилазан (ЦКГс) и (С₂Н₅О)₄Si тетраэтоксисилан (ЦКтс), которые способствуют гидрофобизации поверхности. Рекомендуется предварительный обжиг образцов при 350 °С для удаления воды, координационно связанной с обменными катионами и с кислородным каркасом и высвобождением микрокапилляров, что способствует увеличению пористости образцов. Также в качестве модификатора предложен серный полимер на основе 1,2,3-трихлорпропана, являющегося отходом производства эпихлоргидрина (ЦКсер). Данный вид модификации также приводит к частичной гидрофобизации поверхности, что улучшает сорбционные свойства исходных НЦП. Кроме того, при очистке сточных вод от ионов тяжелых металлов образуются нерастворимые сульфиды.

По данным порошковой рентгеновской дифрактометрии (рис. 1), НЦП имеют следующий фазовый состав: КПТ → Са-На полевой шпат (плаггиоклаз) → смектиты → α-кварц. Согласно РФА, содержание КПТ в туфе составляет 52 мас. %.

Полученные на основе рентгенофазового анализа ЦКсер на дифрактометре ДРОН 3.0 (рис. 1) результаты свидетельствуют о том, что НЦП относятся к группам КПТ (52 мас. %) и гейландита. Фазовый состав характеризуется присутствием КПТNa₆[(AlO₂)₆•(SiO₂)₄₀]•24H₂O (9,02; 7,93; 6,81; 5,12; 4,24; 7,01; 3,42; 2,97; 2,79 Å), плаггиоклаза (Са, На)(Al, Si) AlSi₂O₈ (5,25; 3,59; 2,77; 2,43 Å) и кварца SiO₂ (4,24; 3,17 Å). Модификация предлагаемыми способами не вызывает существенных изменений исходного фазового состава НЦП, что обосновывает возможность циклов «сорбция – десорбция» до 6–7 раз.

Микроструктура образцов изучена методом сканирующей электронной спектроскопии (СЭМ) и рентгенофазового анализа с применением порошковой рентгеновской дифрактометрии. Характер закрепления модификаторов на поверхности цеолита изучен ИК-спектроскопией, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией, атомно-эмиссионной спектрометрией с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП). Для доказательства сорбции нефтепродуктов применялись методы ИК, дифференциальная сканирующая калориметрия и термогравиметрия [6].

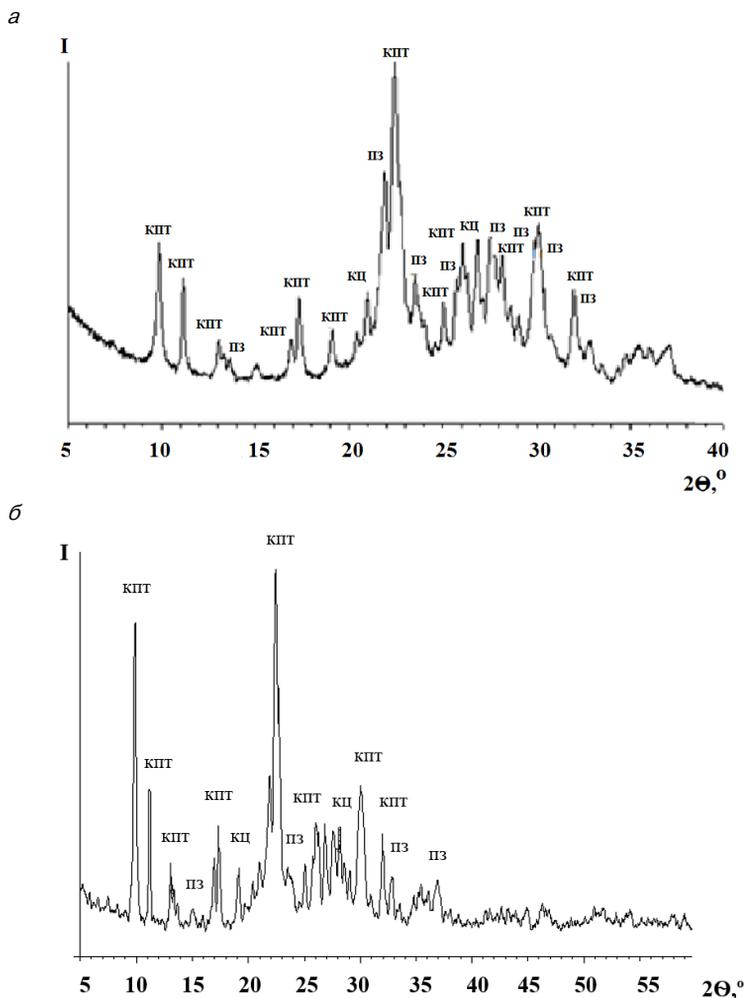


Рис. 1. Дифрактограммы НЦП (а) и ЦК_{сер} (б): КПТ – клиноптилолит; ПЗ – плагиоклаз; КЦ – α-кварц
 Источник: составлено авторами.

Результаты исследования и их обсуждение

Элементный анализ образцов ЦК_{ГС}, ЦК_{ТС}, ЦК_{сер} подтвержден методом СЭМ на двухлучевом сканирующем электронном микроскопе JSM-6490LV с системой микроанализа – энергодисперсионным рентгеновским спектрометром ЭДС INCA Energy, X-max и ВДС INCA Wave в лаборатории микро- и наноисследований ДВГИ ДВО РАН (табл. 1). На примере ЦК_{сер} видно присутствие серы в составе адсорбента, подтверждающее закрепление модификатора на поверхности. На рис. 2 представлены энергодисперсионные рентгеновские спектры изученных образцов.

В ранее опубликованных результатах исследований [7] произведен анализ ИК-спектров ЦК_{ГС}, ЦК_{ТС}, ЦК_{сер} с целью доказательства закрепления модификаторов на поверхности НЦП, которые характеризуются появлением новых полос поглощения. Адсорбируемые ионы металлов взаимодействуют

со структурной решеткой, закрепляясь на поверхности сорбента или в полостях, образуются связи Me-OH. При адсорбции нефтепродуктов и ионов тяжелых металлов наблюдается смещение некоторых полос поглощения в высокочастотные области [8].

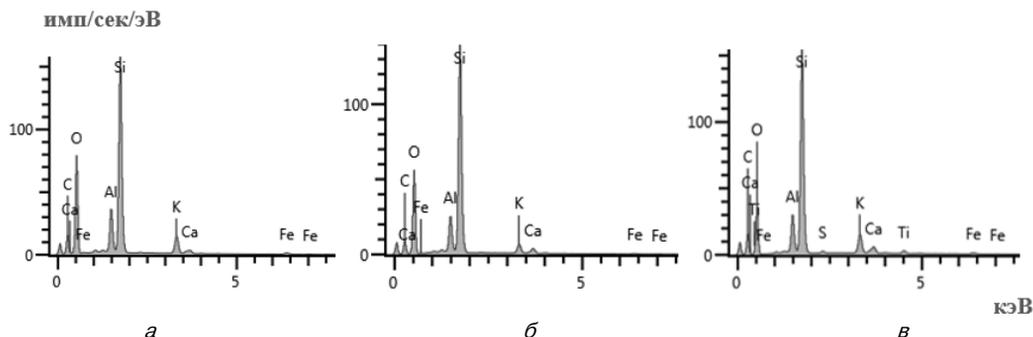


Рис. 2. Энергодисперсионные рентгеновские спектры: ЦКГс (а), ЦКГс (б), ЦКсеп (в)
 Источник: составлено авторами.

Таблица 1. Результаты элементного анализа для образцов ЦКГс, ЦКГс, ЦКсеп

Адсорбент	Элементы							
	O	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe
ЦКГс	49,41	7,76	35,81	–	5,04	0,94	–	1,05
ЦКГс	50,64	6,56	38,20	–	2,63	1,57	–	0,41
ЦКсеп	49,06	6,5	34,87	0,51	5,19	1,87	1,17	0,83
	Al₂O₃		SiO₂	SO₃	K₂O	CaO	TiO₂	FeO
ЦКГс	14,67		76,6	–	6,07	1,31	–	1,35
ЦКГс	12,40		81,72	–	3,17	2,19	–	0,53
ЦКсеп	12,25		74,63	1,23	6,28	2,59	1,93	1,07

Источник: составлено авторами.

В продолжение исследований методом ИСП-АЭС на спектрометре iCAP 7600 Duo адсорбция и десорбция Ni²⁺, Zn²⁺ сорбентом ЦКГс (табл. 2). Данные табл. 2 свидетельствуют о высокой сорбционной активности изученного образца по отношению к ионам тяжелых металлов.

Проводился синхронный термический анализ ЦКГс и ЦКГс после адсорбции нефтепродуктов на приборе STA 449 F1 Jupiter фирмы NETZSCH (Германия) в ИПРЭК СО РАН (рис. 3).

На термограммах всех образцов на ТГ-кривой наблюдается плавный, без выраженных ступеней, ход потери массы, связанный с дегидратацией цеолитов, который характерен для некондиционных цеолитоподобных пород Холинского месторождения [9].

На ДТГ-кривой наблюдается эндотермический пик, связанный с выходом воды из пробы на начальном этапе нагревания, который характеризуется эндопиком при 134,2 °С. Второй менее выраженный эндопик с экстремумом при 475,5 °С связан с выходом гидроксильной воды. На ДСК-кривой эндопик при 180 °С характеризует скорость потери массы, связанной с выходом нефтепродуктов.

Таблица 2. Результаты определения содержания элементов в образцах ЦК_{Гс} после адсорбции и десорбции Ni²⁺, Zn²⁺ (г/т) методом ИСП-АЭС

Ионы	ЦК _{Гс}	Ba	Cr	Cu	Li	Sc	Sr	V	Ni	Zn
Ni ²⁺	После адсорбции	111,4	1,83	11,12	6,17	1,5	47,5	2,93	397	–
	После десорбции	93,2	1,24	4,9	5,5	1,3	39	2,8	72	–
Zn ²⁺	После адсорбции	163,3	4,11	3,42	8,2	1,6	54,6	2,4	–	482
	После десорбции	58,52	0,342	1,664	4,73	1,1	23,9	1,4	–	166

Источник: составлено авторами.

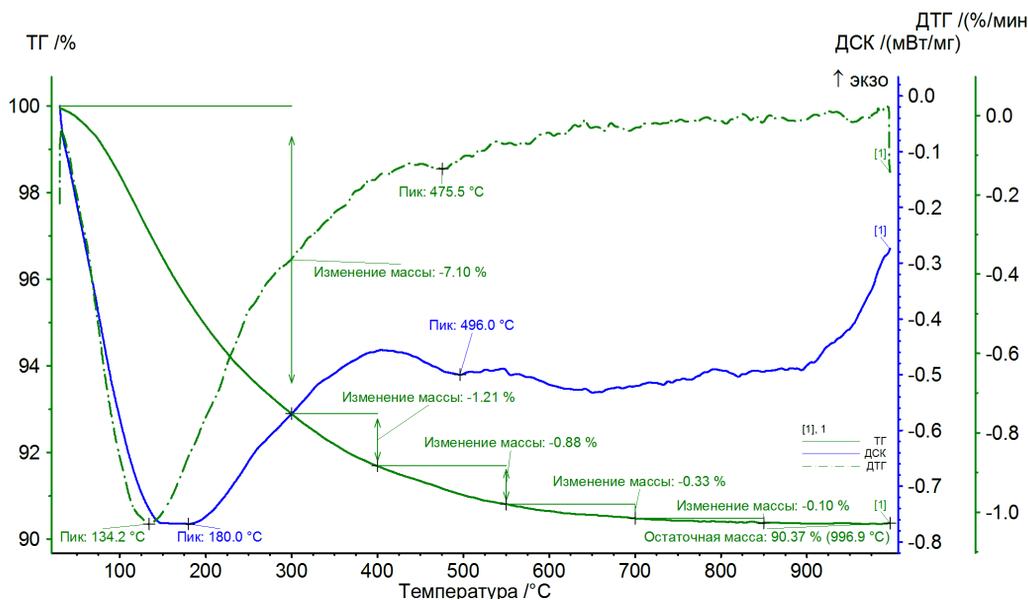


Рис. 3. Термограмма ЦК_{Гс} после адсорбции нефтепродуктов

Источник: составлено авторами.

Выводы

Предложен комплексный подход утилизации некондиционного цеолитового сырья клиноптилолитового типа в различные сорбенты для очистки сточных вод от нефтепродуктов и ионов тяжелых металлов: ЦК_{Гс}, ЦК_{Тс}, ЦК_{Сср}. Различными методами анализа доказано закрепление модификаторов на поверхности адсорбентов.

Закрепление модификаторов на поверхности цеолита доказано методами ИК-спектроскопии, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Результаты атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой доказали сорбцию ионов тяжелых металлов на модифицированных цеолитах. По ИК-спектрам, термограммам отображается адсорбция нефтепродуктов на ЦК_{Гс}, ЦК_{Тс}.

Список литературы

[1] Комащенко В.И., Голик В.И., Дребенштедт К.К. Влияние деятельности геологоразведочной и горнодобывающей промышленности на окружающую среду. М.: Издательство КДУ, 2010. 356 с.

- [2] *Teckentrup L., Kramer-Schadt S., Jeltsch F.* The risk of ignoring fear: underestimating the effects of habitat loss and fragmentation on biodiversity // *Landscape Ecology*, 2019. Vol. 34. Issue 12. P. 2851–2868.
- [3] *Хатькова А.Н., Размахнин К.К.* Цеолитсодержащие породы Восточного Забайкалья: новые технологии переработки // *Вестник Института геологии Коми научного центра УрО РАН*, 2016. № 1. С. 30–33.
- [4] *Грег С., Синг К.* Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1987. 125 с.
- [5] *Челищев Н.Ф.* Цеолиты – новый тип минерального сырья. М.: Недра, 1987. 176 с.
- [6] *Пентин Ю.А., Вилков Л.В.* Физические методы исследования в химии. М.: Мир-Арт. 2003. 688 с.
- [7] *Обуздина М.В., Руш Е.А.* Изучение особенностей взаимодействия компонентов-загрязнителей промышленных сточных вод с модифицированными цеолитами по результатам комплексных физико-химических исследований. // *Экология и промышленность России*, 2021. Т. 25, № 3. С. 36–40.
- [8] *Бёккер Ю.* Спектроскопия. М.: Техносфера, 2009. 847 с.
- [9] *Юсупов Т.С., Шумская Л.Г.* Механохимические процессы в цеолит-фосфатных системах // *Химия в интересах устойчивого развития*, 2007. Т. 15. № 2. С. 229–234.

Сведения об авторах:

Обуздина Марина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, директор научно-образовательного центра факультета безопасности жизнедеятельности, Государственный университет просвещения, Российская Федерация, 141014, Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24. ORCID: 0000-0002-4956-0063. SPIN-код: 2400-3128, AuthorID: 683365. E-mail: obuzdina_mv@mail.ru

Руш Елена Анатольевна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Техносферная безопасность», Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15. SPIN-код: 7207-1065, AuthorID: 424318. E-mail: lrush@mail.ru



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

SHORT MESSAGES

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-3-294-300

EDN: YYXCDA

УДК 502.12

Сообщение / Report

Проблема формирования экологически ответственного сознания общественности на примере деятельности Министерства природных ресурсов Хабаровского края

И.А. Толмачева¹, З.В. Ошлакова²¹*Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация*²*Министерство природных ресурсов Хабаровского края, Хабаровск, Российская Федерация*itolma@mail.ru

Аннотация. В настоящем исследовании рассмотрена проблема экологии и актуальность формирования новой формы общественного экологического сознания. В работе используются методы анализа, синтеза, систематизации и обобщения. Представлена информация о проблеме загрязнения водных ресурсов Хабаровского края. Описана деятельность Министерства природных ресурсов Хабаровского края по формированию экологически ответственного сознания населения при вовлечении его в эковолонтерскую деятельность, приведены данные о других проводимых мероприятиях и об их информационном сопровождении. Сделан обзор количественных показателей акции «Вода России» за пять лет в Хабаровском крае. По мнению авторов, ежегодное увеличение числа эковолонтеров в Хабаровском крае говорит о том, что проведение экологических акций эффективно влияет на формирование экологического сознания общественности. Отмечено, что реализация экологических программ в сфере образования, науки и бизнеса поможет дать ответ на экологические вызовы в современном обществе. Авторы считают, что необходима планомерная и систематическая работа по формированию экологической культуры и сознания населения. Такая работа осуществима

© Толмачева И.А., Ошлакова З.В., 2024

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

в образовательных мероприятиях, стимулирующих акциях и PR-проектах при поддержке Министерства природных ресурсов Хабаровского края.

Ключевые слова: проблемы экологии, экологически ответственное сознание, общественность, национальный проект «Экология», акция «Вода России», волонтерство, устойчивое развитие

Вклад авторов. *Толмачева И.А.* – систематизация, анализ, обработка полученных материалов, написание и редактирование текста публикации, оформление в печать; *Ошлакова З.В.* – сбор и обработка количественных данных акции, редактирование текста публикации.

История статьи: поступила в редакцию 29.02.2024; доработана после рецензирования 11.04.2024; принята к публикации 20.04.2024.

Для цитирования: *Толмачева И.А., Ошлакова З.В.* Проблема формирования экологически ответственного сознания общественности на примере деятельности Министерства природных ресурсов Хабаровского края // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 3. С. 294–300. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-294-300>

The problem of forming an environmentally responsible public consciousness on the example of the Ministry of Natural Resources of the Khabarovsk Territory

Irina A. Tolmacheva¹  , Zinaida V. Oshlakova²

¹ *Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation*

² *Minister of Natural Resources of the Khabarovsk Territory, Khabarovsk, Russian Federation*

itolma@mail.ru

Abstract. In the present work examines the problem of ecology and the relevance of the formation of a new form of public ecological consciousness. The work uses methods of analysis, synthesis, systematization, generalization. Information is provided on the problem of water pollution in the Khabarovsk Territory. The article describes the activities of the Ministry of Natural Resources of the Khabarovsk Territory on the formation of an environmentally responsible consciousness of the population when involving it in eco-volunteer activities, provides data on other ongoing events and their information support. An overview of the quantitative indicators of the campaign «Water of Russia» for five years in the Khabarovsk Territory is made. According to the authors, the annual increase in the number of eco-volunteers in the Khabarovsk Territory suggests that holding environmental actions effectively affects the formation of environmental awareness of the public. It was noted that the implementation of environmental programs in the field of education, science and business will help to respond to environmental challenges in modern society. The authors believe that systematic and systematic work is needed to form an ecological culture and consciousness of the population. Such work is feasible in educational events, promotional campaigns and PR projects with the support of the Ministry of Natural Resources of the Khabarovsk Territory.

Keywords: environmental problems, environmentally responsible consciousness, public, national project «Ecology», Action «Water of Russia», volunteering, sustainable development

Authors' contribution. *Tolmacheva I.A.* – systematization, analysis, processing of the received materials, writing and editing the text of the publication, printing; *Oshlakova Z.V.* – collection and processing of quantitative data of the Campaign, editing the text of the publication.

Article history: received 29.02.2024; revised 11.04.2024; accepted 20.04.2024.

For citation: Tolmacheva IA, Oshlakova ZV. The Problem of Forming an Environmentally Responsible Public Consciousness on the example of the Ministry of Natural Resources of the Khabarovsk Territory. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(3):294–300. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-294-300>

В наши дни проблема экологии стоит особенно остро и является проблемой мирового уровня. Неразумное расходование ресурсов, вмешательство человека в природу дали начало массовым экологическим проблемам. Потребности человечества растут, а возможности биосферы сравнительно ограничены, что обуславливает значительные риски для дальнейшего существования антропосферы [1]. С течением времени, в процессе осознания масштаба и возможности катастрофы, человечество начало уделять внимание минимизации экологических бедствий. Однако уровень производства и потребления вышел к таким масштабам, что ежедневно стал представлять угрозу безопасности нынешних и будущих поколений. На современном этапе развития общественных отношений актуальность социального управления экологической сферой и становление новой формы общественного экологического сознания приобретает особую актуальность [2].

Участие в организации и развитии системы экологического образования и формирования экологического сознания населения на территории Хабаровского края является одной из функций исполнительного органа края в области охраны окружающей среды, которым является Министерство природных ресурсов. Формы этой работы разнообразные, цель одна – привлечение внимания неравнодушных жителей региона к вопросам сохранения уникальной природы края. Вовлечение людей в волонтерскую деятельность при организации и поддержке экологических акций министерством – это одно из направлений формирования экологически ответственного сознания обществу.

Рассмотрим подробнее проблему загрязнения водных объектов Хабаровского края. Деятельность населения и изношенная инфраструктура города приводят к серьезному загрязнению окружающей среды и водных ресурсов [3]. Вопрос о необходимости применения комплексного подхода к оздоровлению реки Амур в 2021 г. был поднят бывшим губернатором Хабаровского края Михаилом Дегтяревым на встрече с Президентом Владимиром Путиным. По итогам встречи началась работа по разработке отдельного федерального проекта в составе национального проекта «Экология» по экологическому оздоровлению крупных водных артерий России, в том числе реки Амур, реализация которого планируется с 2025 г.

Проблема не только в состоянии и качестве самой воды, а также в том, что берега загрязняют бытовым мусором. Это касается не только реки Амур, но и берегов всех водных объектов края и прилегающих акваторий. Решение проблемы зависит не только от действий чиновников. Очень важным является непосредственное участие жителей края. Важно помнить, что перемены начинаются с каждого представителя общества. Формирование экологически ответственного сознания населения крайне актуально для Хабаровского края.

В Хабаровском крае ежегодно, начиная с 2019 г., проводятся мероприятия по очистке от мусора берегов водных объектов и прилегающих акваторий. Это происходит в рамках Всероссийской акции по уборке от мусора водоемов и их берегов «Вода России» (далее – акция «Вода России») национального проекта «Экология». Для проведения акции выбираются берега водных объектов с наибольшей антропогенной нагрузкой.

В период с 2019 по 2023 г. в мероприятиях по очистке берегов водных объектов от мусора на территории края приняли участие свыше 18 000 человек. С 2019 г. произведена очистка береговой линии протяженностью 577,01 км. С апреля по ноябрь 2023 г. силами 7041 добровольцев очищена береговая линия протяженностью 171,60 км, собрано и вывезено 1805,32 м³ мусора, проведено 224 субботника. За пять лет число волонтеров выросло почти в пять раз. Ежегодно Министерство природных ресурсов края отмечает наиболее активных участников акции, что может вызвать интерес у потенциальных участников и стимулировать их активность. Таких активистов особо представляют в постах социальных сетей «Проект: портрет волонтера».

Именно добровольная и осознанная деятельность людей по защите и сохранению природных объектов является главным индикатором сформированности экологически ответственного сознания. Следовательно, проведение экологически значимых общественных мероприятий является эффективным PR-инструментом в формировании экологически ориентированной культуры и сознания общественности края. Важно, что любой заинтересованный человек может сам стать организатором подобного мероприятия, рекомендуется регистрировать участников на официальном сайте акции «Вода России»: берегодобрыхдел.рф.

В феврале 2024 г. стартовал экологический проект «Экопривычки в семью внедряй, сделаем чище Хабаровский край». Проект приурочен к объявленному Президентом РФ Путиным Году семьи, а также Году молодежи в Хабаровском крае, объявленному бывшим главой региона Михаилом Дегтяревым. Семьи Хабаровского края делятся своим опытом, иной раз даже соревнуются в рациональном потреблении ресурсов. Именно в семье начинается становление экологически ответственного отношения детей к природе. Так экологические нормы постепенно становятся образом жизни жителей региона.

Широкое освещение и информационную поддержку акций проводит пресс-служба Министерства природных ресурсов края при активном взаимодействии со СМИ. Публикуются статьи по материалам проведенных мероприятий в краевом эколого-публицистическом журнале «Просторы Приамурья». Размещение релизов акций осуществляется на сайте Правительства края или Министерства природных ресурсов, на официальных аккаунтах в социальных сетях. Известно, что СМИ формируют общественное мнение, здесь как раз и реализуется возможность заложить в умы людей экологически ответственное отношение к природе, сформировать экологическую культуру населения.

Немаловажно и экологическое просвещение. Реализация экологических программ и стратегий в сфере образования и науки поможет дать ответ на экологические вызовы в современном обществе [4–6]. Исследования М.В. Валеевой показывают, что юные жители проявляют интерес в отношении экологических проблем, однако в реальной жизни их экологическое сознание и отношение к окружающей среде весьма ограничено [7].

Необходимо планомерно и постепенно формировать экологически ответственное сознание в обществе. Работа эта должна проводиться с самого детства, чтобы юные жители края со школьной скамьи были проникнуты идеей сохранения окружающей среды. Такая деятельность уже реализуется на практике: например, серией экоуроков открыло 2024 г. Минприроды Хабаровского края. Кроме того, формированию экологического сознания молодежи способствуют стимулирующие акции и поощрительные мероприятия для волонтеров. Например, выполняя задания по уборке водоемов от мусора, все участники команды акции «Вода России» получают бонусы за добрые дела. Больше выполненных заданий – больше баллов, которые можно обменять на разнообразные призы. Кроме того, в качестве индивидуальных достижений и дополнительных баллов к ЕГЭ засчитывается деятельность волонтерства при поступлении в вузы края.

Вместе с тем важно также формировать и стимулировать социальную ответственность бизнеса [8]. Тренд на устойчивое социальное развитие должен внедряться в корпоративную культуру каждой компании и организации [9]. Необходимо всячески поощрять участие в экологическом волонтерстве, можно заложить его в основу уникальности корпоративной культуры организации. В результате при правильной и методичной работе в этом направлении экологические нормы и правила станут нормой жизни каждого сотрудника.

Таким образом, формирование экологического сознания общественности вполне успешно реализуется в образовательных мероприятиях, стимулирующих акциях и PR-проектах для организаций и бизнеса, жителей региона при их организации и поддержке Министерством природных ресурсов Хабаровского края.

Список литературы

- [1] Арутюнян К.С. Становление и развитие новой формы общественного сознания в управлении экологической сферой // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Серия: Гуманит. и соц. науки. 2020. № 2. С. 64–71.
- [2] Тринадцатко О.А. Экологическое сознание как элемент социально-экологического управления // Социально-гуманитарные знания. 2022. № 4. С. 127–140.
- [3] Шевицов М.Н., Мишкин Д.В. Экологическая оценка водных ресурсов города Хабаровска // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 1 (50). С. 104–111.
- [4] Пивоварова М.Б. Управление в сфере образования и науки в целях экологизации сознания российского общества // Соц.-гуманит. знания. 2018. № 2. С. 285–289.
- [5] Петрова Е. В. К вопросу о роли экологического образования в становлении экоориентированного сознания // Развитие образования. 2020. С. 58–61.
- [6] Дружаккина О.П. Формирование экологической культуры населения и подготовка лидеров экопросвещения // Образование и проблемы развития общества. 2020. № 4 (13). С. 104–109.
- [7] Валева М.В. Экологическое сознание и поведение современной студенческой молодежи: социологический анализ // Социодинамика. 2023. № 7. С. 53–63.
- [8] Кудрявцева О.В., Бобылев С.В. Устойчивое развитие территорий: монография / под науч. ред. О.В. Кудрявцевой. М.: Экономический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2021. 492 с.
- [9] Белоусов К.Ю. Корпоративная социальная ответственность российских компаний: формирующиеся тренды в области устойчивого развития // Социум и христианство: сборник статей участников VII Международной научно-практической конференции. Минск, 2023 г. Минск, 2023. С. 18–21.

References

- [1] Harutyunyan KS. Formation and development of a new form of public consciousness in environmental management. *Vestnic North-Arctic feder. University. Ser.: Humanit. and Social Sciences*. 2020;(2):64–71. (In Russ.)
- [2] Treenadtsatko OA. Ecological consciousness as an element of socio-ecological management. *Social and Humanitarian Knowledge*. 2022;(4):127–140. (In Russ.)
- [3] Shevtsov MN., Mishkin DV. Ecological assessment of the water resources of the city of Khabarovsk. *Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University*. 2022;(1):104–111. (In Russ.)
- [4] Pivovarova MB. Management in the field of education and science for the purpose of greening the consciousness of Russian society. *Social-humanitarian. knowledge*. 2018;(2):285–289. (In Russ.)
- [5] Petrova EV. On the role of environmental education in the formation of eco-oriented consciousness. *The Development of Education*. 2020. p. 58–61.
- [6] Druzhakina OP. Formation of ecological culture of the population and training of leaders of environmental education. *Education and problems of social development*. 2020;4(13):104–109. (In Russ.)
- [7] Valeeva MV. Ecological consciousness and behavior of modern student youth: a sociological analysis. *Sociodynamics*. 2023;(7):53–63. (In Russ.)
- [8] Kudryavtseva OV., Bobylev SV. Sustainable development of territories: monograph. Kudryavtseva OV. (ed.). Moscow: Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University; 2021. 492 p. (In Russ.)

- [9] Belousov KY. Corporate social responsibility of Russian companies: emerging trends in the field of sustainable development. *Society and Christianity: Collection of articles by participants of the VII International Scientific and Practical Conference. 2023 Minsk*. Minsk; 2023. p. 18–21. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Толмачева Ирина Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент Высшей школы медиа, коммуникаций и сервиса Тихоокеанского государственного университета, Российская Федерация, 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136, ORCID: 0009-0002-6242-1583, eLIBRARY SPIN-код: 2997-1455, AuthorID: 700802. E-mail: itolma@mail.ru

Ошлакова Зинаида Владимировна, кандидат биологических наук, председатель комитета по охране окружающей среды Министерства природных ресурсов Хабаровского края, Российская Федерация, 680000, г. Хабаровск, ул. Муравьева-Амурского, д. 56. E-mail: ozvkhv@mail.ru

Bio notes:

Irina A. Tolmacheva, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Higher School of Media, Communications and Service of the Pacific State University, 136 Pacific Street, Khabarovsk, 680035, Russian Federation, ORCID: 0009-0002-6242-1583, eLIBRARY SPIN-code: 2997-1455, AuthorID: 700802. E-mail: itolma@mail.ru

Zinaida V. Oshlakova, Candidate of Biological Sciences, Chairman of the Committee for Environmental Protection of the Ministry of Natural Resources of the Khabarovsk Territory, 56 Muravyov-Amursky St, Khabarovsk, 680000, Russian Federation. E-mail: ozvkhv@mail.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-3-301-311

EDN: ZCZSYG

УДК 628.4.02

Сообщение / Report

Формирование экологической культуры грамотного обращения с отходами

Е.А. Примак  , Е.А. Иванова 

*Российский государственный гидрометеорологический университет,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
ekaterinaprimak@yandex.ru*

Аннотация. На сегодняшний день важность решения проблемы формирования экологической культуры с каждым годом возрастает во всех регионах России. В свою очередь, это обусловлено прежде всего необходимостью принятия мер не только для развития экологической грамотности и образования, но и улучшения состояния окружающей природной среды, рационального использования ресурсов, отдельного накопления и сбора отходов производства и потребления и грамотно организованной переработки вторичного сырья. Данная проблема может быть решена только совместными усилиями как органов государственной власти, органов местного самоуправления, так и населения России. Цель исследования заключалась в изучении основных причин недостаточно ответственного отношения населения Российской Федерации в области обращения с отходами через рассмотрение уровня экологической грамотности в данной области. В исследовании приведены результаты социально-экологического опроса, проведенного методом социологического исследования для оценки фактического уровня экологической грамотности населения России и выявления их потребности в экологическом образовании. Анкетирование позволило выявить основные трудности и проблемы, с которыми сталкиваются респонденты в области отдельного накопления и сбора отходов.

Ключевые слова: экологическая грамотность, экологическое образование, обращение с отходами, отдельное накопление отходов, селективный сбор отходов, социологическое исследование, социально-экологический опрос

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

История статьи: поступила в редакцию 10.05.2023; доработана после рецензирования 12.01.2024; принята к публикации 15.02.2024.

© Примак Е.А., Иванова 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>

Для цитирования: Примак Е.А., Иванова Е.А. Формирование экологической культуры грамотного обращения с отходами // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 3. С. 301–311. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-301-311>

Fostering an environmental culture of competent waste management

Ekaterina A. Primak  , Elizaveta A. Ivanova 

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

Abstract. At present the importance of solving the problem of ecological culture formation increases every year in all regions of Russia. In its turn it is caused by the necessity of taking measures not only for ecological literacy and education but also for environment improvement, rational resource management, separate collection of industrial and consumption wastes and well-organized recycling of secondary raw materials. This problem can only be solved by the joint efforts of both public authorities, local authorities, also the population of Russia. The purpose of the research was to study the basic reasons of insufficiently responsible attitude of the Russian population in the field of waste management through the consideration of the level of ecological literacy in this sphere. The study presents the results of socio-ecological survey conducted by the method of sociological research to assess the real level of environmental literacy of the Russian population and to identify their need for environmental education. The survey revealed the main problems and difficulties faced by the respondents in the field of separate waste collection.

Keywords: environmental literacy, environmental education, waste management, separate accumulation of waste, separate waste collection, socio-ecological survey

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

Article history: received 10.05.2023; revised 12.01.2024.; accepted 15.02.2024.

For citation: Primak EA, Ivanova EA. Fostering an environmental culture of competent waste management. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(3):301–311. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-3-301-311>

Введение

В последние годы экологическая грамотность рассматривается как наиболее важный компонент экологического образования. Поскольку экологические проблемы могут иметь непреодолимые последствия для будущего нашей страны, необходимо обратить особое внимание на развитие экологической грамотности и ее уровень в России. Главной целью экологического образования является воспитание современных активных граждан, которые осознают необходимость бережного отношения к окружающей среде и беспокоятся о ее состоянии, а также обладают знаниями, навыками, мотивацией

и приверженностью к индивидуальной и коллективной работе по решению существующих проблем и предотвращению возникновения новых в этой области.

На сегодняшний день одной из наиболее важных экологических проблем является проблема обращения с отходами производства и потребления. Частью решения этой проблемы является повышение уровня экологической грамотности населения в данной сфере с целью преобразования структуры коллективного человеческого сознания и побуждения людей минимизировать или смягчать существующие экологические проблемы [1]. Важно, чтобы каждый гражданин осознавал свою ответственность за сохранение природы и вносил личный вклад в защиту окружающей среды, принимая активное участие в решении задач в сфере экологической безопасности.

Материалы и методы исследования

В настоящее время с технологическим развитием и ростом населения в России уровни потребления ресурсов, выбросов и сбросов загрязняющих веществ в значительной степени неуклонно растут, вызывая глобальные изменения, которые среди прочего отражаются в системе обращения с отходами. Последние десятилетия молодое поколение стало осознавать всю серьезность экологического дисбаланса. Следует отметить, что в современном российском обществе существует некоторое социальное беспокойство, которое проявляется экологической тревогой по поводу неспособности предотвратить экологический кризис [2].

В целях предотвращения дальнейшего загрязнения окружающей среды необходимо сосредоточиться не только на разработке и применении новых технологий, но и на реализации культурной трансформации, которая необходима для противостояния нынешнему экологическому кризису. Особое внимание необходимо уделить образовательной деятельности, чтобы увеличить осведомленность населения об экологических проблемах и побудить к действиям по защите окружающей среды. Основной целью экологического образования является повышение экологической грамотности, что является важной задачей для улучшения качества окружающей среды.

Впервые термин «экологическая грамотность» введен Д.В. Орром и Ф. Капррой в конце 1990-х гг., которые определяли «экологическую грамотность» как интеграцию экологических знаний, принципов и основанного на них экологического мышления с экологической деятельностью – практическим следованием экологическим ценностям [3]. В настоящее время в научной литературе насчитывается не менее десятка определений «экологической грамотности». Но, несмотря на такое многообразие понятий в определении экологической грамотности, на сегодняшний день в законодательных актах его общее толкование не закреплено.

Как отмечено в Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. к внутренним вызовам и угрозам экологической

безопасности, помимо увеличения объема образования отходов производства и потребления при низком уровне их утилизации, относится в том числе низкий уровень экологического образования населения¹. Главной причиной сложившейся ситуации является низкий уровень экологической грамотности и экологической культуры граждан страны [4].

В современной России экологическая культура раздельного накопления и сбора отходов только начинает внедряться в жизнь населения. Так, в 2019 г. публично-правовой компанией «Российский экологический оператор» был разработан национальный проект «Экология», который должен был решить проблемы не только в области обращения с отходами, но и развития экологического туризма и экологического воспитания населения. Однако спустя время он показал свою неэффективность, так как согласно одной из задач федеральной программы «Утилизация отходов» – нелегальные свалки необходимо было ликвидировать уже к 2024 г. и увеличить до 36 % количество отходов, отправляемых на утилизацию. По данным на 2022 г., количество отходов, отправляемых на утилизацию, составляет лишь 6–7 %.

В соответствии со статьей 71 Федерального закона № 7-ФЗ «Об охране окружающей природной среды» в целях формирования экологической культуры и профессиональной подготовки специалистов в области охраны окружающей среды устанавливается система всеобщего и комплексного экологического образования, включающая общее образование, среднее профессиональное образование, высшее образование и дополнительное профессиональное образование специалистов, а также распространение экологических знаний, в том числе через средства массовой информации, музеи, библиотеки, учреждения культуры, природоохранные учреждения, организации спорта и туризма².

В связи с этим следует выделить некоторые особенности формирования экологической грамотности на каждом уровне образования в Российской Федерации. Рассмотрим некоторые из них.

Главной особенностью общего образования в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом основного общего образования³ является формирование основ экологической грамотности: способности оценивать последствия деятельности человека в природе, влияние факторов риска на здоровье человека; выбирать целевые и смысловые установки в своих действиях и поступках по отношению к живой природе,

¹ Указ Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» // Президент России: офиц. сайт. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41879> (дата обращения: 10.05.2023).

² Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» // Президент России: офиц. сайт. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/17718> (дата обращения: 10.05.2023).

³ Приказ Минобрнауки России от 17 декабря 2010 г. № 1897 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования» // Минпросвещения России: офиц. сайт. URL: <https://docs.edu.gov.ru/document/8f549a94f631319a9f7f5532748d09fa> (дата обращения: 10.05.2023).

здоровью своему и окружающих, осознание необходимости действий по сохранению биоразнообразия и природных местообитаний видов растений и животных.

Важно отметить, что не выражен единый государственный образовательный стандарт отсутствует у среднего профессионального образования, высшего образования и дополнительного профессионального образования специалистов, но есть стандарты для каждого направления отдельно. Однако во многих дисциплинах осуществляется эколого-просветительская деятельность, а также происходит формирование основ экологической культуры, соответствующей современному уровню экологического мышления.

Для того чтобы оценить уровень экологической культуры в сфере обращения с отходами, а также готовность населения к раздельному сбору отходов был составлен и проведен в апреле 2022 г. социально-экологический опрос, в котором приняло участие 400 жителей Российской Федерации разных возрастов и профессий.

Все респонденты были разделены на пять возрастных категорий: подростковый возраст (10–15 лет); юношество (16–20 лет); ранняя зрелость (21–40 лет); средняя зрелость (41–59 лет) и период поздней зрелости (60 лет и старше) [5]. Данное разделение на возрастные категории позволяет выделить те группы населения, на которые следует обратить особое внимание и сделать акцент на дополнительную работу в области формирования экологической культуры.

Среди опрошенных респондентов большую часть составили женщины – 85 % и соответственно 15 % пришлось на респондентов мужского пола. Наибольшее количество опрошенных женщин входят в возрастную категорию от 21 до 40 лет, а мужчин – в возрасте от 16 до 20 лет (табл. 1).

Таблица 1. Распределение респондентов по возрастным категориям

Возраст, лет	Женщины	Мужчины
10–15	2	1
16–20	88	36
21–40	183	20
41–59	64	3
60 и старше	3	0

Источник: составлено авторами.

Table 1. Distribution of respondents by age categories

Age, years	Female	Male
10–15	2	1
16–20	88	36
21–40	183	20
41–59	64	3
60 and older	3	0

Source: compiled by the authors.

Результаты исследования и их обсуждения

В табл. 2 представлены результаты проведенного исследования.

Таблица 2. Результаты анкетирования

Вопрос «Знаете ли Вы о раздельном сборе отходов?»				
Возраст, лет	Женщины, чел.		Мужчины, чел.	
	Да	Нет	Да	Нет
10–15	2	0	1	0
16–20	88	0	36	0
21–40	181	2	19	1
41–59	64	0	3	0
60 и старше	3	0	0	0
Вопрос «Вы готовы поддержать введение раздельного сбора отходов?»				
Возраст, лет	Женщины, чел.		Мужчины, чел.	
	Да	Нет	Да	Нет
10–15	2	0	1	0
16–20	86	2	34	2
21–40	178	5	19	1
41–59	61	3	2	1
60 и старше	3	0	0	0
Вопрос «Разделяете Вы мусор в домашних условиях?»				
Возраст, лет	Женщины, чел.		Мужчины, чел.	
	Да	Нет	Да	Нет
10–15	1	1	1	0
16–20	44	44	14	22
21–40	134	49	12	8
41–59	41	23	1	2
60 и старше	2	1	0	0
Вопрос «Как Вы считаете, возможно приобщить население к раздельному накоплению отходов?»				
Возраст, лет	Женщины, чел.		Мужчины, чел.	
	Да	Нет	Да	Нет
10–15	2	0	1	0
16–20	83	5	31	5
21–40	157	26	17	3
41–59	59	5	2	0
60 и старше	3	0	0	0

Источник: составлено авторами.

Table 2. Results of the survey

The question “Do you know about separate waste collection?”				
Age, years	Female		Male	
	Yes	No	Yes	No
10–15	2	0	1	0
16–20	88	0	36	0
21–40	181	2	19	1
41–59	64	0	3	0
60 and older	3	0	0	0
The question “Are you ready to support the introduction of separate waste collection?”				
Age, years	Female		Male	
	Yes	No	Yes	No
10–15	2	0	1	0
16–20	86	2	34	2
21–40	178	5	19	1
41–59	61	3	2	1
60 and older	3	0	0	0
The question “Do you share waste at home?”				
Age, years	Female		Male	
	Yes	No	Yes	No
10–15	1	1	1	0
16–20	44	44	14	22

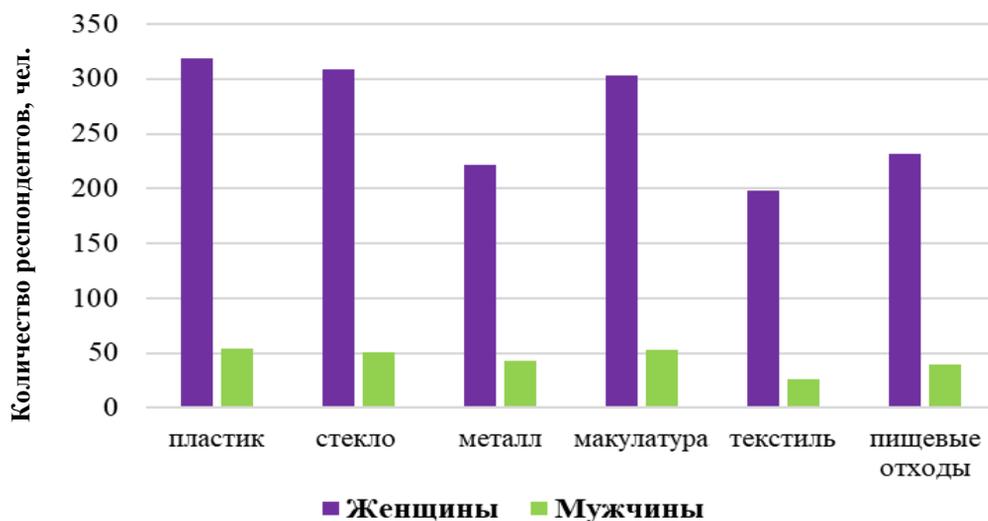
End of Table 2

21–40	134	49	12	8
41–59	41	23	1	2
60 and older	2	1	0	0
The question “Do you think it is possible to involve the population in separate accumulation of waste?”				
Age, years	Female		Male	
	Yes	No	Yes	No
10–15	2	0	1	0
16–20	83	5	31	5
21–40	157	26	17	3
41–59	59	5	2	0
60 and older	3	0	0	0

Source: compiled by the authors.

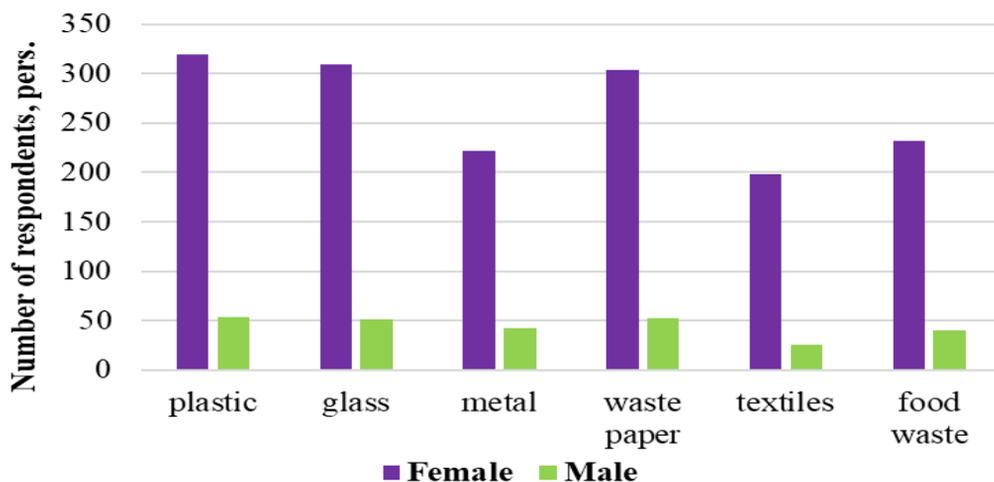
На вопрос «Знаете ли Вы о раздельном сборе отходов?» 99 % респондентов, преимущественно женщины в возрасте от 21 до 40 лет и мужчины от 16 до 20 лет, ответили положительно, что подтверждает достаточно высокий уровень информированности населения в данной области.

По результатам проведенного исследования, можно сделать вывод о том, что 96,5 % опрошенных готовы разделять отходы дома. Дополнительно в ходе проведения анкетирования было уточнено, на какие фракции интервьюируемые готовы разделять отходы (рис.). В большей степени женщины готовы разделять на пластик и стекло – 20 %, макулатуру – 19 %, в меньшей степени – на пищевые отходы – 15 %, металл – 14 % и текстиль – 12 %. Среди мужчин в большей степени готовы разделять на пластик и макулатуру 20 %, стекло – 19 %, в меньшей степени на металл – 16 %, пищевые отходы – 15 % и текстиль – 10 %.



Готовность населения к разделению отходов на фракции

Источник: составлено авторами.



The readiness of the population to separate waste into fractions
 Source: compiled by the authors.

На вопрос о сортировке мусора в домашних условиях более 60 % всех анкетированных ответили положительно. Однако необходимо отметить, что мужчин, которые разделяют отходы по фракциям дома, всего 28 чел., что составляет менее 50 % от общего количества анкетированных мужчин. При организации и проведении экологической просветительной деятельности следует обратить особое внимание и сделать акцент на дополнительную работу в возрастной группе от 16 до 20 лет: именно женщины и мужчины данного возраста меньше всех разделяют мусор. Одними из основных причин отсутствия раздельного накопления отходов в домашних условиях являются отсутствие системы селективного сбора отходов в районе проживания респондентов, отсутствие экологического образования в данной области и отсутствие уверенности в том, что разделенный мусор действительно попадет на переработку с пользой для окружающей среды.

В целом проведенный анализ показал, что большинство респондентов считают, что население на практике возможно приобщить к селективному накоплению отходов. Более 88 % женщин и мужчин всех возрастных категорий ответили утвердительно на данный вопрос.

Рекомендации по повышению экологической культуры

Уровень экологической культуры и образования с каждым годом растет, но на сегодняшний момент еще не достиг необходимого уровня. Для каждой категории населения необходимо разработать эффективную систему пропаганды экологически ответственного поведения и отношения не только к раздельному накоплению и сбору отходов, но и к окружающей среде в целом.

Существует большое количество средств массовой информации, обладающих большой аудиторией, с помощью которых имеется возможность эффективно осуществлять экологическое просвещение. Социальные медиа

являются достаточно результативным и простым инструментом для формирования общественного мнения по отношению к экологической ситуации, в том числе в области обращения с отходами.

Существует несколько основных функций, которые выполняют СМИ, к ним относятся:

- 1) взаимодействие;
- 2) информация;
- 3) презентация;
- 4) мотивация.

В настоящее время существуют различные подходы к решению проблемы повышения экологической культуры и экологического образования населения: реализация экогуманитарной модели «6+1» [3], использование медиаресурсов и технологий, внедрение технологий электронного образования для формирования и развития экологической грамотности и экологически ответственного поведения в дополнительных общеразвивающих программах, применение эффективных методов проектной и научной деятельности, применение междисциплинарного и конвергентного подходов и др. [6].

Для того чтобы улучшить ситуацию в сфере развития экологической культуры в России, авторами был разработан проект «ЭкоКультура», реализация которого в первую очередь направлена на приобщение населения к раздельному накоплению отходов и развитие экологического образования и просвещения.

Цель проекта – повышение экологической культуры потребления и ответственного отношения населения России через приобщение всех возрастных категорий населения к раздельному накоплению и сбору отходов.

Задачи проекта:

- 1) популяризация важности развития экологической культуры и бережного отношения к окружающей среде у населения;
- 2) эффективная организация пунктов раздельного сбора отходов;
- 3) создание единой и эффективной системы раздельного сбора отходов по всей России;
- 4) создание рекламной кампании, привлечение СМИ и социальных медиа для повышения экологического просвещения;
- 5) проведение эколого-просветительских мероприятий.

Реализация проекта позволит не только снизить экологические и социальные риски в сфере раздельного сбора отходов, но и значительно улучшить качество жизни населения России.

Заключение

Результаты проведенного социально-экологического опроса позволяют сделать вывод о том, что становление экологической грамотности и культуры в области раздельного накопления и сбора отходов в России всё еще находятся на стадии развития. Большинство респондентов выразило готовность к

внедрению в стране раздельного сбора отходов. При этом одной из основных проблем, с которой сталкиваются многие опрошенные, является отсутствие централизованной системы раздельного сбора отходов. В данном случае необходим вклад не только всех граждан, но и органов государственной власти и органов местного самоуправления в целом. Только вместе, совершая правильные экологические действия, можно создать благоприятную среду для жизни сейчас и будущим поколениям.

В ходе исследования авторами были сформулированы следующие подходы к решению проблемы повышения экологической культуры и экологического образования населения России:

- 1) повышение уровня образования и подготовки преподавателей, лидеров общественных экологических организаций в области охраны окружающей среды, экологической безопасности;
- 2) использование интерактивных методов и технологий для формирования экологической культуры и образования;
- 3) применение СМИ и социальных медиа;
- 4) развитие сети пунктов раздельного сбора отходов;
- 5) стимулирование населения не только материально, но и морально;
- 6) осуществление эколого-просветительской работы с гражданами в области раздельного накопления и сбора отходов.

Экологическое образование должно охватывать все группы населения и стать частью их повседневной жизни и деятельности, тем самым повышая уровень экологической культуры граждан всех возрастных категорий. Для этого необходимо проводить непрерывное обучение населения экологической грамотности, распространять информацию о важности сохранения природы и окружающей среды. Целесообразно создать уникальное экологическое образовательное сообщество, которое сможет продвигать экологическую культуру, активно вовлекая население в улучшение экологической ситуации и повышение осведомленности в этой области.

Список литературы

- [1] Fang W.T., Hassan A, LePage B.A. Environmental Literacy // The Living Environmental Education. Sustainable Development Goals Series. Springer, Singapore, 2022. P. 93–126. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4234-1_4
- [2] Абдулрагимов И.А., Горбушина Е.А., Небродовская-Мазур Е.Ю. Феномен «экотревозможность» и его актуальность для российской действительности // Актуальные проблемы современной России: психология, педагогика, экономика, управление и право: сборник научных трудов. М., 2022. С. 16–23.
- [3] Алексеев С.В. От экологической грамотности к экологической культуре: интеграция образования и просвещения // Ученые записки Забайкальского государственного университета. 2024. Т. 19, № 1. С. 36–44. <https://doi.org/10.210209/2658-7114-19-1-36-44>
- [4] Зеленова Д.А., Каплунова Д.В., Селюч В.В. Формирование экологического воспитания в Российской Федерации // Синергия наук. 2018. № 23. С. 835–844.
- [5] Хилько М.Е. Возрастная психология. М.: Изд-во Юрайт, 2013. 200 с.

- [6] Дуненбаева Я.В., Жидкина А.А., Куклина Е.Б. Исследование формирования экологической грамотности и экологически ответственного поведения жителей города Ханты-Мансийска // Сборник материалов летней школы по зеленой экономике. 2021. С. 102–123.

References

- [1] Fang WT, Hassan A, LePage BA. Environmental Literacy. *The Living Environmental Education. Sustainable Development Goals Series*. Singapore: Springer; 2022. p. 93–126. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4234-1_4
- [2] Abdulragimov IA, Gorbushina EA, Nebrodovskaya-Mazur EU. The phenomenon of ecological anxiety and its relevance in Russia. *Actual problems of modern Russia: psychology, pedagogy, economics, management and law. Collection of scientific papers*. Moscow; 2022. p. 16–23.
- [3] Alekseev SV. From Ecological Literacy to Ecological Culture: Integration of Education and Enlightenment. *Scholarly Notes of Transbaikal State University*. 2024;19(1):36–44. <https://doi.org/10.210209/2658-7114-19-1-36-44>
- [4] Zelenova DA, Kaplunova DV, Selyuch VV. Formation of ecological education in the Russian Federation. *Synergy of Sciences*. 2018;23:835–844.
- [5] Khilko ME. *Age psychology*. Moscow: Yurayt Publishing House; 2013, 200 p.
- [6] Dunenbaeva YV, Zhidkina AA, Kuklina EB. Research of formation of environmental literacy and environmentally responsible behavior of Khanty-Mansiysk city residents. *Proceedings of the summer school on green economy*. 2021. p. 102–123.

Сведения об авторах:

Примак Екатерина Алексеевна, кандидат географических наук, доцент кафедры прикладной и системной экологии, Российский государственный гидрометеорологический университет, Российская Федерация, 192007, Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79. ORCID: 0000-0003-3536-4122, eLIBRARY SPIN-код: 1517-9259. E-mail: ekaterinaprimak@yandex.ru

Иванова Елизавета Алексеевна, магистрант кафедры прикладной и системной экологии, Российский государственный гидрометеорологический университет, Российская Федерация, 192007, Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79. ORCID: 0000-0003-2736-1159, eLIBRARY SPIN-код: 9906-9761. E-mail: lizok.sb@yandex.ru

Bio notes:

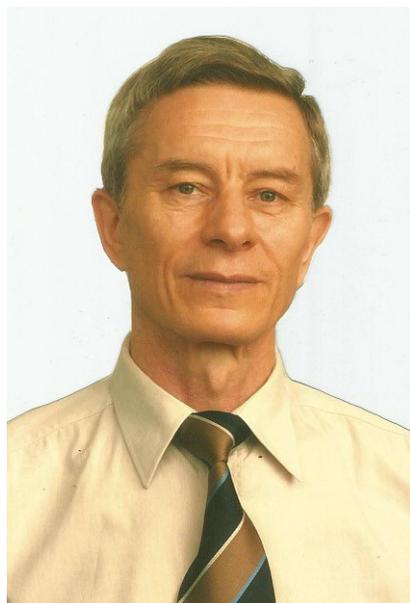
Ekaterina A. Primak, Candidate of Geographic Sciences, Associate Professor of the Department «Applied and Systems Ecology», Russian State Hydrometeorological University, 79 Voronezhskaya St, St. Petersburg, 192007, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-3536-4122, eLIBRARY SPIN-code: 1517-9259. E-mail: ekaterinaprimak@yandex.ru

Elizaveta A. Ivanova, Master's Degree Student, of the Department «Applied and Systems Ecology», Russian State Hydrometeorological University, 79 Voronezhskaya St, St. Petersburg, 192007, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-2736-1159, eLIBRARY SPIN-code: 9906-9761. E-mail: lizok.sb@yandex.ru

НОВОСТИ

NEWS

К 80-летию академика Владимира Владимировича Тетельмина



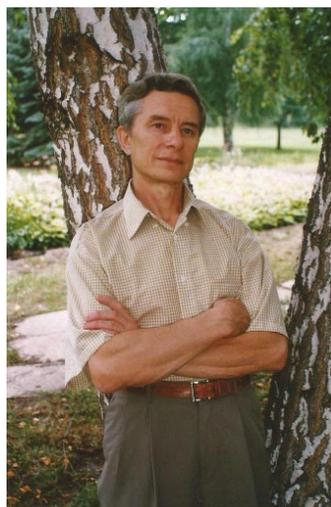
В августе 2024 г. главному специалисту Института экологии Российского университета дружбы народов, члену Общественного совета при Минэнерго РФ, доктору технических наук, академику Российской академии естественных наук и Российской экологической академии Владимиру Владимировичу Тетельмину исполняется 80 лет.

В.И. Тетельмин родился в г. Томске, школу окончил в г. Боготол Красноярского края. После окончания в 1966 г. Красноярского политехнического института читал лекции на кафедре гидравлики по механике жидкости, аэродинамике, основам использования водной энергии.

С конца шестидесятых годов четверть века работал в Красноярском филиале ВНИИ

гидротехники им. Б.Е. Веденеева. Это было время строительства самых крупных в мире ГЭС, когда необходимо было проводить научное обоснование проектирования, строительства и эксплуатации таких сооружений, как Братская, Красноярская, Усть-Илимская, Колымская, Вилюйская, Зейская, Майнская и Саяно-Шушенская ГЭС.

Владимира Тетельмина отличает широкий круг научных интересов. Он разработал реологические основы и технологические принципы закрепления фильтрующих и вечномёрзлых грунтов, применил теорию гидравлического разрыва к расчету режимов цементации и бурения скважин,



исследовал суффозионную устойчивость противofiltrационных элементов плотин, развил теорию упругого режима фильтрации в скальных основаниях высоких плотин, исследовал влияние глубинных геодинамических процессов на напряженно-деформированное состояние бетонных плотин. Кандидатскую диссертацию защитил в 1979 г., докторскую – в 1989 г.



Три депутата ГосДумы РФ. Летчик-космонавт В.И. Севастьянов, заместитель председателя Комитета по экологии В.В. Тетельмин, руководитель фракции ЛДПР В.В. Жириновский. 1998 г.



Рабочий кабинет депутата ГосДумы РФ. 1999 г.

В 1990 г. на первых альтернативных выборах был избран депутатом Красноярского городского совета, в котором возглавлял Комиссию по экологии города. В 1991 г. профессор В. Тетельмин представлял Сибирский регион в качестве учредителя-выборщика новой Российской академии наук.

В 1993 г. был избран депутатом Государственной Думы РФ, в которой на протяжении двух созывов работал заместителем председателя Комитета по экологии. Входил в Межведомственную комиссию по экологии Совета Безопасности РФ и Международную организацию парламентариев за сбалансированную окружающую среду.



При непосредственном участии и соавторстве депутата В. Тетельмина разработаны и приняты Федеральные законы «О радиационной безопасности населения», «Об охране озера Байкал», «Об охране атмосферного воздуха», «Об отходах производства и потребления», «О гидрометеорологической службе», «О безопасности гидротехнических сооружений» и др.

После окончания депутатских полномочий работал главным специалистом в нефтяной компании «ЛУКОЙЛ». По приглашению Казахстанско-Британского университета профессор В. Тетельмин готовил для Республики Казахстан инженеров-нефтяников. После возвращения в 2006 г. в Россию издал в соавторстве с В.А. Язевым десяти томную серию «Нефтегазовая инженерия». В 2021 г. издал двухтомное учебное пособие «Нефтегазовое дело. Полный курс».

С 2012 по 2014 г. главный научный сотрудник ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева В. Тетельмин подготовил и издал монографию «Сильные воздействия водохранилищ на геологическую среду и земную кору», в которой впервые в науках о Земле дается решение задачи о динамике восстановления изостатического равновесия земной коры, нарушенного весом водохранилищ.

С 2015 г. в Российском университете дружбы народов (РУДН), развивая идеи В.И. Вернадского, вел курсы и издал в соавторстве с В.А. Грачевым учебные пособия «Основы учения о биосфере» и «Социальная экология». В настоящее время в Институте экологии РУДН завершил разработку «Алгоритма аналитического расчета глобального потепления и его последствий», в котором впервые в климатологии в качестве независимой переменной используется концентрация антропогенных парниковых газов в атмосфере.

В.В. Тетельмин является автором 30 учебных изданий и монографий, сотен научных и публицистических статей с высоким индексом цитируемости. Вышедшая в 2022 г. монография «Планета Земля и Человек. Единая экосистема» стала лауреатом международного конкурса «ЭкоМир».



Поговорили о поэзии военных лет с Б.Ш. Окуджавой. 1997 г.

Ученый не утратил интереса к общественной жизни. Являлся членом Президиума Центрального Совета Всероссийского общества охраны природы (ВООП), в настоящее время – эксперт Минобрнауки в научно-технической сфере, работает в составе Общественного совета при Минэнерго РФ.

Награжден орденом «Знак Почета» и другими правительственными и ведомственными наградами.

Написал «Гимн гидротехника», в котором есть слова:

Вот по плотине я иду
И достаю рукой до неба.
Кто не зажег свою звезду,
Тот никогда счастливым не был.

Центр зеленой дипломатии создан на базе института экологии РУДН им. Патриса Лумумбы

В РУДН открыли Центр зеленой дипломатии, директором которого стал председатель Российского экологического общества Рашид Айдынович Исмаилов.

1 августа прошла первая пресс-конференция, на которой рассказали о работе центра Зеленой дипломатии.

Пресс-конференция была посвящена вопросам деятельности Центра зеленой дипломатии и перспективам его развития. Обсуждались проблемы как самой зеленой дипломатии, так и формирования квалифицированных кадров в сфере экологии, их карьерной реализации, а также тенденции зеленой дипломатии в настоящих реалиях и вариативность развития событий.

Центр зеленой дипломатии создан в РУДН.

Основная цель новой структуры – интеграция результатов научно-практической деятельности в развитие международных отношений в природоохранной сфере.

Одной из прикладных задач Центра будет обеспечение функции проектного офиса российских природоохранных инициатив для их продвижения на международных площадках. Большое значение для расширения международной экспертной работы будет придаваться развитию Центра как международной коммуникационной площадки.

Из задач по работе с внешними партнерами ключевыми станут организация сопровождения корпоративного сектора и продвижение бренда РУДН в международной природоохранной и климатической повестке.

В повестку работы Центра зеленой дипломатии будут включены вопросы развития научно-экспертного сотрудничества по основным трекам международного природоохранного диалога, методологической поддержки органов власти при реализации проектов и программ с зарубежными партнерами. Отдельное внимание будет уделено экспертной поддержке реализации решений Невского международного экологического конгресса. С этой целью команда Центра будет привлечена в организации деятельности постоянно действующей группы экспертов из стран СНГ+.

На стартовом этапе работы Центра будет организовано развитие ряда международных экологических инициатив: обеспечение сотрудничества молодежных экологических организаций БРИКС, продвижение «Зеленого

стандарта Каспия», а также развитие международных треков платформы «Экомолодежка.РФ».

Центр зеленой дипломатии возглавил Рашид Исмаилов, председатель Российского экологического общества.

Создание Центра стало результатом реализации соглашения о сотрудничестве между РУДН и Российским экологическим обществом. Можно в целом охарактеризовать его деятельность, ответив на несколько главных вопросов.

1. Какие топ-3 тенденции отмечаются в зеленой дипломатии?

Сегодня в направлении «зеленая дипломатия» наблюдается устойчивый тренд на сближение позиций государств по вопросам адаптации к климатическим изменениям, а также очевидна тенденция на поиск совместных решений по обеспечению регионов Африки и Ближнего Востока пресной водой.

2. Зачем РУДН нужен центр зеленой дипломатии?

Центр будет являться своего рода коммуникационной площадкой для обеспечения связей университета с внешними контрагентами.

3. Проект работает и с корпоративным сектором. Как будет устроена бизнес-модель взаимодействия? Какие конкретно услуги сможет оказывать РУДН компаниям?

Мы готовы оказывать целый спектр высокопрофессиональных услуг: разработка экостандартов, экспертная верификация деятельности компании для ведения операций за рубежом, сопровождение международного диалога, организация сотрудничества с природоохранными институтами, а также взаимодействие с органами государственной власти федерального и регионального уровня (Green GR).

4. Сколько уже экспертов в Центре? Сколько еще планируется привлечь? Есть ли уже какие-то примеры сотрудничества с регионами, а также возможного сотрудничества Центра и зарубежных организаций – интересует не только научный, но и прикладной аспект деятельности.

Экспертный пул будет расширяться в зависимости от текущих задач и проектов. РУДН и Российское экологическое общество в этом смысле обладает достаточными кадровыми ресурсами. Одно из ключевых направлений, где будет задействована экспертиза, – это новый национальный проект «Экологическое благополучие». Оно, кстати, подразумевает и работу с региональными управленческими командами.

Справочная информация:

• По вопросам взаимодействия с Центром можно связаться по адресу: GreenDip@pfur.ru

• Трансляцию пресс-конференции можно посмотреть по ссылке: https://vk.com/rudnpriem?w=wall-99458240_88752