



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

2023 Том 31 № 1

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-1
<http://journals.rudn.ru/ecology>

Научный журнал
Издается с 1993 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-61176 от 30.03.2015 г.
Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

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

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

Ответственный секретарь редколлегии

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Периодичность: ежеквартально

Языки публикаций: русский, английский.

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

Цели и тематика

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

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

Начиная с 1993 г. в журнале публикуются результаты фундаментальных и прикладных работ ученых, преподавателей, аспирантов в виде научных статей, научных сообщений, библиографических обзоров по следующим направлениям: общая экология, природопользование, устойчивое развитие, экологическая безопасность, защита окружающей среды, экология человека, экологическая экспертиза, радиоэкология и радиационный контроль, оценка состояния окружающей среды и экологическое образование. В журнале могут публиковаться результаты оригинальных научных исследований представителей высших учебных заведений и научных центров России и зарубежных стран в виде научных статей, научных сообщений по тематике, соответствующей направлениям журнала.

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

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

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

Редактор И.Л. Панкратова
Редактор англоязычных текстов М.М. Редина
Компьютерная верстка Н.А. Ясько

Адрес редакции:

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

Адрес редакционной коллегии журнала:

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

Подписано в печать 20.03.2023. Выход в свет 31.03.2023. Формат 70×108/16.

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

Усл. печ. л. 13,3. Тираж 500 экз. Заказ № 29. Цена свободная.

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

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



RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

2023 VOLUME 31 No. 1

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-1

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

Founded in 1993

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

Editor-in-Chief

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

Deputy Editors-in-Chief

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

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

Executive Secretary

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY
Published by the RUDN University, Moscow, Russia

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

Frequency: Quarterly

Publication languages: Russian, English

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

Aims and Scope

An efficiency increase in the field of environmental protection and scientific research of human ecology, as well as the spread of modern methods of research and the latest achievements in the field of environmental management are the aims of RUDN Journal of Ecology and Life Safety. Since 1993 the results of fundamental and applied research of scientists, professors, postgraduate students are published in the journal in the form of scientific articles, scientific reports and bibliographic reviews. Papers are focused on general ecology, environmental management, sustainable development, environmental safety, environmental protection, human ecology, environmental impact assessment, radioecology and radiation monitoring and ecological education.

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

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

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

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

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

Copy Editor *I.L. Pankratova*
English text editor *M.M. Redina*
Layout Designer *N.A. Yasko*

Address of the editorial office:

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

Address of the editorial board of the journal:

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

Printing run 500 copies. Open price.

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

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

© Peoples' Friendship University of Russia, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ

- Zambrano-Gary C.C., Kirichuk A.A.** Bioremediation of polluted soils with pesticides using microorganisms – situation in Colombia (Самбрано-Гари С.К., Киричук А.А. Биоремедиация загрязненных почв пестицидами с использованием микроорганизмов – ситуация в Колумбии)..... 7
- Федорченко Л.Ю., Бобкова А.А., Никифоров А.И.** Ревайлдинг в мегаполисах: от концепции к реализации..... 20
- Банчева А.И.** Исследования углеродного баланса в Японии 30

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

- Скворцов А.Н.** Применение штучного звукопоглотителя для снижения воздействия шума на работников молокоперерабатывающей отрасли на примере промышленных предприятий Республики Мордовии..... 40
- Горбачев А.Л., Киричук А.А., Похилок Н.В.** Особенности взаимосвязи элементного состава иммунных реакций у представителей этнодемографических групп Северо-Востока России..... 55
- Нестеренко А.О., Евсеева Г.П., Целых Е.Д.** Влияние элементного состава воды и почвы на экологический портрет подростков Хабаровского края..... 70

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

- Levashova E.A., Mazina S.E., Zyкова G.V.** Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and furans: methods of analysis, distribution in the Moscow region and application of biotesting methods to them (Левашова Е.А., Мазина С.Е., Зыкова Г.В. Полихлорированные дибензо-п-диоксины и фураны: методы анализа, распределение по территории Москвы и применение к ним методов биотестирования)..... 81
- Лазарева Г.А., Новикова П.В.** Оценка качества вод Шлинского водохранилища с использованием интегральных гидрохимических показателей..... 103

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

- Евдокимов А.С., Ярмишко В.Т.** Структура древесного яруса лесных сообществ центральной части Кольского полуострова, формируемая при снижении аэротехногенной эмиссии..... 115
- Шишканова М.С., Никифоров А.И.** Современная практика использования альгоресурсов в Российской Федерации: тенденции и возможности..... 127

- НОВОСТИ**..... 137

CONTENTS

ECOLOGY

- Zambrano-Gary C.C., Kirichuk A.A.** Bioremediation of polluted soils with pesticides using microorganisms – situation in Colombia..... 7
- Fedorchenko L.Yu., Bobkova A.A., Nikiforov A.I.** Rewilding in megacities: from concept to implementation..... 20
- Bancheva A.I.** Research on carbon balance in Japan 30

HUMAN ECOLOGY

- Skvortsov A.N.** The use of a piece sound absorber to reduce the impact of noise on workers in the dairy industry on the example of industrial enterprises of the Republic of Mordovia..... 40
- Gorbachev A.L., Kirichuk A.A., Pokhilyuk N.V.** Features of the relationship between elemental composition and immune reactions in representatives of ethno-demographic groups of the North-East of Russia..... 55
- Nesterenko A.O., Evseeva G.P., Tselikh E.D.** Influence of the elemental composition of water and soil on the environmental portrait of teenagers in Khabarovsk Krai..... 70

ENVIRONMENTAL MONITORING

- Levashova E.A., Mazina S.E., Zykova G.V.** Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and furans: methods of analysis, distribution in the Moscow region and application of biotesting methods to them..... 81
- Lazareva G.A., Novikova P.V.** Assessment of water quality of Shlinsky reservoir by hydrochemical indicators..... 103

BIOLOGICAL RESOURCES

- Evdokimov A.S., Yarmishko V.T.** The tree layer structure of forest communities of the Kola Peninsula central part formed when aerotechnogenic emissions reduced..... 115
- Shishkanova M.S., Nikiforov A.I.** Modern practice of algal resources exploitation in the Russian Federation: trends and opportunities..... 127

- NEWS**..... 137



ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-1-7-19

EDN: RPAITO

УДК 504.75.05

Research article / Научная статья

Bioremediation of polluted soils with pesticides using microorganisms – situation in Colombia

Cesar C. Zambrano-Gary, Anatoly A. Kirichuk  

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

kirichuk-aa@rudn.ru

Abstract. The analysis of the scientific literature on the subject of bioremediation in Latin America countries shows that due to the excessive and uncontrolled use of pesticides in agriculture, there are negative impacts on the environment, mainly on soil and water, as well as on human health. However, through processes such as bioremediation, which utilize the metabolic potential of microorganisms such as bacteria and fungi, it is possible to reduce the impact of pesticides on the environment and human health, which are key factors for achieving sustainable development. Colombia has a severe pesticide pollution problem, as the uncontrolled use of pesticides has affected not only the environment but also human health. Thus, bioremediation is a good alternative to the restoration of a polluted environment and the reduction of its impact on human health.

Keywords: bioremediation, contaminated soils, pesticides, microorganisms

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

Article history: received 13.08.2022; revised 21.12.2022; accepted 16.01.2023.

© Zambrano-Gary C.C., Kirichuk A.A., 2023



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

For citation: Zambrano-Gary CC, Kirichuk AA. Bioremediation of polluted soils with pesticides using microorganisms – situation in Colombia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(1):7–19. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-7-19>

Биоремедиация загрязненных почв пестицидами с использованием микроорганизмов – ситуация в Колумбии

С.К. Самбрано-Гари, А.А. Киричук  

Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва, Российская Федерация
kirichuk-aa@rudn.ru

Аннотация. Проведенный анализ научной литературы по тематике биоремедиации в странах Латинской Америки свидетельствует, что из-за чрезмерного и бесконтрольного использования пестицидов в сельском хозяйстве возникают негативные воздействия на окружающую среду, в основном на почву и воду, а также на здоровье человека. Но благодаря таким процессам, как биоремедиация, в которых используется метаболический потенциал микроорганизмов, таких как бактерии и грибы, можно уменьшить воздействие пестицидов на окружающую среду и здоровье человека, что является одним из основных факторов для достижения устойчивого развития. В Колумбии существует серьезная проблема, связанная с загрязнением пестицидами, поскольку неконтролируемое использование пестицидов повлияло не только на окружающую среду, но и на здоровье человека. Таким образом, биоремедиация является хорошей альтернативой восстановлению загрязненной окружающей среды и уменьшению ее воздействия на здоровье человека.

Ключевые слова: биоремедиация, загрязненные почвы, пестициды, микроорганизмы.

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

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

Для цитирования: *Zambrano-Gary C.C., Kirichuk A.A. Bioremediation of polluted soils with pesticides using microorganisms – situation in Colombia // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 1. С. 7–19. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-7-19>*

Introduction

Pesticides are used in order to eliminate and reduce unwanted organisms. However, excessive and no controlled use of these, could have negative impacts on ecosystem, mainly in soil's organisms, creating a domino's effect, furthermore they also have impacts to the other organisms, including humans [16–19].

Certain pesticides like DDT had been used by a long time in the fight anti malaria, due to its characteristics like low cost and residual action. Moreover, due to an excessive and uncontrolled use, had occurred negative situations in human health, like intoxications, cancer, disturbances in immunological system and hematologic disorders [1]. In the case of DDT, it has a high persistence, due to its

strong adsorption by solid particles, like soil. Thus, despite in a lot of countries the use of this substance is forbidden, can find contaminated environments, even don't use DDT anymore. According to some authors, the DDT could be degraded in two years, moreover, some of them have reported that the degradation process could be 15–20 years or more. Furthermore, the continuous and indiscriminate use of pesticides, but not only organochlorides, like DDT, may affect the environment, including soils, water and air, and in some cases, could promote the pests' resistance [2–8; 12].

Nevertheless, there are methods that allow eliminate, or at least, reduce de amount of pollutants, including pesticides, one of them is bioremediation, that is a econ friendly and low cost process, that uses microorganisms' metabolic potential, in order to reduce the contamination transforming toxic substances, like pesticides, to others less toxic. In these processes may use a high variety of microorganisms, including bacterial genera, fungi and algae [9–11; 13–15; 18; 19].

In some countries, like Colombia, it's highly used pesticides in cultures, mainly corn, rice and potato cultures and also cotton, coffee, tobacco, and other fruits and vegetables. In fact, in Latin America, Colombia is the country with the highest use of pesticides for those cultures [5; 14].

In this work, we made a review about the processes of bioremediation, to achieve this goal, we have searched some of the most recent publications about this topic (papers, graduation works, books, etc.) published after 2013 year.

Sustainable development and environmental management related with pesticides uses

Basically, the concept of sustainable development is based on concept of socio-economic development in line with ecological constraints; the concept of needs related with the redistribution of resources to ensure life quality for everyone; and also de possibility of usage natural resources in order to warrant quality of life for the future generations [20].

The concept is based on the three pillars of sustainability: environmental sustainability, social sustainability and economic sustainability; moreover, the concept of sustainable development is close related with ecological issues, therefore, it's most related to ecological sustainability. But in order to achieve the required ecological conditions, also need to achieve some social conditions, like tradition, culture and other social needs, like access to drinking water, employment, education, food resources, etc. [20].

Related with the soils, the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) says that most of the soils in the world will be on acceptable, poor or very poor conditions due to exposition to heavy metals and other pollutants. Hence, the disposal of toxic residues and metal's accumulation are big challenges for recovering and use of soils. Nowadays, it knows that water, air and soil's contamination is a big threat for human health, mainly for people who are involved with the environmental effects by contamination. Then, it's evident how the

environmental management, that attempt to prevent and reduce the environmental issues, carries the achievement of sustainable development [21].

It is clear that natural resources are limited, therefore they must be used judiciously in order to meet the current needs, but without compromising the future generations. This is the reason because tools like remediation and bioremediation help to issues like recycling materials, preservation of natural resources, minimization of waste and energy, and also contribute with eco-friendly processes, that help to save money, using the metabolic potential of living organisms, mainly microorganisms, despite some drawbacks, like long time treatment time, and also, in some cases could be not effective, if the pollutant is in higher concentrations that are toxic even to microorganisms existence [22; 23].

The sustainable development includes other issues, besides the environmental; in order to fulfil with the sustainability, must integrate economic and social issues that could be achieved with a process; that requires integration of environment, policies and developmental strategies in a global context. Hence the environmental management must coincide with social requirements, be viable economically and also contribute with environment's care. Since environment, society and economy are not statics, it's necessary identify, learn and study the form that socio economic aspects be included into the design criteria, in order to achieve sustainable solutions [21]. In the case of processes of recovering polluted areas with bioremediation's processes, can see that is oriented to sustainable development, since try to recover and reduce contamination with help of living organisms, that use the pollutant like energetic resource, then this is an achieve for the environmental issue, is a cheap process, therefore also is an achieve in economic issue and with the reduction of contamination helps to improve the human health, hence is also an achievement in the social issue.

In the next chapters of this review there is a description of the different techniques and processes in bioremediation, and how this works.

Bioremediation procedures and techniques

Bioremediation is the process, that exploit living organisms in order to reduce or eliminate wastes in environment. In bioremediation's processes uses mainly microorganisms, like bacteria, fungi and algae. Since microorganisms possess enzymes that allow them to use environmental pollutants like food, they are a good tool to recover damaged ecosystems; therefore, the aim of bioremediation is encouraging microorganisms to work by suppling optimum level of nutrients and other essential chemicals for their metabolism in order to degrade or detoxify hazardous substances to the environment and other living beings [10; 24; 27].

There are many factors that influence the soil's adsorption of pollutants like pesticides, they are organic matter content, pH, clay content, availability of nutrients, temperature, moisture content and other chemical factors like electrical conductivity, hence, soil fumigation influence in their physicochemical characteristics [24–26].

Processes in bioremediation: Basically, the bioremediation processes utilize living organisms, mainly microorganisms like bacteria and fungi. Now there is a description of the different processes used in bioremediation.

Bacterial bioremediation: Since bacteria are easily cultivable in laboratory, this group of microorganisms has an important role in the recovering of polluted soils with pesticides. Once bacteria have adapted to the contaminated area, they often utilize the pesticide's compounds like energetic resource and promote the removal of these substances of Earth crust. The processes degradation in bacteria is achieved through enzymes, that may evolve in response to prolonged exposure to high concentration of some substances, including pesticides, that could promote new metabolic pathways in bacteria [28; 32].

But the pesticide biodegradation needs certain conditions. One of them is the interaction between the pesticide degrader and the indigenous microbial community in the polluted environment, along with the consequent competition for other substrates [32]. Sometimes in biodegradation processes is needed mixed cultures, because some bacterial genera have incomplete mechanisms, and with the addition of a bacterial consortia, can complement each other, and thus achieve degradation [29].

The bacterial degradation may be in aerobic or anaerobic conditions, both processes are needed in order to obtain mineralization of pollutants. In each process, work different enzymes, that promote degradation according to condition, be aerobic or anaerobic [30].

Bacterial genera and species that degrade pollutants: The Actinobacteria group, are present in high concentration in soils and play an important role in recycling substances, because they are capable to remove xenobiotic compounds of soils, specially pesticides, but also heavy metals and other substances, being a bacterial group that have received great global interest due to its biotechnological applications. The degradation of pollutant compounds is possible thanks to their physiological and metabolic properties, like production of extracellular enzymes and formation of other secondary metabolites [29].

But there are other bacterial genera and species that degrade compounds like pesticides: *Bacillus thuringiensis*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Alcaligenes faecalis*, *Alcaligenes eutrophus*, *Lactobacillus plantarum*, *Brevundimonas*, *Mycobacterium*, *Bacillus* sp., *Arthrobacter*, *Acetenobacter*, *Photobacterium*, *Rhodococcus*, *Streptomyces aureus*, *Streptomyces* sp., *Janibacter*, *Frankia alni*, *Frankia* sp., *Gordonia*, *Aerobacter*, *Moraxella*, *Flavobacteria*, *Klebsiella* sp. [1; 24; 26; 29; 30].

Also there are some bacterial strains that help to degrade pesticides, including DDT, like *Xanthomonas* sp., *Arthrobacter citreus*, *Ralstonia eutrophus* A5, *Pseudomonas acidovorans*, *Eubacterium limosum*, *Pseudoxanthomonas* sp. And specially *Chryseobacterium* sp. PYR2 that degrade DDT in high contaminated soils [31].

According to some authors like Betancur [1], bacterial species like *Alcaligenes eutrophus* A5, *Serratia marcescens* DT-1P, *Micrococcus varians*,

Lactobacillus plantarum and *Pseudomonas* sp. Can degrade DDT in aerobic conditions. In anaerobic conditions, DDT degradation could be achieved with *Staphylococcus haemolyticus*, *Synecococcus* sp. and *Klebsiella pneumoniae*.

Fungal bioremediation: Fungi are unique organisms due to their morphological, physiological and genetic features; they play key roles in the environmental equilibrium, since they are able to colonize all matrices, like soils, water and air. Furthermore, almost every natural organic compound can be degraded by fungi, because they have a diverse variety of enzymes like amylases, lipases and proteases that allow them to use substrates as fats, starches, proteins, and also pectines, cellulose, and hemicellulose like carbon resources, and furthermore, degrade pollutants like polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls, pesticides and herbicides [35].

Filamentous fungi, yeasts and mushrooms may degrade pollutants in soil, certain species like lignolytic fungi may achieve this purpose, thanks to cellular enzymes like lactase, that work in dechlorination of chlorophenolic compounds. Furthermore, mycelium of ectomycorrhizal fungi, that is surrounded by silts in hyphae, can kidnap pollutants like DDT and allow reduction in toxicity of their cells; therefore, fungal species have high resistance to those compounds, evidenced by the adaptive processes that have fungal species in order to assimilate new carbon resources [1], and in the degradative process, they release pollutants to soil into non-toxic substances [33]. Also, fungi secrete exoenzymes to supply the energetic necessities for growing hyphae, the xenobiotic-metabolizing enzymes grant the metabolism of distinct compounds, hence they tolerate a wide range of natural and anthropogenic substances, including aromatic amines and their derivatives [34]. They induce structural changes to the pesticides, rendering them into non-toxic compounds that are released to soils. Sometimes, those non-toxic compounds may be degraded by bacteria [36].

Fungi have advantages over bacteria in bioremediation processes, since bacteria needs pre-exposition to the specific pollutant that will be degraded, in order to stimulate enzyme expression, because levels of pollutant limit the enzyme expression. Furthermore, fungi present a great potential to degrade high molecular weight hydrocarbons and other recalcitrant organic compounds, therefore, they are a powerful biotechnological tool due to their potential biological control [34].

The fungal genera and species often utilized in bioremediation processes are: *Flammulina velutipes*, *Stereum hirsutum*, *Coriolus versicolor*, *Dichomitus squalens*, *Hypholoma fasciculare*, *Auricularia auricula*, *Pleurotus ostreatus*, *Agrocybe semiorbicularis*, *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp., *Agrocybe semiorbicularis*, *Auricularia auricula*, *Coriolus versicolor*, *Dichomitus squalens*, *Flammulina velutipes*, *Hypholoma fasciculare*, *Pleurotus ostreatus*, *Stereum hirsutum*, *Avatha discolor* [33; 34; 36].

Bioremediation techniques: there are different techniques that can be used in order to do a process of bioremediation, they are mainly biostimulation and bioaugmentation.

Biostimulation: this technique modifies the environment in order to stimulate microorganisms, mainly bacteria, capable of bioremediation. In order to achieve this, biostimulation do it with addition of nutrients and chemical compounds that work like electron acceptors, like phosphorus, nitrogen or carbon. Basically intent to stimulate indigenous microflora, although not only needs addition of nutrients, but also control other environmental requirements, like pH, temperature and oxygen [24; 37; 38; 40].

The processes of biostimulation are often used in degradation of organic pollutants, due to improve microbial activity, but sometimes is used too in degradation of heavy metals [39]. Therefore, this is a proficient way to degrade compounds like pesticides.

Bioaugmentation: this process consists in the addition of microorganisms different to the indigenous microflora, that could be natural, exotic or engineered microorganisms, in order to increase and enhance the biodegradative capacity of indigenous microbial population on the contaminated area. This process is used mainly when de indigenous microflora in the contaminated area is low [24; 37; 38].

In order to do a proficient process of bioremediation through bioaugmentation, it's necessary to select the appropriate strains, regarding these characteristics: a high potential of contaminant degradation, fast growth, ease of cultivation, the capacity to withstand high concentration pollutants and be able to survive in a high variety of environmental conditions [41].

Pesticides highly used in Colombia

Colombia is one of the countries with highest use of pesticides, mainly for their use in cultures of cotton, potato and rice. Mainly in Colombia are used pesticides like organophosphates (OP) [8]. In fact, in the 2000 year, Colombia was the country with the highest prevalence of intoxications by pesticides [44].

Due to the increase of demand of these cultures, in the 1970's Colombia began to produce DDT, toxaphen and aldin, but their use was suspended in order to fulfil national and international rules and laws related with the use of those substances, like Stockholm Convention for Persistent Organic Pollutants [1; 5]. But despite nowadays the use of some pesticides like DDT or toxaphen are forbidden not only in Colombia, but also worldwide, in Colombia have been stored stocks of obsolete pesticides, including toxaphen and DDT, that have been stored underground without protection, and do negative effects to soil where they were stored [3; 14; 42].

The Figure 1 shows the existences of DDT in Latin America.

Despite the organochlored pesticides, like DDT inhibit growth of microorganisms, and therefore is difficult their degradation, after long time permanence of these substance in soil, microorganisms may develop adaptation to them and use them like resource of primary carbon [3]. Sometimes the effects of pesticides on microbiota not always are negative, since after the application of an herbicide, for example, could increase the size of some group of microorganisms [43].

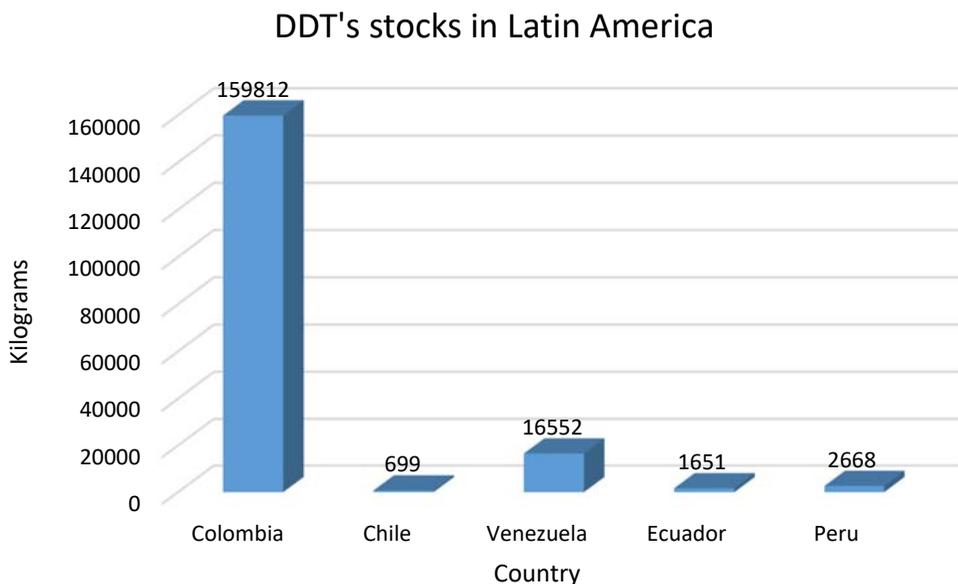


Figure 1. Stocks DDT stored in Latin America [5]

Impacts in health related with the use of pesticides in Colombia: in Colombia were reported 3 cases of accidental massive intoxication with pesticides. The reports were in the towns of Chiquinquirá (500 persons), Pasto (300 persons) and Puerto López (190 persons), but according to information of National Health Institute of Colombia, there is not a proficient system for the register of these situations [45]. Furthermore, in 2014 was reported 9167 cases for intoxication with pesticides [46], and during 1998–2011 were 4835 deaths related to intoxications with pesticides, on average, 345 deaths each year. 58.9% of these deaths related with pesticides were in men. In these cases, 553 (11.4%) was not determined intoxication and 224 (4.6%) related to accidental intoxication [47]. These cases could be related with exposition to pesticides during culture processes.

Certain pesticides used in floriculture industry had reported adverse effect in health, mainly in reproductive health. According to Arias et al. [42], in some female workers in greenhouses near to Bogota, had spontaneous abortions, prematurity and congenital malformations in pregnancies that occur after to start to work in those industries and the children born of these workers were medically examined and it was found an increased risk of birthmarks and hemangiomas.

In some regions of Colombia exists the problem related to fight against the drug traffic and one of the strategies of Colombian government is the fumigation of illegal farming of cocaine and poppy plantations, hence at the south of Colombia there are a high amount of denouncements related to fumigations with glyphosate, since some people there, have problems like serious eyes' and skin irritation, abscesses, gastrointestinal diseases, acute respiratory infections and conjunctivitis

[48], and also other diseases, like liver toxicity, nephrotoxicity and cardiovascular affections [49].

Bioremediation processes in Colombia: in Colombia have developed some studies related with bioremediation soils using microorganisms. Oviedo et al., (2017) [50] demonstrated that bacterial genera like *Streptomyces* sp., *Pseudomonas* sp., and *Arthrobacter* sp. had the bests growths in samples with Atrazine, tolerating concentrations of this substance to 1000 ppm. Of these microorganisms, *Pseudomonas* sp. had not only the highest tolerance to atrazine, but can degrade it to concentrations lower to 0.1 mg/L after 6 days. The investigation was developed in the department of Cordoba (north of Colombia).

But to degrade atrazine also is efficient the genera *Streptomyces* sp. That can tolerate high temperatures (near 40 °C), and also may degrade atrazine as levels as *Pseudomonas* sp. do. *Streptomyces* sp. [50]. Since in the north of Colombia is a zone with high temperatures, then this is a genera with good potential for bioremediation processes in this region, and others with warm climate.

Jaramillo-Colorado & Bermúdez-Tobón (2016) [8] also report the efficiency of *Pseudomonas* sp. To degrade substances like organophosphates. The investigation was made near the city of Cartagena, also at the north of Colombia. In a region at the north of Colombia, where are cotton's cultures, Kopytko et al. (2017) [3] shown in their research, that bacterial genera like *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Aeromonas* and *Bacillus* are proficient in processes bioaugmentation in order to obtain degradation of DDT.

Marín & Jaramillo (2015) [51] in their research shown the potential of species *Bacillus* sp. and *Pantoea aggloremans* to degrade organophosphates in soil. The authors say that these species can degrade this substance in soil in proportions of 73.5 and 68.67% respectively. Also say about the importance of the bioremediation treatments to degrade pollution of pesticides and avoid contamination of other food products, like milk, since in the studies' area were cows and the milk they produce, have some traces of organophosphates.

Conclusion

Bioremediation is an eco-friendly method that allow recover polluted environments like soils, thanks to the metabolic action of organisms, but mainly microorganisms like bacteria and fungi. Furthermore, is a resource that may be used in order to fulfil some of the goals in sustainable development, because contribute to recover polluted environments, that warrant not only environmental sustainability, but also social sustainability, since also may contribute to human health and access to food and drinking water.

According to the review, one of the most effective microorganisms to do bioremediation processes is *Pseudomonas* sp., because proofs pollutants to high concentrations, (to 1000 ppm) and may degrade pollutants. Furthermore, is a proficient microorganism used in bioaugmentation's processes, that may help to the indigenous microflora soil to recover environment.

In Colombia, there is a problem with the non-controlled use of pesticides, since these substances have had adverse effects in the environment, mainly soils and also in human health, since have been people with health problems like abscesses, respiratory, diseases in skin, eyes and gastrointestinal problems, and also some congenital malformation during pregnancy in some women. Hence is necessary to found alternatives that allow protect the cultures, recover environments and search other alternatives different to fumigations, for eliminate illegal farming in order to fight against illegal drugs traffic.

References

- [1] Betancur Corredor B, Peñuela Mesa G, Cardona Gallo SA, Pino N. Biorremediación de suelo contaminado con pesticidas: caso DDT. *Gestión Y Ambiente*. 2013;16(3):119–135. Available from: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/33173>
- [2] Corona-Cruz A, Gold-Bouchot G, Gutierrez-Rojas M, Monroy-Hermosillo O, Favela E. Anaerobic-aerobic biodegradation of DDT (dichlorodiphenyl trichloroethane) in soils. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 2014;63:219–225.
- [3] Kopytko M, Correa-Torres SN, Estévez-Gómez MJ. Biodegradación estimulada de los suelos contaminados con pesticidas organoclorados. *Revista de investigación agraria y ambiental*. 2017;8.1:119–130.
- [4] Culma M, Yolieth N. *Evaluación y efectos de los pesticidas en las abejas: situación actual y normatividad en Colombia*. Diss. 2017.
- [5] García Ubaque CA., García Ubaque JC., Vaca Bohórquez ML. Compuestos orgánicos persistentes en Colombia: cuantificación y diagnóstico para pesticidas organoclorados. *Tecnura*. 2015;19(43):163–169.
- [6] Arrubla G, Marcela L. *Evaluación de los impactos ambientales en el cultivo de gulupa (Passiflora edulis sim) sobre el recurso hídrico asociado al uso de pesticidas. Caso de estudio Jericó Antioquia*. Diss. Corporación Universitaria Lasallista, 2017.
- [7] Hernández-Ruiz GM, Álvarez-Orozco NA, Ríos-Ororio LA. Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: revisión sistemática. *Cienc Tecnol Agropecuaria*. 2017;18(1):139–159.
- [8] Colorado BEJ, Tobón AB, Ballestas IT. Organophosphorus pesticides degrading bacteria present in contaminated soils. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2016;25(3):13–22.
- [9] Dzionek A, Wojcieszynska D, Guzik U. Natural carriers in bioremediation: A review. *Electronic Journal of Biotechnology*, 2016;23:28–36.
- [10] Quintella CM, Mata AM, Lima LC. Overview of bioremediation with technology assessment and emphasis on fungal bioremediation of oil contaminated soils. *Journal of environmental management*, 241, (2019): 156-166.
- [11] Rhodes CJ. Mycoremediation (bioremediation with fungi)–growing mushrooms to clean the earth. *Chemical Speciation & Bioavailability*. 2014;26(3):196–198.
- [12] Samsidar A, Siddiquee S, Shaarani SM. A review of extraction, analytical and advanced methods for determination of pesticides in environment and foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology*. 2018;71:188–201.
- [13] Sarkar J, Kazy SK, Gupta A, Dutta A, Mohapatra B, Roy A. et al. Biostimulation of indigenous microbial community for bioremediation of petroleum refinery sludge. *Frontiers in Microbiology*. 2016;7:1407.

- [14] Gómez-Reyes JA, Luna-Fontalvo JA. Grupos funcionales microbianos en suelos contaminados con toxafeno en el departamento del Cesar, Colombia. *Revista Luna Azul*. 2018;47:98–113.
- [15] Bayushieva VV. Determination of residual amounts of the active substance of the car-bamate pesticide in soil. *Scientific-Medical Bulletin of Central Chernozem*. 2018;73:43–47. (In Russ.)
- [16] Ivantsova EA. Effect of pesticides on soil microflora and beneficial biota. *Bulletin of Volgograd State University. Series 11: Natural Sciences*. 1(5), (2013):35–40. (In Russ.)
- [17] Ignatovets OS, Feskova EV, Akhramovich TI, Leontbev VN. Application of Destructor Microorganisms for Bioremediation of Soils Contaminated with 2,4-D and Pesticides of the Sulfonyleurea Group *Works of BSTU. Series 2: Chemical Technologies, Biotechnology, Geoecology*. 2018;(2(211)):161–166. (In Russ.)
- [18] Kapich AN. Prospects for bioremediation using wood-destroying basidial fungi. *Environmental newsletter*. 2015;3(25):19–24. (In Russ.)
- [19] Kotlyarov VV, Sedinia NV, Donchenko DY, Kotlyarov DV. Systematic use of drugs based on bacteria and fungi in plant protection and improvement of the microbiological composition of soil. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2015;105(01):1–12. (In Russ.)
- [20] Klarin T. The concept of sustainable development: from its beginning to the contemporary issues. *Zagreb International Review of Economic & Business*. 2018;21(1):67–94.
- [21] Garzón JM, Rodríguez-Miranda JP, Hernández-Gómez C. Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Universidad y salud*. 2017;19(2):309–318.
- [22] Megharaj M, Naidu R. Soil and brownfield bioremediation. *Microbial biotechnology*. 2017;10(5):1244–1249.
- [23] Cecchin I, Reddy KR, Thomé A, Tessaro EF, Schnaid F. Nanobioremediation: Integration of nanoparticles and bioremediation for sustainable remediation of chlorinated organic contaminants in soils. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2017;119:419–428.
- [24] Abatenh E, Gizaw B, Tsegaye Z, Wassie M. The role of microorganisms in bioremediation-A review. *Open Journal of Environmental Biology*. 2017;2(1):38–46.
- [25] Huang B, Yan D, Wang X, Wang X, Fang W, Zhang D, Ouyang C, Wang Q, Cao A. Soil fumigation alters adsorption and degradation behavior of pesticides in soil. *Environmental Pollution*. 2019;246:264–273.
- [26] Liu SH, Zeng GM, Niu QY, Liu Y, Zhou L, Jiang LH, Tan XF, Xu P, Zhang C, Cheng M. Bioremediation mechanisms of combined pollution of PAHs and heavy metals by bacteria and fungi: A mini review. *Bioresource technology*. 2017;224: 25–33.
- [27] Yankevich MI, Khadeyeva VV, Murygina VP. Bioremediation of soils: yesterday, today and tomorrow. *Biosphere*. 2015;7(2):199–208.
- [28] Navarro-Páez DL. *Estudio de los procesos de biorremediación para la recuperación de los suelos contaminados con pesticidas*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Colombia. Monografía 2018.
- [29] Alvarez A, Saez JM, Costa JS, Colin VL, Fuentes MS, Cuozzo SA, Benimeli CS, Polti MA, Amoroso MJ. Actinobacteria: current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals. *Chemosphere*. 2017;166:41–62.
- [30] Doolotkeldieva T, Konurbaeva M, Bobusheva S. Microbial communities in pesticide-contaminated soils in Kyrgyzstan and bioremediation possibilities. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25:31848–31862.

- [31] Qu J, Xu Y, Ai GM, Liu Y, Liu ZP. Novel *Chryseobacterium* sp. PYR2 degrades various organochlorine pesticides (OCPs) and achieves enhancing removal and complete degradation of DDT in highly contaminated soil. *Journal of Environmental Management*. 2015;161:350–357.
- [32] Helbling DE. Bioremediation of pesticide-contaminated water resources: the challenge of low concentrations. *Current Opinion in Biotechnology*. 2015;33:142–148.
- [33] Uqab B, Mudasir S, Nazir R. Review of bioremediation on pesticides. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*. 2016;7(3):1–5.
- [34] De Lima DP, dos Santos ED, Marques MR, Giannesi GC, Beatriz A, Yonekawa MK, Montanholi AD. Fungal bioremediation of pollutant aromatic amines. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 2018;11:34–44.
- [35] Goltapeh EM, Danesh YR, Varma A. Fungi as Bioremediators. *Springer Science and Business Media*. London, United Kingdom. 2013;32:488.
- [36] Rani K, Dhania G. Bioremediation and biodegradation of pesticide from contaminated soil and water – a novel approach. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2014;3(10):23–33.
- [37] Adams GO, Fufeyin PT, Okoro SE, Ehinomen I. Bioremediation, biostimulation and bioaugmentation: a review. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*. 2015;3(1):28–39.
- [38] Wu M, Dick WA, Li W, Wang X, Yang Q, Wang T, Xu L, Zhang M, Chen L. Bioaugmentation and biostimulation of hydrocarbon degradation and the microbial community in a petroleum-contaminated soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2016;107:158–164.
- [39] Chen X, Achal V. Biostimulation of carbonate precipitation process in soil for copper immobilization. *Journal of hazardous materials*. 2019;368:705–713.
- [40] Khellaf N, Djelal H, Amrane A, Cabrol A. Biostimulation to improve the dye biodegradation of organic dyes by activated sludge. *Journal of Chemical Health Risks*. 2018;7(4):247–258.
- [41] Cycoń M, Mrozik A, Piotrowska-Seget Z. Bioaugmentation as a strategy for the remediation of pesticide-polluted soil: A review. *Chemosphere*. 2017;172:52–71.
- [42] Espana VAA., Pinilla ARR., Bardos P., Naidu R. Contaminated land in Colombia: A critical review of current status and future approach for the management of contaminated sites. *Science of the Total Environment*. 2018;618:199–209.
- [43] Patyka V, Buletsa N, Pasichnyk L, Zhitkevich N, Kalinichenko A, Gnatiuk T, Butsenko L. Specifics of pesticides effects on the phytopathogenic bacteria. *Ecological Chemistry and Engineering S*. 23(2), (2016):311–331.
- [44] Portilla-Portilla Á, Pinilla-Monsalve GD, Caballero-Carvajal AJ, Gómez-Rodríguez E, Marín-Hernández LR, Manrique-Hernández EF, Prieto-Serrano HJ, Sierra-Avenidaño JA, Oviedo-Pastrana DF, Gamboa-Tolosa N. Prevalencia de signos y síntomas asociados a la exposición directa a plaguicidas neurotóxicos en una población rural colombiana en 2013. *Médicas UIS*. 2014;27(2):41–49.
- [45] Pinilla-Monsalve GD, Manrique-Hernández EF, Caballero-Carvajal AJ, Gómez-Rodríguez E, Marín-Hernández LR, Portilla-Portillas Á, Sierra-Avenidaño JA, Prieto-Serrano HJ, Oviedo-Pastrana DF, Gamboa-Tolosa N. Neurotoxicología de plaguicidas prevalentes en la región Andina Colombiana. *Médicas UIS*. 2014;27(3):57–67.
- [46] Toro-Osorio BM, Rojas-Rodríguez AE, Díaz-Zapata JA. Niveles de colinesterasa sérica en caficultores del Departamento de Caldas, Colombia. *Revista de Salud Pública*. 2017;19(3):318–324.

- [47] Chaparro-Narváez P, Castañeda-Orjuela C. Mortalidad debida a intoxicación por plaguicidas en Colombia entre 1998 y 20. *Biomédica*. 2015;35(2):90–102.
- [48] Martínez SLG., Ospina JEA. Afectaciones en la salud pública inducidas por el uso de glifosato en Putumayo, Colombia. *Revista El Centauro*. 2015;10(7):29–38.
- [49] Cortina CC, Fonnegra LM, Pineda KM, Muñoz MP, Fonnegra JR, Díaz JP. Efectos de la intoxicación por glifosato en la población agrícola: revisión de tema. *Revista CES Salud Pública*. 2017;8(1):121–133.
- [50] Oviedo ZL, Díaz SL. Microorganismos tolerantes a Atrazina aislados de suelos agrícolas en el departamento de Córdoba, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*. 2017;9:60–66.
- [51] Marín LF, Jaramillo B. Aislamiento de bacterias degradadoras de pesticidas organofosforados encontrados en suelos y en leche bovina. *Revista chilena de nutrición*. 2015;42(2):179–185.

Bio notes:

Cesar C. Zambrano-Gary, Postgraduate Student, Department of Human Ecology and Bioelementology, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: sambrano-gari-s@rudn.ru

Anatoly A. Kirichuk, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Director of the Department of Human Ecology and Bioelementology, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5125-5116. E-mail: kirichuk-aa@rudn.ru

Сведения об авторах:

Самбрано-Гари Сесар Камило, аспирант, департамент экологии человека и биоэлементологии, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: sambrano-gari-s@rudn.ru

Киричук Анатолий Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, директор департамента экологии человека и биоэлементологии, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0001-5125-5116. E-mail: kirichuk-aa@rudn.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-1-20-29

EDN: RRGPJQ

УДК 502:37/504.75.06

Обзорная статья / Review article

Ревайлдинг в мегаполисах: от концепции к реализации

Л.Ю. Федорченко¹✉, А.А. Бобкова¹, А.И. Никифоров^{1,2} 

¹Московский государственный институт международных отношений (МГИМО)

МИД Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

²Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии (ВНИРО), г. Москва, Российская Федерация

✉leofedorchenko@icloud.com

Аннотация. Рассмотрен ряд острых экологических проблем, связанных с расширением городских агломераций и необходимостью обеспечения комфортной городской среды. Обсуждаются возможные варианты достижения этой цели путем создания экологического каркаса в мегаполисе, образованного квазиестественными биоценозами, создаваемыми в рамках практической реализации концепции ревайлдинга; в ходе обсуждения рассмотрены основные современные тренды и подходы к осуществлению программ ревайлдинга, а также основные положительные и отрицательные экологические эффекты направленной трансформации урбоценозов в рамках рассматриваемой концепции. Результатом исследования является сравнительный анализ эффективности имеющихся методик и вариантов ревайлдинга в различных мегаполисах мира.

Ключевые слова: урбоэкология, мегаполис, ревайлдинг, биоценоз, реинтродукция, экологический каркас города

Вклад авторов: Л.Ю. Федорченко – методология, исследование, обсуждение, подготовка текста публикации; А.А. Бобкова – обсуждение, оформление текста публикации в печать; А.И. Никифоров – концепция работы, подготовка текста публикации (рецензирование и редактирование).

История статьи: поступила в редакцию 12.10.2022; доработана после рецензирования 05.01.2023; принята к публикации 17.01.2023.

Для цитирования: Федорченко Л.Ю., Бобкова А.А., Никифоров А.И. Ревайлдинг в мегаполисах: от концепции к реализации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 1. С. 20–29. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-20-29>

Rewilding in megacities: from concept to implementation

Leonid Yu. Fedorchenko¹✉, Arina A. Bobkova¹, Andrey I. Nikiforov^{1,2} 

¹*Moscow State Institute of International Relations (University), Moscow, Russian Federation*

²*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,*

Moscow, Russian Federation

✉leofedorchenko@icloud.com

Abstract. The expansion of urban agglomerations and the accompanying increase in the severity of environmental problems require special attention to ensure a comfortable urban environment. One of the ways to solve this problem is to create an ecological framework in the megacity, formed by quasi-natural biocenoses, created within the application of the concept of rewilding. This article reviews the main current trends and approaches to the implementation of rewilding; discusses positive and negative environmental effects of the transformation of urban ecosystems within rewilding; presents an analytical review of available techniques and options for rewilding in various megacities around the world.

Keywords: urban ecology, megacity, rewilding, biocenosis, reintroduction, urban ecological network

Authors' contributions: *L.Yu. Fedorchenko* – methodology, investigation and writing – original draft preparation; *A.A. Bobkova* – writing, review and editing; *A.I. Nikiforov* – critical review.

Article history: received 12.10.2022; revised 05.01.2023; accepted 17.01.2023.

For citation: Fedorchenko LYu, Bobkova AA, Nikiforov AI. Rewilding in megacities: from concept to implementation. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(1):20–29. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-20-29>

Введение

Острота современных экологических проблем приводит к возникновению новых концепций развития социума. Среди них можно выделить такое направление, как экоцентризм, подразумевающий совместное гармоничное развитие физического, биологического и социального миров в пределах мегаполиса. Экоцентризм может реализовываться как путем совершенствования уже существующих городских пространств, так и за счет создания новых, в которых совмещаются урбанистический комфорт и близость к природе. Поэтому современные тренды урбанистики ориентированы на расширение спектра экосистемных услуг городской среды, в частности, все больше внимания уделяется вопросам состояния экологического каркаса города.

В связи с вышеуказанным особую внимания заслуживает такое относительно новое направление в практической урбоэкологии, как ревайлдинг (от англ. wild – дикий, природный, естественный; и «ге» – приставка возвратного действия). Это направление подразумевает целенаправленное воссоздание квазиестественных биологических сообществ с более высокими уровнями биоразнообразия, чем у традиционных городских «зеленых» пространств (парков, скверов и т.п.). При этом одной из важных экосистемных характеристик подобных сообществ является их более высокая поглощающая способность в отношении парниковых газов.

Состояние и актуальность обсуждаемого вопроса

Ревайлдинг – это концепция формирования среды, основанная на мероприятиях по восстановлению функциональности первоначальных экосистем, природных процессов, а также реинтродукции ряда видов [1]. В настоящее время данный термин используется для обозначения широкого спектра природоохранных мероприятий: от обеспечения хода естественной сукцессии растительности на заброшенных землях до направленного перемещения реликтовых животных для восстановления трофических сетей в биоценозах. Концепция ревайлдинга многогранна и неоднозначна в силу того, что, с одной стороны, работы по восстановлению дикой природы являются прямой попыткой защитить отдельные компоненты среды обитания ряда биологических видов путем манипулирования процессами сукцессии. Но, с другой стороны, данная концепция может выступать в виде философского конструкта, рассматривающего варианты решения проблемы глобального воздействия человечества на окружающую среду в «антропоцене».

В качестве практического направления ревайлдинг в последнее десятилетие все чаще входит в массовый дискурс, особенно в странах Европы. Так, в 2010 году глагол «rewild» был впервые включен в Оксфордский словарь английского языка, и постепенно как этот термин, так и лежащая в его основе эколого-философская концепция начали приобретать более широкое общественное значение и уровень осмысления [1].

Однако на сегодняшний день термин «ревайлдинг» весьма нечасто применяется в специальной литературе ввиду своей дискуссионности [2].

Практическое применение концепции ревайлдинга

Ревайлдинг можно назвать одним из перспективных концепций повышения экосистемной устойчивости городских сообществ, что весьма актуально, поскольку (по прогнозам ООН) к 2050 г. более 70 % населения нашей планеты будет проживать на урбанизированных территориях, которые будут занимать около 2 % от всей земной поверхности [3].

Цели ревайлдинга можно подразделить на следующие: экономические, социальные и экологические. Основной экологической целью ревайлдинга является преобразование городов в устойчивые сообщества с минимальной

эмиссией парниковых газов и возможностью предоставления ряда экосистемных услуг. Так, при соответствующем проектировании, городские природные ландшафты можно использовать в качестве эффективной приемной системы, позволяющей снизить нагрузку на ливневую канализацию в периоды обильных осадков за счет поглощения избытка воды почвой и растительными сообществами [4].

Расширение зеленых зон, выполняющих функцию снижения загрязнения атмосферного воздуха различными поллютантами, способствует увеличению биоразнообразия, так как многовидовые растительные сообщества формируют кормовую базу и среду обитания для различных диких животных. Развитие экологического каркаса мегаполиса обеспечивает создание экологических коридоров и рефугиумов, важных для мигрирующих видов [5].

Помимо вышесказанного, важным эффектом ревайлдинга представляются происходящие социоэкологические изменения городской среды. Так, благодаря расширению возможности взаимодействия городских жителей с элементами живой природы происходит повышение уровня экологического самосознания людей; контакт с живыми объектами позитивно влияет на психологическое и физическое здоровье человека. Общение с природой улучшает настроение людей, уменьшает воздействие различных стрессовых ситуаций и снижает чувство одиночества [6].

Увеличение периодов, проведенных на свежем воздухе, улучшает работу иммунной системы, у людей снижается кровяное давление; наличие зеленых территорий в целом стимулирует увеличение физической активности [7].

Поскольку любые природные объекты города (парки, скверы и т.п.) всегда являются своеобразными точками притяжения для населения, они могут стимулировать активную экономическую деятельность (в частности развитие сферы услуг). Ревайлдинг же помогает экономить средства городских парковых служб в долгосрочной перспективе, так как основные инвестиции в подобные проекты приходится на его начальный этап, а при развитии проекта территория становится не только более устойчивой, но и способной к саморегуляции [4].

Ревайлдинг может также частично решать такую распространенную для городов проблему как «остров тепла» – поскольку обеспечивает охлаждение городских пространств благодаря эвапотранспирации, тогда как увеличение площади озелененных городских территорий приводит к росту площади затененных участков и снижает нагрев в жаркие дни [8].

Основные методы ревайлдинга и подходы к его реализации

На данный момент выделяют четыре основных подхода к ревайлдингу территорий: историко-биомный, трофический, экологический и пассивный. Подходы различаются между собой по степени интенсивности вмешательства человека в процессы восстановления экосистем [9].

Наиболее радикальным и сложным подходом для реализации является историко-биомный ревайлдинг, сутью которого является восстановление на конкретной территории специфических ландшафтно-фитоценологических комплексов путем реинтродукции видов мегафауны, проживавших на данной территории в эпоху плейстоцена (или, если это вымершие виды, – замены их современными видами, наиболее схожими с исчезнувшими по своим экосистемным функциям). Восстановление мегафауны в данном подходе является средством, призванным вызвать направленные существенные изменения в биоценозе [10]. Примером реализации данного подхода является осуществляемый в Якутии проект «Плейстоценовый парк», где после реинтродукции ряда ключевых видов (овцебыки, бизоны, лошади, олени) произошла смена растительности: мохово-кустарничковые тундры постепенно были трансформированы в высокоширотные злаковые фитоценозы (плейстоценовую степь).

Трофический ревайлдинг заключается в реинтродукции определенных видов для восстановления антропогенно-нарушенных трофических цепей. Для этого метода типичной является реинтродукция хищников, ранее истребленных человеком в данном районе. В качестве примера можно указать реинтродукцию волка в Йеллоустонский национальный парк и аналогичные проекты [11].

Экологический ревайлдинг, являясь наиболее распространенным и широко применяемым методом ревайлдинга, подразумевает применение элементов управления процессами естественных сукцессионных трансформаций биоценозов; в том числе он может включать реинтродукцию отдельных видов. Так, в национальном парке Молз в Дании на земли площадью около 130 га, которые классифицируются как сельскохозяйственные угодья, были специально выпущены 12 эксмурских и 13 галловейских пони для поддержания фитоценозов территории в определенном состоянии [12].

Пассивный ревайлдинг – один из подходов, предполагающий полное отсутствие антропогенной деятельности на конкретной территории, следствием чего становится естественная сукцессия. Часто эффекты данного метода можно наблюдать на заброшенных малопродуктивных землях, залежах и т.п. [13].

Вариантами применения ревайлдинга в контексте городской среды являются такие проекты, как: озеленение крыш и фасадов; использование обочин дорог для создания фитообществ, являющихся экологическими «коридорами»; увеличение площади садов и цветников и т.п. Все это значительно повышает экосистемную ценность городской территории [5].

Что касается механизмов ревайлдинга, то в основном он реализуется на базе двух основных подходов: восстановления и сохранения.

Механизм восстановления может включать следующие типы:

1) полное восстановление, которое включает в себя воссоздание исторического биоразнообразия экосистемы и ее экосистемных функций [14];

2) частичное восстановление отдельных функций и биотических блоков экосистемы [15];

3) лесовосстановление, при котором главной целью является воссоздание устойчивого лесного или иного растительного покрова [16];

4) «экологическая реабилитация» территории, то есть восстановление экосистемных функций полностью деградировавшей территории [14];

5) экологическое проектирование, которое подразумевает под собой создание искусственно сконструированной экосистемы, важной как для нативной биоты, так и для локальных человеческих сообществ [14].

При этом сохранение биологических видов в рамках программ ревайлдинга может подразумевать под собой перемещение видов на другую территорию для их стабильного существования и развития [9]. Такие меры могут быть классифицированы следующим образом.

1. Реинтродукция вида в пределах его исторического ареала (в том числе и для его физического сохранения).

2. Повышение численности существующей популяции (особенно малых популяций), в том числе для повышения уровня генетического разнообразия и преодоления эффекта «бутылочного горлышка».

3. Интродукция за пределы естественного ареала для восстановления экологических функций территории (экологическое моделирование).

4. Возвращение в дикую природу тех особей, которые были изъяты из дикой природы по различным причинам (например, подращивание и последующий выпуск детенышей в случае гибели матери).

Однако концепция ревайлдинга воспринимается в мире далеко не столь однозначно. Так, по мнению ряда специалистов, ревайлдинг противоречит представлениям о равновесной динамике экосистем и культурных ландшафтов [17]. Также эффективность ревайлдинга зачастую трудно доказуема для лиц, принимающих решения на уровне государственного аппарата, так как при реализации подобных проектов от их начала до достижения какого-либо видимого результата проходит в среднем 10–15 лет минимум, а за это время могут неоднократно смениться не только отдельные чиновники, но и целые кабинеты правительств. Вследствие этого государственные структуры крайне неохотно выделяют средства для финансирования таких проектов и относятся к ним зачастую с изрядной долей скептицизма [18].

Тем не менее в пределах городских территорий конструктивное взаимодействие между гражданами, городскими службами и организаторами проектов по ревайлдингу вполне возможно. Так, например, в Париже мероприятия по ревайлдингу включены в городской «климатический план»: планируется создать четыре крупных участка городских лесов, а также 28 более мелких участков, сопряженных со школами [19].

Обоснованная критика и потенциальные опасности ревайлдинга

Несмотря на массу положительных экологических эффектов, ревайлдинг может быть причиной ряда негативных последствий для человека. Во-первых, это аллергены различных растений, а также эффект затенения зданий и снижение атмосферного рассеивания (увеличивающее местные

концентрации поллютантов). Известно, что аллергия на пыльцу (поллиноз) и эфирные масла деревьев может выражаться в таких симптомах, как ринит, конъюнктивит, сенная лихорадка, аллергическая астма, дерматит и даже анафилактический шок [20].

Данная проблема стоит достаточно остро, так как распространенность аллергии в человеческой популяции возрастает; по данным Всемирной организации здравоохранения, в развитых странах уже более 50 лет продолжает повышаться распространенность аллергических заболеваний, а доля аллергиков среди школьников приближается к 50 % [21].

Также, безусловно, существует определенная опасность нападений на человека диких плотоядных животных, заселенных для восстановления диких экосистем, в зонах ревайлдинга, находящихся около городов и других поселений [22].

Лучшие мировые практики ревайлдинга в разных климатических зонах

Проекты по городскому ревайлдингу реализуются практически во всех климатических зонах, исключением служат только арктический и субарктический климатические пояса.

Для экваториальной зоны успешным примером осуществления городского ревайлдинга может являться Сингапур, где разработана эффективная система мониторинга для отслеживания реализации проектов, основанных на ранжировании территорий и районов по индексу городского биоразнообразия. В городе создана сеть «природных троп» протяженностью более 140 км, которая представляет собой специальные зеленые коридоры, имитирующие фитоценозы с различной высотной ярусностью и облегчающие перемещение животных из одной зеленой зоны города в другую. Также в городе созданы 18 огромных 50-метровых искусственных деревьев, являющихся «домом» для более чем 150 тысяч различных растений. Эти искусственные конструкции имитируют функции обычных деревьев: поглощают тепло, создают тень и фильтруют дождевую воду¹.

Для субтропического климата хорошим примером являются некоторые австралийские проекты так называемых «биофильных» городов. Данную концепцию внедряют даже в самых густонаселенных городах, например, в Сиднее, где создана система вертикальных висячих садов One Central, объединяющая более 35 тысяч растений 383 различных видов. Эти сады снижают затраты на систему кондиционирования зданий в теплый сезон года, а также данный комплекс стал целой крупной экосистемой, в котором проживают различные виды насекомых, птиц и даже летучих мышей².

В умеренной климатической зоне можно выделить множество успешных проектов ревайлдинга. Например, интересен опыт создания национального городского водно-болотного угодья Цюньли в Харбине. Благодаря

¹ 8 cities rewilding their urban spaces. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2021/06/8-cities-rewilding-their-urban-spaces/> (accessed: 26.02.2022).

² Ibid.

использованию особенностей рельефа здесь была создана экосистема, включающая в себя резервуар-накопитель для дождевой воды с многовидовым комплексом водных растений, обеспечивающих задержание и фильтрацию стока [4].

Ревайлдинг в России – реалии и перспективы развития

В России концепция ревайлдинга, к сожалению, пока не получила широкого распространения, и представлена лишь единичными проектами. Экологические каркасы крупнейших российских городов, как правило, не представляют собой цельной структуры, а значительная доля работ по озеленению городских территорий в России заключается лишь в укладке рулонных газонов и монокультурных посадках кустарников и деревьев.

Оценить перспективы ревайлдинга в России достаточно сложно. Вместе с тем представляется вероятным, что в ближайшие годы ревайлдинг может получить определенное распространение только в самых крупных городах (Москва, Санкт-Петербург, Казань и др.), так как на его реализацию необходимо привлечение значительных инвестиций. Одним из направлений применения ревайлдинга в российских мегаполисах является осуществление программ по ландшафтному планированию прибрежных территорий городских водоемов и водотоков, с целью увеличения их привлекательности с точки зрения рекреации.

Заключение

Создание устойчивых и экологически дружелюбных урбанизированных территорий является сегодня общемировым трендом, и концепция ревайлдинга полностью вписывается в него. Благодаря созданию в городах саморегулирующихся зеленых пространств комфортность городской жизни может существенно повышаться как с позиции эстетики, так и с позиции здоровья горожан.

Реализация концепции ревайлдинга помогает решить ряд проблем, которые одновременно являются и градостроительными, и экологическими. В связи с этим все больше крупных городов обращаются к различным методам и механизмам ревайлдинга. Однако при этом следует учитывать ряд потенциальных опасностей, связанных с практикой ревайлдинга (распространение аллергеногенных растений, интродукция потенциально опасных видов животных и др.)

Также проблемой концепции ревайлдинга является сложность финансирования ввиду того, что наиболее эффективные проекты часто требуют значительных материальных и организационных вложений, государственного содействия и привлечения девелоперов, для которых приоритет биофильных технологий в строительстве не очевиден из-за роста издержек и потенциального снижения прибыли.

Таким образом, внедрение концепции ревайлдинга в практику преобразования урбанизированных территорий является сложной задачей, целесообразность реализации которой следует рассматривать прежде всего с позиции необходимости достижения глобальных Целей устойчивого развития.

Список литературы / References

- [1] Martin A. Taming rewilding—from the ecological to the social: How rewilding discourse in Scotland has come to include people. *Land Use Policy*. 2021;(111):105677.
- [2] Pettorelli N. The policy consequences of defining rewilding. *Ambio*. 2022;51(1):93–102.
- [3] United Nations. World population prospects 2019: department of economic and social Affairs. *World Population Prospects 2019*. 2019.
- [4] Beatley T. Handbook of biophilic city planning & design. Island Press, 2016.
- [5] Catalano C. Urban Services to Ecosystems. *Springer International Publishing*. 2021.
- [6] Linder N. Pro-environmental habits: An underexplored research agenda in sustainability science. *Ambio*. 2022;51(3):546–556.
- [7] Breuste J. The Green City: Urban Nature as an Ideal, Provider of Services and Conceptual Urban Design Approach. Springer Nature; 2021.
- [8] Alexander S, Gleeson B. Rewilding the Suburbs: CERES as a Site of Enchantment. *Urban Awakenings*. Palgrave Macmillan, Singapore, 2020:199–209.
- [9] Corlett RT. Restoration, reintroduction, and rewilding in a changing world. *Trends in ecology & evolution*. 2016;31(6):453–462.
- [10] Josh Donlan C. Pleistocene rewilding: an optimistic agenda for twenty-first century conservation. *The American Naturalist*. 2006;168(5):660–681.
- [11] Svenning JC. Science for a wilder Anthropocene: Synthesis and future directions for trophic rewilding research. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2016;113(4):898–906.
- [12] Pereira HM, Navarro LM. Rewilding european landscapes. Springer Nature, 2015:227.
- [13] Morel L. Passive rewilding may (also) restore phylogenetically rich and functionally resilient forest plant communities. *Ecological Applications*. 2020;30(1):e02007.
- [14] Mitsch WJ. What is ecological engineering? *Ecological Engineering*. 2012;45(5–12).
- [15] Dumroese RK. Considerations for restoring temperate forests of tomorrow: forest restoration, assisted migration, and bioengineering. *New Forests*. 2015;46(5):947–964.
- [16] Jacobs DF. Restoring forests: what constitutes success in the twenty-first century? *New Forests*. 2015;46(5):601–614.
- [17] Root-Bernstein M, Gooden J, Boyes A. Rewilding in practice: projects and policy. *Geoforum*. 2018;97:292–304.
- [18] Carver S. Rewilding through land abandonment. *Rewilding*. 2019:99–122.
- [19] Des forêts urbaines bientôt sur quatre sites emblématiques. URL: <https://www.paris.fr/pages/des-forets-urbaines-bientot-sur-quatre-sites-emblematiques-6899/> (accessed: 26.02.2022).
- [20] Nowak DJ, Ogren TL. Variations in urban forest allergy potential among cities and land uses. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2021;63:127224.
- [21] Pawankar R, Canonica GW, Holgate ST, Lockey RF. World Health Organization. White Book on Allergy 2011–2012 Executive Summary.
- [22] Stronen AV, Iacolina L, Ruiz-Gonzalez A. Rewilding and conservation genomics: how developments in (re) colonization ecology and genomics can offer mutual benefits for understanding contemporary evolution. *Global Ecology and Conservation*. 2019;17:e00502.

Сведения об авторах:

Федорченко Леонид Юрьевич, студент 3-го курса направления подготовки «Экология и природопользование», Московский государственный институт международных отношений, МИД России, Российская Федерация, 119454, Москва, проспект Вернадского, д. 76. eLIBRARY SPIN-код:1896-4918. E-mail: leofedorchenko@icloud.com

Бобкова Арина Андреевна, студент 3-го курса направления подготовки «Экология и природопользование», Московский государственный институт международных отношений, МИД России, Российская Федерация, 119454, Москва, проспект Вернадского, д. 76. eLIBRARY SPIN-код:7032-8377. E-mail: olimp.arina@mail.ru

Никифоров Андрей Игоревич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Российская Федерация, 105187, Москва, Окружной проезд, д. 19; кафедра международных комплексных проблем природопользования и экологии МГИМО МИД России, Российская Федерация, 119454, Москва, проспект Вернадского, д. 76. ORCID: 0000-0003-3112-5378, eLIBRARY SPIN-код 5896-7947. E-mail: nai@vniro.ru

Bio notes:

Leonid Yu. Fedorchenko, 3rd year student of the field of study “Ecology and Nature Management”, Moscow State Institute of International Relations, 76 Vernadskogo Prospect, Moscow, 119454, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code:1896-4918. E-mail: leofedorchenko@icloud.com; +79096501811

Arina A. Bobkova, 3rd year student of the field of study “Ecology and Nature Management”, Moscow State Institute of International Relations, 76 Vernadskogo Prospect, Moscow, 119454, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code:7032-8377. E-mail: olimp.arina@mail.ru

Andrey I. Nikiforov, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor; Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 19 Okruzhnoy Proezd, Moscow, 105187, Russia; Department of International Complex Problems of Nature Management and Ecology, Moscow State Institute of International Relations, 76 Vernadskogo Prospect, Moscow, 119454, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-3112-5378, eLIBRARY SPIN code 5896-7947. E-mail: nai@vniro.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-1-30-39

EDN: RRNIKK

УДК 574

Обзорная статья / Review article

Исследования углеродного баланса в Японии

А.И. Банчева  

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Москва, Российская Федерация*
 ban-sai@mail.ru

Аннотация. Представлен обзор научных публикаций о потоках углерода в наземных экосистемах Японии, проиндексированных в базе данных Scopus за период 2017–2021 гг. Внутри обозначенной темы выделены подтемы, по которым отмечено наибольшее число статей: потоки углерода в почвах, в наземной фитомассе (преимущественно это исследования экосистем острова Хоккайдо); особенности поглощения углекислого газа различными видами растений, а также изменения баланса углерода, связанные с вырубками, лесовосстановлением и таким природным явлением, как тайфуны. Обозначены наиболее активные по публикациям организации (ряд научно-исследовательских институтов и университетов): научный институт лесного хозяйства (Япония), национальная сельскохозяйственная и продовольственная научная организация (Япония) и Университет Хоккайдо (Япония).

Ключевые слова: наукометрия, библиометрический обзор, изменение климата, поглощение углекислого газа, Парижское соглашение

Благодарности и финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания «Анализ региональных геоэкологических проблем в условиях глобальных изменений окружающей среды».

История статьи: поступила в редакцию 23.08.2022; доработана после рецензирования 12.11.2022; принята к публикации 11.01.2023.

© Банчева А.И., 2023



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

Для цитирования: Банчева А.И. Исследования углеродного баланса в Японии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 1. С. 30–39. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-30-39>

Research on carbon balance in Japan

Alexandra I. Bancheva  

Lomonosov MSU, Moscow, Russian Federation

 ban-sai@mail.ru

Abstract. The article presents an overview of scientific publications on the subject of the study «carbon balance in terrestrial ecosystems», made for the territory of Japan and indexed in the Scopus database for the period 2017–2021. Within this theme, the areas with the highest number of articles are highlighted: carbon fluxes in soils, carbon stocks in above ground phytomass (mainly studies of the ecosystems of Hokkaido), features of carbon dioxide sequestration by various plant species typical for Japan, as well as the carbon balance dynamics associated with deforestation, reforestation and natural phenomena such as typhoons. The most active in publishing activity scientific and academic institutions were identified (Forestry and Forest Products Research Institute; National Agriculture and Food Research Organization; Hokkaido University).

Keywords: climate change adaptation, carbon dioxide sequestration, Paris agreement

Acknowledgements and funding. The work was carried out within the state task “Analysis of regional geo-ecological problems in the conditions of global environmental changes”.

Article history: received 23.08.2022; revised 12.11.2022; accepted 11.01.2023

For citation: Bancheva AI. Research on carbon balance in Japan. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(1):30–39. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-30-39>

Введение

Круговорот углерода в биосфере и возможности адаптации экосистем к изменениям климата являются крайне значимыми и актуальными вопросами в геоэкологии как с теоретической, так и с практической точки зрения. Мировое сообщество, а особенно страны – участницы Парижского соглашения, стремится к декарбонизации своих экономик, ставя цели по а) снижению выбросов парниковых газов (прежде всего CO₂) и б) устойчивому управлению экосистемами, поглощающими CO₂. И если для достижения первой цели выработан и уже применяется ряд инструментов (использование наилучших доступных технологий, развитие возобновляемых источников энергии, повышение энергоэффективности и т.д.), то для достижения второй необходима работа этапа научных исследований, способных дать корректные оценки баланса углерода экосистемами в каждом из государств (полевые наблюдения, в частности мониторинг, а также расчеты

и моделирование) для выработки дальнейших практических решений. Япония обладает большим научно-исследовательским потенциалом, в том числе и в естественных науках, поэтому изучение и обобщение работ коллективов японских ученых по обозначенной теме представляется актуальным и чрезвычайно важным. Цель исследования – дать обзор и провести первичный анализ научных публикаций, выполненных для Японии, по тематике углеродного баланса.

Методика

Библиометрический анализ проведен на основе реферативной базы данных Scopus¹. Базовый запрос на поиск статей включал следующие ключевые фразы: *TITLE-ABS-KEY (“carbon balance” OR “carbon stock” OR “carbon sink” OR “carbon storage”) AND TITLE-ABS-KEY (Japan)*. Поиск осуществлялся по трем атрибутам: названию статьи, краткому описанию и ключевым словам. К полученным результатам применены фильтры: временной интервал 2017–2021 гг., отрасли знаний «Науки об окружающей среде», «Агрономия и биология», «Науки о планете Земля».

Результаты

Согласно первичному анализу результатов поиска, результаты которого Scopus предоставляет автоматически, можно зафиксировать следующее. Ежегодно индексируется порядка 15–20 статей, а за обозначенный пятилетний период – 90². Тренд в количестве публикаций в целом положительный (с 1970-х гг.), однако за последние 10 лет отмечается небольшой спад.

Абсолютное большинство публикаций – научные статьи, *research article* (только 4 из них – обзоры, *review article*). Аффилиация авторов – преимущественно японские организации (70 из 90 статей), лидерами являются научный институт лесного хозяйства (Япония), национальная сельскохозяйственная и продовольственная научная организация (Япония) и Университет Хоккайдо (Япония). Примечательно, что среди организаций присутствует и китайская академия наук, ученые которой проводят исследования в сотрудничестве с японцами.

Дальнейшее знакомство с аннотациями статей позволило отфильтровать около 70 % наиболее релевантных и сгруппировать их по тематическим направлениям, которые будут рассмотрены ниже.

¹ Scopus [Internet]. Abstract and citation database [cited 27 May 2022]. Available from: <https://www.scopus.com/home.uri> (accessed: 23.07.2022)

² Для сравнения нами был также осуществлен поиск по японским базам данных J-Stage и CiNii. Так, по запросу (カーボンバランス OR 炭素貯蔵 OR カーボンストレージ) AND 日本 было получено около 50 статей, преимущественно на японском языке (временной интервал 2017–2021 гг.).

Первый вариант группировки статей мы осуществили в соответствии с подходом МГЭИК и распределили статьи по пяти группам – по пулам углерода (надземная и подземная фитомасса, сухостой (и валежник), подстилка и почва). Естественно, данная классификация подошла не для всех статей. Тем не менее, распределив большую часть статей по обозначенным группам, отмечено, что лидирует группа с исследованиями потоков углерода *в почвах* [1–16]. Многие из обозначенных статей посвящены характерным для Японии почвам – андосолям.

Большое количество статей отнесено ко второй группе: потоки углерода в *надземной фитомассе* [17–25], часть из которых посвящено балансу углерода экосистем умеренных лесов, преимущественно на примере о. Хоккайдо [23; 26], часть – мангровым лесам [5; 7; 27–29], а также луговым сообществам, *grasslands* [9; 30].

Всего одна статья из найденных посвящена изучению потоков углерода в *подземной фитомассе* [31] и две – исследованиям пула углерода в *сухостое и валежнике* [32; 33].

Второй вариант группировки статей по тематическим группам стал возможен после более детального знакомства с аннотациями статей.

Например, мы выделили блок исследований, посвященных особенностям *поглощения углекислого газа различными растениями*. Таких статей достаточно много, объектом изучения в них являются такие растения, как кипарисовик туполистный, дуб пильчатый, листоколосник бамбуковый, криптомерия японская, сосна густоцветковая, пихта сильная, мискантус китайский, трема восточная, виды бамбука и лианы – типичные представители растительных сообществ в Японии [17–20; 31; 34–36].

Другой пример – это публикации про *оценки потоков углерода в экосистемах в контексте каких-либо природных или антропогенных изменений*. Часто в статьях обсуждается фактор *изменения климата* (т.е. фактор различных температурных и влажностных характеристик климата или их изменения) [17; 20; 28; 35–37; 28] и фактор *смены режима землепользования*. Например, авторы обсуждают влияние различных подходов в пахоте (в том числе и безпахотной практики с.-х.) [2; 30] и применения практики севооборота (рисовые чеки и поля на возвышенных равнинах) [38], практики залесения [6], выборочных рубок [25] и рубок ухода [39]. Особенно интересны статьи и об изменениях в стоке углерода в почвах после смены земельного покрова из леса в сельскохозяйственные угодья [10] и при зарастании заброшенных рисовых полей инвазивными видами [40]. В обоих случаях авторы отмечают снижение поглощения углерода в почвах.

В ряде статей рассматривается такой фактор, как *стихийные природные явления*, здесь отмечаются характерные для японских ученых темы. Например, статьи о влиянии тайфунов и ветровалов на углеродный баланс [33; 39; 41].

Значимое место обозначенных тематических групп в общем пуле публикаций подтверждает и «облако слов», созданное на основе текстов аннотаций найденных статей (рис. 1).

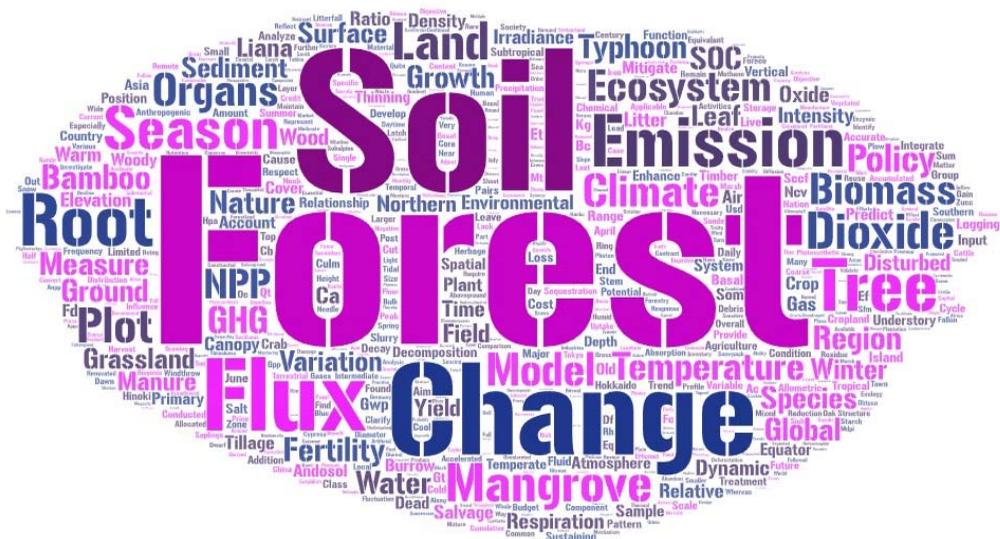


Рис. 1. Облако слов на основе текстов аннотаций (составлено автором с помощью <https://wordart.com/>) / Figure 1. The word cloud based on abstracts (compiled by the author at <https://wordart.com/>)

К слову об изменении климата и лесохозяйственной деятельности, можно отметить, что несколько статей посвящены *оценке экосистемных функций* лесов в целом, в том числе вопросам *лесоклиматических проектов* [42–45].

Так, Ноjo с соавторами рассматривает концепцию оценки стоимости природного капитала и опыт города Симокава (префектура Хоккайдо). В исследовании была проведена эколого-экономическая оценка всех экосистемных услуг города и отмечена существенная роль устойчивого управления лесами. Представлен вывод о том, что прирост деревьев превышает объемы лесозаготовки, а ассимиляционные функции лесов по поглощению CO₂ значительно превышают выбросы от производственных объектов и жилого сектора [43].

Также оценка экосистемных услуг и баланса углерода приводится и в работах Passarelli и Nakano, выполненных в области традиционно сильного направления для Японии – утилизации отходов: автор исследует вопрос переработки деревянных панелей и ее экологический эффект [45; 47].

В отдельную группу выделяются статьи *методического характера*, в которых авторы рассматривают новые модели и методы оценок стока углерода, апробированные на лесных территориях о. Хоккайдо [48; 49] или в крупнейших агломерациях [50].

Заключение

В статье представлен библиометрический обзор статей по вопросам баланса углерода в экосистемах Японии, индексированных в базе данных Scopus в 2017–2021 гг. Определены наиболее активные по публикациям

организации (преимущественно японской аффилиации), а также направления, наиболее активно освещенные в публикациях. Это поток углерода в почвах, поток углерода в мангровых лесах, в лесах умеренного пояса, в луговых экосистемах, динамика потока углерода, связанная с воздействием тайфунов и с вырубками, а также лесопосадками. Отдельный пул статей посвящен биологическим исследованиям особенностей поглощения углерода конкретными ботаническими видами деревьев и трав, характерных для Японии. Ряд статей носят методический характер, что подтверждает наличие у Японии сильной научной школы исследований, связанных с углеродным балансом.

Опыт поиска статей в реферативных базах данных показал необходимость осуществления нескольких подходов к поиску (со схожими, но не идентичными ключевыми словами в запросе), а также необходимость качественной оценки результатов поиска (в том числе по названиям и аннотациям) и отбора релевантных статей перед дальнейшей работой. Также более детальный поиск и учет статей на японском языке может существенно расширить круг публикаций и стать предметом для библиометрического исследования в будущем.

Список литературы / References

- [1] Chen S, Yoshitake S, Iimura Y, Asai C, Ohtsuka T. Dissolved organic carbon (DOC) input to the soil: DOC fluxes and their partitions during the growing season in a cool-temperate broad-leaved deciduous forest, central Japan. *Ecological Research*. 2017;32(5):713–724. <http://doi.org/10.1007/s11284-017-1488-6>
- [2] Gong Y, Li P, Lu W, Nishiwaki J, Komatsuzaki M. Response of soil carbon dioxide emissions to no-tillage and moldboard plow systems on andosols in a humid, subtropical climate, Japan. *Geoderma*. 2021;386. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114920>
- [3] Kamarudin KN, Tomita M, Kondo K, Abe SS. Geostatistical estimation of surface soil carbon stock in Mt Wakakusa grassland of Japan. *Landscape and Ecological Engineering*. 2019;15(2):215–221. <http://doi.org/10.1007/s11355-019-00370-1>
- [4] Hasukawa H, Inoda Y, Toritsuka S, Sudo S, Oura N, Sano T, et al. Effect of paddy-upland rotation system on the net greenhouse gas balance as the sum of methane and nitrous oxide emissions and soil carbon storage: A case in western Japan. *Agriculture (Switzerland)*. 2021;11(1):1–16. <http://doi.org/10.3390/agriculture11010052>
- [5] Iimura Y, Kinjo K, Kondo M, Ohtsuka T. Soil carbon stocks and their primary origin at mature mangrove ecosystems in the estuary of Fukido river, Ishigaki Island, southwestern Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2019;65(5):435–443. <http://doi.org/10.1080/00380768.2019.1660589>
- [6] Ishizuka S, Hashimoto S, Kaneko S, Tsuruta K, Kida K, Aizawa S, et al. Soil carbon stock changes due to afforestation in Japan by the paired sampling method on an equivalent mass basis. *Biogeochemistry*. 2021;153(3):263–281. <http://doi.org/10.1007/s10533-021-00786-8>
- [7] Kim J, Lee J, Yang Y, Yun J, Ding W, Yuan J, et al. Microbial decomposition of soil organic matter determined by edaphic characteristics of mangrove forests in east Asia. *Science of the Total Environment*. 2021;(763). <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142972>

- [8] Kim Y, Tsunogai S, Tanaka N. Winter CH₄ oxidation in cold-temperate grassland soils of northern Japan: 222Rn as a proxy for the validation of CH₄ diffusivity. *Polar Science*. 2021;(29). <http://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100681>
- [9] Kitamura R, Sugiyama C, Yasuda K, Nagatake A, Yuan Y, Du J, et al. Effects of three types of organic fertilizers on greenhouse gas emissions in a grassland on andosol in southern Hokkaido, Japan. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021;(5). <http://doi.org/10.3389/fsufs.2021.649613>
- [10] Koga N, Shimoda S, Shirato Y, Kusaba T, Shima T, Niimi H, et al. Assessing changes in soil carbon stocks after land use conversion from forest land to agricultural land in Japan. *Geoderma* 2020;(377). <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114487>
- [11] Koga N. Tillage, fertilizer type, and plant residue input impacts on soil carbon sequestration rates on a Japanese andosol. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2017;63(4):396–404. <http://doi.org/10.1080/00380768.2017.1355725>
- [12] Matsui K, Takata Y, Matsuura S, Wagai R. Soil organic carbon was more strongly linked with soil phosphate fixing capacity than with clay content across 20,000 agricultural soils in Japan: A potential role of reactive aluminum revealed by soil database approach. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2021;67(3):233–242. <http://doi.org/10.1080/00380768.2021.1902750>
- [13] Matsuura E, Komatsuzaki M, Hashimi R. Assessment of soil organic carbon storage in vegetable farms using different farming practices in the Kanto region of Japan. *Sustainability*. 2018;10(1). <http://doi.org/10.3390/su10010152>
- [14] Nanko K, Hashimoto S, Miura S, Ishizuka S, Sakai Y, Levia DF, et al. Assessment of soil group, site and climatic effects on soil organic carbon stocks of topsoil in Japanese forests. *European Journal of Soil Science*. 2017;68(4):547–558. <http://doi.org/10.1111/ejss.12444>
- [15] Takakai F, Hatakeyama K, Nishida M, Nagata O, Sato T, Kaneta Y. Effect of the long-term application of organic matter on soil carbon accumulation and GHG emissions from a rice paddy field in a cool-temperate region, Japan-II. effect of different compost applications. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2020;66(1):96–105.
- [16] Takakai F, Kominami Y, Ohno S, Nagata O. Effect of the long-term application of organic matter on soil carbon accumulation and GHG emissions from a rice paddy field in a cool-temperate region, Japan. -I. comparison of rice straw and rice straw compost. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2020;66(1):84–95. <http://doi.org/10.1080/00380768.2019.1609335>
- [17] Araki MG, Gyokusen K, Kajimoto T. Vertical and seasonal variations in temperature responses of leaf respiration in a *Chamaecyparis obtusa* canopy. *Tree Physiology*. 2017;37(10), 1269–1284. <http://doi.org/10.1093/treephys/tpx012>
- [18] Ichihashi R, Chiu C-W, Komatsu H, Kume T, Shinohara Y, Tateishi M, et al. Contribution of lianas to community-level canopy transpiration in a warm-temperate forest. *Functional Ecology*. 2017;31(9):1690–2699. <http://doi.org/10.1111/1365-2435.12881>
- [19] Inoue A, Miyazawa Y, Sato M, Shima H. Allometric equations for predicting culm surface area of three bamboo species (*Phyllostachys* spp.). *Forests*. 2018;9(6). <http://doi.org/10.3390/f9060295>
- [20] Kenzo T, Yoneda R, Ninomiya I. Seasonal changes in photosynthesis and starch content in Japanese fir (*Abies firma* Sieb. et Zucc.) saplings under different levels of irradiance. *Trees – Structure and Function*. 2018;32(2):429–439. <http://doi.org/10.1007/s00468-017-1640-5>

- [21] Kohyama TS, Potts MD, Kohyama TI, Niiyama K, Yao TL, Davies SJ, et al. Trade-off between standing biomass and productivity in species-rich tropical forest: Evidence, explanations and implications. *Journal of Ecology*. 2020;108(6):2571–2583. <http://doi.org/10.1111/1365-2745.13485>
- [22] Koide D, Ito A. Temporal changes in the relationship between tree-ring growth and net primary production in Northern Japan: A novel approach to the estimation of seasonal photosynthate allocation to the stem. *Ecological Research*. 2018;33(6):1275–1287. <http://doi.org/10.1007/s11284-018-1639-4>
- [23] Suzuki SN. Acceleration and deceleration of aboveground biomass accumulation rate in a temperate forest in central Japan. *Forest Ecology and Management*. 2021;479. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118550>
- [24] Takahashi K, Matsuki S. Morphological variations of the solidago virgaurea L. complex along an elevational gradient on Mt Norikura, central Japan. *Plant Species Biology*. 2017;32(3):238–246. <http://doi.org/10.1111/1442-1984.12148>
- [25] Teramoto M, Liang N, Takahashi Y, Zeng J, Saigusa N, Ide R, et al. Enhanced understory carbon flux components and robustness of net CO₂ exchange after thinning in a larch forest in central Japan. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019;274:106–117. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.04.008>
- [26] Egusa T, Kumagai T, Shiraiishi N. Carbon stock in Japanese forests has been greatly underestimated. *Scientific Reports*. 2020;10(1). <http://doi.org/10.1038/s41598-020-64851-2>
- [27] Suwa R, Rollon R, Sharma S, Yoshikai M, Albano GMG, Ono K, et al. Mangrove biomass estimation using canopy height and wood density in the South East and East Asian regions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2021;248. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106937>
- [28] Mori A. Greenhouse gas emissions from cut grasslands renovated with full inversion tillage, shallow tillage, and use of a tine drill in Nasu, Japan. *Agriculture (Switzerland)*. 2020;10(2). <http://doi.org/10.3390/agriculture10020031>
- [29] Tomotsune M, Yoshitake S, Imura Y, Kida M, Fujitake N, Koizumi H, et al. Effects of soil temperature and tidal condition on variation in carbon dioxide flux from soil sediment in a subtropical mangrove forest. *Journal of Tropical Ecology*. 2018;34(4):268–275. <http://doi.org/10.1017/S026646741800024X>
- [30] Tomotsune M, Arai H, Yoshitake S, Kida M, Fujitake N, Kinjo K, et al. Effect of crab burrows on CO₂ flux from the sediment surface to the atmosphere in a subtropical mangrove forest on Ishigaki Island, Southwestern Japan. *Estuaries and Coasts*. 2020;43(1):102–110. <http://doi.org/10.1007/s12237-019-00667-2>
- [31] An JY, Osawa A. Seasonal patterns of fine root dynamics and their contribution to net primary production in hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) and konara oak (*Quercus serrata*) forests. *Trees – Structure and Function*. 2021;35(1):255–271. <http://doi.org/10.1007/s00468-020-02030-6>
- [32] Takeda S, Takahashi K. Elevational variation in abundance of coarse woody debris in subalpine forests, central Japan. *Forest Ecology and Management*. 2020;473. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118295>
- [33] Suzuki SN, Tsunoda T, Nishimura N, Morimoto J, Suzuki J-. Dead wood offsets the reduced live wood carbon stock in forests over 50 years after a stand-replacing wind disturbance. *Forest Ecology and Management*. 2019;432:94–101. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.054>
- [34] Yuen JQ, Fung T, Ziegler AD. Carbon stocks in bamboo ecosystems worldwide: Estimates and uncertainties. *Forest Ecology and Management*. 2017;393:113–138. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.017>

- [35] Kono Y, Ishida A, Saiki S-T, Yoshimura K, Dannoura M, Yazaki K, et al. Initial hydraulic failure followed by late-stage carbon starvation leads to drought-induced death in the tree *Trema orientalis*. *Communications Biology*. 2019;2(1). <http://doi.org/10.1038/s42003-018-0256-7>
- [36] Lei T. The summer-deciduous habit of *Daphne pseudomezereum* is a response to warm summer as cooling converts it to an evergreen. *Plant Ecology*. 2020;221(6):431–440. <http://doi.org/10.1007/s11258-020-01023-2>
- [37] Yamochi S, Tanaka T, Otani Y, Endo T. Effects of light, temperature and ground water level on the CO₂ flux of the sediment in the high water temperature seasons at the artificial north salt marsh of Osaka Nanko bird sanctuary, Japan. *Ecological Engineering*. 2017;98:330–338. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.09.012>
- [38] Hasukawa, H., Inoda, Y., Toritsuka, S., Sudo, S., Oura, N., Sano, T., et al. Effect of paddy-upland rotation system on the net greenhouse gas balance as the sum of methane and nitrous oxide emissions and soil carbon storage: A case in western Japan. *Agriculture (Switzerland)*. 2021;11(1):1–16. <http://doi.org/10.3390/agriculture11010052>
- [39] Hotta W, Morimoto J, Inoue T, Suzuki SN, Umebayashi T, Owari T, et al. Recovery and allocation of carbon stocks in boreal forests 64 years after catastrophic windthrow and salvage logging in northern Japan. *Forest Ecology and Management*. 2020;468. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118169>
- [40] Shimoda S, Wagai R. Ecosystem dynamics after abandonment of rice paddy fields: Does alien plant invasion enhance carbon storage? *Ecosystems*. 2020;23(3):617–629. <http://doi.org/10.1007/s10021-019-00426-1>
- [41] Wu L, Kato T, Sato H, Hirano T, Yazaki T. Sensitivity analysis of the typhoon disturbance effect on forest dynamics and carbon balance in the future in a cool-temperate forest in northern Japan by using SEIB-DGVM. *Forest Ecology and Management*. 2019;451. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117529>
- [42] Akita N, Ohe Y. Sustainable forest management evaluation using carbon credits: From production to environmental forests. *Forests*. 2021;12(8). <http://doi.org/10.3390/f12081016>
- [43] Hojo A, Tsuji N, Kasuga T, Osaki M. Natural capital evaluation in the FutureCity of Shimokawa, northern Japan, based on forest economics. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021;193(12). <http://doi.org/10.1007/s10661-021-09434-y>
- [44] Yoshida T, Naito S, Nagumo M, Hyodo N, Inoue T, Umegane H, Yamazaki H, Miya H, Nakamura F. Structural complexity and ecosystem functions in a natural mixed forest under a single-tree selection silviculture. *Sustainability (Switzerland)*. 2017;9(11). <http://doi.org/10.3390/su9112093>
- [45] Yousefpour R, Nakamura N, Matsumura N. Forest management approaches for climate change mitigation and adaptation: A comparison between Germany and Japan. *Journal of Sustainable Forestry*. 2020;39(6):635–653. <http://doi.org/10.1080/10549811.2020.1771376>
- [46] Passarelli, R. N. (2018). The environmental impact of reused CLT panels: Study of a single-storey commercial building in Japan. *Proceedings of the WCTE 2018 – World Conference on Timber Engineering*; Seoul, South Korea; 2018.
- [47] Nakano K, Koike W, Yamagishi K, Hattori N. Environmental impacts of cross-laminated timber production in Japan. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2020;22(10):2193–2205. <http://doi.org/10.1007/s10098-020-01948-2>

- [48] Koide D, Ito A. Temporal changes in the relationship between tree-ring growth and net primary production in northern Japan: A novel approach to the estimation of seasonal photosynthate allocation to the stem. *Ecological Research*. 2018;33(6):1275–1287. <http://doi.org/10.1007/s11284-018-1639-4>
- [49] Nomura, S., Mukai, H., Terao, Y., Takagi, K., Mohamad, M., & Jahaya, M. F. Evaluation of forest CO₂ fluxes from sonde measurements in three different climatological areas including Borneo, Malaysia, and Iriomote and Hokkaido, Japan. *Chemical and Physical Meteorology*. 2018;70(1). <http://doi.org/10.1080/16000889.2018.1426316>
- [50] Wang Q, Imasu R, Arai Y, Ito S, Mizoguchi Y, Kondo H, et al. Sub-daily natural CO₂ flux simulation based on satellite data: Diurnal and seasonal pattern comparisons to anthropogenic CO₂ emissions in the greater Tokyo area. *Remote Sensing*. 2021;13(11). <http://doi.org/10.3390/rs13112037>

Сведения об авторе:

Банчева Александра Ивановна, кандидат географических наук, научный сотрудник, кафедра физической географии мира, географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, д. 1. ORCID: 0000-0001-5845-2833. SPIN-код: 1495-9863. E-mail: ban-sai@mail.ru

Bio note:

Alexandra I. Bancheva, Ph.D. in Geography, Researcher, Department of Physical Geography of the World, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5845-2833. SPIN-код: 1495-9863. E-mail: ban-sai@mail.ru



ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

HUMAN ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-1-40-54

EDN: RWYJFS

УДК 612.014.45

Научная статья / Research article

Применение штучного звукопоглотителя для снижения воздействия шума на работников молокоперерабатывающей отрасли на примере промышленных предприятий Республики Мордовии

А.Н. Скворцов  

*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Российская Федерация*

 squortsow.sasha@yandex.ru

Аннотация. Выполнен анализ условий труда работников молокоперерабатывающей отрасли Республики Мордовии (РМ), который показал, что преобладающим вредным производственным фактором является повышенный уровень шума. Доказано, что шум оказывает негативное воздействие не только на органы слуха, но и на весь организм в целом как общебиологический раздражитель, поэтому снижение шумовой экспансии за счет инженерно-технических решений является актуальной задачей современности. Произведена оценка шумового воздействия на операторов молокоперерабатывающей отрасли в рамках специальной оценки условий труда. Анализ показал, что превышение уровня шума наблюдается на всех рабочих местах. Для защиты работников от повышенного уровня шума предложена конструкция звукоподавляющего штучного звукопоглотителя, отличающегося высокими санитарно-гигиеническими свойствами. Применение звукоподавляющих штучных звукопоглотителей позволит улучшить условия труда с вредного класса до допустимого.

Ключевые слова: условия труда, шум, охрана труда, молокоперерабатывающая отрасль, звукопоглощающая конструкция, специальная оценка условий труда

© Скворцов А.Н., 2023



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

История статьи: поступила в редакцию 22.07.2022; доработана после рецензирования 13.11.2022; принята к публикации 29.01.2023.

Для цитирования: *Скворцов А.Н.* Применение штучного звукопоглотителя для снижения воздействия шума на работников молокоперерабатывающей отрасли на примере промышленных предприятий Республики Мордовии // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2023. Т. 31. № 1. С. 40–54. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-40-54>

The use of a piece sound absorber to reduce the impact of noise on workers in the dairy industry on the example of industrial enterprises of the Republic of Mordovia

Alexander N. Skvortsov  

*National Research Mordovian State University named after N. P. Ogareva,
Saransk, Russian Federation
squortsow.sasha@yandex.ru*

Abstract. The paper analyzes the working conditions of workers in the dairy industry, which showed that the prevailing harmful production factor is the increased noise level. It has been proven that noise has a negative impact not only on the hearing organs, but also on the whole organism as a whole as a general biological irritant, therefore, reducing noise expansion due to engineering solutions is an urgent task of our time. The article assesses the noise impact on operators of the dairy industry as part of a special assessment of working conditions. The analysis showed that the excess noise level is observed at all workplaces. To protect workers from an increased noise level, a design of a sound-suppressing piece sound absorber is proposed, which is distinguished by high sanitary and hygienic properties. The use of sound-suppressing piece sound absorbers will improve working conditions from a harmful class to an acceptable one.

Keywords: working conditions, noise, labor protection, milk processing industry, sound-absorbing structure, special assessment of working conditions

Article history: received 22.07.2022; revised 13.11.2022; accepted 29.01.2023.

For citation: Skvortsov AN. The use of a piece sound absorber to reduce the impact of noise on workers in the dairy industry on the example of industrial enterprises of the Republic of Mordovia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(1):40–54. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-40-54>

Введение

Стремительное развитие техники и появление современных технологий привело к образованию акустических полей на предприятиях. Повышенный уровень шума становится все более определяющим среди экологических факторов различных стран, об этом свидетельствуют многочисленные исследования [1].

В современной промышленности присутствуют рабочие места с повышенным уровнем производственного шума, который оказывает негативное

влияние на человека, а также на его производительность труда. Согласно статистическим данным неблагоприятное воздействие шума наблюдается в авиастроении, машиностроении, черной металлургии, деревообрабатывающей отрасли, пищевой промышленности [2–7] и т. д.

В рамках исследования нас интересует защита от шума работников пищевой промышленности, а именно молокоперерабатывающей отрасли.

Молокоперерабатывающая отрасль является одной из ключевых отраслей экономики страны, объединяющая более 2000 предприятий. Основную работу на предприятиях данного типа выполняют женщины, число которых составляет до 80 % от общего числа работающих [5].

Условия труда на объектах молокоперерабатывающей отрасли являются неблагоприятными, данному вопросу посвящено множество исследований [3; 5; 6]. Основную нагрузку оказывают вредные производственные факторы, к числу которых относятся шум, микроклимат, загрязнение рабочей зоны пылью, значительные физические нагрузки и т.д. Приведенные факторы вызывают профессиональную заболеваемость у работников, а также снижают работоспособность.

Условия труда основных профессиональных групп работников молокоперерабатывающей отрасли РФ представлены в табл. 1.

Таблица 1. Условия труда основных профессиональных групп работников молокоперерабатывающей отрасли РФ

Основные профессиональные группы работников	Классы условий труда в зависимости от интенсивности вредного производственного фактора		
	По эквивалентному уровню шума	По среднесменной концентрации пыли	По относительной влажности воздуха
Аппаратчик пастеризации и охлаждения молока	3,1 (89 дБ)	2 (0,4 мг/м ³)	2–3,1 (48–78%)
Аппаратчик производства сухого молока	3,2 (102 дБ)	3,1 (2,8 мг/м ³)	2 (23–48%)
Операторы линии разлива молока в бутылки	3,1 (84 дБ)	2 (0,4 мг/м ³)	2 (23–48%)
Фасовщик сухого молока	3,1 (84 дБ)	3,3 (26,7 мг/м ³)	2 (2–48%)

Table 1. Working conditions of the main professional groups of workers in the dairy industry of the Russian Federation

The main professional groups of workers	Classes of working conditions depending on the intensity of the harmful production factor		
	According to the equivalent noise level	According to the average shift concentration of dust	By relative humidity
Milk pasteurization and cooling operator	3.1 (89 dB)	2 (0.4 mg/m ³)	2–3.1 (48–78%)
Powdered milk production operator	3.2 (102 dB)	3.1 (2.8 mg/m ³)	2 (23–48%)
Milk bottling line operators	3.1 (84 dB)	2 (0.4 mg/m ³)	2 (23–48%)
Powdered milk packer	3.1 (84 dB)	3.3 (26.7 mg/m ³)	2 (2–48%)

Несмотря на высокую автоматизацию отрасли, на производстве достаточно широко используется ручной труд, который сопровождается плотным контактом оператора с технологическим оборудованием. Выполнение трудовых обязанностей на производственных участках связано прежде всего

с настройкой технологического оборудования, а также выполнением зрительных операций.

Таким образом, защита от шума на предприятиях молокоперерабатывающей отрасли является актуальной задачей современности, которая требует вмешательства со стороны науки.

Воздействие шума на организм человека

Действие шума на организм человека проявляется по-разному и зависит от возраста, состояния здоровья, характера труда, физического, а также душевного состояния. Воздействие шума усиливается, если на человека оказывает дополнительное влияние неблагоприятный климат, вибрация, химические вещества и биологические.

В настоящее время накоплены многочисленные данные, позволяющие судить о воздействии шума на органы слуха [2–4; 7].

Шум оказывает негативное воздействие не только на органы слуха, но и на весь организм в целом, как общебиологический раздражитель. На рис. 1 показаны зоны наибольшего действия шума на органы человека.

Анализируя вышесказанное, можно отметить, что необходимо осуществлять защиту не только органов слуха, но и внутренних органов человека. Еще одним немаловажным аспектом действия шума на человека является снижение трудовой функции [7].

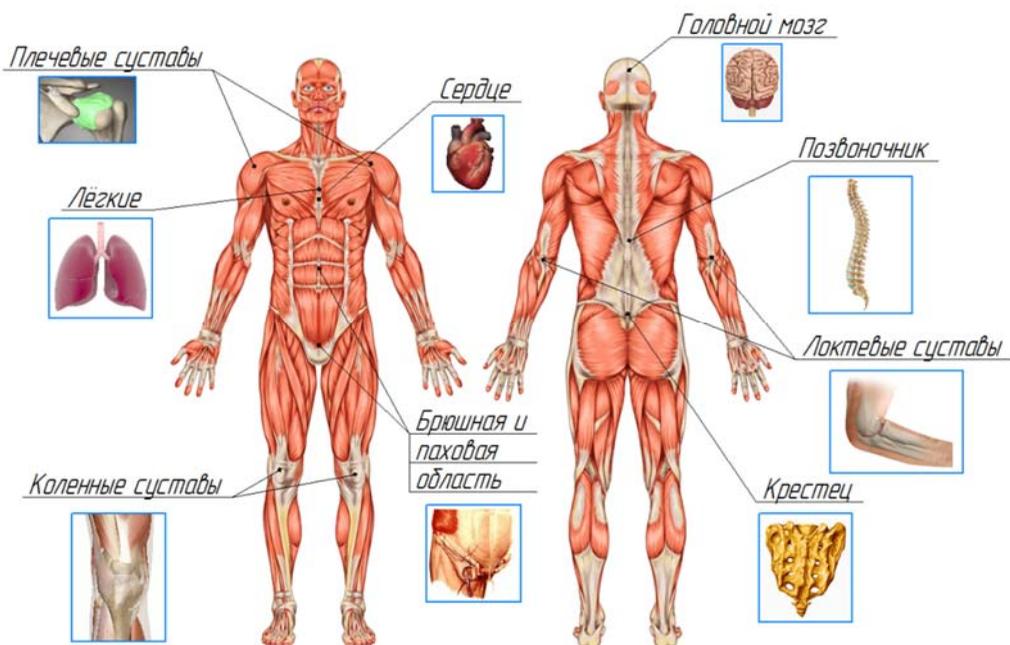


Рис. 1. Зоны наибольшего воздействия шума на человека

Источник: составлено автором по:

URL: <https://www.metrotownphysio.com/wp-content/uploads/2015/03/patient-education.jpg>
(дата обращения: 15.02.2022)

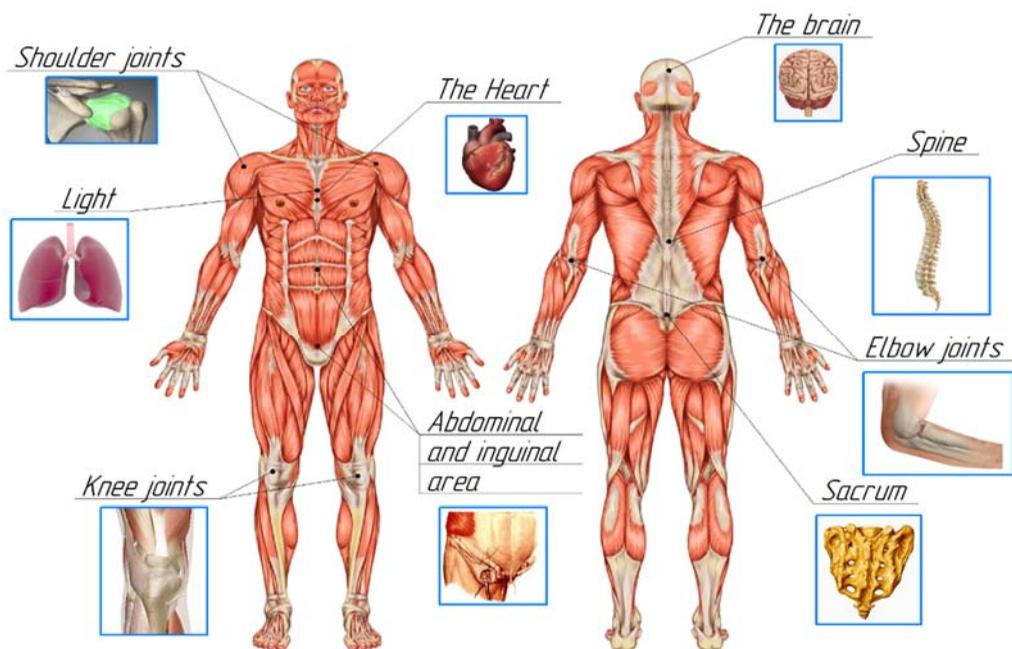


Figure 1. Areas of greatest human exposure to noise

Source: compiled by the author:

Available from: <https://www.metrotownphysio.com/wp-content/uploads/2015/03/patient-education.jpg> (accessed: 15.02.2022)

Методы и результаты исследования

Измерения уровня шума выполнялись в Республике Мордовии (РМ) на молокоперерабатывающем предприятии с использованием шумомера «Ассистент». Подробное обоснование выбора данного шумомера описано в [7].

Производство готовой продукции из молока на молокоперерабатывающем предприятии осуществляется в отдельных цехах с независимым технологическим оборудованием и рабочими местами. Все цеха, на которых проводились измерения, имеют небольшую площадь и объем, с высокой плотностью технологического оборудования, что сильно сказывается на уменьшении коэффициента свободного пространства. Выполненные исследования условий труда на молокоперерабатывающем предприятии показали, что в ряде цехов на рабочем месте наблюдается превышение эквивалентного уровня шума.

Цель работы – оценка действия повышенного уровня шума на работников молокоперерабатывающей отрасли с последующей разработкой инженерно-технического решения по обеспечению защиты от шума.

Расчет эквивалентного уровня звука за восьмичасовой рабочий день осуществляется согласно ГОСТ ISO 9612–2016¹.

¹ ГОСТ ISO 9612–2016. Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерения на рабочих местах. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140579> (дата

Анализ рабочей обстановки показал следующее:

– Работники подвергаются приблизительно одинаковому действию шума по цехам.

– За время рабочего дня в соответствии с технологическими операциями выявляются все существующие источники шума, а условия их образования являются постоянными.

– Уровень шума с кратковременными действиями по всему рабочему дню отсутствует.

Исходя из вышесказанного следует, что наиболее подходящей стратегией измерения для данного технологического процесса является стратегия на основе трудовой функции. Основным фактором выбранной стратегии измерения выступала шумовая обстановка, которая практически не изменялась во время всего рабочего дня.

Измерения на молокоперерабатывающем предприятии проводились следующим образом: первое измерение с 8⁰⁰ до 8⁴⁵; второе измерение с 9⁰⁰ до 10¹⁵; третье измерение с 11⁰⁰ до 11⁴⁵; четвертое измерение с 12³⁰ до 13¹⁵; пятое измерение с 14²⁰ до 15⁰⁵; шестое измерение с 16¹⁰ до 16⁵⁵; седьмое измерение с 17⁴⁰ до 18²⁵; восьмое измерение с 19¹⁵ до 20⁰⁰. Результаты расчета эквивалентного уровня звука и эквивалентного уровня шума за восьмичасовой рабочий день, а также класс условий труда представлены в рис. 2–7.

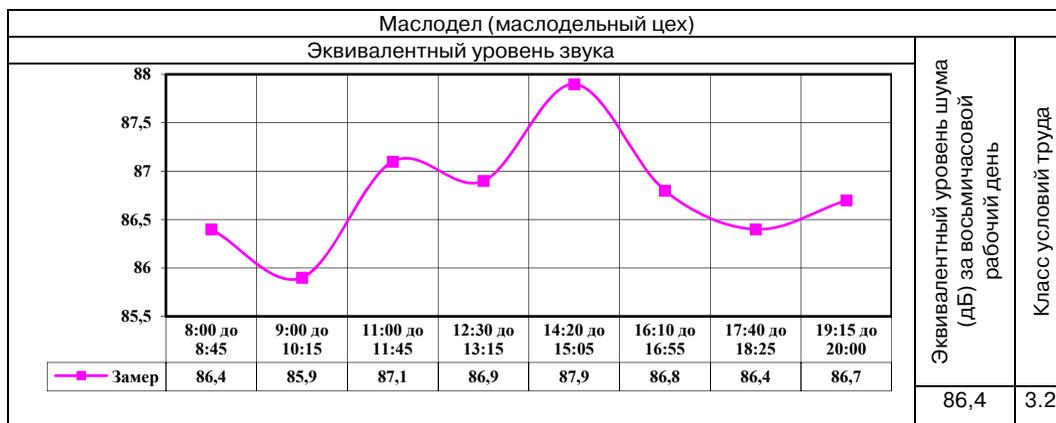


Рис. 2. Эквивалентный уровень звука и эквивалентный уровень шума за восьмичасовой рабочий день, а также класс условий труда маслодела (Маслодельный цех)

обращения: 15.02.2022). Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению (с изменениями на 27 апреля 2020 года): приказ Минтруда России от 24 янв. 2014 г. № 33 н. URL: <https://docs.cntd.ru/document/499072756> (дата обращения: 15.02.2022).

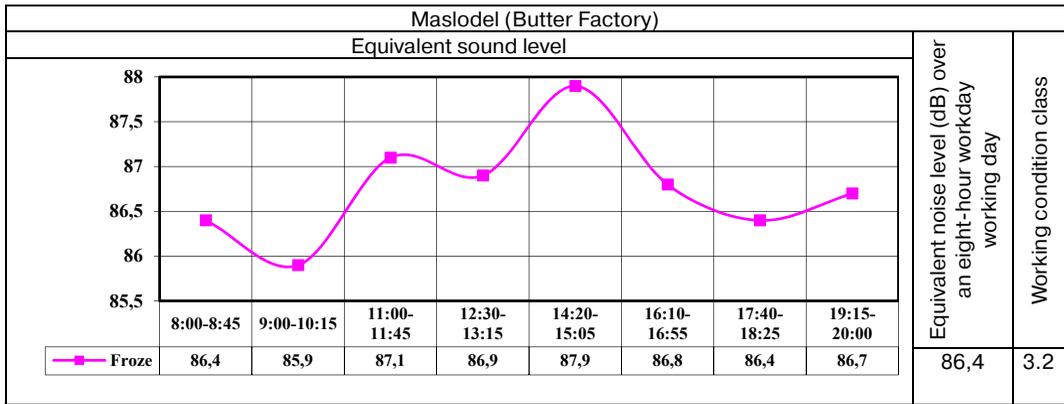


Figure 2. Equivalent sound level and equivalent noise level for an eight-hour working day, and the class of working conditions for a butter worker (Butter Factory)

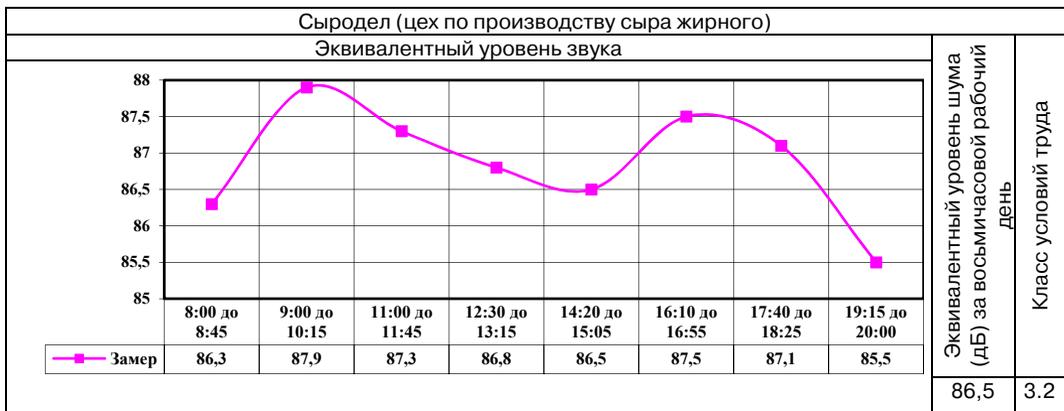


Рис. 3. Эквивалентный уровень звука и эквивалентный уровень шума за восьмичасовой рабочий день, а также класс условий труда сыродела (цех по производству сыра жирного)

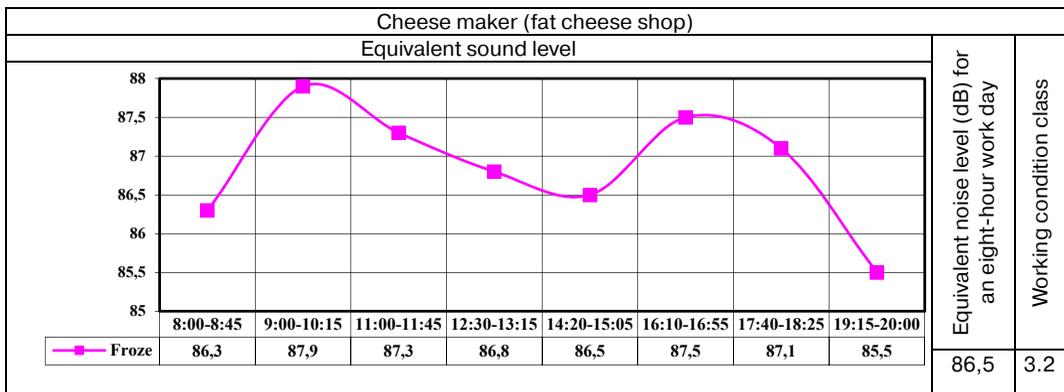


Figure 3. Equivalent sound level and equivalent noise level for an eight-hour working day, as well as the class of working conditions for the cheese maker (fat cheese shop)

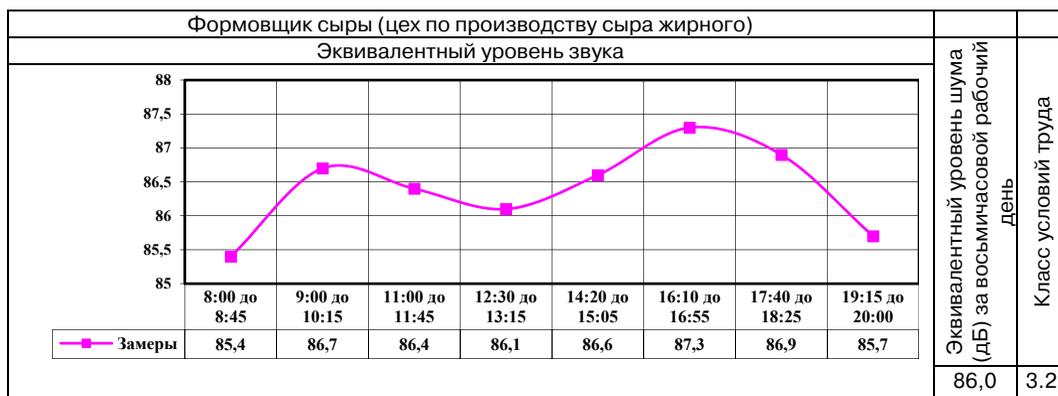


Рис. 4. Эквивалентный уровень звука и эквивалентный уровень шума за восьмичасовой рабочий день, а также класс условий труда формовщика сыра (цех по производству сыра жирного)

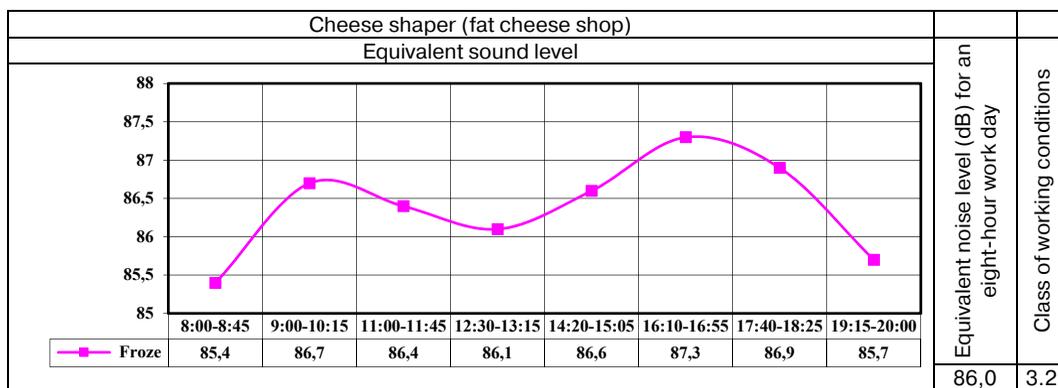


Figure 4. Equivalent sound level and equivalent noise level for an eight-hour working day, as well as the class of working conditions of the molder of cheese (shop for the production of fat cheese)

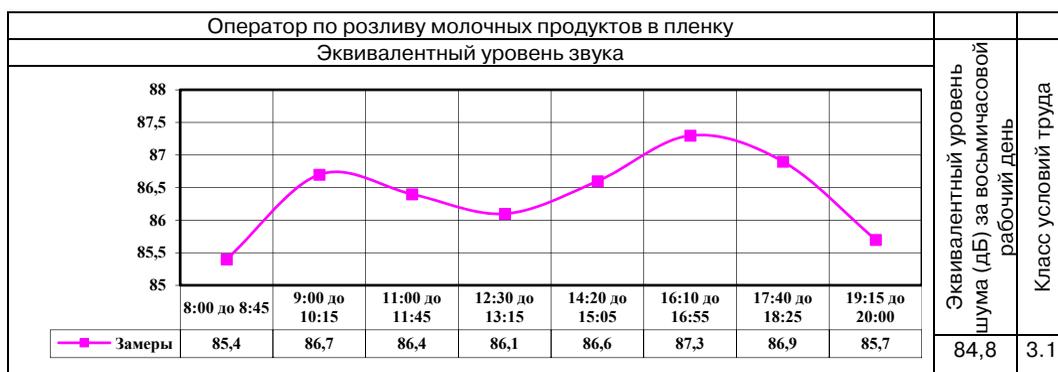


Рис. 5. Эквивалентный уровень звука и эквивалентный уровень шума за восьмичасовой рабочий день, а также класс условий труда оператора по розливу молочных продуктов в пленку

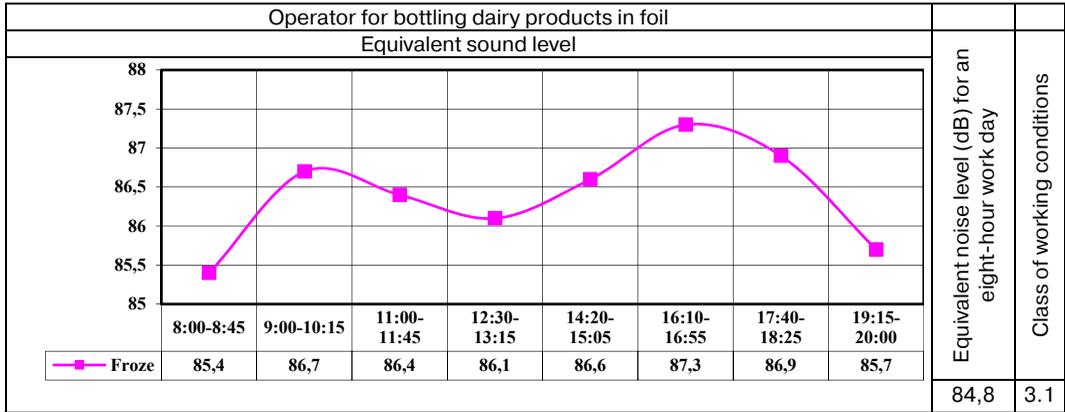


Figure 5. Equivalent sound level and equivalent noise level for an eight-hour working day, as well as the class of working conditions of the operator on filling dairy products into the film

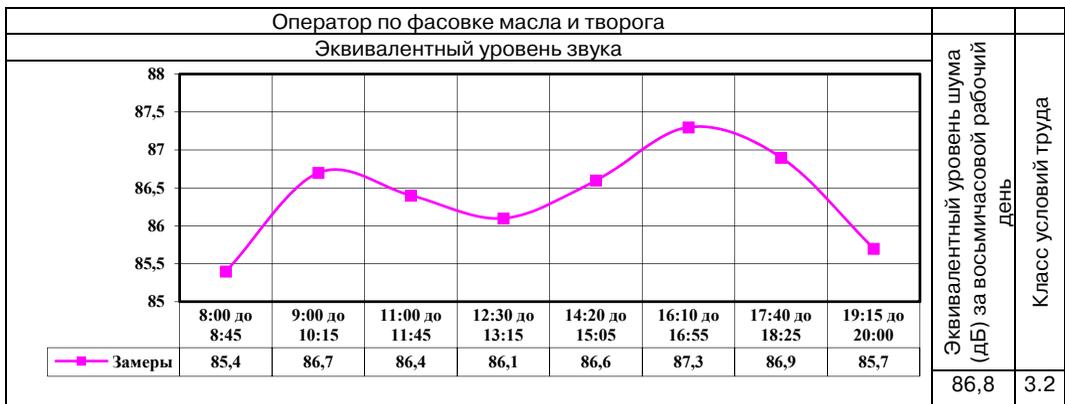


Рис. 6. Эквивалентный уровень звука и эквивалентный уровень шума за восьмичасовой рабочий день, а также класс условий труда оператора по фасовке масла и творога

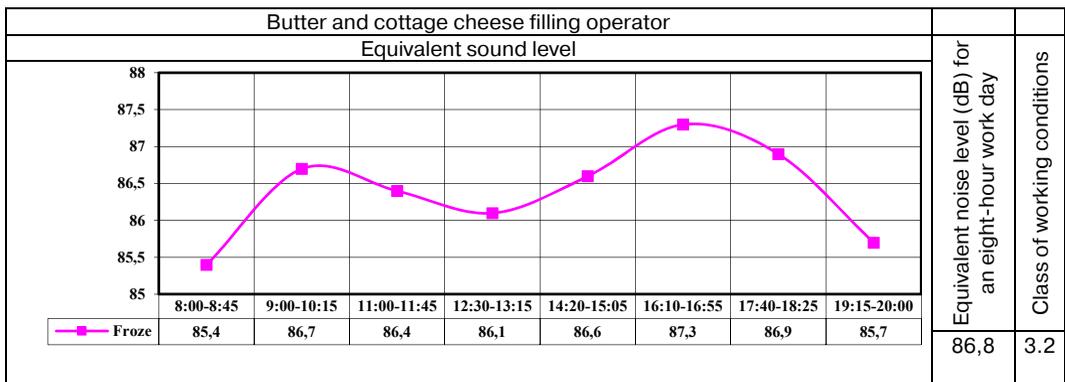


Figure 6. Equivalent sound level and equivalent noise level for an eight-hour working day, as well as the class of working conditions for a butter and cottage cheese filling operator

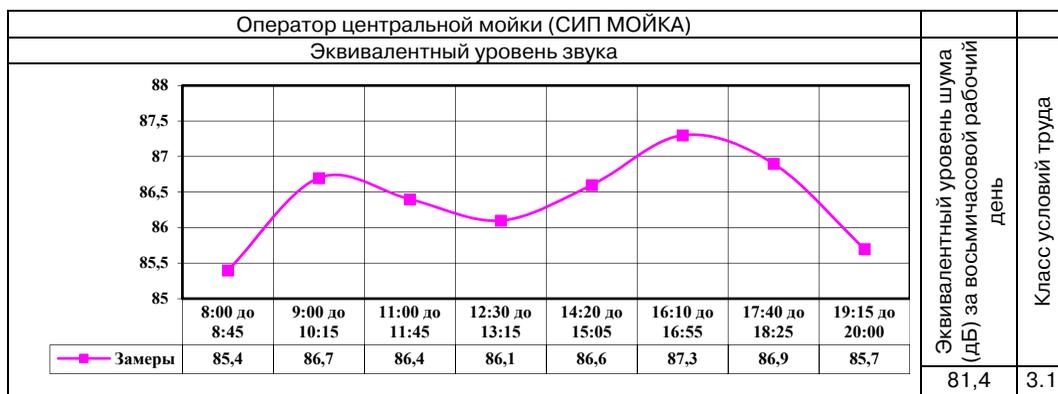


Рис. 7. Эквивалентный уровень звука и эквивалентный уровень шума за восьмичасовой рабочий день, а также класс условий труда оператора центральной мойки (СИП МОЙКА)

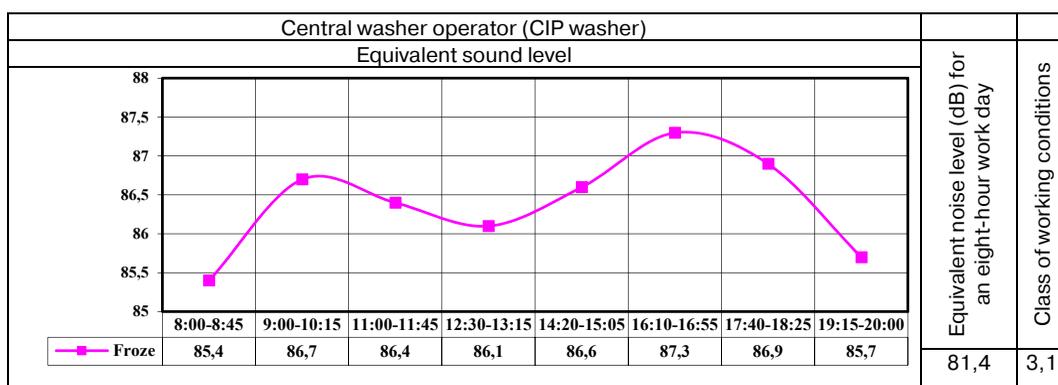


Figure 7. Equivalent sound level and equivalent noise level for an eight-hour workday, as well as the class of working conditions for the central washing machine operator (CIP washer)

Анализ табличных данных показал, что превышение уровня звукового давления и эквивалентного уровня звука наблюдается на всех рабочих местах в диапазоне частот от 500 до 8000 Гц.

Согласно выполненным исследованиям, шум в молокоперерабатывающих предприятиях создается рабочим оборудованием. Высокие санитарно-гигиенические требования, предъявляемые к цехам данной отрасли, предполагают использовать в качестве отделочного материала твердые, гладкие поверхности. В цехах молокоперерабатывающего предприятия существует прямой звук, идущий от источника шумообразования и отраженный от ограждающих поверхностей помещений. Таким образом, шум, исходящий от оборудования, имеет сложный характер.

Все вышеизложенное еще раз доказывает, что снижение уровня шума позволит уменьшить производственный травматизм и профессиональную заболеваемость и повысить работоспособность операторов молокоперерабатывающей отрасли.

В молокоперерабатывающей отрасли, при выполнении своей трудовой обязанности, работник находится в плотном контакте с технологическим

оборудованием, поэтому применение средств защиты от шума на пути распространения невозможно.

Таким образом, наиболее подходящим способом борьбы с шумом является применение штучного звукопоглотителя. Для молокоперерабатывающего предприятия разработан звукоподавляющий штучный звукопоглотитель (рис. 8) с требуемыми санитарно-гигиеническими свойствами, на который получен патент на полезную модель [8].

Сущность звукоподавляющего штучного звукопоглотителя показана на рис. 8–9, где на рис. 8 дан общий вид поглотителя с разрезом; на рис. 9 изображена единичная часть ячеистой панели, из которой состоит звукоподавляющий штучный звукопоглотитель с ячеистой сеткой.

Звукоподавляющий штучный звукопоглотитель (рис. 8) представляет собой конструкцию, состоящую из ячеистой панели 5, сверху к которой крепится на клеевой основе верхняя перфорированная пластина 2, а снизу – сплошная пластина 3. Диаметры отверстий 4 пластины 2 могут быть различными. На внешнюю сторону верхней пластины 2 крепится на клеевой основе ячеистая сетка 3, изготовленная из эластичного материала. Сетка 3 покрыта пленкой 1 для обеспечения необходимых санитарно-гигиенических требований.

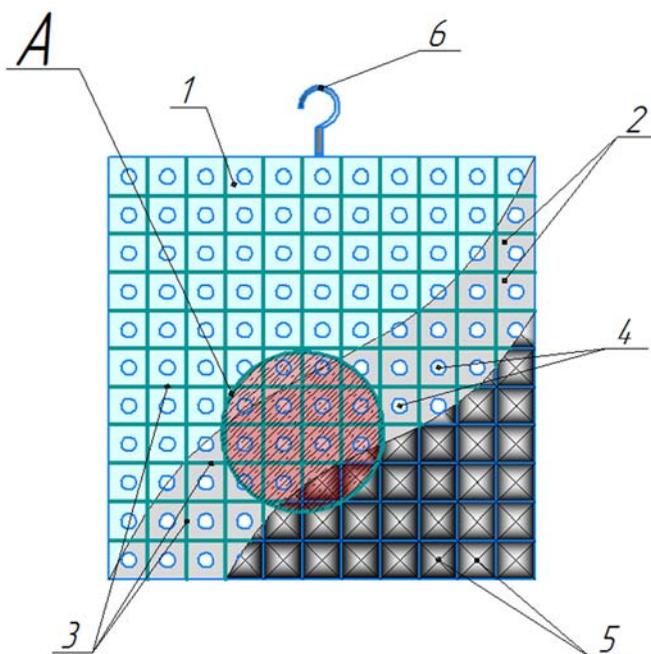


Рис. 8. Звукоподавляющий штучный звукопоглотитель:

Общий вид: 1 – пленка; 2 – перфорированная пластина;
3 – сетка; 4 – отверстия в пластине; 5 – ячейки; 6 – элемент крепления /

Figure 8. Sound-canceling piece sound attenuator:

General view: 1 – film; 2 – perforated plate; 3 – mesh; 4 – holes in the plate; 5 – cells; 6 – fixing element

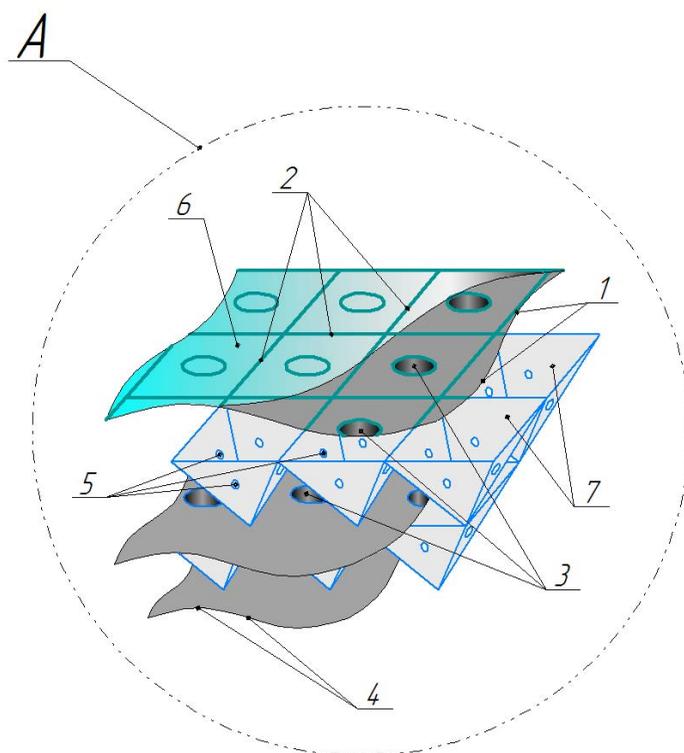


Рис. 9. Единичная часть ячеистой панели:

1 – перфорированная пластина; 2 – сетка; 3 – отверстия в пластине; 4 – сплошная пластина;
5 – отверстия в гранях пустотелых ячеек; 6 – пленка; 7 – ячейки /

Figure 9. The unit part of the mesh panel:

1 – perforated plate; 2 – mesh; 3 – holes in the plate; 4 – solid plate;
5 – holes in the faces of hollow cells; 6 – film; 7 – cells

Звукоподавляющий штучный звукопоглотитель работает следующим образом. Звуковые волны, распространяясь от источника излучения звука, падают на пленку 6, они частично отражаются, поглощаются и проходят сквозь нее. Во время звуковых колебаний, пленка 6, расположенная на поверхности, не касается краев отверстий 3, расположенных на верхней перфорированной пластине 1. За счет резонансных свойств и диссипативных потерь в ячейках и воздушных прослойках происходит частичное поглощение звуковых волн. На боковых гранях ячеек 7 располагаются отверстия 5, которые способствуют равномерному распределению сил инерции, упругости и трения воздушных масс во внутреннем пространстве ячеистой панели. Необходимо также отметить, что ячейки 7 выполнены таким образом, что звук, попавший на них, частично отражается, частично поглощается и проходит сквозь грань ячейки. При этом грань ячейки 7 выполнена таким образом, что отраженная звуковая энергия обеспечивает формирование встречных звуковых потоков с противофазой, получая тем самым эффект подавления звуковой энергии.

В зависимости от настройки системы в воздушных прослойках происходит высокочастотное затухание, а в системах резонаторов (ячеек) – низкочастотное затухание, поэтому с учетом звукопоглощения каркасом всей панели достигается максимально широкая полоса шумопоглощения. Часть волновой энергии поглощается также и при прохождении звука через пленку б.

Применение звукоподавляющих штучных звукопоглотителей в производственных помещениях молокоперерабатывающего предприятия позволило снизить уровень шума до нормативных значений.

Результаты снижения действия шума в цехах молокоперерабатывающего комплекса представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты снижения шума на рабочем месте операторов молокоперерабатывающей отрасли путем применения звукоподавляющих штучных звукопоглотителей

Наименование цеха	Уровень шума до использования шумозащитных мероприятий	Уровень шума после использования шумозащитных мероприятий	Класс условий труда	
			До применения шумозащитных мероприятий	После применения шумозащитных мероприятий
Маслодел (маслодельный цех)	86,4	79,2	3.2	2
Сыродел (цех по производству сыра жирного)	86,5	79,6	3.2	2
Формовщик сыра (цех по производству сыра жирного)	86,0	79,1	3.2	2
Оператора по разливу молочных продуктов в пленку	84,8	78,3	3.1	2
Оператор по фасовке масла и творога	86,8	79,7	3.2	2
Оператора централизованной мойки (СИП МОЙКА)	81,4	74,3	3.1	2

Table 2. Results of noise reduction in the workplace of dairy operators through the use of sound-absorbing piece-type sound attenuators

Shop name	Noise levels before the use of noise protection measures	Noise level after the use of noise protection measures	Class of working conditions	
			Before the application of noise protection measures	After the application of noise protection measures
Dairyman (dairy plant)	86.4	79.2	3.2	2
Cheese maker (fat cheese shop)	86.5	79.6	3.2	2
Cheese molder (fat cheese shop)	86.0	79.1	3.2	2
Operator in the bottling of dairy products in the film	84.8	78.3	3.1	2
Butter and cottage cheese filling operator	86.8	79.7	3.2	2
Centralized washing operator (CIP washer)	81.4	74.3	3.1	2

Из данных табл. 2 можно заметить, что применение звукоподавляющих штучных звукопоглотителей позволит снизить воздействие шума на органы человека, что улучшит условия труда по шуму с вредного класса до допустимого.

Заключение

1. Исследование условий труда на молокоперерабатывающих предприятиях РМ показало, что преобладающим вредным фактором является повышенный уровень шума. Превышение нормативных значений наблюдается в диапазоне частот от 500 до 8000 Гц.

2. Установлено, что эквивалентный уровень шума для операторов молокоперерабатывающего предприятия РМ за восьмичасовой рабочий день составил: для маслодела – 86,4 дБ; для сыродела – 86,5 дБ; для формовщика сыра – 86,0 дБ; для оператора по разливу молочных продуктов в пленку – 84,8 дБ; для оператора по фасовке масла и творога – 86,8 дБ; для оператора централизованной мойки (СИП МОЙКА) – 81,4 дБ.

3. Согласно проведенным исследованиям было разработано и обосновано научное решение, направленное на защиту работников от воздействия повышенного шума. Данным решением является звукоподавляющий штучный звукопоглотитель, на который получен патент на полезную модель.

4. Исследования показали, что применение звукоподавляющего штучного звукопоглотителя позволит улучшить условия труда операторов холодной штамповки с вредного класса до допустимого.

Список литературы

- [1] *Шепель О.М.* Естествензнание постнеклассической науки: учебное пособие. М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2018. 224 с. URL: https://s.monographies.ru/doc/2019/05/file_5cf04cffcb2f5.pdf (дата обращения: 15.06.2022).
- [2] *Шешегов П.М.* Научное обоснование системы управления риском развития нейросенсорной тугоухости у авиационных специалистов ВВС ВКС при действии авиационного шума: дис. ... д-ра мед. наук. Ахтубинск, 2017. 331 с. URL: https://www.volgmed.ru/uploads/dsovet/thesis/6-821-sheshegov_pavel_mihajlovich.pdf (дата обращения: 15.06.2022).
- [3] *Еналеева С.А.* Улучшение условий и охраны труда работников молокоперерабатывающей отрасли за счет снижения шумового воздействия на них использованием шумозащитных панелей: дис. ... канд. техн. наук. Саранск, 2017. 196 с.
- [4] *Скворцов А.Н.* Улучшение условий труда операторов мясоперерабатывающих цехов за счет снижения шумового воздействия на них использованием звукопоглощающих конструкций: дис. ... канд. техн. наук. Саранск, 2018. 189 с.
- [5] *Ракитина И.С.* Гигиенические особенности условий труда и состояния здоровья работников молокоперерабатывающих комбинатов: дис. ... канд. мед. наук. Рязань, 2015. 155 с.
- [6] *Севаторова И.С.* Трансформация виброакустических характеристик оборудования предприятий питания: дис. ... канд. мед. наук. Донецк, 2019. 152 с.
- [7] *Скворцов А.Н.* Улучшение условий труда операторов холодной штамповки электро-механического завода путем снижения уровня шума на примере промышленных предприятий Республики Мордовии // *Безопасность труда в промышленности*. 2022. № 1. С. 64–70. <http://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-1-64-70>
- [8] Патент 161904 RU. Звукоподавляющий штучный звукопоглотитель / А.П. Савельев, А.Н. Скворцов. Опубл. 10.05.2016. Бюл. № 10.

References

- [1] Shepel OM. *Natural science of post-non-classical science: textbook*. Moscow, Publishing house of the Academy of Natural Sciences, 2018. (In Russ.) Available from: https://s.monographies.ru/doc/2019/05/file_5cf04cffcb2f5.pdf
- [2] Sheshegov PM. *Scientific substantiation of the risk management system development of sensorineural hearing loss in aviation specialists of the VVS VKS under the action of aircraft noise* (dissertation of the Doctor of Medical Sciences). Akhtubinsk; 2017. (In Russ.) Available from: https://www.volgmed.ru/uploads/dsovet/thesis/6-821-sheshegov_pavel_mihajlovich.pdf
- [3] Enaleeva SA. *Improving the conditions and labor protection of workers in the dairy industry by reducing noise exposure to them using noise-protective panels* (dissertation of the Candidate of Technical Sciences). 2017. (In Russ.)
- [4] Skvortsov AN. *Improving the working conditions of operators of meat processing shops by reducing the noise impact on them using sound-absorbing structures* (dissertation of the Candidate of Technical Sciences). Saransk; 2018. (In Russ.)
- [5] Rakitina IS. *Hygienic features of working conditions and the state of health of employees of milk processing plants* (dissertation of the Candidate of Medical Sciences). Ryazan; 2015.
- [6] Sevatorova IS. *Transformation of vibroacoustic characteristics of catering equipment* (dissertation of the Candidate of Medical Sciences). Sciences. Donetsk; 2019.
- [7] Skvortsov AN. Improving the working conditions of operators of cold stamping of an electromechanical plant by reducing the noise level on the example of industrial enterprises of the Republic of Mordovia. *Safety of work in industry*. 2022;(1):64–70. <http://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-1-64-70> (In Russ.)
- [8] Patent 161904 RU. *Sound-suppressing piece sound absorber*. A.P. Saveliev, A.N. Skvortsov. Publ. 05/10/2016. Bul. No. 10.

Сведения об авторе:

Скворцов Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности института механики и энергетики, Национальный исследовательский мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Российская Федерация, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68. ORCID: 0000-0002-2093-1094. E-mail: squortsov.sasha@yandex.ru

Bio note:

Alexander N. Skvortsov, Associate Professor, Department of Life Safety, Institute of Mechanics and Energy, National Research Mordovian State University named after N.P. Ogareva, 68 Bolshevistskaya St, Saransk, 430005, Republic of Mordovia, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2093-1094. E-mail: squortsov.sasha@yandex.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-1-55-69

EDN: KKZVFB

УДК 577.118(571)

Научная статья / Research article

Особенности взаимосвязи элементного состава и иммунных реакций у представителей этнодемографических групп Северо-Востока России

А.Л. Горбачев¹, А.А. Киричук², Н.В. Похилюк³

¹Северо-Восточный государственный университет, Магадан, Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

³ГБУЗ «Магаданская областная больница», Магадан, Российская Федерация

kirichuk-aa@rudn.ru

Аннотация. У представителей этнодемографических групп Северо-Востока России – аборигенов (чукчи, коряки, эвены), метисов, пришлых жителей проведен анализ содержания некоторых химических элементов, поддерживающих иммунные реакции (селен, цинк, железо, йод). Потенциальной группой риска по развитию гипоселенозов является корякский этнос. Минимальные значения цинка выявлены у чукчей. У представителей всех этнодемографических групп содержание железа находилось в пределах референтных значений, но его максимальные значения отмечены у пришлых жителей, Максимальные показатели йода также характерны для пришлых жителей. Сопоставимое содержание йода отмечено в группе эвенов. Особенности элементного статуса (селен, цинк, железо, йод) у жителей Севера свидетельствуют, что среди этнодемографических групп именно аборигенные этносы наиболее предрасположены к развитию иммунодефицитных состояний.

Ключевые слова: Северо-Восток России, этнодемографические группы, селен, цинк, железо, йод, иммунитет

Вклад авторов: Н.В. Похилюк – статистическая обработка материала; А.Л. Горбачев, А.А. Киричук – анализ данных и их интерпретация.

История статьи: поступила в редакцию 16.08.2022; доработана после рецензирования 12.12.2022; принята к публикации 18.01.2023.

Для цитирования: Горбачев А.Л., Киричук А.А., Похилиук Н.В. Особенности взаимосвязи элементного состава иммунных реакций у представителей этнодемографических групп Северо-Востока России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 1. С. 55–69. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-55-69>

Features of the relationship between elemental composition and immune reactions in representatives of ethno-demographic groups of the North-East of Russia

Anatoly L. Gorbachev¹, Anatoly A. Kirichuk², Natalya V. Pokhilyuk³

¹ Northeastern State University, Magadan, Russian Federation

² Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University) Moscow, Russian Federation

³ State Budgetary Healthcare Institution «Magadan Regional Hospital»,
Magadan, Russian Federation

kirichuk-aa@rudn.ru

Abstract. The content of some chemical elements that support immune responses (selenium, zinc, iron, iodine) was analyzed among representatives of the ethno-demographic groups of the North-East of Russia – natives (Chukchi, Koryaks, Evens), mestizos, and newcomers. A potential risk group for the development of hyposelenoses is the Koryak ethnic group. The minimum values of zinc were found among the Chukchi. In representatives of all ethno-demographic groups, the iron content was within the reference values, but its maximum values were noted in the newcomers. The maximum iodine levels are also characteristic of the newcomers. Comparable iodine content was noted in the Evens group. Features of the elemental status (selenium, zinc, iron, iodine) in the inhabitants of the north indicate that among the ethno-demographic groups, it is the aboriginal ethnic groups that are most predisposed to the development of immunodeficiency states.

Keywords: Northeast Russia, ethno-demographic groups, selenium, zinc, iron, iodine, immunity

Authors' contributions: Natalya V. Pokhilyuk – statistical processing of the material; Anatoly L. Gorbachev, Anatoly A. Kirichuk – data analysis and interpretation.

Article history: received 16.08.2022; revised 12.12.2022; accepted 18.01.2023.

For citation: Gorbachev AL, Kirichuk AA, Pokhilyuk NV. Features of the relationship between elemental composition and immune reactions in representatives of ethno-demographic groups of the North-East of Russia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(1):55–69. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-55-69>

Введение

В Российской Федерации проживают 40 коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока (сокращенно — коренные малочисленные народы Севера – КМНС). К ним также применим термин «коренные народы Севера, аборигены Севера».

Принято считать, что морфофункциональные характеристики аборигенов Севера являются адекватными природным условиям, а популяция

коренных северян генетически адаптирована к природно-климатическому окружению. Однако с началом активного освоения территорий Севера, проникновением в северные регионы западной цивилизации популяция северных народов стала подвергаться воздействию техногенных и социальных факторов.

Вследствие загрязнения среды обитания, разрушения традиционного уклада жизни и, в первую очередь, структуры и качества питания произошло нарушение здоровья северных этносов. Снижение в рационе традиционных продуктов питания (мясо оленя, морзверя, местной рыбы) и переход на западную диету (переключение метаболизма на белково-углеводный тип питания), влияние стойких токсических веществ [26] привели к истощению адаптационных резервов организма коренных северян.

Указанные изменения нарушили метаболизм и баланс биохимических параметров, что предопределило недостаток в организме минерально-витаминных комплексов и явилось причиной авитаминозов и элементозов (дефицит жизненно важных химических элементов или избыток токсических элементов) [1].

В этой связи демографические аспекты аборигенного населения являются одной из тревожных проблем современного Севера России. Ввиду генетически предопределенных проблем с физиологическим статусом и выраженной ассимиляцией [37] сложилась демографически угрожающая ситуация: речь идет о депопуляции коренных народов Севера [6; 9; 16; 25–27; 36]. Однако следует отметить, что вопрос о вырождении северных этносов является дискуссионным [17; 28].

Учитывая негативные процессы, связанные с ухудшением здоровья аборигенных этносов и развитие депопуляционных процессов, а также принимая во внимание определяющую роль микроэлементов в осуществлении функций организма, представляется научно значимым исследование комплекса элементов, отвечающих за иммунную защиту жителей севера.

Материалы и методы

Объектом исследования явились группы аборигенов Северо-Востока России (Магаданская область, Чукотка) – эвены ($n = 53$), коряки ($n = 32$), чукчи ($n = 70$). Эти северные народы, с одной стороны, роднит общая биогеохимическая территория проживания, а с другой – они отличаются этногенезом, что предполагает их морфофункциональную дифференцировку и различный адаптивный потенциал. Кроме аборигенов исследованы метисы ($n = 135$) – межэтническая ассимиляция аборигенного населения и смешанные браки с приезжими жителями, а также пришлые жители ($n = 155$) – поколение лиц, родившихся от мигрантов из других природно-климатических регионов.

В волосах представителей указанных групп методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной аргоновой плазмой (АЭС) и

масс-спектрометрии (МС) (МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03) определено содержание Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, V, Zn, I, Hg, B, Be. Спектральный анализ волос проведен в лаборатории АНО «Центр биотической медицины» г. Москва.

В связи с исследованием взаимосвязей микроэлементов и иммунного статуса проанализированы селен, цинк, железо и йод. Полученные данные представлены в табл. 1.

В ходе статистического анализа использовался критерий Шапиро – Уилка для оценки соответствия нормальному распределению количественных показателей содержания элементов. Согласно проверке на нормальность, данные в исследовании имеют распределение, отличное от нормального. В дальнейшем для расчетов применялись методы непараметрической статистики. Определены значения медиан (Me), межквартильных интервалов (25-й и 75-й процентиля). Использовался U-критерий Манна – Уитни для сравнения несвязанных выборок. При $p \leq 0,05$ считали статистически значимыми различия. Оценена коррелирующая зависимость между содержанием селена, цинка, железа и йода в исследуемых группах (коэффициент ранговой корреляции Спирмена).

Статистическая обработка данных выполнена с помощью программного пакета Microsoft Excel (Microsoft Office 2016, Microsoft Corporation, USA) и Statistica 10.0 for Windows (Statsoft, Tulsa, USA).

Результаты и их обсуждение

Макро- и микроэлементами являются не только кофакторами ферментов, участвующих в обмене веществ, но и напрямую повышают иммунный статус организма, участвуя в процессах становления иммунитета, ускоряют процессы сопротивляемости организма [20; 31; 35]. Показано, что психоэмоциональное напряжение может истощать элементный резерв организма и приводить к формированию дефицита определенных эссенциальных элементов, в частности – Fe, Mg, Zn, Se [18].

В медицинской элементологии известна группа элементов (Fe, Ca, Mg, I, Se, Zn, Cu), дефицит которых приводит к развитию множественных патологий, включая и иммунодефицитные состояния. К их числу относят и селен.

Селен (Se). Селен относят к группе из семи элементов (Fe, Ca, Mg, I, Se, Zn, Cu), недостаток которых чаще распространен среди жителей планеты [34]. Умеренный селенодефицит является достаточно распространенным явлением для России на всем протяжении страны от востока до запада [8; 19].

Селен входит в активные центры ферментов системы антиоксидантной защиты организма (фермент глутатионпероксидаза), метаболизма гормонов, липидов, нуклеиновых кислот. Это важнейший эссенциальный микроэлемент, оказывающий влияние на защиту организма от действия повреждающих факторов и повышающий сопротивляемость к неблагоприятным

воздействиям. Важная роль принадлежит селену в поддержании иммунной системы: дефицит сопряжен с самыми разнообразными иммунодефицитными состояниями – аллергическими и аутоиммунными заболеваниями. Дефицит селена связывают с повышенными рисками возникновения и развития у населения кардиологических и ряда онкологических заболеваний [7; 40].

Ранее нами было показано, что у приезжих жителей Севера по мере проживания на Севере отмечается снижение уровня некоторых эссенциальных элементов – железа, кальция и селена, что можно рассматривать как функциональное истощение их резервов и формирование акклиматизационного. Но аналогичная ситуация характерна и для современной популяции аборигенных жителей севера России (эвены, коряки, чукчи), у которых отмечено пониженное содержание большой группы эссенциальных элементов (кобальт, магний, хром, йод), включая и селен [13].

По данным настоящего исследования, во всех этнодемографических группах отмечена тенденция к снижению селена: медиана и значение 75-го перцентиля находились существенно ниже референтных величин (табл. 1). Минимальные показатели селена отмечены в группе коряков, где медиана селена (0,34 мг/г) была достоверно ниже относительно эвенов, чукчей, метисов и европеоидов.

Таблица 1. Содержание селена, цинка, железа, йода в волосах представителей этнодемографических групп Северо-Востока России, мкг/г

Этнические группы	Содержание элемента		Референтные значения	Достоверные различия между группами, $p < 0,05$
	Me	P_{25} - P_{75}		
Se				
Эвены (1)	0,36	0,27–0,45	0,69–2,20*	1–2, 2–3, 2–4, 2–5
Коряки (2)	0,34	0,34–0,53		
Чукчи (3)	0,36	0,30–0,44		
Метисы (4)	0,36	0,27–0,43		
Пришлые жители (5)	0,37	0,27–0,49		
Zn				
Эвены (1)	180,93	154,20–206,35	155–206*	3–4, 3–5
Коряки (2)	181,15	157–214,64		
Чукчи (3)	173,78	156,50–194,16		
Метисы (4)	184,30	164,05–215,00		
Пришлые жители (5)	183,65	159,99–227,77		
Fe				
Эвены (1)	15,41	9,72–22,18	11–24*	3–5, 4–5
Коряки (2)	14,12	10,59–28,68		
Чукчи (3)	15,04	9,64–22,63		
Метисы (4)	15,54	11,08–22,48		
Пришлые жители (5)	17,18	12,30–26,61		
I				
Эвены (1)	0,49	0,30–1,27	0,42–2,7**	2–5, 3–5, 4–5
Коряки (2)	0,32	0,29–0,94		
Чукчи (3)	0,40	0,30–0,86		
Метисы (4)	0,39	0,30–0,73		
Пришлые жители (5)	0,59	0,32–1,09		

Примечания: P_{25} – 25-й перцентиль; P_{75} – 75-й перцентиль; * – Скальный, 2003 [41]; ** – Горбачев, Скальный, 2015 [15].

Table 1. Concentrations of selenium, zinc, iron, iodine in the hair of representatives of ethno-demographic groups of the Northeast of Russia, $\mu\text{g/g}$

Ethnic groups	The content of the element		Reference values	Significant differences between Me P groups, p
	Me	P ₂₅ -P ₇₅		
Se				
Evens (1)	0.36	0.27–0.45	0.69–2.20*	1–2, 2–3, 2–4, 2–5
Koryaks (2)	0.34	0.34–0.53		
Chukchi (3)	0.36	0.30–0.44		
Metis (4)	0.36	0.27–0.43		
Alien residents (5)	0.37	0.27–0.49		
Zn				
Evens (1)	180.93	154.20–206.35	155–206*	3–4, 3–5
Koryaks (2)	181.15	157–214.64		
Chukchi (3)	173.78	156.50–194.16		
Metis (4)	184.30	164.05–215.00		
Alien residents (5)	183.65	159.99–227.77		
Fe				
Evens (1)	15.41	9.72–22.18	11–24*	3–5, 4–5
Koryaks (2)	14.12	10.59–28.68		
Chukchi (3)	15.04	9.64–22.63		
Metis (4)	15.54	11.08–22.48		
Alien residents (5)	17.18	12.30–26.61		
I				
Evens (1)	0.49	0.30–1.27	0.42–2.7**	2–5, 3–5, 4–5
Koryaks (2)	0.32	0.29–0.94		
Chukchi (3)	0.40	0.30–0.86		
Metis (4)	0.39	0.30–0.73		
Alien residents (5)	0.59	0.32–1.09		

Notes: P₂₅ – 25th percentile; P₇₅ – 75th percentile; * – Skalny, 2003 [41]; ** – Gorbachev, Skalny, 2015 [15].

Полученные результаты согласуются с ранее полученными, указывающими на популяционный дефицит селена у жителей Магаданской области [13]. Причем недостаток селена касался, прежде всего, континентальных районов. У жителей приморских районов (г. Магадан) его уровень находится в пределах нормы, что связывают с большей доступностью для населения морепродуктов, богатых минералами, в том числе и селена [12].

Учитывая полифункциональную роль селена, тенденция к его популяционному дефициту может быть биогеохимической основой развития у жителей группы гипоселенозов: прежде всего, иммунодефицитных состояний и сопряженных с ними канцерогенезом, кардиомиопатией и патологией щитовидной железы (зобная эндемия). Из всех исследованных демографических групп потенциальной группой риска развития гипоселенозов является корякский этнос.

Цинк (Zn). Цинк — жизненно необходимый для всех живых организмов микроэлемент, участвующий во многих биохимических процессах в клетках. Это второй по распространенности после железа микроэлемент в организме и самый распространенный внутриклеточный элемент. Молекулярные механизмы действия цинка связаны с его участием в построении и функционировании свыше 300 металлоэнзимов и более 2000 факторов транскрипции. Цинк-содержащие ферменты катализируют гидролиз белков, пептидов, некоторых эфиров и альдегидов, участвуют в углеводном обмене (гормон

инсулин). Цинк проявляет антиоксидантное и противовирусное действие [32]. Также велика его роль в регуляции антиоксидантного стресса и противовоспалительного действия.

Дефицит цинка обуславливает нарушение гормональной регуляции роста и полового созревания (гипогонадизм), повышает чувствительность к инфекции, повышает риск развития аутоиммунных и онкологических заболеваний [29].

Физиологический статус цинка является критическим фактором, который может влиять на противовирусный иммунитет: люди с дефицитом цинка подвержены наибольшему риску заражения вирусными инфекциями, в том числе ВИЧ или вирусом гепатита [5].

У северных этносов различных регионов (Таймыр, Чукотка, Гренландия), независимо от географии проживания и экологических условий, отмечен дисбаланс в крови идентичной группы элементов – свинца, меди и цинка, что может свидетельствовать об общих механизмах минерального обмена у жителей Севера [15; 39].

По нашим данным, медиана цинка в волосах исследуемых групп (коряки, чукчи, эвены, метисы, европеоиды) находилась в пределах референтных величин (155–206 мкг/г), что свидетельствует об адекватной обеспеченности цинком жителей региона.

У представителей аборигенных групп отмечены сопоставимые результаты: абсолютные величины цинка у эвенов, коряков и чукчей оказались ниже относительно метисов и пришлых жителей. Минимальные значения цинка выявлены у чукчей: его содержание (173,78 мг/г) было достоверно ниже относительно метисов (184,30 мг/г) и пришлых жителей (183,65 мг/г). Таким образом, содержание цинка в волосах аборигенов ниже по сравнению с метисами и пришлыми жителями. Наиболее выраженные, достоверные отличия характерны для чукчей, что предполагает повышенную чувствительность к инфекциям и может повышать риск развития аутоиммунных заболеваний у чукотского этноса.

Железо (Fe). Известно, что для человека в условиях Севера характерен повышенный энергообмен и большой расход макро- и микронутриентов. При длительном проживании в условиях Севера это приводит к формированию акклиматизационного дефицита жизненно важных макро- и микроэлементов, и прежде всего железа, кальция, магния, селена.

Ведущее место в акклиматизационном дефиците занимает железо. Показано, что высокая встречаемость железодефицитных состояний у жителей Севера обусловлена повышенной потребностью организма в железе вследствие усиления анаболических и катаболических процессов под воздействием экстремальных факторов внешней среды, особенно холода. В регионах Севера при хроническом воздействии низких температур у жителей снижается относительный объем красной крови и уровень гемоглобина. Это

состояние называют «холодовая болезнь» или «полярная анемия» и связывают его с акклиматизационным дефицитом железа [2]. На этом фоне парадоксальным является стабильное содержание железа у коренных жителей Севера. Показано, что специфической чертой элементного статуса аборигенных жителей географически удаленных северных территорий (Азиатский, Сибирский и Европейский Север России, Север Европы) является статус железа [15; 39]. У аборигенов Севера содержание железа оказалось выше относительно приезжих жителей. Подобный феномен связывают с традиционным питанием аборигенов – пищей, богатой животным белком (мясо оленя, морзверя) [3; 11; 23]. При этом не исключено, что поддержание уровня железа в организме аборигенов отражает физиологическую адаптацию в условиях действия низких температур.

Железо выступает в качестве мощного иммуномодулирующего фактора, повышающего устойчивость к разного рода инфекциям. Показана тесная связь железа с адаптивным иммунитетом: железо определяет качество иммунной памяти человека, то есть способность иммунных клеток помнить, распознавать и уничтожать инфекционные агенты, а также осуществлять защиту от повторных заражений [38]. Железо также вовлечено в процессы пролиферации и иммунной защиты, выступает в роли антиоксидантов, удаляя биохимически агрессивные свободные радикалы [33]. В то же время дефицит железа понижает напряженность природного иммунитета при бактериальной и вирусной инфекции.

Согласно нашим данным, у представителей всех этнодемографических групп содержание железа находилось в пределах референтных значений (см. табл. 1). Это подтверждает установленный ранее факт, что, благодаря традиционному питанию, в организме коренных жителей севера поддерживается адекватный уровень железа, необходимый для адаптации к условиям Севера [15]. Однако максимальное значение железа отмечено у пришлых жителей, где его медиана достоверно превышала показатели железа у аборигенов и метисов. Поэтому, с точки зрения обеспечения должного уровня гемоглобина, кислородной емкости крови и иммунных реакций, организм пришлых жителей отличается большим функциональным резервом. Однако следует помнить, что волосы, как производные кожи, обладают экскреторными свойствами и могут выводить из организма многие химические элементы, как токсичные, так и эссенциальные. Поэтому вопрос о корреляционных связях между содержанием железа в крови и волосах остается открытым, а данные о распространенности у жителей Севера железодефицитных состояний, основанные на анализе крови, являются приоритетными.

Йод (I). Йод является незаменимым структурным элементом гормонов щитовидной железы – тироксина (Т4) и трийодтиронина (Т3), которые способны существенно изменять функциональную активность отдельных популяций иммунокомпетентных клеток и иммунной системы в целом. Доказано, что недостаток йода в организме тормозит выработку иммуноглобулинов

класса А и G. Это может способствовать развитию инфекций различной локализации, а также аутоиммунных заболеваний [4; 22].

Всемирная организация здравоохранения для установления обеспеченности населения йодом рекомендует использовать метод йодурии – определение концентрации йода в моче. Однако метод йодурии пригоден только для эпидемиологических исследований, так как концентрация йода у отдельного индивидуума – величина динамичная и не отражает обеспеченность йодом конкретного человека. Кроме того, специфика метода йодурии затрудняет проведение популяционных исследований.

В последнее десятилетие, благодаря анализу представительных данных по содержанию йода в волосах жителей различных регионов России (Центр биотической медицины, Москва), была показана возможность определять индивидуальный и популяционный уровень йода в волосах и установлены его референтные величины [14].

По нашим данным, межгрупповой квартильный интервал йода P25–P75 находился в рамках референтных значений, но имел тенденцию к смещению к нижней границе (см. табл. 1). Содержание йода в группе пришлых жителей (0,59 мг/г) оказалось максимальным и достоверно превышало аналогичный показатель у коряков (0,32 мг/г), чукчей (0,40 мг/г), метисов (0,39 мг/г). Содержание йода у эвенов сопоставимо с показателем у пришлых жителей, что согласуется с ранее полученными данными о высоком уровне йода у эвенского этноса [30].

Таким образом, содержание йода у пришлых жителей, а также у эвенов находилось в пределах референтных величин, что может свидетельствовать о нормальной функции щитовидной железы и поддержании основного обмена (терморегуляции) у представителей указанных групп.

Учитывая, разную обеспеченность йодом демографических групп севера, проживающих в одной природно-климатической зоне, и более высокие показатели йода у эвенов, мы подтверждаем прежнее предположение о существовании у эвенов Северо-Востока России адаптивного йодсберегающего механизма, направленного на поддержание тиреоидной функции и проявления иммунной защиты [10; 24].

Заключение

Среди всех исследованных этнодемографических групп (аборигены, метисы, пришлые жители) максимальные (оптимальные) показатели элементов, ответственных за поддержание иммунитета, отмечены у пришлых жителей. По некоторым элементам (Zn) оптимальные величины наблюдаются и у метисов. У аборигенных групп элементы, сопряженные с иммунитетом, или достоверно ниже, или же отмечается тенденция к их понижению относительно пришлых жителей.

Потенциальной группой риска по развитию гипоселенозов является чукотский этнос. Минимальные значения цинка выявлены у чукчей, что повышает риск развития аутоиммунных заболеваний у чукотского этноса.

У представителей всех этнодемографических групп содержание железа находилось в пределах референтных значений. Однако его максимальные значения отмечены у пришлых жителей. Поэтому с точки зрения обеспечения должного уровня гемоглобина, кислородной емкости крови и иммунных реакций, организм пришлых жителей отличается большим функциональным резервом.

Максимальные показатели йода характерны также для пришлых жителей. Сопоставимое содержание йода отмечено в группе эвенков. Относительно высокие показатели йода свидетельствуют о нормальной функции щитовидной железы и поддержании основного обмена (терморегуляции) у представителей указанных групп.

Таким образом, анализ элементного статуса (селен, цинк, железо, йод) свидетельствует, что в условиях Севера именно аборигенные этносы наиболее предрасположены к развитию иммунодефицитных состояний, что может предопределять их проблемы со здоровьем и негативный демографический прогноз.

Список литературы

- [1] Авцын А.П. Недостаточность эссенциальных микроэлементов и ее проявление в патологии // Архив патологии 1990. № 3. С. 3–8.
- [2] Агаджанян Н.А., Марачев А.Г., Бобков Г.А. Экологическая физиология человека. М.: Крук, 1998. 416 с.
- [3] Алексеева И.А., Хотимченко С.А., Степчук М.А., Суханов Б.П. К вопросу о состоянии минерального обмена у коренного и пришлого населения, проживающего в районах Крайнего Севера // Медицина труда и промышленная экология. 1996. № 6. С. 43–46.
- [4] Аухатова С.Н. Влияние йода на метаболические процессы в организме // Успехи современного естествознания. 2006. № 1. С. 32–33.
- [5] Бекетова Г.В., Горячева И.П. Цинк и его влияние на здоровье человека в условиях пандемии COVID-19: что нового? // Pediatrics. Eastern Europe. 2021. Vol. 9, no. 1. P. 8–20.
- [6] Брачун Т.А., Сахибгоряев В.Х. Чукотский этнос: генезис и кризис. Магадан: Ноосфера, 2009. 117 с.
- [7] Голубкина Н.А., Папазян Т.Т. Селен в питании. Растения, животные, человек. М.: Печатный город, 2006. 269 с.
- [8] Голубкина Н.А., Синдирева А.В., Зайцев В.Ф. Внутрирегиональная вариабельность селенового статуса населения // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12, № 1. С. 107–127.
- [9] Гольцова Т.В., Осипова Л.П. Генетико-демографическая структура популяций коренных народов Сибири в связи с проблемами микроэволюции // Вестник Вавиловского Общества Генетиков и Селекционеров. 2006. Т. 10, № 1. С. 126–154.
- [10] Горбачев А.Л. Некоторые итоги и задачи северной биоэлементологии // Вестник Северо-Восточного научного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2019. № 3. С. 117–123.

- [11] Горбачев А.Л. Некоторые эколого-медицинские проблемы Севера // Вестник Северо-Восточного научного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2020. № 4. С. 105–113.
- [12] Горбачев А.Л., Бульбан А.П. Обеспеченность селеном жителей Магаданской области. Возможные пути профилактики селенодефицита // Вестник Северо-Восточного государственного университета. 2010. № 14. С. 78–82.
- [13] Горбачев А.Л., Луговая Е.А. Элементный профиль организма аборигенных жителей Северо-Востока России // Вестник Северо-Восточного научного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2015. № 1. С. 86–94.
- [14] Горбачев А.Л., Скальный А.В. Содержание йода в волосах как показатель йодного статуса на индивидуальном и популяционном уровнях // Микроэлементы в медицине. 2015. Т.16. № 4. С. 41–44.
- [15] Горбачев А.Л., Скальный А.В., Луговая Е.А. Некоторые закономерности элементного статуса жителей северных регионов России на фоне биогеохимической характеристики Севера // Вестник восстановительной медицины. 2008. № 5А (28). С. 22–25.
- [16] Дударев А.А. Персистентные полихлорированные углеводороды и тяжелые металлы в Арктической биосфере. Основные закономерности экспозиции и репродуктивное здоровье коренных жителей // Биосфера. 2009. № 2. С. 186–202.
- [17] Козлов А.И., Козлова М.А., Вершубская Г.Г., Шилов А.Б. Здоровье коренного населения Севера РФ: на грани веков и культур. Пермь, 2012. 159 с.
- [18] Киричук А.А. Взаимосвязи обмена эссенциальных микроэлементов и функционального состояния сердечно-сосудистой системы у студентов – иностранцев // Микроэлементы в медицине. 2020. Т. 21, № 3. С. 33–42.
- [19] Ковальский Ю.Г., Голубкина Н.А., Папазян Т.Т., Сенкевич О.А. Селеновый статус жителей Хабаровского края 2018 г. // Микроэлементы в медицине. 2019. 20 (3). С. 45–53.
- [20] Кудрин А.В., Скальный А.В., Жворонков А.А., Скальная М.Г. Иммунофармакология микроэлементов. М.: КМК, 2000. 456 с.
- [21] Лыткина К.А. Дефицит железа и иммунитет: что нового в третьем десятилетии 21 века? Уникальные возможности ферроцерона // Лечащий врач. 2022. Т. 5–6, № 25. С. 70–76. <http://doi.org/10.51793/OS.2022.25.6.013>
- [22] Ляликов С.А., Собеска М., Гаврилик Л.Л. Йод как фактор модифицирующий иммунитет // Экологическая иммунология. 2004. № 2. С.63–67.
- [23] Максимов А.Л. Современные методологические аспекты адаптации аборигенных и коренных популяций на Северо-Востоке России // Экология человека. 2009. № 6. С.17–21.
- [24] Максимов А.Л., Горбачев А.Л. Физиолого-морфологические особенности формирования тиреоидного статуса у аборигенного и приезжего населения Магаданской области // Физиология человека. 2001. Т. 27, № 4. С. 130–136.
- [25] Манчук В.Т. Особенности формирования здоровья у населения Севера и основные направления его реабилитации // Камчатка – здравница северо-восточных регионов России: материалы и доклады Второй межрегиональной научно-практической конференции, Петропавловск-Камчатский, 22–24.10.2009 г. Петропавловск-Камчатский: Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2009. С. 137–144.
- [26] Манчук В.Т., Надточий Л.А. Состояние и тенденции формирования здоровья коренного населения Севера и Сибири // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии наук. 2010. Т. 30, № 3. С. 24–32.

- [27] Павленко В. И., Куценко С. Ю. Обеспечение комфортной жизнедеятельности человека в Арктике: проблемы и задачи // Экология человека. 2018. № 2. С. 51–58.
- [28] Павленко В. И., Петров А., Куценко С. Ю., Деттер Г.Ф. Коренные малочисленные народы Российской Арктики (Проблемы и перспективы развития) // Экология человека. 2019. № 1. С. 26–33.
- [29] Петров И.М., Гагина Т.А., Трошина И.А., Медведева И.В. Современные особенности питания и иммунная система // Сибирский медицинский журнал. 2006. № 6. С. 10–14.
- [30] Похилюк Н.В., Горбачев А.Л. Межэтнические особенности элементного статуса коренных малочисленных народов Севера // Микроэлементы в медицине. 2016. № 17 (1). С. 19–23.
- [31] Саитов Ш.О., Мусаева Д.М. Биологическая роль макро- и микроэлементов при COVID-19 // Тиббётда янги кун. 2021. 2 (34). С. 424–428.
- [32] Сальникова Е.В. Цинк – эссенциальный микроэлемент (обзор) // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 10 (146). С. 170–172.
- [33] Троегубова Н.А., Рылова Н.В., Самойлов А.С. Микронутриенты в питании спортсменов // Гастроэнтерология. 2014. № 1 (77). С. 46–49.
- [34] Трошина Е.А., Сенюшкина Е.С., Терехова М.А. Роль селена в патогенезе заболеваний щитовидной железы // Клиническая и экспериментальная тиреойдология. 2018. Т. 14, № 4. С. 192–205.
- [35] Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. В. Биологическая роль макро- и микроэлементов. СПб.: Наука, 2008. 544 с.
- [36] Хаснулин В.И. Современный взгляд на охрану здоровья коренных жителей Севера // Север-Человек: Проблемы сохранения здоровья: материалы Всерос. научн. конф. с междунар. участием, посвященной 25-летию научно-исследовательского института медицинских проблем Севера Сибирского отделения Российской академии наук. Красноярск, 2001. С. 27–33.
- [37] Хаховская Л.Н. Коренные народы Магаданской области в XX – начале XXI в. Магадан: Северо-Восточный научный центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2008. 229 с.
- [38] Augustine L.F., Mullapudi V., Subramanian S. Infection-iron interaction during COVID-19 pandemic: Time to redesign iron supplementation programs // Kulkarni B. Med Hypotheses. 2020. 143 p. 110173. <http://doi.org/10.1016/j.mehy.2020.110173> Epub 2020 Aug 10.
- [39] Gorbachev A.L., Lugovaya E.A., Skalny A.V. Bioelement status shown by the aboriginal residents of Russia's northern regions // Conservation of environment for human health / National environmental Science Academe. NewDelhi, 2013. P. 65–73.
- [40] Combs G.F. Biomarker of selenium status // Nutrients. 2015. Vol. 7. P. 2209–2236. <http://doi.org/10.3390/nu7042209>
- [41] Скальный А.В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученных методом ИСП-АЭС (АНО Центр Биотической Медицины) // Микроэлементы в медицине. 2003. Т. 4. Вып. 1. С. 65.

References

- [1] Avtsyn AP. Deficiency of essential microelements and its manifestation in pathology. *Pathology Archive*. 1990;3:3–8. (In Russ.)
- [2] Agadzhanian NA, Marachev AG, Bobkov GA. *Ecological human physiology*. Moscow, Kruk Publ.; 1998. (In Russ.)

- [3] Alekseeva IA, Khotimchenko SA, Stepchuk MA, Sukhanov BP. To the question of the state of mineral metabolism in the indigenous and alien population living in the regions of the Far North. *Occupational Medicine and Industrial Ecology*. 1996;6:43–46. (In Russ.)
- [4] Aukhatova SN. Influence of iodine on metabolic processes in the body. *Successes of modern natural science*. 2006;1:32–33. (In Russ.)
- [5] Beketova GV, Goryacheva IP. Zinc and its impact on human health during the COVID-19 pandemic: what's new? *Pediatrics. Eastern Europe*. 2021;9(1):8–20. (In Russ.)
- [6] Brachun TA, Sakhigoryaev VH. *Chukchi ethnos: genesis and crisis*. Magadan: Noosphere Publ.; 2009. (In Russ.)
- [7] Golubkina NA, Papazyan TT. *Selenium in nutrition: plants, animals, humans*. Moscow, 2006. (In Russ.)
- [8] Golubkina NA, Sindireva AV, Zaitsev VF. Interregional variability of the human selenium status. *South of Russia: ecology, development*. 2017;12(1):107–127 (In Russ.)
- [9] Goltsova TV, Osipova LP. Genetic and demographic structure of the populations of the indigenous peoples of Siberia in connection with the problems of microevolution. *Bulletin of the Vavilov Society of Geneticists and Breeders*. 2006;10(1):126–154. (In Russ.)
- [10] Gorbachev AL. Some results and tasks of northern bioelementology. *Bulletin of the North-Eastern Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2019;3:117–123. (In Russ.)
- [11] Gorbachev AL. Some environmental and medical problems of the North. *Bulletin of the North-Eastern Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2020;4:105–113. (In Russ.)
- [12] Gorbachev AL, Bulban AP. Provision of selenium to residents of the Magadan region. Possible ways to prevent selenium deficiency. *Bulletin of the North-Eastern State University*. 2010;14:78–82. (In Russ.)
- [13] Gorbachev AL, Lugovaya EA. Elemental profile of the organism of aboriginal inhabitants of the North-East of Russia. *Bulletin of the North-Eastern State University*. 2015;1:86–94. (In Russ.)
- [14] Gorbachev AL, Skalny AV. The content of iodine in hair as an indicator of iodine status at the individual and population levels. *Trace elements in medicine*. 2015;16(4):41–44. (In Russ.)
- [15] Gorbachev AL, Skalny AV, Lugovaya EA. Some patterns of the elemental status of the inhabitants of the northern regions of Russia against the background of the biogeochemical characteristics of the North. *Bulletin of restorative medicine*. 2008;5A(28):22–25. (In Russ.)
- [16] Dudarev AA. Persistent polychlorinated hydrocarbons and heavy metals in arctic biosphere: the main regularities of exposure and reproductive health of indigenous people. *Biosphere*. 2009;1(2):186–202 (In Russ.)
- [17] Kozlov AI, Kozlova MA, Vershubskaya GG, Shilov AB. *Health of the indigenous population of the North of the Russian Federation: on the verge of centuries and culture*. Perm; 2012. (In Russ.)
- [18] Kirichuk AA. The relationship of the exchange of essential trace elements and the functional state of the cardiovascular system in international students. *Trace Elements in Medicine*. 2020;21(3):33–42 (In Russ.)
- [19] Kovalsky JG, Golubkina NA, Papazyan TT, Senkevich OA. The human selenium status of Khabarovsk land in 2018. *Trace Elements in Medicine*. 2019; 20(3):45–53 (In Russ.)
- [20] Kudrin AV, Skalny AV, Zhavoronkov AA, Skalnaya MG. Immunopharmacology of trace elements. KMK Publ.; 2000. (In Russ.)

- [21] Lytkina KA. Iron deficiency and immunity: what's new in the third decade of the 21st century? Unique possibilities of ferrociron. *Attending Doctor*. 2022;5–6(25):70–76. <http://doi.org/10.51793/OS.2022.25.6.013> (In Russ.)
- [22] Lyalikov SA, Sobieska M, Gavrilik LL. Iodine as a factor modifying immunity. *Ecological Immunology*. 2004;2:63–67. (In Russ.)
- [23] Maksimov AL. Modern methodological aspects of the adaptation of aboriginal and indigenous populations in the North-East of Russia. *Human Ecology*. 2009;6:17–21.
- [24] Maksimov AL, Gorbachev AL. Physiological and morphological features of the formation of thyroid status in the aboriginal and visiting population of the Magadan Region. *Human Physiology*. 2001;27(4):130–136. (In Russ.)
- [25] Manchuk VT. Features of the formation of health among the population of the North and the main directions of its rehabilitation. *Kamchatka – a health resort of the north-eastern regions of Russia: materials and reports of the second interregional. scientific and practical. Conf., Petropavlovsk-Kamchatsky, October 22–24, 2009*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Research Geotechnological Center of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences Publ.; 2009. p. 137–144. (In Russ.)
- [26] Manchuk VT, Nadtochy LA. Status and trends in the formation of the health of the indigenous population of the North and Siberia. *Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2010;30(3):24–32. (In Russ.)
- [27] Pavlenko VI, Kutsenko SYu. Providing a Comfortable Life Activity in the Arctic: Problems and Challenges. *Human Ecology*. 2018;2:51–58. (In Russ.)
- [28] Pavlenko VI, Petrov A, Kutsenko SYu, Detter GF. Indigenous Peoples of the Russian Arctic (Problems and Development Prospects). *Human Ecology*. 2019;1:26–33. (In Russ.)
- [29] Petrov IM, Gagina TA, Troshina IA, Medvedeva IV. Modern features of nutrition and the immune system. *Siberian Medical Journal*. 2006;6:10–14. (In Russ.)
- [30] Pokhilyuk NV, Gorbachev AL. Interethnic features of elemental status of indigenous small-numbered peoples of the North. *Trace Elements in Medicine*. 2016;17(1):19–23 (In Russ.)
- [31] Saitov ShO, Musaeva DM. Biological role of macro- and micronutrients at COVID-19. *Tibbetda yangi kun*. 2021;2(34):424–428. (In Russ.)
- [32] Salnikova EV. Zinc – essential trace elements (review). *Bulletin of the Orenburg State University*. 2012;10(146):170–172. (In Russ.)
- [33] Troegubova NA, Rylova NV, Samoylov AS. Micronutrients in the diet of athletes. *Gastroenterology*. 2014;1(77):46–49. (In Russ.)
- [34] Troshina EA, Senyushkina ES, Terekhova MA. The role of selenium in the pathogenesis of thyroid disease. *Clinical and experimental thyroidology*. 2018;14(4):192–205. (In Russ.)
- [35] Oberlis D, Harland B, Skalny A. *Biological role of macro- and microelements*. St. Petersburg: Nauka Publ.; 2008. 544 p. (In Russ.)
- [36] Khasnulin VI. A modern view of the health of the indigenous people of the North. *Sever-Person: Problems of Health Preservation: Materials of the All-Russian Scientific Conference with International Participation, dedicated to the 25th anniversary of the Research Institute of Medical Problems of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*. Krasnoyarsk, 2001:27–33. (In Russ.)
- [37] Khakhovskaya LN. Indigenous peoples of the Magadan region in the XX-beginning of the XXI century. Magadan: North-Eastern Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences Publ.; 2008. (In Russ.)
- [38] Augustine LF, Mullapudi V, Subramanian S. Infection-iron interaction during COVID-19 pandemic: Time to redesign iron supplementation programs. *Kulkarni B*.

- Med Hypotheses*. 2020;143:110173. <http://doi.org/10.1016/j.mehy.2020.110173> Epub 2020 Aug 10.
- [39] Gorbachev AL, Lugovaya EA, Skalny AV. Bioelement status shown by the aboriginal residents of Russia's northern regions. *Conservation of environment for human health*. National environmental Science Academe. NewDelhi; 2013. p. 65–73.
- [40] Combs GF. Biomarker of selenium status. *Nutrients*. 2015;7:2209–2236. <http://doi.org/10.3390/nu7042209>
- [41] Skalny AV. Reference values of the concentration of chemical elements in hair obtained by the ISP-NPP method (ANO Center for Biotic Medicine). *Trace elements in medicine*. 2003;4(1):65. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Горбачев Анатолий Леонидович, доктор биологических наук, профессор кафедры валеологии, Северо-Восточный государственный университет, Российская Федерация, 685000, Магадан, ул. Портовая, д. 13. ORCID: 0000-0002-2432-3408, eLIBRARY SPIN-код: 7050-3412. E-mail: gor000@mail.ru

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

Похлюк Наталья Владимировна, врач-бактериолог, ГБУЗ «Магаданская областная больница», Российская Федерация, 685000, Магадан, ул. Нагаевская, д. 40. eLIBRARY SPIN-код: 5253-5527. E-mail: natalis2686@mail.ru

Bio notes:

Anatoly L. Gorbachev, Doct. Sci (Biol.), Professor of the Department of Valeology, Northeastern State University, 13 Portovaya St, Magadan, 685000, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2432-3408, eLIBRARY SPIN-code: 7050-3412. E-mail: gor000@mail.ru

Anatoly A. Kirichuk, Doctor of Biology, Director of the Department of Human Ecology and Bioelementology of the Institute of Ecology, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5125-5116, eLIBRARY SPIN-code: 9483-2011. E-mail: kirichuk-aa@rudn.ru

Natalya V. Pokhilyuk, Bacteriologist Doctor, Magadan Regional Hospital, 40 Nagaevskaya St, Magadan, 685000, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 5253-5527. E-mail: natalis2686@mail.ru.

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-1-70-80

EDN: KFKUOW

УДК 504.75

Научная статья / Research article

Влияние элементного состава воды и почвы на экологический портрет подростков Хабаровского края

А.О. Нестеренко¹, Г.П. Евсева², Е.Д. Целых³¹Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Российская Федерация²Хабаровский филиал Дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания – Научно-исследовательский институт охраны материнства и детства, г. Хабаровск, Российская Федерация³Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Российская Федерацияalenushka_3@inbox.ru

Аннотация. Представлены результаты анализа воздействия Fe, Cu, Mo, Zn, Co, Se, Th и U в питьевой воде и почве на химический состав волос подростков национальности нивхи, эвены, русские Хабаровского края. Одним из приоритетных направлений региональной политики Хабаровского края является сохранение здоровья коренных малочисленных народов Севера (КМНС). В условиях биогеохимической провинции организм вырабатывает адаптивные механизмы, компенсирующие дисбаланс ряда МЭ в среде, в течение многих поколений. Однако в районах компактного проживания коренного населения наблюдается рост заболеваемости с 2010 по 2020 г. подростков: нивхов (Николаевский район) и эвенов (Охотский район) в 1,8 и в 1,4 раза соответственно, что указывает на присутствие у коренных жителей признаков истощения функциональных резервов организма. В связи с этим особую актуальность приобретает оценка экологического состояния окружающей среды и анализ содержания химических элементов в волосах, отражающий длительность и характер их поступления в организм.

Ключевые слова: микроэлементы, подростки, волосы, почва, вода

Благодарности и финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта на реализацию проектов в области фундаментальных и технических наук из бюджета Хабаровского края (грант № 113/2018Д от 28.06.2018).

© Нестеренко А.О., Евсева Г.П., Целых Е.Д., 2023

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

Вклад авторов: *A.O. Нестеренко* – сбор и обработка результатов исследования, анализ полученных данных, написание текста; *Г.П. Евсеева* – анализ полученных данных, дизайн исследования; *Е.Д. Целых* – организация сбора данных, концепция исследования.

История статьи: поступила в редакцию 15.08.2022; доработана после рецензирования 15.12.2022; принята к публикации 14.01.2023.

Для цитирования: *Нестеренко А.О., Евсеева Г.П., Целых Е.Д.* Влияние элементного состава воды и почвы на экологический портрет подростков Хабаровского края // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 1. С. 70–80. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-70-80>

Influence of the elemental composition of water and soil on the environmental portrait of teenagers in Khabarovsky Kray

Alena O. Nesterenko¹, Galina P. Evseeva², Ekaterina D. Tselikh³

¹*Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation*

²*Khabarovsk Branch of the Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration – Research Institute of Maternity and Childhood Protection, Khabarovsk, Russian Federation*

³*Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, 680021, Russian Federation*
alenuшка_3@inbox.ru

Abstract. The results of studying the content of Fe, Cu, Mo, Zn, Co, Se, Th and U in drinking water, soil and hair of teenagers of different ethnic groups (Nivkhs, Evens, Russians) living in the Khabarovsk Territory are presented. One of the priority directions of the regional policy of the Khabarovsk region is the preservation of the health of indigenous people. In the conditions of a biogeochemical province, the organism develops adaptive mechanisms that compensate for the imbalance of a number of microelements in the environment which occurred for many generations. However, in the areas of compact residence of the indigenous population, there is an increase in the illnesses from 2010 to 2020 among the Nivkhs (Mykolaiv district) and Evens (Okhotsk district) by 1.8 times and 1.4 times, respectively, which indicates the presence of signs of depletion of the functional reserves of the body of indigenous people. In this regard, the assessment of the ecological state of the environment and the analysis of the content of chemical elements in the hair, reflecting the duration and nature of their entry into the organism, is of particular relevance.

Keywords: trace elements, teenagers, hair, soil, water

Acknowledgements and Funding. The study was supported by a grant for the benefits of projects in the field of fundamental and technical sciences from the budget of the Khabarovsky Kray (grant No. 113/2018D dated June 28, 2018).

Authors' contributions: *A.O. Nesterenko* – collection and processing of research results, analysis of the data obtained, writing the text; *G.P. Evseeva* – analysis of the obtained data, study design; *E.D. Tselikh* – organization of data collection, research concept.

Article history: received 15.08.2022; revised 15.12.2022; accepted 14.01.2023.

For citation: Nesterenko AO, Evseeva GP, Tselikh ED. Influence of the elemental composition of water and soil on the environmental portrait of teenagers in Khabarovsk Krai. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(1):70–80. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-70-80>

Многочисленными исследованиями подтверждено, что элементный статус организма отражает геохимический фон среды обитания, в том числе дисбаланс многих микроэлементов (МЭ) в воде, почве данной территории [1; 2]. Химические элементы способны активно включаться в круговорот веществ и мигрировать по пищевым цепям к человеку, что может приводить к возникновению экологозависимых заболеваний [3; 4].

Как известно, Хабаровский край характеризуется повышенным содержанием Fe, Mn, недостатком Se в окружающей среде. Загрязненность соединениями Fe, Cu и Zn характерна практически для всех водных объектов. В 2019 г. по итогам гидрохимических наблюдений выявлено 104 случая высокого и 19 случаев экстремально высокого загрязнения поверхностных вод Хабаровского края¹.

Одним из факторов, повышающих риск нарушения элементного гомеостаза, является поступление радиоактивных элементов, биологическая роль которых до настоящего времени остается открытой [5]. Согласно литературным данным, в Николаевском и Охотском районах Хабаровского края распространены радиоаномалии с высоким содержанием Th и U [6], которые могут оказывать влияние на элементный гомеостаз жителей [1].

Цель исследования – проанализировать степень воздействия элементного состава питьевой воды и почвы на экологический портрет подростков разных этнических групп, проживающих на территории Хабаровского края.

Материалы и методы

Отбор проб питьевой воды выполнялся в соответствии с требованиями ГОСТа 56237-2014 «Вода питьевая. Отбор проб на станциях водоподготовки и в трубопроводных распределительных системах». Мониторинг элементного состава питьевой воды производился в течение года по сезонам (2019–2020 гг.). Пробы питьевой воды были взяты в п. Арка Охотского района ($n = 20$), п. Лазарев Николаевского района ($n = 20$) и г. Хабаровске ($n = 20$) ежеквартально. Отбор проб производился в водопроводных кранах школ и частных домов.

Отбор почвенных образцов производился однократно в осенний период (2019 г.) на земельных участках п. Арка Охотского района ($n = 10$), п. Лазарев Николаевского района ($n = 10$) и в г. Хабаровске ($n = 10$). Отбор выполнялся в соответствии с требованиями ГОСТа 17.4.4.02-2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа».

¹ Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2019 году / под ред. А.А. Сабитова. Хабаровск, 2020. 286 с.

Проведено обследование подростков ($n = 121$), проживающих в Хабаровском крае: нивхов ($n = 25$) и этнических русских ($n = 24$) Николаевского района; эвенов ($n = 54$) и русских ($n = 18$) Охотского района. Подростки г. Хабаровска являются группой сравнения ($n = 33$). Средний возраст $15,20 \pm 0,62$. Разрешение Этического комитета Хабаровского филиала ДНЦ ФПД – НИИ ОМиД получено на основании «информированного согласия» родителей обследованных детей.

Определение примесей Fe, Cu, Co, Mo, Se, Zn, Th и U в питьевой воде, почве и волосах проведено методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой в аккредитованной лаборатории на базе Хабаровского инновационно-аналитического центра Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН.

Статистический анализ проводился с использованием стандартных методов вариационной статистики: определение достоверности полученных данных в условиях стандартного нормального распределения для независимых выборок с использованием коэффициента Стьюдента, с учетом «ошибки средней» – $M \pm m$. Степень связности параметров оценивалась с помощью веса корреляционного графа (G), рассчитываемого как сумма соответствующих коэффициентов парной корреляции:

$$G = \sum_{|r_{ij}| \geq \alpha} |r_{ij}|,$$

где r_{ij} – коэффициенты корреляции между i -м и j -м показателями, α определяется уровнем достоверности r_{ij} . Определялось количество и степень выраженности достоверных корреляционных связей в общем числе рассмотренных коэффициентов корреляции, значения которых больше или равны α [7; 8].

Для математических расчетов использовались статистический пакет Statistica 10.0 и офисный пакет Microsoft Office Excel 2013.

Результаты и обсуждение

Результаты анализа проб питьевой воды в обследованных районах представлены в табл. 1.

Проведенными исследованиями установлено, что в пробах питьевой воды Охотского и Николаевского районов, г. Хабаровска концентрация исследуемых МЭ соответствует ПДК. Повышенное содержание Fe в 40 % случаев зафиксировано в пробах питьевой воды г. Хабаровска, превышающее норматив от 1,3 до 3,4 раза ($p < 0,001$).

Следует отметить достоверно низкое содержание эссенциальных элементов во всех пробах питьевой воды Хабаровского края: Cu, Co, Zn, Se ($p < 0,001$), более выраженное в северных районах. В пробах питьевой воды обнаружено содержание Th и U. Однако концентрация радиоактивных элементов не превышает установленные нормативы.

Таблица 1. Содержание (M±m) эссенциальных и радиоактивных микроэлементов в питьевой воде Хабаровского края, мг/л

Концентрация элементов	г. Хабаровск (n = 20)	п. Лазарев Николаевского района (n = 20)	п. Арка Охотского района (n = 20)	ПДК по СанПиН 1.2.3685-21
Fe	0,452±0,05*	<i>0,286±0,02**</i>	0,146±0,01***	0,3
Cu	0,046±0,005*	0,001±0,0001**	0,002±0,0003***	1,0
Co	0,0038±0,0005*	0,0019±0,0002**	0,0003±0,0001***	0,1
Zn	0,326±0,04*	0,037±0,004**	0,009±0,0001***	5,0
Mo	0,002±0,0003	0,002±0,0001**	0,0548±0,00005***	0,07
Se	0,002±0,0002	0,002±0,0002**	0,0001±0,0002***	0,01
Th	0,002±0,0003	0,001±0,0005	0,001±0,0001***	0,03 ¹
U	0,002±0,0002*	0,005±0,0005**	0,001±0,0001***	0,015 ¹

Примечания: Здесь и далее: ¹ ПДК по Руководству по обеспечению качества питьевой воды ВОЗ (2017). Превышение ПДК выделено жирным шрифтом; концентрация МЭ, соответствующая верхней границе норматива, выделена курсивом.

* – Достоверность различий $p < 0,001$ в группах г. Хабаровск–п. Лазарев.

** – Достоверность различий $p < 0,001$ в группах г. Хабаровск–п. Арка.

*** – Достоверность различий $p < 0,001$ в группах п. Лазарев–п. Арка.

Table 1. Content (M±m) of essential and radioactive trace elements in drinking water of the Khabarovsk Krai, mg/l

Element concentration	Khabarovsk (n = 20)	Lazarev, Nikolaevsky district (n = 20)	Arka, Okhotsk district (n = 20)	MPC according to SanPiN 1.2.3685-21
Fe	0.452±0.05*	<i>0.286±0.02**</i>	0.146±0.01***	0.3
Cu	0.046±0.005*	0.001±0.0001**	0.002±0.0003***	1.0
Co	0.0038±0.0005*	0.0019±0.0002**	0.0003±0.0001***	0.1
Zn	0.326±0.04*	0.037±0.004**	0.009±0.0001***	5.0
Mo	0.002±0.0003	0.002±0.0001**	0.0548±0.00005***	0.07
Se	0.002±0.0002	0.002±0.0002**	0.0001±0.0002***	0.01
Th	0.002±0.0003	0.001±0.0005	0.001±0.0001***	0.03 ¹
U	0.002±0.0002*	0.005±0.0005**	0.001±0.0001***	0.015 ¹

Notes: Here and below: ¹ MPC according to Guidelines for drinking-water quality WHO. Exceeding the MPC is highlighted in bold; the concentration of the trace element at the upper limit of the standard is highlighted in italics.

* – Reliability of differences $p < 0.001$ in the groups of Khabarovsk–v. Lazarev.

** – Reliability of differences $p < 0.001$ in the groups of Khabarovsk–v. Arka.

*** – Reliability of differences $p < 0.001$ in the groups of Lazarev–v. Arka.

В табл. 2 представлены средние концентрации эссенциальных и радиоактивных элементов в почвах обследованных районов.

Таблица 2. Содержание (M ± m) эссенциальных и радиоактивных микроэлементов в почве Хабаровского края, мг/кг

Концентрация элементов	г. Хабаровск (n = 10)	п. Лазарев Николаевского района (n = 10)	п. Арка Охотского района (n = 10)	ПДК по СанПиН 1.2.3685-21
Fe	46712,8±822,0	44852,78±500,12**	11969,18±718,32***	25000
Cu	15,8±1,67*	76,506±7,02**	40,436±4,33***	66 (ОДК)
Co	6,43±0,60*	16,998±2,49**	3,662±0,25***	5
Zn	65,99±4,78	66,848±6,27**	181,904±15,3***	23
Mo	0,83±0,07*	0,534±0,05**	2,066±0,28***	253 ¹
Se	0,0016±0,0001*	0,001±0,0001**	0,07±0,01***	0,11 ¹
Th	1,356±0,40*	5,856±0,61**	2,036±0,3	3 ²
U	2,85±0,31*	1,324±0,011**	0,422±0,04***	3 ²

Примечания: ¹ Ввиду отсутствия установленных ПДК и ОДК Mo и Se в почве были взяты данные по: Crommentuijn T., Polder M.D., Van de Plassche E.J. [9].

² Фоновые значения Th и U по: И.Г. Асылбаеву, И.К. Хабирову, И.М. Габбасовой и др. [10].

* – Достоверность различий $p < 0,001$ в группах г. Хабаровск–п. Лазарев.

** – Достоверность различий $p < 0,001$ в группах г. Хабаровск–п. Арка.

*** – Достоверность различий $p < 0,001$ в группах п. Лазарев–п. Арка.

Table 2. Content (M±m) of essential and radioactive trace elements in the soil of the Khabarovskiy Kray, mg/kg

Element concentration	Khabarovsk (n = 10)	Lazarev, Nikolaevsky district (n = 10)	Arka, Okhotsk district (n = 10)	MPC according to SanPiN 1.2.3685-21; *WHO guidance
Fe	46712.8±822.0	44852.78±500.12**	11969.18±718.32***	25000
Cu	15.8±1.67*	76.506±7.02**	40.436±4.33***	66 (ОДК)
Co	6.43±0.60*	16.998±2.49**	3.662±0.25***	5
Zn	65.99±4.78	66.848±6.27**	181.904±15.3***	23
Mo	0.83±0.07*	0.534±0.05**	2.066±0.28***	253 ¹
Se	0.0016±0.0001*	0.001±0.0001**	0.07±0.01***	0.11 ¹
Th	1.356±0.40*	5.856±0.61**	2.036±0.3	3 ²
U	2.85±0.31*	1.324±0.011**	0.422±0.04***	3 ²

Notes: ¹ Due to the lack of established MPC and APC for Mo and Se in the soil, the data were taken by Crommentuijn T., Polder M.D., Van de Plassche E.J. [9].

² Background values of Th and U according to Asylbaev I.G., Khabirov I.K., Gabbasova I.M. et al. [10].

* – Reliability of differences $p < 0.001$ in the groups of Khabarovsk–v. Lazarev.

** – Reliability of differences $p < 0.001$ in the groups of Khabarovsk–v. Arka.

*** – Reliability of differences $p < 0.001$ in the groups of Lazarev–v. Arka.

Установлено, что за анализируемый период концентрация Fe в образцах почв Охотского района соответствовала ПДК, а в Николаевском районе и г. Хабаровске превышала ПДК в 1,4–1,9 раза ($p < 0,001$). Концентрация Cu в Охотском районе соответствовала ОДК, в Николаевском районе в 1,2 раза превышала ОДК (в 80% проб содержание превышало ОДК). В почвах г. Хабаровска содержание Cu было снижено в 4,2 раза.

Анализ образцов почв выявил избыточное содержание Zn во всех пробах: в Охотском районе превышение ПДК составило 7,9 раза, в Николаевском районе и в г. Хабаровске – 2,8–3,1 и 2,0–4,3 соответственно, $p < 0,001$.

Установлено, что содержание Co в почве Охотского района в пределах ПДК. В Николаевском районе концентрация Co во всех пробах была выше в 3,4 раза по сравнению с ПДК ($p < 0,001$). В образцах почв г. Хабаровска также выявлено превышение содержания Co в 1,3 раза.

Содержание Mo и Se в анализируемых образцах дефицитны, так как биогеохимическая провинция Хабаровского края бедна представленными эссенциальными МЭ [11].

Концентрация Th в почвах Охотского района ниже фоновых значений, а в Николаевском районе и г. Хабаровске превышает их в 1,95 и 1,90 раза соответственно. Причиной высокого содержания Th в образцах почв Николаевского района является активный рудогенез на данной территории [6].

Содержание U в почвенных образцах не превышало фоновых значений по всем исследуемым районам.

Таким образом, анализ проб питьевой воды и почв показал дефицитное содержание эссенциальных элементов (Mo, Se) во всех районах Хабаровского края. В питьевой воде также определена низкая концентрация Cu, Co и Zn.

Эссенциальные элементы поступают в организм с водой и, как показано нами ранее, с пищей [12]. Суммарное поступление МЭ из атмосферного воздуха, воды и пищевых продуктов отражается их содержанием в волосах (табл. 3).

Таблица 3. Концентрация (M±m) микроэлементов в волосах (мкг) подростков разных этнических групп, проживающих на территории Хабаровского края

Группа подростков	Fe 5,0-25	Co 0,02- 0,11	Cu 8-12	Zn 94-183	Se 0,5-1,5	Mo 0,02-2,0	Th < 0,001	U 0,003
Подростки Охотский район (n = 72)	23,55± 2,75	0,043± 0,009	8,32± 0,51	136,3± 10,51	0,2218± 0,003	0,026± 0,0044	0,0017± 0,0009***	<i>0,0026± 0,0007</i>
Подростки Николаевский район (n = 49)	54,25± 8,38***	0,19± 0,05***	5,23± 0,70	246,58± 29,81***	0,011± 0,001	0,014± 0,002	0,014± 0,001***	<i>0,027± 0,003</i>
Подростки г. Хабаровск (n = 23)	65,699± 13,30***	0,229± 0,06***	13,046± 4,53*	142,031± 21,56	0,281± 0,03	0,045± 0,01	0,017± 0,005***	<i>0,029± 0,013</i>

Примечание. Норматив Th и U в волосах – по Наркович Д.В. [14], нормативы содержания в волосах показаны по Oberlis D., Harland B., Skalny A. [15]. Различие с границей физиологического норматива достоверно: при $p \leq 0,05$ (*); при $p \leq 0,01$ (**); при $p \leq 0,001$ (***)

Table 3. Concentration (M±m) of microelements in hair (μg) of teenagers of different ethnic groups living in the Khabarovsk Krai

A group of teenagers	Fe 5.0-25	Co 0.02- 0.11	Cu 8-12	Zn 94-183	Se 0.5-1.5	Mo 0.02-2.0	Th < 0.001	U 0.003
Teenagers, Okhotsky District (n = 72)	23.55± 2.75	0.043± 0.009	8.32± 0.51	136.3± 10.51	0.2218± 0.003	0.026± 0.0044	0.0017± 0.0009	0.0026± 0.0007
Teenagers, Nykolaivsky district (n = 49)	54.25± 8.38	0.19± 0.05	5.23± 0.70	246.58± 29.81	0.011± 0.001	0.014± 0.002	0.014± 0.001	0.027± 0.003
Teenagers, Khabarovsk (n = 23)	65.699± 13.30	0.229± 0.06	13.046± 4.53	142.031± 21.56	0.281± 0.03	0.045± 0.01	0.017± 0.005	0.029± 0.013

Note. Standard Th and U in hair – according to Narkovich D.V. [14], hair content standards are shown according to Oberlis D., Harland B., Skalny A. [15]. The difference with the boundary of the physiological standard is significant: at $p \leq 0.05$ (*); at $p \leq 0.01$ (**); at $p \leq 0.001$ (***)

Анализ волос показал, что содержание Fe и Co в группах подростков Охотского района в пределах референтных значений. В группах Николаевского района и г. Хабаровска концентрация Fe превышала норматив в 2,16 и 2,63 раза, концентрация Co – в 1,73 и 2,08 раза соответственно.

Содержание Cu в волосах на нижней границе норматива среди подростков Охотского района и дефицитное в Николаевском районе в г. Хабаровске превысило норматив в 1,10 раза.

Анализ содержания Zn выявил превышение референтных значений в волосах подростков Николаевского района, в остальных группах содержание соответствовало пределам.

Содержание Se дефицитно в волосах всех обследуемых групп ($p < 0,001$). В группе Николаевского района выявлен дефицит Mo (в 1,43 раза ниже референтных значений), в группах Охотского района и г. Хабаровска – на нижней границе.

Установлены высокие концентрации Th в волосах всех групп по сравнению с референтными значениями ($p < 0,001$).

Концентрация U в пределах верхней границы норматива в волосах всех групп. Пограничные показатели факторов среды приводят к дисфункциональным состояниям организма (которые являются обратимыми). Однако при длительном действии стрессора возникают дизадаптации.

В результате анализа элементного состава проб питьевой воды, почвы и образцов волос подростков, проживающих в районах Хабаровского края с различными климатическими условиями, были установлены корреляционные связи. Значимые прямые зависимости содержания МЭ в воде и почве выявлены для Zn ($r = 0,86$, $p < 0,05$), Fe ($r = 0,59$, $p < 0,05$) и U ($r = 0,9$, $p < 0,05$). Отрицательные зависимости выявлены между концентрацией Se в воде и почве ($r = -0,81$, $p < 0,05$) и Cu в воде и почве ($r = 0,39$, $p < 0,05$).

Достоверные корреляционные зависимости выявлены между содержанием Fe, Co, Mo, Th в волосах и воде ($r = 0,48-0,89$, $p < 0,05$), Fe, Cu, Zn, Se в волосах и почве ($r = 0,38-0,71$, $p < 0,05$).

В ряде исследований было показано, что при неблагоприятных внешних воздействиях уровень корреляций между различными параметрами организма повышается [13]. Метод корреляционной адиптометрии позволяет количественно оценить степень здоровья групп людей и заблаговременно прогнозировать возможные неблагоприятные изменения здоровья [7]. Анализ корреляционных взаимосвязей содержания МЭ в волосах подростков с использованием данного метода показал, что величина корреляционного графа у детей г. Хабаровска и Николаевского района в 1,5 раза выше, чем у подростков Охотского района (рис. 1), что может свидетельствовать об антропоэкологическом напряжении адаптационных механизмов у подростков, проживающих в данных экологических условиях.

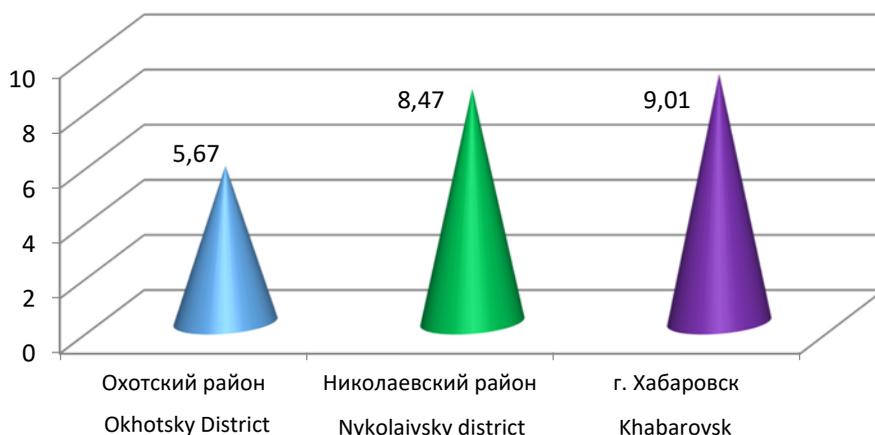


Рис. 1. Вес корреляционного графа у подростков, проживающих в различных районах Хабаровского края / Figure 1. The weight of the correlation graph of teenagers living in different regions of the Khabarovsk Krai

Таким образом, проведенные исследования показали, что в питьевой воде выявлен дисбаланс МЭ: в ряде случаев имеет место превышение ПДК по содержанию Fe, сопровождающийся дефицитом эссенциальных элементов (Cu, Co, Zn, Mo, Se). Во всех образцах почв установлены низкие концентрации Mo, Se и высокие – Fe. Также в Николаевском районе выявлено повышенное содержание Th в почвах. Элементный дисбаланс отражается на их концентрации в волосах подростков, проживающих на территориях геохимических аномалий, и может являться фактором риска развития экологически обусловленных заболеваний.

Список литературы

- [1] Сальникова Е.В., Бурцева Т.И., Скальный А.В. Региональные особенности содержания микроэлементов в биосфере и организме человека // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 2. С. 148–152.
- [2] Евсеева Г.П., Пичугина С.В., Яковлев Е.И., Пепеляева Л.Р. Экологическое воздействие качества окружающей среды Хабаровского края на уровень заболеваемости детского населения // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 4. С. 93–100.
- [3] Агаджанян Н.А., Скальный А.В., Детков В.Ю. Элементный портрет человека: заболеваемость, демография и проблема управления здоровьем нации // Экология человека. 2013. № 11. С. 3–12.
- [4] Скальный А.В. Оценка и коррекция элементного статуса населения – перспективное направление отечественного здравоохранения и экологического мониторинга // Микроэлементы в медицине. 2018. № 19 (1). С. 5–13.
- [5] Барановская Н.В., Агеева Е.В., Соктоев Б.Р., Наркович Д.В., Денисова О.А., Матковская Т.В. Редкоземельные и радиоактивные (Th, U) элементы в компонентах природной среды на территории Томской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331, № 2. С. 17–28.
- [6] Коковкин А.А. Новейшая структура Сихотэ-Алинского орогена, металлогения Сихотэ-Алинской рудной провинции // Региональная геология и металлогения. 2013. № 53. С. 1–9.
- [7] Разжевайкин В.Н., Шпитонков М.И. Модельное обоснование корреляционной адаптометрии с применением методов эволюционной оптимальности // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2003. Т. 3, № 2. С. 308–320.
- [8] Ермолаев О.Ю. Математическая статистика для психологов. М.: Московский психол.-соц. ин-т.; Флинт, 2003. С. 19–72.
- [9] Crommentuijn T., Polder M.D., Van de Plassche E.J. Maximum Permissible Concentrations and Negligible Concentrations for metals, taking background concentrations into account // RIVM Report 601501001. Bilthoven, Netherlands, 1997. 260 p.
- [10] Асылбаев И.Г. Хабиров И.К., Габбасова И.М., Рафиков Б.В., Лукманов Н.А. Геохимия урана и тория в почвах Южного Урала // Почвоведение, Российская академия наук (Москва). 2017. № 12. С. 1468–1476.
- [11] Ковальский Ю.Г., Голубкина Н.А., Папазян Т.Т., Сенкевич О.А. Селеновый статус жителей Хабаровского края 2018 г. // Микроэлементы в медицине. 2019. Т. 3, № 20. С. 45–53.
- [12] Нестеренко А.О., Целых Е.Д., Христофорова Н.К., Бердников Н.В. Анализ элементного состава сыворотки крови и волос подростков разных этнических групп

- Хабаровского края на фоне рациона питания и техногенного загрязнения территории // Сеченовский вестник. 2018. № 2. С. 26–32.
- [13] Горбань А.Н., Манчук В.Т., Петушкова Е.В. Динамика корреляций между физиологическими параметрами и эколого-эволюционный принцип полифакториальности // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. Л.: Гидрометеониздат, 1987. Т. 10. С. 187–198.
- [14] Наркович Д.В. Элементный состав волос детей как индикатор природно-техногенной обстановки территории (на примере Томской области): автореф. дис. ... канд. геолого-минералогических наук. Томск: ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2012. 22 с.
- [15] Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб.: Наука, 2008. 542 с.

References

- [1] Salnikova EV, Burtseva TI, Skalny AV. Regional peculiarities of trace elements in the biosphere and the human body. *Hygiene & Sanitation (Russian Journal)*. 2019;98(2):148–152. (In Russ.)
- [2] Evseeva GP, Pichugina SV, Yakovlev EI, Pepelyaeva LR. Environmental impact the environmental quality of the Khabarovsk krai in the incidence of children population. *Regional problems*. 2018;21(4):93–100. (In Russ.)
- [3] Agadzhanyan NA, Skalny AV, Detkov VYu. Elemental portrait of a person: morbidity, demography, and the problem of managing the health of the nation. *Human Ecology*. 2013;11:3–12. (In Russ.)
- [4] Skalny AV. Assessment and correction of the elemental status of the population – a promising direction of domestic health care and environmental monitoring. *Microelements in medicine*. 2018;19(1):5–13. (In Russ.)
- [5] Baranovskaya NV, Ageeva EV, Soktoev BR, Narkovich DV, Denisova OA, Matkovskaya TV. Rare earth and radioactive (Th, U) elements in the components of the environment on the territory of Tomsk region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2020;331(2):17–28. (In Russ.)
- [6] Kokovkin AA. The newest structure of the Sikhote-Alin orogen, the meteorology of the Sikhote-Alin ore province. *Regional geology and metallogeny*. 2013;53:1–9. (In Russ.)
- [7] Razzhevaikin VN, Shpitionkov MI. Model substantiation of correlation adaptometry using evolutionary optimality methods. *Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2003;2:308–320. (In Russ.)
- [8] Ermolaev OYu. *Mathematical statistics for psychologists*. Moscow: Moscow Psychological and Social Institute: Publisher Flint. 2003:19–72. (In Russ.)
- [9] Crommentuyn T, Polder MD, Van de Plassche EJ. Maximum Permissible Concentrations and Negligible Concentrations for metals, taking background concentrations into account. *RIVM Report 601501001*. Bilthoven, Netherlands; 1997:260.
- [10] Asylbaev IG, Khabirov IK, Gabbasova IM, Rafikov BV, Lukmanov NA. Geochemistry of uranium and thorium in the soils of the Southern Urals. *Soil Science, Russian Academy of Sciences*. 2017;12:1468–1476. (In Russ.)
- [11] Kovalsky YuG, Golubkina NA, Papazyan TT, Senkevich OA. Selenium status of residents of the Khabarovsk Krai in 2018. *Trace elements in medicine*. 2019;20(3):45–53. (In Russ.)
- [12] Nesterenko AO, Tselykh ED, Khristoforova NK, Berdnikov NV. Analysis of the elemental composition in blood serum and hair of adolescents of different ethnic groups in Khabarovsk krai in connection with nutrition and technogenic contamination of territories. *Sechenov Medical Journal*. 2018;2:26–32. (In Russ.)

- [13] Gorban AN, Manchuk VT, Petushkova EV. Dynamics of correlations between physiological parameters and the eco-evolutionary principle of polyfactoriality. *Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1987;10:187–198. (In Russ.)
- [14] Narkovich DV. *The elemental composition of children's hair as an indicator of the natural and man-made situation of the territory (on the example of the Tomsk region)* (abstract of Doctor of Geological and Mineralogical Sciences dissertation). Tomsk: FGBOU VPO NI TPU;2012. (In Russ.)
- [15] Oberlis D, Harland B, Skalny A. *The biological role of macro- and microelements in humans and animals*. Saint Petersburg: Nauka publ.; 2008. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Нестеренко Алена Олексовна, старший преподаватель кафедры биологии, экологии и химии, Тихоокеанский государственный университет; Российская Федерация, 680000, Хабаровский край, г. Хабаровск, ул. Карла Маркса, 68. ORCID: 0000-0001-7927-5741, SPIN-код: 8474-6563. E-mail: alenushka_3@inbox.ru

Евсеева Галина Петровна, доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе, главный научный сотрудник, Хабаровский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательский институт охраны материнства и детства; Российская Федерация, 680000, Хабаровский край, г. Хабаровск, ул. Воронежская, д. 49, корп. 1, ORCID: 0000-0002-7528-7232, SPIN-код: 8565-3889. E-mail: evseeva@yandex.ru

Целых Екатерина Дмитриевна, доктор биологических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность», Дальневосточный государственный университет путей сообщения; Российская Федерация, 680000, Хабаровский край, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47. ORCID: 0000-0003-3935-9195, SPIN-код: 9224-8233. E-mail: celixed@mail.ru

Bio notes:

Alena O. Nesterenko, Senior Lecturer, Pacific National University; 68 Karl Marx St, Khabarovsk, Khabarovsky Kray, 680000, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-7927-5741. E-mail: alenushka_3@inbox.ru.

Galina P. Evseeva, MD, PhD, DSc, Deputy Director on Scientific Work, Main staff scientist of Groups of health and environmental problems of mother and child health, Research Institute of Maternity and Childhood Protection; 49, bldg. 1, Voronezhskaya St, Khabarovsk, Khabarovsky Kray, 680000, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-7528-7232, SPIN-код: 8565-3889. E-mail: evseeva@yandex.ru

Ekaterina D. Tselikh, Doctor of Biological Sciences, Professor, Far Eastern State Transport University; 47 Serysheva St, Khabarovsk, Khabarovsky Kray, 680000, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-3935-9195, SPIN-код: 9224-8233. E-mail: celixed@mail.ru



ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-1-81-102

EDN: KEJKEZ

УДК 543.2(9)

Review article / Обзорная статья

Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and furans: methods of analysis, distribution in the Moscow region and application of biotesting methods to them

Ekaterina A. Levashova¹, Svetlana E. Mazina^{1,2,3}, Galina V. Zykova¹¹Research and Technical Centre of Radiation-Chemical Safety and Hygiene FMBA
of Russian Federation, Moscow, Russian Federation²Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation³State University of Land Use Planning, Moscow, Russian Federationeabelinsk@yandex.ru

Abstract. The review presents data on chemical-analytical methods of PCDD, PCDF determination and biotesting methods used for toxicological assessment of pollutants. Distribution of PCDDs, PCDFs on the territory of Moscow is analyzed. Analysis of publications of Russian and foreign authors showed that the currently existing methods of biotesting are in fact untested for dioxins. In order to quickly establish the toxicological effect of persistent organic pollutants in soil, it is suggested to use biotesting methods, with inclusion of test organisms representing the main trophic levels of ecosystems: producers, consumers, and decomposers.

Keywords: persistent organic pollutants, polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans, dioxins, chromatographic methods of analysis, biotesting, soil contamination

Authors' contributions: *E.A. Levashova* – literature analysis, preparation of the text of the article on chemical-analytical methods of analysis, biotesting methods. *S.E. Mazina* – conceptualization of research, critical analysis of the text. *G.V. Zykova* – analysis of literature on chemical-analytical methods of analysis of PCDD, PCDF.

Article history: received 16.09.2022; revised 12.11.2022; accepted 12.01.2023.

© Levashova E.A., Mazina S.E., Zykova G.V., 2023



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

For citation: Levashova EA, Mazina SE, Zykova GV. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and furans: methods of analysis, distribution in the Moscow region and application of biotesting methods to them. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(1):81–102. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-81-102>

Полихлорированные дибензо-п-диоксины и фураны: методы анализа, распределение по территории Москвы и применение к ним методов биотестирования

Е.А. Левашова¹  , С.Е. Мазина^{1,2,3} , Г.В. Зыкова¹ 

¹Федеральное государственное унитарное предприятие

Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены
Федерального медико-биологического агентства, Москва, Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

³Государственный университет землеустройства, Москва, Российская Федерация

 eabelinsk@yandex.ru

Аннотация. Приведены данные по химико-аналитическим методам определения ПХДД, ПХДФ и методам биотестирования, применяемым для токсикологической оценки загрязняющих веществ. Проанализировано распределение ПХДД, ПХДФ по территории Москвы. Анализ публикаций российских и зарубежных авторов показал, что существующие на настоящий момент методы биотестирования фактически не отработаны на диоксинах. Для быстрого установления токсикологического эффекта стойких органических загрязнителей в почве предлагается использование методов биотестирования, с включением тест-организмов, представляющих основные трофические уровни экосистем: продуцентов, консументов, редуцентов.

Ключевые слова: стойкие органические загрязнители, полихлорированные дибензо-п-диоксины, полихлорированные дибензофураны, диоксины, хроматографические методы анализа, биотестирование, загрязнение почв

Вклад авторов: Е.А. Левашова – анализ литературы, подготовка текста статьи по химико-аналитическим методам анализа, методам биотестирования; С.Е. Мазина – концептуализация исследований, критический анализ текста; Г.В. Зыкова – анализ литературы по химико-аналитическим методам анализа ПХДД, ПХДФ.

История статьи: поступила в редакцию 16.08.2022; доработана после рецензирования 12.11.2022; принята к публикации 12.01.2023.

Для цитирования: Levashova E.A., Mazina S.E., Zykova G.V. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and furans: methods of analysis, distribution in the Moscow region and application of biotesting methods to them // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 1. С. 81–102. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-81-102>

Introduction

One of the important environmental problems in the city environment is pollution by compounds with high toxicity, low solubility in water, spreading over long distances and being extremely resistant to decomposition. Such substances

include compounds from the group of persistent organic pollutants (POPs): polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDD) and dibenzofurans (PCDF), commonly referred to as dioxins.

The difficulty in analysing these compounds is that the determination of trace amounts of contaminants occurs at the nano- and picogram (ppt, ppq) levels. In addition, PCDDs and PCDFs are large groups of substances in which only a small proportion are toxic and require measurement. To date, methodologies for the determination of POPs have been developed, registered in the Federal Information Fund for Ensuring Uniformity of Measurements and successfully applied. However, with regard to determination of PCDDs and PCDFs, today there are very few laboratories accredited for determination of these compounds due to high cost and complexity of analysis.

Areas of large cities, including industrial areas and their surroundings are the most exposed to contamination. It is particularly important to study soils as sites of accumulation, transformation and re-introduction of pollutants into biogeochemical cycles. To date, biotesting methods have been developed that make it possible to identify the most vulnerable links in the trophic chain and assess the mechanisms of action of pollutants on biota. A particular challenge is to investigate the hazards of different types of pollutants in biocosms, at different trophic levels.

The Stockholm Conference (2001) proposed a resolution on POPs¹, which was ratified in Russia only in 2011². The need for Russia to recognize this convention has stimulated increased research into natural systems. In 2005, the Department of Nature Management and Environmental Protection of Moscow GPBU “Mosecomonitoring” carried out the first study of PCDD/PCDF in Moscow, which complemented standard analyses including pesticides, oil products, benz[a]pyrene and heavy metals. PCDDs/PCDFs were analyzed at 21 sites [1; 2]. Re-examination in 2012 of most of the previously investigated sites made it possible to identify possible sources of pollution.

Assessing the real picture of environmental pollution, in particular of soils, with the help of chemical-analytical methods alone is a difficult task. Therefore, the addition of biotesting on living organisms to such studies will help to obtain a more objective ecological assessment [3]. Literature sources show that existing POPs screening methods are virtually untested. In particular, biotesting methods, including very sensitive immunochemical methods, are insufficiently selective and specific [4].

In order to properly assess the biological effects of pollution, it is necessary to pay attention to what actually occurs in the field. Therefore, the most appropriate way of assessing environmental quality involves the use of species directly inhabiting the contaminated areas.

¹ Stockholm Convention on persistent organic pollutants. Stockholm. May 22, 2001.

² Federal Law No. 164-FZ of 27.06.2011 “On Ratification of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants” (In Russ.) [Федеральный закон от 27.06.2011 года № 164-ФЗ «О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях»]. Available from: <http://ivo.garant.ru/#/document/12187282/paragraph/1:0> (accessed: 07.03.2022).

The purpose of the review is to identify existing problems in the analysis of POPs and to propose possible methods of PCDD and PCDF biotesting using the example of works on methods of analysis, determination of PCDD and PCDF content in Moscow soils and problems of biological control.

General information on contaminants

The term “dioxins” includes 210 compounds, of which 75 are PCDD congeners and 135 PCDF congeners. The most dangerous of them are considered to be 17 dioxin compounds having substituents in position 2,3,7,8 [5]. The most toxic representative is 2,3,7,8-TCDD which is characterized by high stability and shows mutagenic and carcinogenic activity [6]. The International Agency for Research on Cancer (IARC) categorizes 2,3,7,8-TCDD as group 1 (unconditional carcinogens for humans).

The main source of PCDDs and PCDFs in industrialized countries is considered to be high-temperature incineration of municipal solid waste, hazardous and medical waste. High production and release of PCDDs and PCDFs from waste incineration is mainly due to poor dust collectors in thermal waste incineration plants operating at elevated temperatures and poor combustion conditions. Often, incineration takes place in high-temperature incinerators at temperatures above 850°C. Thermal decontamination destroys the dioxins in the waste, but re-generates when the flue gas cools at 350°C. Some countries have passed laws that prohibit or restrict almost all methods of high-temperature waste incineration. There are no such restrictions in Russia.

Sources of dioxin emissions are power plants, industrial and domestic thermal energy plants, which are powered by fossil fuels or biofuels. Large quantities of PCDDs and PCDFs are generated during oil and natural gas combustion due to high calorific value of these fuels. It is known that the amount of PCDDs and PCDFs emitted in flue gases from large power plants is much lower than the corresponding values for coal- or oil-fired boilers and for domestic biofuel-fired boilers [7].

In internal combustion engines, dioxins are produced as a by-product of the combustion process. In Russia leaded petrol was used up to January 1 2003. High concentrations of PCDD and PCDF were observed due to the presence of chlorinated additives. With the use of unleaded petrol and a catalytic converter for exhaust gases in petrol engines, the concentration of emitted dioxins has been significantly reduced. In diesel engines, as a result of more efficient use of fuel, there is almost no emission of PCDDs and PCDFs.

It is known that as far back as in the 30s of XX century chemical productions started to develop which produced high concentrations of dioxins. Large territories are contaminated with dioxins during production of chlorinated cyclic organic compounds – chlorophenols, polychlorinated and polybrominated benzenes, biphenyls, as well as during production of pesticides – 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid (2,4,5-T), pentachlorophenol (PCP). In Russia, most of the chemical industry enterprises leading to the formation and release of dioxins have been closed. The

production of 1,2-dichloroethane remains the only chemical industry generating PCDDs and PCDFs in Russia.

PCBs and PCDFs can enter soil by the introduction of PCB- and PCDF-contaminated products and wastes from industrial processes, by dioxin deposition in soil as a result of reactions in the environment and by deposition from atmospheric air.

Once in the soil, dioxins are firmly bound to the soil particles and do not practically migrate into the inner layers, being sorbed in the surface layer. The half-life in soils has been found to be about 9-15 years in the surface layer and 25–100 years at depth.

However, the presence of other pollutants in soil (e.g. oil products) may lead to dissolution of dioxins and thus to their more intensive migration into the inner layers. Some species of bacteria and fungi can degrade PCDDs and PCDFs, but this process is very slow. Their degradation is more rapid during photolysis.

Dioxins can enter the human body through inhalation of contaminated air, ingestion of contaminated food and skin contact with contaminated soil and other substances. Upon ingestion, most dioxins are absorbed through the gastrointestinal tract, are incorporated into biochemical processes, and accumulate primarily in adipose tissue and the liver. Dioxins are extremely stable, with a half-life of about ten years.

Mechanism of biological activity of dioxins is similar to the mechanism of action of many hormones-regulators of genome activity. The toxic effects of dioxins on the living organism are based on their interaction with a special cellular protein, Ah receptor (AhR), often referred to as dioxin receptor (DR), which controls the accumulation of non-specific monooxidases, cytochromes P-450 A1 and P-450 A2 in the body. Only 2,3,7,8-substituted PCDDs and PCDFs can exert their hormone-like toxic effects via the dioxin receptor system³. Disruption of regulatory mechanisms leads to weakening of the body's defenses against pollutants and suppression of the immune system.

Dioxins adversely affect the endocrine, nervous, cardiovascular systems, liver function and hematopoietic organs. In addition, the accumulation of dioxins increases the sensitivity of the human body to any anthropogenic action of environmental factors.

For toxicological evaluation of object contamination with dioxins a system of equivalent toxicity coefficients (TE) has been developed, i.e. determination of toxicity of each of dioxin congeners to toxicity of the most dangerous congeners – 2,3,7,8-TCDD. There are two basic systems of dioxin toxicity equivalents shown in Table 1: I-TEQ (DE) and WHO-TEQ (WHO-DE), which calculate the total toxic equivalent of any mixture of dioxins by multiplying the factor values by the concentration of each component of the mixture (Table 1).

³ Toxicological profile for chlorinated dibenzo-p-dioxins. U.S. Department of health and human services. Agency for toxic substances and disease registry. Atlanta, GA, 1998. 721 p.

Table 1. Toxic equivalents of PCDD and PCDF

PCDD/PCDF	I-TEF	WHO-TEF
2,3,7,8-TCDD	1.0	1.0
1,2,3,7,8-PeCDD	0.5	1.0
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	0.01
OCDD	0.001	0.0001
2,3,7,8-TCDF	0.1	0.1
1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	0.05
2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	0.5
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	0.01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	0.01
OCDF	0.001	0.0001

In 2015 the hygienic regulation in soil for dioxins in Russia was revised and a decision was made regarding its relaxation (in 1986 the MPC value for dioxins in soil was 0.33 ng/kg – USSR MoH of 08.09.86 No. 697 DSP). At a meeting of the Rospotrebnadzor commission on rationing the MPC of dioxins in the soil of a residential area equal to 50 ng/kg was approved on 15 September 2015⁴. Norms adopted in foreign countries recommend the following criteria for normalization of dioxin content in soils [4] (Table 2).

Table 2. Hygiene regulations for PCDD and PCDF in soil, ng/kg

Type of soil	Russia	Germany	Italy	Netherlands	USA
Soil of agricultural land	5	5	10	10	27
Soil of populated areas	50	40	50	45	–
Industrial site soil	1000	–	250	–	1000

Methods of analysis

The main requirement for the determination of PCDDs and PCDFs is to determine the content of all 17 toxic congeners of PCDDs and PCDFs in the matrix.

Numerous international methods have been established for the determination of trace amounts of PCDDs and PCDFs in different matrices. They are based on effective purification of the substances to be determined from the background and include extraction, chromatographic separation and the instrumental analysis itself. In Russia, however, there are a limited number of laboratories capable of qualitative analysis of various environmental objects for PCDDs and PCDFs, as this type of analysis is extremely expensive, labour-intensive and time-consuming.

⁴ SanPiN 1.2.3685 – 21 Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans, approved by the resolution Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 2 dated 28.01.2021. (In Russ.) [СанПиН 1.2.3685 – 21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания, утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 года № 2]. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (accessed: 07.03.2022).

Literature analysis showed that for the determination of dioxins in soil, they are extracted by extraction in distillation-extraction apparatus (Soxhlet apparatus) with organic solvents, purified by TFE method and after concentrating the eluate, examined by high- and low-resolution gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) [8]. Due to the hydrophobic nature of PCDD and PCDF, almost any solvent not miscible with water can be used for extraction. The most commonly used solvents are acetone, methylene chloride, isopropyl alcohol and hexane, which due to its low polarity extracts the least number of polar impurities.

Extraction of solid samples in Soxhlet apparatuses can take from 5 to 24 hours, the organic solvents used are quite expensive and some of them are toxic. As an alternative to traditional Soxhlet extraction, extraction using supercritical water at 250°C and 50 atm is considered [9]. This method is considered to be simple, cheap, requires a minimum amount of time, and achieves an extraction rate of 80–85% of the target components from the soil [10; 11].

Recently, the accelerated solvent extraction (ASE) method has been quite common for the extraction of superecotoxicants from solid samples [12]. The relative simplicity of the equipment and the high promise have led to the rapid development of this method.

The literature [13] describes the technique and methodology of supercritical fluid extraction (SFE) for the extraction of PCDDs and PCDFs from solid samples and the advantages over conventional methods of contaminant extraction from the matrix.

Among other things, in order to increase the completeness of PCDD and PCDF extraction from solid samples, ultrasonic vibrations are applied to the sample [14].

The extracts obtained after extraction from soil samples need to be cleaned from the accompanying substances that may interfere with further instrumental analysis. For this purpose, various methods are used, recently consisting in multistage purification using chromatographic sorbents (aluminium oxide, silicagell, celites, etc.), which ensures extraction of all substances from PCDD and PCDF groups with content of the most toxic 2,3,7,8-TCDD at 1-10 ppt [12]. In the literature, purification of samples using activated carbon chromatography, which serves mainly to remove non-polar compounds, is also considered to be effective.

The choice of solvent for elution of interfering impurities depends on the properties of the sorbents. Mainly hexane, a mixture of methylene chloride with hexane, acetone, toluene are used for elution of PCDD, PCDF.

After purification of extracts on chromatographic columns with silica gel activated by alkali and acid, fractionation on column with aluminium oxide is carried out and then dioxins are concentrated on columns with activated carbon. The concentration technique is well developed. There are many techniques that describe the extraction and purification procedures [15–19].

Recently more automated high-speed systems combining extraction and purification of samples for determination of PCDDs, PCDFs are appearing. Automated systems such as ASE-150 and ASE-350 System (Dionex, Sunnyvale,

CA, USA) [13]; Total-Rapid-Prep™ (FMS, Waltham, MA, USA); Speed Extractor E-916 and E-914, Syncore Polyvap (Bünchi Labortechnik AG, Switzerland) [21]; Supelco Prep System (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) [21]; Automated Sample Preparation Device SPD-600 (Ehime University and Miura Co, Ltd) [22] are mainly used for sample preparation in PCDD and PCDF analysis [23].

Reliable identification of isomeric dioxins and dibenzofurans is possible only in case of complete separation of the controlled components and using isotope-labeled (^{13}C) standards and mass spectrometer as a detector [9].

The most universal method for the determination of PCDDs and PCDFs in soil samples is high and low resolution GC-MS [4].

Initially, low resolution GC-MS with quadrupole MS in the mode of selective detection of characteristic ions (SIM) was used for PCDD and PCDF analysis. The method has good sensitivity for dioxins, however, a multi-step careful sample cleaning procedure is necessary. Ionisation in this method can be carried out in two ways: electron impact and chemically (with the formation of positive or negative ions) [24].

Electron impact (EI) ionisation of a sample achieves a detection limit of 1–10 pg for TCDD and TCDP and 10–50 pg for OCDD and OCPD [25]. In chemical ionization of positive ions, their formation occurs under milder conditions than in ED, and the ions formed are more stable and the spectra are simpler [30]. Chemical ionisation of negative ions (CIC OI) provides a 1–2 order of magnitude increase in sensitivity compared to ED and chemical ionisation of positive ions [18].

Currently, the best methods for determination of PCDDs and PCDFs in complex matrices based on high resolution GC-MS [9; 12]. At 5000–10000 resolution a sensitivity of about 10–200 fg is achieved [25].

PCDD and PCDF isomers are separated on capillary columns made of fused quartz or glass [31] with the length up to 60 m. Different materials are used as fixed phase: strongly polar phase – Silar 10C, SP-2330, SP-2331, SP-2340, CPSil 88 and non-polar phase – DB-5, DB-17, DB-225, SE-54, etc [27; 28]. Different temperature regimes are also selected for best separation: from 120 to 270 °C at 20 °C/min, then from 240 to 270 °C at 2 °C/min and holding at this temperature until all congeners leave the column [4].

PCDDs and PCDFs are identified by the retention times and peak intensities of the characteristic ions of the identified congeners and the carbon isotope-labelled (^{13}C) standards of PCDD and PCDF. Quantitative measurements are made using peak area ratios of the congener being identified to the corresponding peak area of the [^{11}C] isotopically-labelled imitator standard. The use of labelled standards, which provide an assessment of the separation efficiency and high accuracy of dioxin determination, is very important for dioxin concentrations of ppt and below.

Dynamics of PCBDD and PCDF distribution in Moscow

The study of PCDD and PCDF pollution in the soil cover started quite a long time ago, but the literature data on their content in the soil of large cities, and especially in Moscow, are very scarce [4]. There are very few data [4].

In 2005, the Department of Nature Management and Environmental Protection of Moscow State Unitary Enterprise “Mosecomonitoring” for the first time carried out a study of soils in the zone of influence of industrial enterprises and other sources for PCBDD and PCDF content [30]. In total, PCBDD and PCDF concentrations were determined at 21 sampling sites. Concentrations of PCDDs and PCDFs ranged from 0.27 to 57.3 ng DE/kg.

Further, a group of scientists [30] continued studies of PCDD and PCDF content in soils of different functional zones of Moscow. The average equivalent toxicity of the sum of PCDDs and PCDFs ranged from 0.27 to 48.66 ng DE/kg.

In addition to the listed works on determination of PCDDs and PCDFs in soils of Moscow, a study was conducted in 2012: the average value of PCDD and PCDF concentration in soils of Moscow was 5.5 ng DE/kg (observed levels are in the range from 0.35 ng DE/kg to 23.4 ng DE/kg) [31]. Pollution in residential areas is almost twice as low as in areas adjacent to industrial zones.

Exposure assessment using biotesting methods

At present, the most common method of assessing the environmental hazard of a particular pollutant is to determine it by chemical-analytical methods and compare the results with the established MPC values. The methods described above are rather labour-intensive, require expensive equipment, are material-intensive and are not always highly sensitive. It is known that it is not the levels of pollutants and exposures themselves that are important, but the biological effects they may cause, of which even the most precise chemical or physical analysis cannot provide information [32].

Many living organisms perceive fairly low concentrations of pollutants from anthropogenic sources and can be used to assess their toxic effects on biological systems.

Biotesting, along with the methods of analytical chemistry, has gained widespread use in international soil quality control in the last decade. In recent years, experience has been accumulated in this area in Russia as well [33–35]. Biotesting is usually understood as a procedure for establishing the toxicity of the environment using test objects [36]. There are several main approaches to biotesting: biochemical, genetic, morphological, physiological, biophysical and immunological [32].

Biotesting is based on the investigation of the efficiency of homeostatic mechanisms of living organisms, which are able to detect the presence of a stressor earlier than many commonly used methods [37].

Biotesting methods need to be informative, highly sensitive and operate in real time [38]. The greatest information in biotesting is obtained by assessing such parameters of organisms as survival, growth and fecundity. Test methods generally do not require complex sample preparation techniques such as separation and concentration [39]. The subject is extracted from the habitat, and the necessary analysis is carried out under laboratory conditions [32].

While animal experiments carried out to detect the carcinogenic properties of any chemical are a complex and costly scientific study, genetic tests, using a wide range of organisms, are considered to be more economical and allow results to be obtained within a few weeks [40].

Microorganisms are the most responsive to changes in the environment. Their development and activity are directly related to the composition of organic and inorganic substances in the environment, as microorganisms are capable of degrading compounds of natural and anthropogenic origin [32].

Algae underpin ecosystems and can therefore be used as bioindicators [36–38]. In [41], the possibility of using microalgae as a bioindicator species as an early detection of POPs in polluted sites was evaluated.

The alga *Chlorella vulgaris* is also a convenient object. It was in studies on this object in the 1960–1970s that N.P. Dubinin and V.A. Shevchenko established the main regularities of the mutation process dynamics in populations, which proved to be true also for other plant and animal species [40]. The studies were carried out on algae isolated from soil samples collected at the contrasting levels of radioactive contamination from the territory of the East Ural Radioactive Track. Already in the first experiments, it was shown that the frequency of visible mutations in *Chlorella vulgaris* increases with increasing radionuclide concentration in soil.

Most often for the detection of mutagenic chemical compounds are used tests using bacteria. This group of tests as a whole and most tested. Unlike eukaryotic organisms, in which DNA is organized into complex chromosomal structures, bacteria have only one circular DNA molecule, which is easily accessible to chemicals that penetrate through the cell wall [32]. A convenient test object is micromycetes, which develop directly in the soil.

Bacterial tests can be used to detect mutagenic metabolites in biological fluids of animals or humans exposed to chemicals. Thus, tests on bacteria, while not excluding or replacing studies on other objects, form their logic.

A test organism is considered to be a successful bio-indicator if the condition of obtaining information on the possible hazard of exposure before an environmentally significant disturbance occurs is fulfilled [40]. The use of plants to assess the presence of a wide range of pollutants, especially toxicants directly acting on target cell structures, is effective due to the fact that it is plants that constantly respond to a huge number of environmental parameters with high sensitivity. Due to their attached lifestyle, plants are constantly exposed to pollutants in the environment and characterize the ecological situation in their place of growth in the best possible way. Being at the base of the food chains, plants are exposed to toxic agents earlier than organisms of higher trophic levels. Plants have the ability to efficiently concentrate and transform substances in the environment, which increases the sensitivity and informational value of their use for environmental quality control. Higher plants can be effectively used in the field to assess air, water and soil quality and to evaluate the effects of chronic exposure.

Higher plant test systems can be combined with microbiological tests to detect promutagens [40]. Chromosomes and cell nucleus of plants, mammals and other eukaryotes are similar in their structure, functions, life cycle and react to the impact of mutagens in a similar way. Plant test systems can be used effectively under a wide range of environmental conditions.

Among higher plants, one of the most promising objects for the study of mutagenic factors is barley (*Hordeum vulgare* L.). Barley is an important agricultural crop that is widespread throughout the world. It can rightly be called one of the most genetically studied plants, intensively used in a variety of studies. The genus *Hordeum* belongs to the cereal family and differs from the other genera in the structure of the spike: its spikelets are monoecious. Most barley species are diploid ($2n = 14$), some species are tetraploid ($2n = 28$) or hexaploid ($2n = 42$). Cultured barley is diploid with seven pairs of chromosomes. The highest number of chromosomes and diploid structure facilitate genetic research, so barley often serves as a model plant. To date, several hundred genes with a variety of properties and characteristics have been characterized in barley.

Experiments on seed germination under the influence of pollutants such as oil are known in the literature [42–44]. The effects of dioxins on seed germination, and especially the mechanisms of their low concentrations, are scarce in the literature.

For cytological studies, it is very important to understand which organs and tissues of the plant are required. For example, mitosis can be observed in the meristems of young fast-growing plant roots, in the main roots of germinated seeds, and in the growth cones of the stem. Usually, to study mitosis and count the number of chromosomes in somatic tissues of plants, one prefers to work with young roots, because they have an active cell division zone (root growth cone) directly under the sheath and the division figures are conveniently oriented here [32].

The sustained interest in studying the mechanisms of toxic effects of pollutants on plants using the root apical meristem as a model system is due to the fact that it is the root tips that first directly contact with various chemicals in the soil [45]. The classic method for investigating the toxic effects of environmental pollutants on living objects is the onion root cell test (*Allium*-test), which allows a relatively rapid screening of chemical compounds with an indication of their potential biological risk [45]. An important advantage of this method of cytogenetic monitoring is the good correlation of its results with those obtained by other test systems [45].

A number of studies [46–49] have revealed that onion *Allium cepa* is a preferred test object for assessing the toxicity of anthropogenic xenobiotics.

The problem of low-dose ecotoxicometry of PCDDs and PCDFs has long been studied at the A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences. A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution [50–52]. Dioxins in tissues of animals (rodents and fish) and in media (soil, sediments and snow) from biotopes near the Salarevo solid waste landfill were determined by GC-MS. Equivalent toxicity coefficient values were found to be

many times higher than the values at which the so-called dioxin pathology occurred in the population of dioxin-contaminated areas of the ecocide in Vietnam. Effects of contaminants on animals were reflected in the results of the study and evaluation of manifestations of toxic effects at the level of the whole organism and chromosome apparatus in relation to the parameters of dioxin and/or 2,3,7,8-TCDD content in their tissues and natural habitat. It has been established that the changes in the cytogenetic status in fish and rodents, morphometric parameters of the age development dynamics, appearance of individuals with abnormal structures among them corresponded to the pathological processes and states determining the pathogenesis of dioxin pathology.

To establish the permissible total doses of PCDDs and PCDFs coming from the environment and not affecting human health for a long time, studies [53] of dioxin contamination levels of food products produced in the Irkutsk region were conducted and the degree of PCDD and PCDF cumulation was studied. A high degree of cumulation of xenobiotics in lipid samples was revealed. The maximum total concentration of dioxins was found in fat-containing products. Potential intake of dioxins with food was calculated on the basis of dioxin levels in each specific product, taking into account its share in the daily diet of an adult. The total dose of dioxins entering the body with food was determined by summing up the amount found in individual foods that make up the average diet of the population.

Estimations of daily intake of dioxins showed that the dose of 26.2 pg/kg/day with a very limited set of foodstuffs was 2.6 times higher than the permissible daily dose of 10 pg/kg, determined for humans weighing 60 kg (on the basis of WHO recommendations). At the same time, 98.6% of xenobiotics entered with food, only 1.4% with water [53]. The high levels of dioxins detected in fish – up to 46 ng/kg – indicated a high risk to populations whose diets are dominated by fish. On the basis of calculations of daily intake of dioxins in the human body, risk groups can be distinguished: the population whose daily diet is dominated by fish and other animal products. A conclusion was made and a recommendation to limit the use of 2,4-D as an herbicide in the Irkutsk region was given.

From 2003 to 2012 a longitudinal cohort study was conducted in Chapaevsk to assess the impact of dioxins and other POPs on physical and sexual development of boys [54]. For this purpose, a cohort of 516 families was formed and annual observation of a set of children's health indicators over a long period of time was organized using standardized methods of examination. The examination of children included biomonitoring of POP in diagnostic biosubstrates (whole blood, serum, blood clots – blood cells, urine, breast milk). The availability of such a databank makes it possible to carry out additional studies, to assess the impact of new risk factors on a particular health indicator long after the samples have been collected. The correlation between serum levels of PCDDs/PCDFs, PCBs and physical development indices in 8–9 year old boys has been established.

According to the results of studies [55] of the content in soil and needles of pine trees *Pinus sylvestris* L. growing near JSC Ufahimprom, it was concluded that the needles of Scots pine have a large accumulating capacity; with the accumulation

of toxic substances morphological changes were observed. The trees showed a decrease in the length and weight of the needles, the appearance of pitting and apical necrosis.

A team of authors [56] proposed an enzymatic method for PCDD and PCDF determination, which can be used for combined or preliminary express analysis of environmental samples. The method involved a combination of a physico-chemical sensor (sensor) and a biosensor, called a biosensor. However, the method has a disadvantage – the enzyme is often denatured by chemical reagents used in sample processing. Therefore, the choice of an enzyme in the design of the biosensor was a key task. Biotesting of prepared model samples was carried out. Before that, the results of enzyme biotesting showed that this control method is not informative for xenobiotics which do not have acute toxicity but are carcinogens and mutagens, such as dioxins. In this work, a modified method combining the techniques used in the manufacture of overhead membranes and described for single-use biosensors based on planar electrodes was developed.

Toxicity assessment based on biotesting of water samples [56; 57] containing dioxins underestimates their hazard when calculating the dioxin equivalent because the peculiarities of dioxin metabolism in living organisms are not taken into account. The toxicity coefficient system does not include the potential for further conversions of dioxins, which occur through the action of enzymes directly in cells, where less toxic compounds may become more toxic from carcinogenicity and mutagenicity standpoints. The fact that dioxins, in addition to their direct action, also have a synergistic effect, reinforcing the toxic effects of other substances, is also not taken into account. Model samples simulating background content of phenol in Kuibyshev reservoir have been chosen as objects of research. They were prepared from distilled water, copper nitrate and phenol. Biotesting was carried out on slipper infusoria *Paramecium caudatum* and daphnia *Ceriodaphnia affinis*. Qualitative reaction for the content of dioxin compounds in the model solution was carried out with nitrogen-based indicators. Cytochrome P4501A1 enzyme isoforms were used in studies of biochemical decomposition of dioxins. At the end of the experiment and processing of the results, it was concluded that in determining the hazard of xenobiotics to living organisms, we should move away from the definition of acute toxicity and focus on the processes triggered by enzyme systems when they enter the cell of living organisms.

A team of foreign authors [58] carried out a toxic evaluation of PCDDs and PCDFs from sewage sludge compost using luminescent bacteria and a genotoxic evaluation of sewage and sewage sludge using the Vitotox™ test. In addition to these studies, dioxin-like effects on the endocrine system were studied using yeast cells. It turned out that not all of the biotests used were approved in the study, as the compost component itself, which is rich in organic nutrients, reduced the sensitivity of the biotests.

The toxicity of dioxins has been investigated by evaluating the effectiveness of advanced wastewater treatment technologies to reduce contaminants [59]. Dioxin-like effects have been investigated on pollutant-exposed fish using in vivo

determination of the enzyme activity of ethoxyresorufin-O-diethylase (EROD). It has been shown that toxicity to fish can be reduced by additional treatment of wastewater. Thus, it has been shown that the side effects of pollution in fish can be predicted by biotests.

A method has been proposed to assess the toxicity of paper products, food products and soil based on the structural and physiological state of microalgae cell populations [60]. Cultures of the freshwater green chlorococcal microalga *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. were used as test objects, as well as bottom soil using cultures of *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. and the marine diatom microalga *Thalassiosira weissflogii* (Grunow) Fryxell et Hastle as test objects. Comparing the results obtained for the toxicity assessment of paper products using a culture of the microalgae *S. quadricauda* according to its structural and physiological condition with the data of hygienic examination of paper samples, it was concluded that the use of microalgae cultures for toxicological assessment of paper intended for hygienic purposes is more promising and economical (accessibility of the test object, ease of its maintenance and cultivation, cheapness of the method) [61–63].

Conclusion

The analysis of publications of Russian and foreign authors showed that the present methods of biotesting are in fact untested for dioxins. There is an idea to use representatives of three main links in the food chain of biogeocenoses as test-cultures for express analysis: producers, consumers and decomposers. In order to quickly establish toxicological effect of POPs in soil, we propose to use some biotesting methods, including test organisms that represent main trophic levels of ecosystems. Thus, experiments for establishment of MPC values of dioxins were already conducted on consumes. The authors have proposed biotesting methods using producers and decomposers [61–63].

It should be noted that the existing methods of environmental monitoring, both physico-chemical and biological, have their limitations. Both these methods are complementary. Accordingly, a combination of them is necessary for a reliable assessment of the state of the environment. As biotesting has recently emerged as a modern scientific and applied field, its application to assess the toxic effects of PCDDs and PCDFs is relevant.

Список литературы

- [1] Агапкина Г.И., Чиков П.А., Шелепчиков А.А., Бродский Е.С., Фешин Д.Б., Буханько Н.Г., Балаишова С.П. Полициклические ароматические углеводороды в почвах Москвы // Вестник МГУ. Серия 17: Почвоведение. 2007. № 3. С. 38–46.
- [2] Агапкина Г.И., Бродский Е.С., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б., Ефименко Е.С. Полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны в почвах г. Москвы // Вестник МГУ. Серия 17: Почвоведение. 2010. № 3. С. 16–20.
- [3] Черемных Е.Г., Май Тху Лан. Биотестирование риса из Вьетнама на приборе БиоЛаТ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2011. № 4. С. 65–71.

- [4] *Майстренко В.Н., Н.А. Клюев*. Эколого-аналитический мониторинг органических загрязнителей. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 323 с.
- [5] *Фёдоров Л.А.* Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспектива. М.: Наука, 1993. 266 с.
- [6] *Поздняков С.П., Румак В.С., Софронов Г.А., Уманова Н.В.* Диоксины и здоровье человека. СПб.: Наука, 2006. 273 с.
- [7] *Цибульский В.А.* Факторы эмиссии и выбросы ПХДД/ПХДФ при сжигании органического топлива // Экологическая химия. 2003. Т. 12, № 1. С. 13–22.
- [8] *Dongli W., Guibin J., Zongwei C.* Method development for the analysis of polybrominated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and diphenyl ethers in sediment samples // *Talanta*. 2007. Vol. 72, no. 2. P. 668–674.
- [9] *Другов Ю.С., Зенкевич И.Г., Родин А.А.* Газохроматографическая идентификация загрязнений воздуха, воды, почвы и биосред. М.: БИНОМ ЛЗ, 2005. 752 с.
- [10] *Клюев Н.А., Шелепчиков А.А., Сойфер В.С., Бродский Е.С.* Метод проточного экстрагирования из твердых веществ // Журнал аналитической химии. 2003. Т. 58. № 7. С. 707–708.
- [11] *Шелепчиков А.А.* Изомерноспецифический анализ и детоксикация полихлорированных дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов в условиях субкритической экстракции: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.02. М.: Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, 2001. 22 с.
- [12] *Клюев Н.А., Курляндский Б.А., Ревич Б.А.* Диоксины в России. М.: ЮНЕП, 2001. 212 с.
- [13] *Cleres S.* Parallel pressurized solvent extraction of PCDD/F, PBDE and PFC from soil, sludge and sediment samples // 29th International symposium on halogenated persistent organic pollutants. Beijing, China. 2009.
- [14] *SPME Solid Phase Microextraction Application Guide and additional SPME literature* 4th ed. SUPELCO, USA. 2004.
- [15] *Beck H., Eckhart K., Kellert M., Mathar W., Rühl, Wittkowski R.* Levels of PCDFs and PCDDs in samples of human origin and food in the Federal Republic of Germany // *Chemosphere*. 1987. Vol. 16, no. 8/9. P. 1977–1988.
- [16] *Smith L.M., Stalling D.L., Johnston J.L.* Determination of part-per-trillion levels of polychlorinated dibenzofurans and dioxins in environmental samples // *Analytical Chemistry*. 1984. Vol. 56, no. 11. P. 1830–1842.
- [17] *Patterson D.G., Alexander L.R., Gelbaum L.T., O'Connor R.C., Maggio V., Needham L.L.* Synthesis and relative response factors for the 22 tetrachlorodibenzo-p-dioxins (TCDD) by electron-impact ionization mass spectrometry // *Chemosphere*. 1986. Vol. 15. P. 1601–1604.
- [18] *Nygren M.* Analysis of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in human adipose tissue and blood: Ph. D. Thesis. University of Umea, Sweden, 1988. 54 p.
- [19] *Lindström G., van Barel B., Järemo M., Karlsson L., Kappe C., Harden L.* The use of supercritical fluid extraction as a sample preparation method in the analysis of PCDD, PCDF and PCB in human tissue // *Organohalogen Compounds*. 1995. P. 23–27.
- [20] *Khan Z., Troquet J., Vachelard C.* Sample preparation and analytical techniques for determination of polyaromatic hydrocarbons in soils // *International Journal of Environmental Science Technology*. 2005. Vol. 5, no. 3. P. 275–286.
- [21] *Hölscher K., Maulshagen A., Shirkhan H., Lieck G., Behnisch P.A.* Automated rapid analysis for dioxins and PCBs in food, feeding stuff and environmental matrices // *Organohalogen Compounds*. 2004. Vol. 66. P. 117–125.
- [22] *Aries E.* The Supelco «dioxin prep system-florisil version»: a multi-layer silica gel column connected in series to an activated florisil micro-column for rapid determinations

- of PCDD/Fs and PCBs in environmental samples // 3rd National Meeting on Environmental Mass Spectrometry. 2006.
- [23] *Белинская Е.А., Зыкова Г.В., Семёнов С.Ю., Финаков Г.Г.* Применение автоматизированной системы подготовки проб для определения полициклических углеводородов в почве методом хромато-масс-спектрометрии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2012. № 3. С. 26–31.
- [24] *Clement R.E., Tosine H.M.* Gas chromatography-mass spectrometry determination of dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans // *Mass Spectrometry Reviews*. 1988. Vol. 7, no. 6. P. 593–636.
- [25] *Rappe C., Nygren M., Buser H.-R.* Applications of new mass spectrometry techniques in pesticide chemistry // J. Wiley. 1987. P. 60–83.
- [26] *Choudhry G.C., Webster G.R.B.* Environmental photochemistry of polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) and dibenzo-p-dioxins (PCDDs): A review // *Toxicological and Environmental Chemistry*. 1985. Vol. 14. P. 43–61.
- [27] *Harden L.A., Garrett J.H., Solch J.G., Tiernan T.O., Wagel D.J., Taylor M.L.* Results of comparative evaluations of various fused silica capillary GC columns for retention of tetrachlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans // *Chemosphere*. 1989. Vol. 18. P. 85–91.
- [28] *Schubert R.* Organohalogen compounds // 10th Intern. Meeting «Dioxin-90». ERPI Seminar: Short papers / Ed. O. Hutzinger, H. Fiedler. Bayreuth: Ecoinforma press, 1990. Vol. 2. P. 211–214.
- [29] *Шелепчиков А.А., Бродский Е.С., Фешин Д.Б., Жильников В.Г., Мир-Кадырова Е.Я., Балашова С.П.* Полихлорированные дибензо-п-диоксины, дибензофураны и бифенилы в почвах Москвы // Почвоведение. 2011. № 3. С. 317–328.
- [30] *Агапкина Г.И., Ефименко Е.С., Бродский Е.С., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б.* Приоритетные органические загрязнители в почве дендропарка ботанического сада МГУ им. М.В. Ломоносова // Вестник МГУ. Серия 17: Почвоведение. 2012. № 4. С. 42–49.
- [31] *Белинская Е.А., Блинков А.А., Зыкова Г.В., Семёнов С.Ю., Смирнов В.Н., Финаков Г.Г.* Мониторинг загрязнения почв г. Москвы полихлорированными дибензо-п-диоксинами, дибензофуранами, бифенилами // Проблемы региональной экологии. 2013. № 6. С. 140–147.
- [32] *Мелехова О.П.* Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / под ред. О.П. Мелеховой, Е.И. Егоровой. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 288 с.
- [33] *Журавлева С.В., Панкина А.В., Сахарова Т.Г.* Использование биологического тестирования для эколого-токсикологической оценки объектов окружающей среды // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2013. № 10. С. 39–43.
- [34] *Ляшенко О.А.* Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды. СПб.: СПб ГТУРП, 2012. 67 с.
- [35] *Бубнов А.Г., Буймова С.А., Гуцин А.А., Извекова Т.В.* Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды / под общ. ред. В.И. Гриневича // ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2007. 112 с.
- [36] *Бардина Т.М., Чугунова М.В., Бардина В.И.* Изучение экотоксичности урбаноземов методами биотестирования // Живые и биокосные системы. 2013. № 5. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-5/article-8>.
- [37] *Васильев А.В., Заболотских В.В., Тупицына О.В., Штеренберг А.М.* Экологический мониторинг токсического загрязнения почвы нефтепродуктами с использованием

- методов биотестирования // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 4. С. 242–250.
- [38] Маторин Д.Н., Осипов В.А., Куликова Н.А., Алексеева А.А. Биотестирование водной среды с использованием люминесценции водорослей // Биотехнология, экология, охрана окружающей среды: сб. научн. трудов / под ред. А.П. Садчикова, С.В. Котелевцева. М.: Изд-во ООО «Графикон-принт», 2005. С. 71–74.
- [39] Евгеньев М.И. Тест-методы и экология // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 11. С. 29–34.
- [40] Гераськин С.А., Серапульцева Е.И. Биологический контроль окружающей среды: генетический мониторинг. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 208 с.
- [41] Torres M.A., Barros M.P., Campos S.C.G., Pinto E., Rajamani S., Sagre R.T., Colepicolo P. Biochemical biomarkers in algae and marine pollution: A review // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2008. Vol. 71. P. 1–15.
- [42] Донец Е.В. Влияние нефти на прорастание семян хвойных лесобразующих видов древесных растений подзоны южной тайги Омской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Омск: Изд-во ОмГПУ, 2009. 19 с.
- [43] Полонский В.И., Полонская Д.Е., Бородулина Т.С. Воздействие нефтезагрязнения почвы на прорастание семян салат // Вестник КрасГАУ. Экология. 2013. № 2. С. 72–76.
- [44] Шарипова А.К., Донец Е.В. Влияние нефтяного загрязнения на прорастание семян ели сибирской (*Picea Obovata* Lebed.) // Вестник Омского ГАУ. Биологические науки. 2017. № 1 (25). С. 65–70.
- [45] Толкачева Т.А., Концевая И.И. Изучение протекторных свойств водного экстракта куколок дубового шелкопряда при цитотоксической активности ионов меди в Allium-тесте // Вестник ВДУ. 2012. Т. 70, № 4. С. 52–60.
- [46] Довгалюк А.И., Калиняк Т.Б., Блюм Я.Б. Оценка фито- и цитотоксической активности соединений тяжелых металлов и алюминия с помощью корневой апикальной меристемы лука // Цитология и генетика. 2001. Т. 1, № 1. С. 3–9.
- [47] Евсеева Т.И., Майстренко Т.А., Гераськин С.А., Белых Е.С., Казакова Е.В. Токсические и цитогенетические эффекты, индуцируемые у *Allium cerea* L. низкими концентрациями Cd и ²³²Th // Цитология и генетика. 2005. № 5. С. 73–80.
- [48] Калаев В.Н., Карпова С.С. Цитогенетический мониторинг: методы оценки загрязнения окружающей среды и состояния генетического аппарата организма. Воронеж: ВГУ, 2004. 80 с.
- [49] Шутова Ю.Г. Оценка чувствительности *Allium cerea* и *Lepidium sativum* с использованием ксенобиотиков адамантового ряда // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. 2010. № 6. С. 253–259.
- [50] Румак В.С., Умнова Н.В., Левенкова Е.С., Турбабина К.А., Пивоваров Е.А., Шелечиков А.А., Павлов С.Д. Диоксины в среде и организме животных вблизи полигона отходов производства и потребления: к методологии оценки риска для здоровья населения // Экология человека. 2017. № 10. С. 9–15.
- [51] Румак В.С., Умнова Н.В. Диоксины и безопасность биосистем: результаты натуральных исследований // Жизнь Земли. 2018. Т. 40, № 3. С. 308–323.
- [52] Попов В.С., Умнова Н.В., Румак В.С. Анализ биоаккумуляции рыжей полевкой конгенеров из смесей диоксинов, загрязняющих среду: к методологии нормирования // Экосистемные услуги и менеджмент природных ресурсов: сб. трудов конф. Тюмень. 2020. С. 198–201.
- [53] Николаева Л.А., Игнатьева Л.П., Савченков М.Ф. Факторы риска загрязнения окружающей среды диоксиносодержащими соединениями // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 1 (322). С. 39–43.

- [54] Ревич Б.А., Сергеев О.В., Шелепчиков А.А. Инновационные эколого-эпидемиологические технологии оценки влияния диоксинов на здоровье детей // Экология человека. 2012. № 8. С. 42–49.
- [55] Хакимова А.А., Кулагин А.А., Амирова З.К. Об особенностях развития сосны обыкновенной в условиях загрязнения окружающей среды стойкими органическими загрязнителями в пределах г. Уфы // Экология урбанизированных территорий. 2018. № 3. С. 6–12.
- [56] Гумерова Г.И., Гоголь Э.В., Васильев А.В. Новый подход к качественному и количественному определению диоксинов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 1 (6). С. 1717–1720.
- [57] Гумерова Г.И., Гоголь Э.В., Тунакова Ю.А., Савинов Д.Г. Проблемы определения экотоксичности проб, содержащих диоксины // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 16. С. 143–144.
- [58] Karanen A., Vikman M., Rajasärkkä J., Virta M., Itävaara M. Biotests for environmental quality assessment of composed sewage sludge // Waste Management. 2013. Vol. 33. P. 1451–1460.
- [59] Maier D., Benisek M., Blaha L., Dondero F., Giesy J.P., Köhler H.-R., Richter D., Scheurer M., Triebkom R. Reduction of dioxin-like toxicity in effluents by additional wastewater treatment and related effects in fish // Ecotoxicology and environmental safety. 2016. Vol. 132. P. 47–58.
- [60] Ипатов В.И., Дмитриева А.Г., Прохоцкая В.Ю. Оценка токсичности бумажных изделий, пищевых продуктов и грунта методом биотестирования с использованием микроводорослей // Поволжский экологический журнал. 2013. № 4. С. 394–401.
- [61] Белинская Е.А., Мазина С.Е., Зыкова Г.В., Зволинский В.П. Биотестирование стойких органических загрязнителей и полициклических ароматических углеводородов // Успехи современной науки. 2017. Т. 5, № 1. С. 35–43.
- [62] Белинская Е.А., Мазина С.В., Пичугина Е.К., Зыкова Г.В. Влияние стойких органических загрязнителей и бенз[а]пирена на прорастание семян ячменя обыкновенного (*HORDEUM VULGARE L*) // Токсикологический вестник. 2020. № 4 (163). С. 44–48.
- [63] Пичугина Е.К., Базарова Е.П., Левашова Е.А., Мазина С.Е., Новиков С.В. Влияние природных железосодержащих минералов на токсическое действие 2,3,7,8-ТХДД и бенз[а]пирена на примере бактерий *DESULFOVIBRIO SP.* и *ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS* // Экологические системы и приборы. 2020. № 9. С. 15–22.

References

- [1] Agapkina GI, Chikov PA, Shelepchikov AA, Brodsky ES, Feshin DB, Bukhanko NG, Balashova SP. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the soils of Moscow. *Bulletin of Moscow State University. Series 17: Soil science.* 2007;(3):38–46. (In Russ.)
- [2] Agapkina GI, Brodsky ES, Shelepchikov AA, Feshin DB, Efimenko ES. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in soils of Moscow. *Bulletin of Moscow State University. Series 17: Soil science.* 2010;(3):16–20. (In Russ.)
- [3] Cheremnykh EG, Mai Thu Lan. Biotesting of rice from Vietnam on the BioLat device. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety.* 2011;(4):65–71. (In Russ.)
- [4] Maistrenko VN, Klyuev NA. *Ecological and analytical monitoring of organic pollutants.* Moscow: BINOM Publ., Knowledge Laboratory; 2004. 323 p. (In Russ.)
- [5] Fedorov LA. *Dioxins as an environmental hazard: retrospective and perspective.* Moscow: Nauka Publ.; 1993. 266 p. (In Russ.)
- [6] Pozdnyakov SP, Rumak VS, Sofronov GA, Umanova NV. *Dioxins and human health.* St. Petersburg: Nauka Publ.; 2006. 273 p. (In Russ.)

- [7] Tsubulsky VA. Emission factors and releases of PCDD/PCDF from fossil fuel combustion. *Ecological chemistry*. 2003;12(1):13–22. (In Russ.)
- [8] Dongli Wang, Guibin Jiang, Zongwei Cai. Method development for the analysis of polybrominated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and diphenyl ethers in sediment samples. *Talanta*. 2007;72(2): 668–674.
- [9] Drugov YuS, Zenkevich IG, Rodin AA. *Gas chromatographic identification of air, water, soil and biological pollution*. Moscow: BINOM LZ Publ.; 2005. 752 p. (In Russ.)
- [10] Klyuev NA, Shelepchikov AA, Soifer VS, Brodsky ES. Method of flow extraction from solids. *Journal of Analytical Chemistry*. 2003;58(7):707–708. (In Russ.)
- [11] Shelepchikov AA. *Isomer-specific analysis and detoxification of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans under subcritical extraction conditions* (abstract of Candidate of Chemical Sciences dissertation). Moscow, Institute of Problems of Ecology and Evolution. A.N. Severtsova RAN; 2001. 22 p. (In Russ.)
- [12] Klyuev NA, Kurlyandsky BA, Revich BA. *Dioxins in Russia*. Moscow: UNEP Publ.; 2001. 212 p. (In Russ.)
- [13] Cleres S. Parallel pressurized solvent extraction of PCDD/F, PBDE and PFC from soil, sludge and sediment samples. *29th International symposium on halogenated persistent organic pollutants*. Beijing: China; 2009.
- [14] SPME Solid Phase Microextraction Application Guide and additional SPME literature 4th ed. SUPELCO, USA; 2004.
- [15] Beck H, Eckhart K, Kellert M, Mathar W, Rühl, Wittkowski R. Levels of PCDFs and PCDDs in samples of human origin and food in the Federal Republic of Germany. *Chemosphere*. 1987;16(8/9):1977–1988.
- [16] Smith LM, Stalling DL, Johnston JL. Determination of part-per-trillion levels of polychlorinated dibenzofurans and dioxins in environmental samples. *Analytical Chemistry*. 1984;56(11):1830–1842.
- [17] Patterson DG, Alexander LR, Gelbaum LT, O'Connor RC, Maggio V, Needham LL. Synthesis and relative response factors for the 22 tetrachlorodibenzo-p-dioxins (TCDD) by electron-impact ionization mass spectrometry. *Chemosphere*. 1986;15:1601–1604.
- [18] Nygren M. *Analysis of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in human adipose tissue and blood*: Ph. D. Thesis. University of Umea. Sweden; 1988.
- [19] Lindström G, van Barel B, Järemo M, Karlsson L, Kappe C, Harden L. The use of supercritical fluid extraction as a sample preparation method in the analysis of PCDD, PCDF and PCB in human tissue. *Organohalogen Compounds*. 1995;23–27.
- [20] Khan Z, Troquet J, Vachelard C. Sample preparation and analytical techniques for determination of polyaromatic hydrocarbons in soils. *International Journal of Environmental Science Technology* 2005;5(3):275–286.
- [21] Hölscher K, Maulshagen A, Shir Khan H, Lieck G, Behnisch PA. Automated rapid analysis for dioxins and PCBs in food, feedingstuff and environmental matrices. *Organohalogen Compounds*. 2004;66:117–125.
- [22] Aries E. The Supelco «dioxin prep system-florisil version»: a multi-layer silica gel column connected in series to an activated florisil micro-column for rapid determinations of PCDD/Fs and PCBs in environmental samples. *3rd National Meeting on Environmental Mass Spectrometry*. 2006.
- [23] Belinskaya EA, Zykova GV, Semenov SYu, Finakov GG. Application of an automated sample preparation system for the determination of polycyclic hydrocarbons in soil by chromatography-mass spectrometry. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2012;(3):26–31. (In Russ.)
- [24] Clement RE, Tosine HM. Gas chromatography-mass spectrometry determination of dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans. *Mass. Spectrometry Reviews*. 1988;7(6):593–636.

- [25] Rappe C, Nygren M, Buser H-R. Applications of new mass spectrometry techniques in pesticide chemistry. *J. Wiley*. 1987:60–83.
- [26] Choudhry GC, Webster GRB. Environmental photochemistry of polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) and dibenzo-p-dioxins (PCDDs): A review. *Toxicological and Environmental Chemistry*. 1985;14:43–61.
- [27] Harden LA, Garrett JH, Solch JG, Tiernan TO, Wagel DJ, Taylor ML. Results of comparative evaluations of various fused silica capillary GC columns for retention of tetrachlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans. *Chemosphere*. 1989;18:85–91.
- [28] Schubert R. Organohalogen compounds. *10th Intern. Meeting «Dioxin-90»*. ERPI Seminar: Short papers. Ed. O. Hutzinger, H. Fiedler. Bayreuth: Ecoinforma press; 1990;2:211–214.
- [29] Shelepchikov AA, Brodsky ES, Feshin DB, Zhilnikov VG, Mir-Kadyrova EYa, Balashova SP. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and biphenyls in the soils of Moscow. *Eurasian Soil Science*. 2011;(3):317–328. (In Russ.)
- [30] Agapkina GI, Efimenko ES, Brodsky ES, Shelepchikov AA, Feshin DB. Priority organic pollutants in the soil of the arboretum of the botanical garden of Moscow State University. M.V. Lomonosov. *Bulletin of Moscow State University. Series 17: Soil science*. 2012;(4):42–49. (In Russ.)
- [31] Belinskaya EA, Blinkov AA, Zykova GV, Semenov SYu, Smirnov VN, Finakov GG. Monitoring of soil pollution in Moscow with polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, biphenyls. *Problems of regional ecology*. 2013;(6):140–147. (In Russ.)
- [32] Melekhova OP. Biological control of the environment: bioindication and biotesting. Allowance for students of higher education. O.P. Melekhova, E.I. Egorova (eds.). Moscow: Publishing Center “Academy”; 2007. 288 p. (In Russ.)
- [33] Zhuravleva SV, Pankina AV, Sakharova TG. The use of biological testing for ecological and toxicological assessment of environmental objects. *Collection of conferences of the National Research Center Sociosphere*, 2013;(10):39–43. (In Russ.)
- [34] Lyashenko OA. Bioindication and biotesting in environmental protection. Benefit. SPb GTURP. SPb.; 2012. 67 p. (In Russ.)
- [35] Bubnov AG, Buymova SA, Gushchin AA, Izvekova TV. Bioassay analysis is an integral method for assessing the quality of environmental objects. Ed. IN AND. Grinevich. *GOU VPO Ivan. State. Chem.-technol. Univ. Ivanovo*; 2007. 112 p. (In Russ.)
- [36] Bardina TM, Chugunova MV, Bardina VI. Study of the ecotoxicity of urbanozems by biotesting methods. *Living and biokosnye systems*, 2013;(5) Available from: <http://www.jbks.ru/archive/issue-5/article-8> (In Russ.)
- [37] Vasil’ev AV, Zabolotskikh VV, Tupitsyna OV, Shterenberg AM. Ecological monitoring of toxic soil pollution by oil products using biotesting methods. *Electronical Scientific Journal “Oil and Gas Business”*. 2012;(4):242–250. (In Russ.)
- [38] Matorin DN, Osipov VA, Kulikova NA, Alekseeva AA. Biotesting of the aquatic environment using the luminescence of algae. *Sat. scientific works “Biotechnology, ecology, environmental protection”*. A.P. Sadchikova, S.V. Kotelevtsev (eds.). Moscow: Publishing house of OOO “Grafikon-print”; 2005. p. 71–74. (In Russ.)
- [39] Evgeniev MI. Test methods and ecology. *Soros educational journal*. 1999;(11):29–34. (In Russ.)
- [40] Geraskin SA, Serapultseva EI. *Biological control of the environment: genetic monitoring*. Moscow: Publishing Center “Academy”; 2010. 208 p. (In Russ.)
- [41] Torres MA, Barros MP, Campos SCG, Pinto E, Rajamani S, Sagre RT, Colepiccolo P. Biochemical biomarkers in algae and marine pollution: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2008;71:1–15.

- [42] Donets EV. *Influence of oil on the germination of seeds of coniferous forest-forming species of woody plants in the subzone of the southern taiga of the Omsk region* (abstract of Candidate of Biological Sciences dissertation). Omsk: OmGPU Publishing House; 2009. 19 p. (In Russ.)
- [43] Polonsky VI, Polonskaya DE, Borodulina TS. Impact of soil oil pollution on the germination of lettuce seeds. *Bulletin of KrasGAU: Ecology*. 2013;(2):72–76. (In Russ.)
- [44] Sharipova AK, Donets EV. Influence of oil pollution on seed germination of Siberian spruce (*Picea Obovata* Lebed.). *Bulletin of the Omsk State Agrarian University: Biological Sciences*. 2017;(1):65–70. (In Russ.)
- [45] Tolkacheva TA, Kontsevaya II. Study of the protective properties of an aqueous extract of oak silkworm pupae with the cytotoxic activity of copper ions in the *Allium* test. *Bulletin of VDU*. 2012;70(4):52–60. (In Russ.)
- [46] Dovgalyuk AI, Kalinyak TB, Blyum YaB. Evaluation of phyto- and cytotoxic activity of heavy metal and aluminum compounds using the onion root apical meristem. *Tsitology Genetics*. 2001;1(1):3–9. (In Russ.)
- [47] Evseeva TI, Maistrenko TA, Geraskin SA, Belykh ES, Kazakova EV. Toxic and cytogenetic effects induced in *Allium cepa* L. by low concentrations of Cd and ²³²Th. *Tsitology Genetics*. 2005;(5):73–80. (In Russ.)
- [48] Kalaev VN, Karpova SS. *Cytogenetic monitoring: methods for assessing environmental pollution and the state of the organism's genetic apparatus*. Voronezh: VSU Publ.; 2004. (In Russ.)
- [49] Shutova YuG. Sensitivity assessment of *Allium cepa* and *Lepidium sativum* using adamantium xenobiotics. *Bulletin of SamGU. Natural Science Series*. 2010;(6):253–259. (In Russ.)
- [50] Rumak VS, Umnova NV, Levenkova ES, Turbabina KA, Pivovarov EA, Shelepchikov AA, Pavlov SD. Dioxins in the environment and in the body of animals near the landfill for production and consumption waste: to the methodology for assessing the risk to public health. *Human Ecology*. 2017;(10):9–15. (In Russ.)
- [51] Rumak VS, Umnova NV. Dioxins and safety of biosystems: results of field studies. *Life of the Earth*. 2018;40(3):308–323. (In Russ.)
- [52] Popov VS, Umnova NV, Rumak VS. Analysis of the bioaccumulation of congeners from mixtures of dioxins polluting the environment by the bank vole: towards a standardization methodology. *Proceedings of Conf. "Ecosystem Services and Management of Natural Resources"*, Tyumen; 2020. (In Russ.)
- [53] Nikolaeva LA, Ignatieva LP, Savchenkov MF. Risk factors for environmental pollution by dioxin-containing compounds. *Population health and habitat*. 2020;(1):39–43. (In Russ.)
- [54] Revich BA, Sergeev OV, Shelepchikov AA. Innovative environmental and epidemiological technologies for assessing the impact of dioxins on children's health. *Human Ecology*. 2012;(8):42–49. (In Russ.)
- [55] Khakimova AA, Kulagin AA, Amirova ZK. On the features of the development of Scotch pine in conditions of environmental pollution by persistent organic pollutants within the city of Ufa. *Ecology of urbanized territories*. 2018;(3):6–12. (In Russ.)
- [56] Gumerova GI, Gogol EV, Vasiliev AV. A new approach to the qualitative and quantitative determination of dioxins. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2014;16(1(6)):1717–1720. (In Russ.)
- [57] Gumerova GI, Gogol EV, Tunakova YuA, Savinov DG. Problems of determining the ecotoxicity of samples containing dioxins. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2014;17(16):143–144. (In Russ.)

- [58] Kapanen A, Vikman M, Rajasärkkä J, Virta M, Itävaara M. Biotests for environmental quality assessment of composed sewage sludge. *Waste Management*. 2013;33:1451–1460.
- [59] Maier D, Benisek M, Blaha L, Dondero F, Giesy JP, Köhler H-R, Richter D, Scheurer M, Triebkom R. Reduction of dioxin-like toxicity in effluents by additional wastewater treatment and related effects in fish. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2016;132:47–58.
- [60] Ipatova VI, Dmitrieva AG, Prokhotskaya VYu. Evaluation of the toxicity of paper products, foodstuffs and soil by biotesting using microalgae. *Volga Ecological Journal*. 2013;(4):394–401. (In Russ.)
- [61] Belinskaya EA, Mazina SE, Zykova GV, Zvolinsky VP. Biotesting of persistent organic pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Successes of modern science*. 2017;5(1):35–43. (In Russ.)
- [62] Belinskaya EA, Mazina SV, Pichugina EK, Zykova GV. Influence of persistent organic pollutants and benzo[a]pyrene on the germination of seeds of common barley (*HORDÉUM VULGARE* L). *Toxicological Bulletin*. 2020;(4):44–48. (In Russ.)
- [63] Pichugina EK, Bazarova EP, Levashova EA, Mazina SE, Novikov SV. The effect of natural iron-containing minerals on the toxic effect of 2,3,7,8-TCDD and benzo[a]pyrene on the example of bacteria *DESULFOVIBRIO* SP. I *ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS*. *Ecological systems and devices*. 2020;(9):15–22. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Левашова Екатерина Александровна, старший научный сотрудник лаборатории физико-химических исследований, ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России, Российская Федерация, 123182, г. Москва, ул. Щукинская, 40. ORCID: 0000-0001-6187-2783. E-mail: eabelinsk@yandex.ru

Мазина Светлана Евгеньевна, кандидат биологических наук, доцент Института экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, г. Москва, Подольское шоссе, 8. ORCID: 0000-0002-0108-5339. E-mail: conophytum@mail.ru

Зыкова Галина Васильевна, кандидат химических наук, заведующий лабораторией физико-химических исследований, ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России, Российская Федерация, 123182, г. Москва, ул. Щукинская, 40. ORCID: 0009-0003-3574-3584. E-mail: gvzykova@yandex.ru

Bio notes:

Ekaterina A. Levashova, Senior Research Fellow, Research and Technical Center, Radiation-Chemical Safety and Hygiene FMBA, 40 Shukinskaya St, Moscow, 123182, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6187-2783. E-mail: eabelinsk@yandex.ru

Svetlana E. Mazina, Candidate of Biology Sciences (PhD), Associate Professor of RUDN University, Institute of Ecology, 8/5 Podol'skoe Shosse, Moscow, 115093, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0108-5339. E-mail: conophytum@mail.ru

Galina V. Zykova, Candidate of Chemical Sciences (PhD), Head of the Laboratory of Physical and Chemical Research, Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene FMBA, 40 Shukinskaya St, Moscow, 123182, Russian Federation. ORCID: 0009-0003-3574-3584. E-mail: gvzykova@yandex.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-1-103-114

EDN: JQDYUX

УДК 504.75

Научная статья / Research article

Оценка качества вод Шлинского водохранилища с использованием интегральных гидрохимических показателей

Г.А. Лазарева¹, П.В. Новикова²

¹Университет «Дубна», г. Дубна, Московская обл., Российская Федерация

²Центррегионводхоз, Дубнинская экоаналитическая лаборатория,

г. Дубна, Московская обл., Российская Федерация

lazarevg@mail.ru

Аннотация. Представлены основные результаты оценки качества вод Шлинского водохранилища за период 2015–2019 гг. на основании анализа гидрохимических данных, полученных стандартными химическими методами, по 22 показателям. Мониторинг качества вод водохранилища до 2021 г. проводился ФГБВУ «Центррегионводхоз» Дубнинской экоаналитической лабораторией. Шлинское водохранилище расположено на границе Тверской и Новгородской областей, входит в состав Вышневолоцкой водной системы. Водоохранилище обеспечивает попуски для нужд энергетики, водного транспорта и улучшения водоснабжения г. Москва. В результате исследования выявлены приоритетные загрязняющие вещества, проведена оценка качества вод водохранилища по результатам расчета индекса загрязнения воды (ИЗВ) и удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ). Показано, что на экосистему водного объекта существенного антропогенного воздействия не оказывается. Качество вод водохранилища оценено как вода «умеренно загрязненная» (по значению индекса ИЗВ) и вода слабо загрязненная – загрязненная (по значению индекса УКИЗВ).

Ключевые слова: качество вод, Шлинское водохранилище, интегральные индексы качества, гидрохимические показатели

Вклад авторов: Г.А. Лазарева – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация; П.В. Новикова – выполнение лабораторных опытов, анализ данных.

История статьи: поступила в редакцию 13.07.2022; доработана после рецензирования 21.11.2022; принята к публикации 13.01.2023.

© Лазарева Г.А., Новикова П.В., 2023



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

Для цитирования: Лазарева Г.А., Новикова П.В. Оценка качества вод Шлинского водохранилища с использованием интегральных гидрохимических показателей // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 1. С. 103–114. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-103-114>

Assessment of water quality of Shlinsky reservoir by hydrochemical indicators

Galina A. Lazareva¹  , Polina V. Novikova²

¹University «Dubna», Dubna, Russian Federation

²Ecoanalytic Laboratory, Dubna, Russian Federation

lazarevg@mail.ru

Abstract. The paper presents the main results of assessing the water quality of the Shlinsky reservoir for the period 2015–2019. Based on the analysis of hydrochemical data obtained by standard chemical methods, according to 22 indicators. Monitoring of the reservoir water quality until 2021 was carried out by the Dubna Ecoanalytic Laboratory. The Shlinsky reservoir is located on the border of the Tver and Novgorod regions, is part of the Vyshnevolotsk water system. The reservoir provides releases for the needs of energy, water transport and improvement of water supply in Moscow. As a result of the study, priority pollutants were identified, the water quality of the reservoir was assessed based on the results of calculating the water pollution index (WPI) and the specific combinatorial index of water pollution (SCIWP). It is shown that there is no significant anthropogenic impact on the ecosystem of a water body. The water quality of the reservoir is assessed as "moderately polluted" water (according to the value of the water pollution index) and slightly polluted – polluted water (according to the value of the specific combinatorial index of water pollution).

Keywords: water quality, Shlinsky reservoir, integrate index of water quality, hydrochemical indicators

Authors' contributions: G.A. Lazareva – conceptualization of research, data analysis and interpretation; P.V. Novikova – performance of laboratory experiments, data analysis.

Article history: received 13.07.2022; revised 21.11.2022; accepted 13.01.2023.

For citation: Lazareva GA, Novikova PV. Assessment of water quality of Shlinsky reservoir by hydrochemical indicators. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(1):103–114. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-103-114>

Введение

Проблема качественного истощения водных ресурсов по причине их загрязнения особенно остро обозначилась в последние десятилетия. Антропогенный фактор в формировании химического состава вод приравнивается по значимости к природным геохимическим и биологическим процессам. Преобразование водосборов, трансграничные, промышленные и хозяйственно-бытовые сбросы, неорганизованные стоки, рекреация приводят к изменению геохимических циклов элементов в системе водосборов, появлению токсичных элементов в водной среде, что в конечном итоге ухудшает

качество вод, приводит к снижению биоразнообразия, резкому снижению уловов рыбы, доли ценных промысловых видов и др.

Цель исследования – оценка экологического состояния Шлинского водохранилища по гидрохимическим показателям.

Материалы и методы

Шлинское водохранилище образуется озером Шлино с притоками посредством регулирования их стока и является водохранилищем озёрного типа. Расположено на границе Тверской и Новгородской областей, входит в состав Вышневолоцкой водной системы, которая включает также Вельёвское и Вышневолоцкое водохранилища, осуществляющие регулирование стока бассейна р. Мсты.

Шлинское водохранилище находится на границе Фировского района Тверской области и Валдайского района Новгородской, в бассейне реки Мсты. Оно было образовано в 1812 г. на месте озера путем строительства дамбы на реке Шлина для целей Вышневолоцкой водной системы (старейшая искусственная водная система в России, связавшая водным путем Санкт-Петербург с остальной страной и решившая вопрос его продовольственного снабжения в XVIII–XIX веках)¹.

В настоящее время водохранилище используется в целях:

- переброски части вод оз. Велье, стока рек Цны и Шлины через Ново-Тверецкий и Рваницкий каналы в бассейн р. Волги;
- осуществления санитарных попусков воды в водораздельный бьеф (г. Вышний Волочёк) через Ново-Цнинскую ГЭС;
- выработки электроэнергии на Ново-Тверской и Ново-Цнинской ГЭС, а также на верхневолжских гидроэлектростанциях (Иваньковской, Угличской).

Водоохранилище обеспечивает попуски для нужд энергетики, водного транспорта и улучшения водоснабжения г. Москвы. В прибрежной зоне водохранилища (озеро Шлино) находится государственный природный заказник регионального значения, созданный в 1993 г., – «Прибрежная зона озера Шлино» площадью 120 га². В этой связи изучение антропогенного влияния и оценка качества вод водохранилища крайне актуальны.

Морфометрические характеристики Шлинского водохранилища при НПУ³: высота над уровнем моря – 199 м; площадь зеркала – 34 км²; объем

¹ Вышневолоцкая система // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.). СПб., 1890–1907. URL: www.enc-dic.com/enc_sovet/Verhnevvolzhskoe_vodohranilische-3512.html (дата обращения: 17.01.2021).

² Прибрежная зона озера Шлино. ООПТ России. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/Прибрежная-зона-озера-Шлино> (дата обращения: 25.12.2020).

³ Шлинское водохранилище // Научно-популярная энциклопедия «Вода России» / Водные объекты. URL: https://water-ru.ru/Водные_объекты/2132/Шлинское_водохранилище (дата обращения: 25.12.2020).

полный – 68 млн м³; объем полезный – 58 млн м³; нормальный подпорный уровень водохранилища (НПУ) – 199,65 м; минимальный допустимый уровень в зимний период (УМО) – 197,7 м; длина – 8,8 км; ширина средняя/максимальная – 6,4/7,0 км; глубина средняя/максимальная – 1,9/3,0 м; протяженность береговой линии – 48 км; площадь мелководий (до 2 м) – 10 км²; площадь водосбора в створе плотины – 424 км²; средний годовой сток в створе плотины – 107 млн м³; средний сток за период половодья – 43 млн м³.

Регулирование Шлинского водохранилища производится по следующей схеме: водохранилище наполняется в весенний период, сбрасывается только санитарный попуск в размере 0,7 м³/с; избыток воды, после наполнения водохранилища до НПУ, сбрасывается через постепенно открываемые отверстия плотины через реку Шлина в Вышневолоцкое водохранилище⁴.

Были изучены четыре створа Шлинского водохранилища (створ в районе деревни Комкино (Шлинский бейшлот), д. Яблонька, устье р. Рабежа, устье р. Ковка (д. Лука)) (рис. 1) по гидрохимическим показателям за период с 2015 по 2019 г.

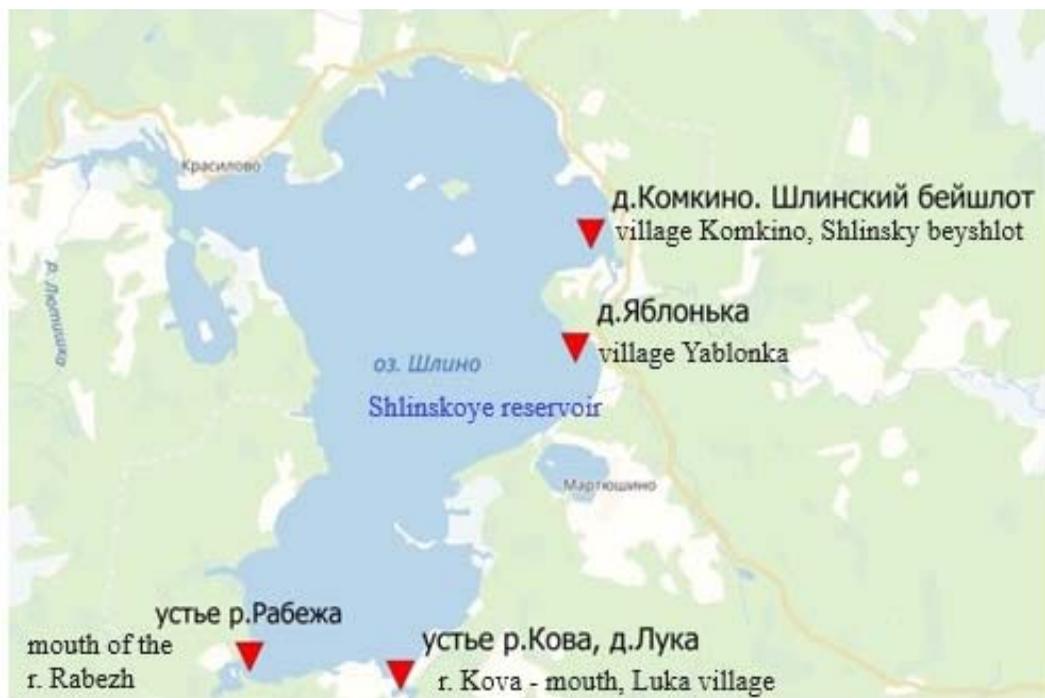


Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб Шлинского водохранилища /
Figure 1. Schematic map of sampling stations of the Shlinsky Reservoir

⁴ Шлинское водохранилище // Научно-популярная энциклопедия «Вода России» / Водные объекты. URL: https://water-rg.ru/Водные_объекты/2132/Шлинское_водохранилище (дата обращения: 25.12.2020).

Вода водохранилища относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе; по степени минерализации (до 100 мг/дм³) – к ультрапресным водам; по величине рН – к нейтральным; по степени жесткости (до 1,0 мг-экв/дм³) – к очень мягким [1].

Химический анализ вод проводился на базе Дубнинской экоаналитической лаборатории (ДЭАЛ) Федерального государственного бюджетного водохозяйственного учреждения «Центррегионводхоз» по 22 показателям [3], среди них: цветность, водородный показатель, аммоний-ион, нитрат-ион, нитрит-ион, фосфат-ион, железо общее, хлорид-ион, сульфат-ион, марганец, магний, биохимическая потребность в кислороде, медь, цинк, свинец, нефтепродукты, растворенный кислород, никель [4; 5].

Результаты

Химический анализ проб воды Шлинского водохранилища за период 2015–2019 гг. показал, что для всех створов характерно превышение нормативных показателей по ХПК, железу общему, марганцу, в некоторых створах – превышение нормативов по аммоний-иону, фенолам, нефтепродуктам.

Геохимическая особенность Шлинского водохранилища заключается в большом природном содержании в воде Mn (до 65ПДК_{рх}) и Fe (до 7ПДК_{рх}), а также наличии высоких показателей цветности.

Для оценки качества вод Шлинского водохранилища за 2015–2019 гг. были рассчитаны интегральные показатели качества вод: индекс загрязнения воды (ИЗВ) и удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ).

Гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ) до 2002 г. использовался в качестве основного комплексного показателя качества воды. По значениям ИЗВ выделяют 7 классов качества вод, в зависимости от степени их загрязненности. Расчет индекса проводится по шести ингредиентам: растворенный кислород и БПК₅ являются обязательными, и еще 4 вещества выбираются из тех, которые имели наибольшие относительные концентрации (С_i/ПДК_i) [1–3]. Основной недостаток индекса в том, что учитывается небольшой спектр загрязняющих веществ.

При расчете индекса ИЗВ использовались следующие показатели: растворенный кислород, БПК₅ и цветность, нефтепродукты, ХПК, аммоний-ион (эти четыре показателя выбраны из превышающих ПДК_{рыбхоз} чаще других, но не обусловлены природными особенностями территории). Результаты расчета индекса ИЗВ представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Максимальные значения индекса ИЗВ во всех створах наблюдаются в весенний период, а минимальные – в осенне-зимний период. В целом качество вод Шлинского водохранилища по значению индекса ИЗВ во всех створах оценивается на протяжении всего периода наблюдений (2015–2019 гг.) как «умеренно загрязненные» (класс качества воды – III). При этом есть тенденция к ухудшению качества воды в весенне-летний период во всех створах.

Таблица 1. Значение индекса ИЗВ, класс качества вод, качественное и экологическое состояние вод в створах Шлинского водохранилища в 2015–2019 гг.

Год	Значения ИЗВ			
	февраль	май	июль	октябрь
д. Комкино, Шлинский бейшлот				
2015	1,07	1,7	1,81	1,45
2016	1,21	2,25	1,58	1,42
2017	1,44	2,45	1,92	1,69
2018	2,2	1,96	2,02	1,43
2019	1,35	1,59	1,82	2,56
д. Яблонька				
2015	1,39	1,68	1,54	1,51
2016	1,18	2,18	1,68	1,38
2017	1,4	2,49	2,1	2,11
2018	2,18	1,98	1,82	1,75
2019	1,33	1,86	1,92	2,73
р. Кова – устье, д. Лука				
2015	1,24	1,11	1,75	1,35
2016	1,22	2,16	1,56	1,4
2017	1,71	2,51	1,91	1,55
2018	1,78	2,4	2,03	1,49
2019	1,35	2,62	1,92	1,89
Устье р. Рабежа				
2015	1,29	1,77	1,51	1,26
2016	1,17	1,87	1	1,59
2017	1,7	2,62	1,98	2,07
2018	1,88	2,55	1,44	1,44
2019	1,24	1,98	1,25	2,66

Table 1. WPI index value, water quality class, quality and ecological state of waters in the sections of the Shlinskoye reservoir, 2015–2019

Year	WPI values			
	February	May	July	October
village Komkino, Shlinsky beyshot				
2015	1.07	1.7	1.81	1.45
2016	1.21	2.25	1.58	1.42
2017	1.44	2.45	1.92	1.69
2018	2.2	1.96	2.02	1.43
2019	1.35	1.59	1.82	2.56
village Yablonka				
2015	1.39	1.68	1.54	1.51
2016	1.18	2.18	1.68	1.38
2017	1.4	2.49	2.1	2.11
2018	2.18	1.98	1.82	1.75
2019	1.33	1.86	1.92	2.73
r. Kova – mouth, village Luka				
2015	1.24	1.11	1.75	1.35
2016	1.22	2.16	1.56	1.4
2017	1.71	2.51	1.91	1.55
2018	1.78	2.4	2.03	1.49
2019	1.35	2.62	1.92	1.89
mouth of the r. Rabezh				
2015	1.29	1.77	1.51	1.26
2016	1.17	1.87	1	1.59
2017	1.7	2.62	1.98	2.07
2018	1.88	2.55	1.44	1.44
2019	1.24	1.98	1.25	2.66

В створах р. Кова – устье, д. Лука (2017 и 2019 гг.) и Устье р. Рабежа (2017 и 2018 гг.) в мае наблюдалось ухудшение качества воды до IV класса качества – «загрязненная». Такой же класс качества вод был отмечен в створах д. Яблонька и Устье р. Рабежа в октябре 2019 г. (рис. 2). В октябре 2019 г. в створе д. Яблонька показатель ИЗВ приобретает максимальную за период наблюдений характеристику – 2,73 из-за высокой цветности, которая составляла 170 ед.цв. (8,5 ПДК), ХПК – 38,6 мг О/дм³ (2,6 ПДК) и аммония – 0,92 мг/дм³ (1,8 ПДК).

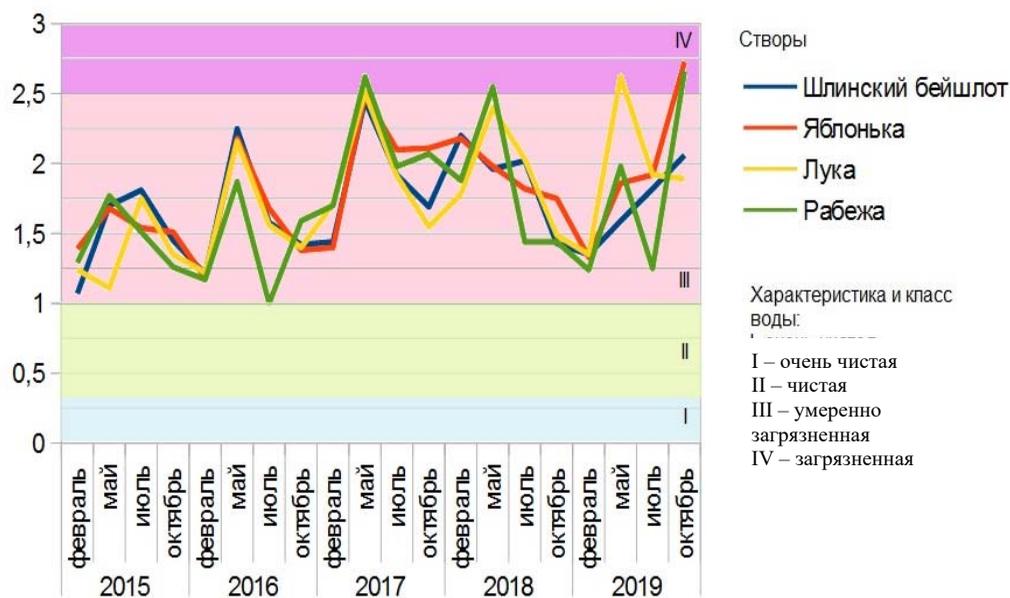


Рис. 2. Значения индекса ИЗВ в створах Шлинского водохранилища за 2015–2019 гг.

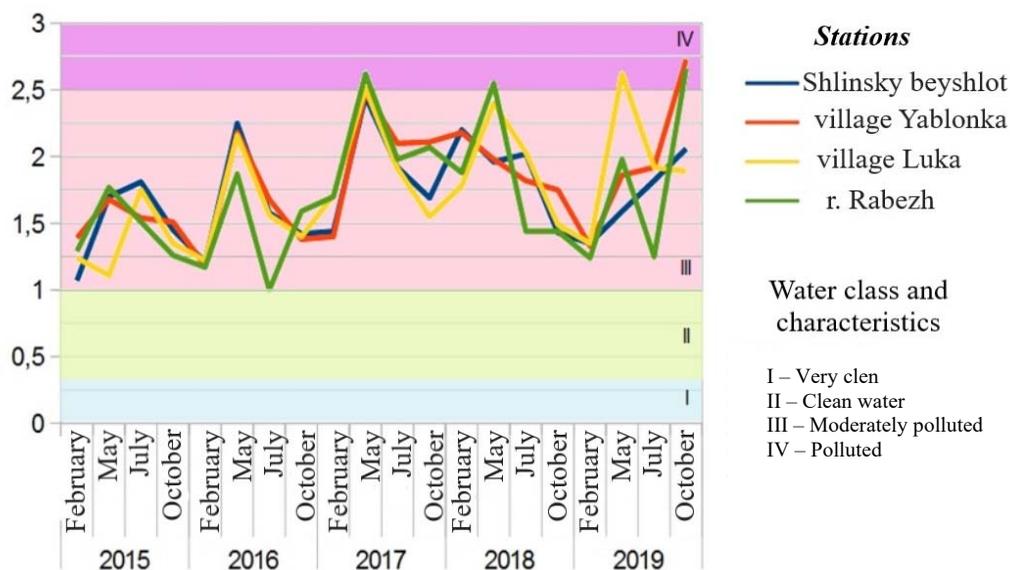


Figure 2. Values of WPI index in the sections of the Shlinskoje reservoir for 2015–2019

На сегодняшний день удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) является приоритетным. Классификация качества воды по значениям УКИЗВ позволяет разделять поверхностные воды на 5 классов в зависимости от степени их загрязненности. При его расчете определяется не только кратность превышения ПДК, но и повторяемость случаев превышений нормативных значений. Данные расчета индекса УКИЗВ позволяют более точно отражать качество поверхностных вод. Значение УКИЗВ может варьировать в водах различной степени загрязненности от 1 до 16. Большому значению индекса соответствует худшее качество воды в различных створах и т.д.

В расчете индекса УКИЗВ использовались все определяемые в пробах химические показатели. Результаты расчета индекса УКИЗВ представлены в табл. 2 и на рис. 3.

Таблица 2. Значение индекса УКИЗВ, класс качества и экологическое состояние вод в створах Шлинского водохранилища в 2015–2019

Значение индексов по створам	2015	2016	2017	2018	2019
д. Комкино, Шлинский бейшлот					
УКИЗВ	2,75	2,47	0,92	1,37	1,16
Класс качества вод	3Б	3А	1	2	2
Экологическое состояние	загрязненная	загрязненная	условно чистая	слабо загрязненная	слабо загрязненная
д. Яблонька					
УКИЗВ	2,18	2,56	1,18	1,31	1,14
Класс качества вод	3А	3Б	2	2	2
Экологическое состояние	загрязненная	загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная
р. Кова – устье, д. Лука					
УКИЗВ	1,37	2,49	1,34	1,30	1,49
Класс качества вод	2	3А	2	2	2
Экологическое состояние	слабо загрязненная	загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная
Устье р. Рабежа					
УКИЗВ	2,45	2,48	1,33	1,35	1,25
Класс качества вод	3А	3А	2	2	2
Экологическое состояние	загрязненная	загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная

Table 2. The value of the SCIWP index, quality class and ecological state of waters in the sections of the Shlinskoye reservoir, 2015–2019

Index value along the sections	2015	2016	2017	2018	2019
village Komkino, Shlinsky beyshot					
SCIWP	2.75	2.47	0.92	1.37	1.16
quality class and ecological state of waters	contaminated	contaminated	conditionally clean	slightly polluted	slightly polluted
village Yablonka					
SCIWP	2.18	2.56	1.18	1.31	1.14
quality class and ecological state of waters	contaminated	contaminated	slightly polluted	slightly polluted	slightly polluted
r. Kova – mouth, village Luka					
SCIWP	1.37	2.49	1.34	1.30	1.49
quality class and ecological state of waters	slightly polluted	contaminated	slightly polluted	slightly polluted	slightly polluted
mouth of the r. Rabezh					
SCIWP	2.45	2.48	1.33	1.35	1.25
quality class and ecological state of waters	contaminated	contaminated	slightly polluted	slightly polluted	slightly polluted

По значению индекса УКИЗВ воды Шлинского водохранилища в течение наблюдаемого периода (2015–2019 гг.) в основном оценивались как вода «слабо загрязненная» (II класс) и «загрязненная» (III класс, разряд «А» и «Б»).

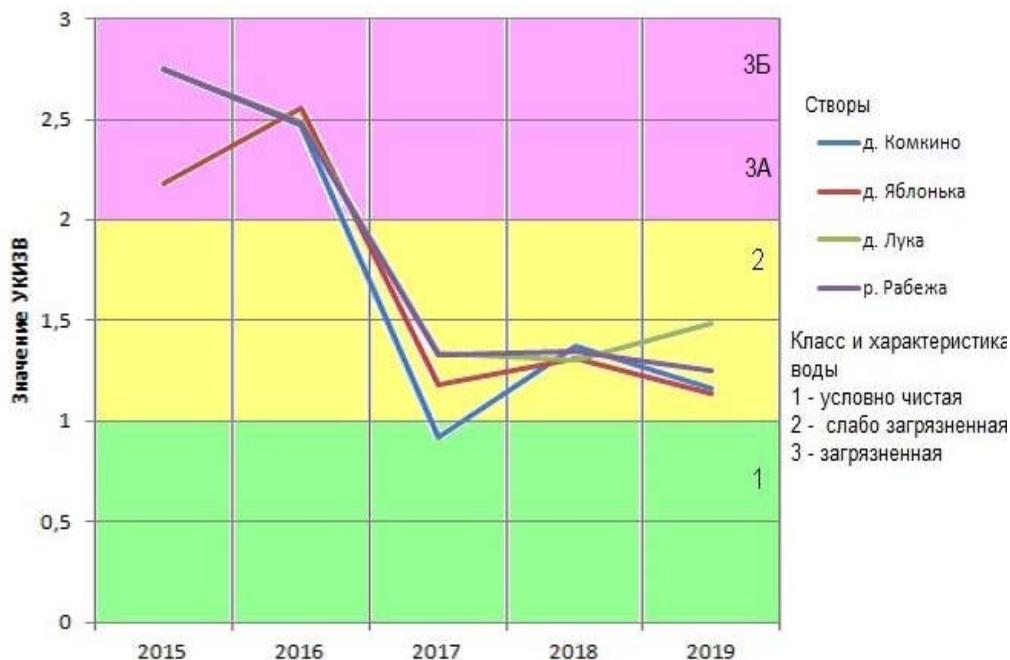


Рис. 3. Значения индекса УКИЗВ в створах Шлинского водохранилища за 2015–2019 гг.



Figure 3. Values of the *SCIWP* index in the sections of the Shlinskoye reservoir for 2015–2019

По значениям индекса УКИЗВ отмечается улучшение качества вод в исследуемый период. За 2015–2016 гг. вода в среднем оценивается как загрязненная (класс IIIА), за 2017–2019 гг. оценивается как слабо загрязненная (класс II). Такая тенденция прослеживается по всем исследуемым створам (рис. 3).

Промышленной деятельности на берегах водохранилища не ведется, поэтому антропогенная нагрузка на водоем сравнительно невысока. Однако анализ космических снимков прибрежной территории показал, что есть нарушения пятидесятиметровой водоохранной зоны водоема: коттеджная застройка, без подключения к централизованной системе водоотведения; хозяйственные постройки; приусадебные участки, огороды и сады.

Обсуждение

Таким образом, в результате проведенной работы были определены приоритетные загрязняющие вещества и показатели вод Шлинского водохранилища (по превышению предельно допустимых концентраций). К таким веществам относятся марганец, цветность, ХПК, нефтепродукты и аммоний-ион. При этом повышенное содержание марганца и железа, а также высокие показатели цветности – природная геохимическая особенность вод водохранилища.

По содержанию биогенных элементов отмечены превышения только по аммонийному азоту. По фосфатам, нитратам и нитритам превышений ПДК_{рх} не наблюдается. Источниками данных веществ в водах водохранилища могут быть как природные (внутриводоемные процессы, поверхностный сток с водосбора и т.д.), так и антропогенные факторы. Например, поверхностный сток с обрабатываемых приусадебных участков, расположенных в прибрежной зоне водохранилища, может рассматриваться как источник поступления в водоем биогенных веществ и агрохимикатов. Неорганизованные стоки хозяйственно-бытовых вод домовладений, стоки с частных скотных дворов, расположенных в прибрежной зоне водохранилища, также вносят свой вклад в поступление биогенов в водный объект.

Вода в створе Шлинский бейшлот остается самой чистой по сравнению с другими створами за годы наблюдений. Створы д. Лука и устье р. Рабежа – наиболее загрязненные, в основном из-за близости к устью рек Кова и Рабежа, которые могут нести с собой потенциально загрязненные воды. Так как это небольшие речки длиной 18 км каждая, а по берегам находится ряд деревень, то в число основных загрязнителей попадают органические и биогенные соединения, нефтепродукты.

Качество вод Шлинского водохранилища по значению индекса ИЗВ относится к III классу и оценено как «умеренно загрязненные» на протяжении всего периода наблюдений. По значению индекса УКИЗВ в 2015–2016 гг. качество воды соответствует III классу разряд «а» (загрязненные),

в 2017–2019 гг. – II классу (слабо загрязненные). Такая тенденция прослеживается по всем исследуемым створам.

Расчет комплексных индексов качества воды ИЗВ и УКИЗВ, показал, что более точную информацию о состоянии поверхностных вод дает индекс УКИЗВ, так как при его расчете используются данные по всем определяемым в пробе веществам.

Заключение

В результате исследования проб воды Шлинского водохранилища выявлены приоритетные загрязняющие вещества: марганец, цветность, ХПК, нефтепродукты и аммоний-ион.

Проведенная оценка качества вод в исследуемых створах водохранилища показала, что:

- по значению индекса загрязнения воды – вода соответствует III классу (воды «умеренно загрязненные»);
- по значению комбинаторного индекса загрязненности воды отмечено улучшение качества вод – в 2015–2016 гг. вода соответствовала III классу разряд «а» (загрязненные), в 2017–2019 гг. – II классу (слабо загрязненные).

В ходе анализа экологического состояния Шлинского водохранилища было выявлено, что существенного антропогенного воздействия на водный объект не оказывается. Основная антропогенная нагрузка обусловлена хозяйственно-бытовой деятельностью в поселениях, расположенных как на берегах самого водохранилища, так и берегах малых рек, впадающих в него.

Список литературы

- [1] Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б. Особенности формирования и характеристика химического состава водоемов Тверской области // Вопросы географии. 2012. № 133. С. 431–444.
- [2] Лазарева Г.А., Новикова П.В., Ковалева О.И. Оценка поступления загрязняющих веществ с поверхностным стоком в Шлинское водохранилище // Международный научно-исследовательский журнал (International research journal). Екатеринбург, 2020. № 12 (102). С.74–77.
- [3] Лазарева Г.А. Кленова А.В. Оценка качества поверхностных вод по интегральным показателям (на примере Верхневолжского водохранилища) // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. С. 621. URL: <http://www.science-education.ru/130-23406> (дата обращения: 10.11.2020).
- [4] Лазарева Г.А. Оценка качества вод Угличского водохранилища по интегральным гидрохимическим показателям // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2016. № 2. С. 156–164.
- [5] Лазарева Г.А., Корнева Л.Г., Жмылев П.Ю. Экология водной среды. Дубна: Государственный университет «Дубна», 2020. 125 с.

References

- [1] Grigorieva IL, Komissarov AB. Features of formation and characteristics of the chemical composition of water bodies of the Tver region. *Questions of geography*. 2012;(133):431–444. (In Russ.)
- [2] Lazareva GA, Novikova PV, Kovaleva OI. Estimation of polluting inflow from surface runoff in Shlino reservoir. *International scientific research journal*. ISSN 2303-9868 PRINT, ISSN 2227-6017 online, 2020;2(12(102)):74–77 Yekaterinburg 2020. (In Russ.)
- [3] Lazareva GA, Klenova AV. The estimation of surface water by integrated indicators (of Verhnevolgsky reservoir). *Modern problems of science and education*. 2015;(6):621. URL: <http://www.science-education.ru/130-23406> (accessed: 10.11.2020) (In Russ.)
- [4] Lazareva GA. Estimation of water quality of Uglichsky reservoir by integrated hydrochemical factors. *Bulletin of the Moscow State University. Series: Natural Sciences*. 2016;(2):156–164. (In Russ.)
- [5] Lazareva GA, Korneva LG, Zhmylev PYu. *Ecology of the aquatic environment*. Dubna: University «Dubna»; 2020. 125 p. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Лазарева Галина Александровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и наук о Земле, Университет «Дубна», Российская Федерация, 141980 Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, д. 19. ORCID: 0000-0003-3189-0344, eLIBRARY SPIN-код: 2916-4738. E-mail: lazarevg@mail.ru

Новикова Полина Витальевна, инженер-химик, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центррегионводхоз» Дубнинская экоаналитическая лаборатория, Российская Федерация, 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 20. E-mail: anilop-96@mail.ru

Bio notes:

Galina A. Lazareva, PhD of Biological Science, Ass. Professor Department of Ecology and Earth Sciences, University “Dubna”, 19 Universitetskaya St, Dubna, Moscow region, 141980, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-3189-0344, eLIBRARY SPIN-код: 2916-4738. E-mail: lazarevg@mail.ru

Polina V. Novikova, Chemical Engineer, Federal State Budgetary Institution “Tsentrregionvodkhoz” Dubna Eco-analytical Laboratory, 20 Joliot-Curie St, Dubna, Moscow region, 141980, Russian Federation. E-mail: anilop-96@mail.ru



БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

BIOLOGICAL RESOURCES

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-1-115-126

EDN: IOFXYJ

УДК 581.6

Научная статья / Research article

Структура древесного яруса лесных сообществ центральной части Кольского полуострова, формируемая при снижении аэротехногенной эмиссии

А.С. Евдокимов¹  , В.Т. Ярмишко²¹Российский государственный педагогический университет им А.И. Герцена,
Санкт-Петербург, Российская Федерация²Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской Академии наук,
Санкт-Петербург, Российская Федерация evdokimov89@gmail.com

Аннотация. Дается обзор на основной компонент лесных экосистем Северной Европы – древесный ярус, сформированный видом сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Изученные сообщества расположены в непосредственной близости от крупнейшего комбината в Европе – ОАО «Североникель» (г. Мончегорск, Мурманская обл.). К основным поллютантам относятся полиметаллическая пыль, содержащая в своем составе такие элементы, как Cu, Ni и Co, которые являются побочными продуктами переработки и выплавки цветных руд, и сернистый ангидрид – SO₂, образующийся при первичной переработке руд, так называемом «обжиге». Первые постоянные пробные площади (ППП) в данном регионе были заложены в начале 1970-х гг. И в дальнейшем сотрудниками Лаборатории экологии растительных сообществ Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН проводится постоянный мониторинг экологического состояния территорий, подверженных воздействию данных загрязнителей. Начиная со второй половины 90-х гг. XX в. комбинат существенно снизил количество выбросов аэротехногенного характера, о чем свидетельствуют данные, отмеченные некоторыми исследователями в то время. Кумулятивный характер накопления (и высвобождения) полиметаллической пыли привел к тому, что снижение рудоперерабатывающим комбинатом своих

© Евдокимов А.С., Ярмишко В.Т., 2023

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

мощностей позволило концентрации металлов, содержащихся в почве и органах растений, по прошествии некоторого времени снизиться до определенного уровня. Представлены материалы, полученные в ходе полевых исследований в 2015–2018 гг.

Ключевые слова: сосновые леса, аэротехногенное загрязнение, виталитетная структура древостоя, северная тайга, Кольский полуостров

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

История статьи: поступила в редакцию 20.09.2022; доработана после рецензирования 20.12.2022; принята к публикации 20.01.2023.

Для цитирования: Евдокимов А.С., Ярмишко В.Т. Структура древесного яруса лесных сообществ центральной части Кольского полуострова, формируемая при снижении аэротехногенной эмиссии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 1. С. 115–126. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-115-126>

The tree layer structure of forest communities of the Kola Peninsula central part formed when aerotechnogenic emissions reduced

Alexander S. Evdokimov¹  , Vasily T. Yarmishko²

¹Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation

²Komarov Botanical Institute of Russian Academy of Sciences,
Saint Petersburg, Russian Federation

 evdokimov89@gmail.com

Abstract. This research provides an overview of the main component of forest ecosystems in northern Europe, the tree layer formed by the Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) species. The studied communities are located in the immediate vicinity of the largest plant in Europe, OAO Severonickel (Monchegorsk, Murmansk region). The main pollutants are polymetallic dust containing elements such as Cu, Ni and Co (which are by-products of processing and smelting non-ferrous ores) and sulfur dioxide – SO₂ (which is formed during the primary processing of ores, the so-called “roasting”). The first permanent trial plots (PPPs) in this region were established in the early 1970s. Since the second half of the 1990s, the plant has significantly reduced the amount of aerotechnogenic emissions, as evidenced by the data noted by some researchers at that time. The cumulative nature of the accumulation (and release) of polymetallic dust led to the fact that, starting from the time the ore processing plant reduced its capacity, the concentration of metals contained in the soil and plant organs decreased to a certain level. We present the materials obtained in the course of field research in 2015–2018.

Keywords: pine forests, aerial anthropogenic pollution, vitality structure of the stand, northern taiga, Kola Peninsula

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

Article history: received 20.09.2022; revised 20.12.2022; accepted 20.01.2023.

For citation: Evdokimov AS, Yarmishko VT. The tree layer structure of forest communities of the Kola Peninsula central part formed when aerotechnogenic emissions reduced. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(1):115–126. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-115-126>

Заселение данного региона сосной обыкновенной произошло после схода ледника примерно 11,7 тыс. лет назад. Основные площади распространения вида расположены в Фенноскандии, на севере европейской и центральной части России и на востоке Центральной Европы. Распространение по большей части ограничивается другими, более теневыносливыми видами деревьев; формирование лесных массивов с преобладанием сосны обыкновенной может происходить только за пределами лесных сообществ с доминированием сциофитных видов в древесном ярусе (так называемая «темнохвойная тайга»). Однако, учитывая широкое распространение вида в резко различающихся по климатическим и лесорастительным условиям, можно говорить о низкой требовательности и возможности существования в широком диапазоне экологических факторов [1–3].

Сосна обыкновенная является основной лесообразующей породой на севере европейской части России (наряду с некоторыми другими видами) и формирует весьма внушительные лесные массивы на Европейском Севере (данный вид образует до половины всех облесенных площадей региона). Следует отметить, что таежные сообщества данного региона сформированы другой хвойной породой, а именно елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и елью европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.) – в меньшей степени. Изучение видов, входящих в состав древесного яруса, позволяет рассматривать различные аэротехногенные воздействия на протяжении длительного промежутка времени (в течение жизни каждой отдельной особи и ее частичном суммировании для всего сообщества целиком). В целом Мурманская область – промышленно развитый регион, на территории которого расположены крупнейшие предприятия по добыче, обогащению и выплавке черных и цветных металлов (ОАО «Североникель», ОАО «Печенганикель» – дочерние предприятия ОАО «Кольская ГМК»; АО «Апатит» – дочернее предприятие ОАО «ФосАрго» и т. д.), ведущие свою деятельность с 20–30-х гг. XX в. Параллельно с деятельностью промышленных объектов ведутся исследования по оценке влияния отходов производства на растительные сообщества, наибольшая активность которых пришлась на 1960–1970-е гг. [4–6]. Примерно в это время начинается активная работа сотрудников Лаборатории экологии растительных сообществ по экологической оценке и мониторингу растительных сообществ, находящихся в зоне воздействия аэротехногенных поллютантов. В это же время были успешно апробированы методы оценки лесных сообществ применительно к конкретным условиям (северная тайга, аэротехногенное загрязнение). Также были выделены границы импактной и буферной зон, выявлены некоторые базовые закономерности формирования растительных сообществ, находящихся под постоянным воздействием промышленных

загрязнителей (индекс жизненного состояния, видовой состав напочвенных ярусов и т. д.) (рис. 1–3).

Цель работы – сравнительная оценка временных рядов виталитетной структуры древесного яруса в сосняках, произраставших в зоне действия аэротехногенных поллютантов комбината ОАО «Североникель».

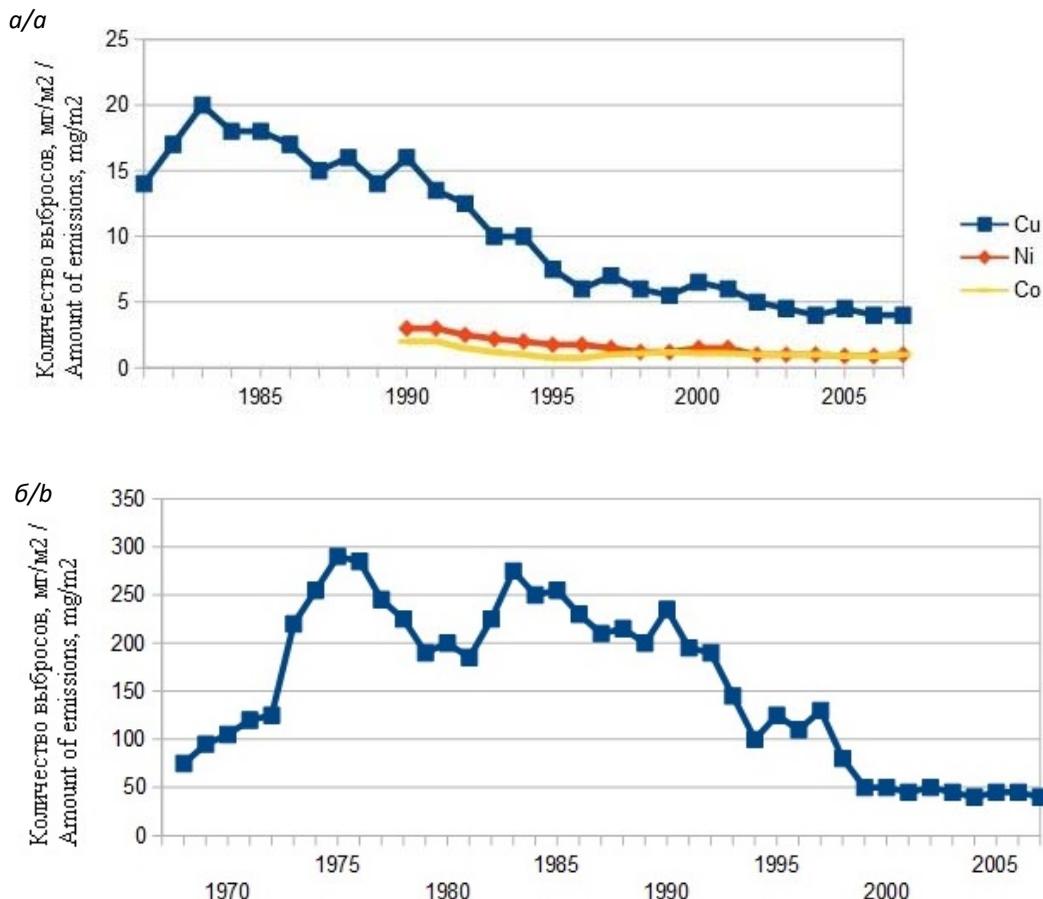


Рис. 1. Динамика атмосферной эмиссии тяжелых металлов (а) и сернистого ангидрида (б) предприятия «Североникель» в 1970–2005 гг. (по [1]) /
 Figure 1. Dynamics of atmospheric emission of heavy metals (a) and sulfur dioxide (b) of the Severonickel enterprise, 1970–2005 [1]

Объект и методы исследований

Исследования проводились на материале, собранном в период с 2015 по 2018 г. в ходе полевых экспедиций в Мончегорский район Мурманской области. Объектом исследования являются сосняки лишайниково-зеленомошные, возраст которых – 60–80 лет (средневозрастные сосняки, V^a и V^b классы бонитета). В зависимости от удаления от источника загрязнения, как было указано ранее, выделены две зоны в зависимости от уровня загрязнения и уровня нарушенности: импактная (10–15 км) и буферная (25–35 км). Именно такая градация обусловлена ярко выраженными изменениями

в условиях (и, соответственно, характером растительности) данных территорий. На сегодняшний день наиболее наглядно это различие можно продемонстрировать, используя «индекс техногенной нагрузки» (отношение реального содержания конкретных поллютантов (в данном случае рассматривается суммарное значение меди, никеля и кобальта) данной территории к содержанию этих же веществ в фоновом районе (не подверженном воздействию промышленных выбросов)). Для буферной зоны данный показатель составляет от 10 до 15 (то есть превышение тяжелых металлов в сравнении с нормой составляет 10–15 раз), а для импактной зоны – 80 и более.

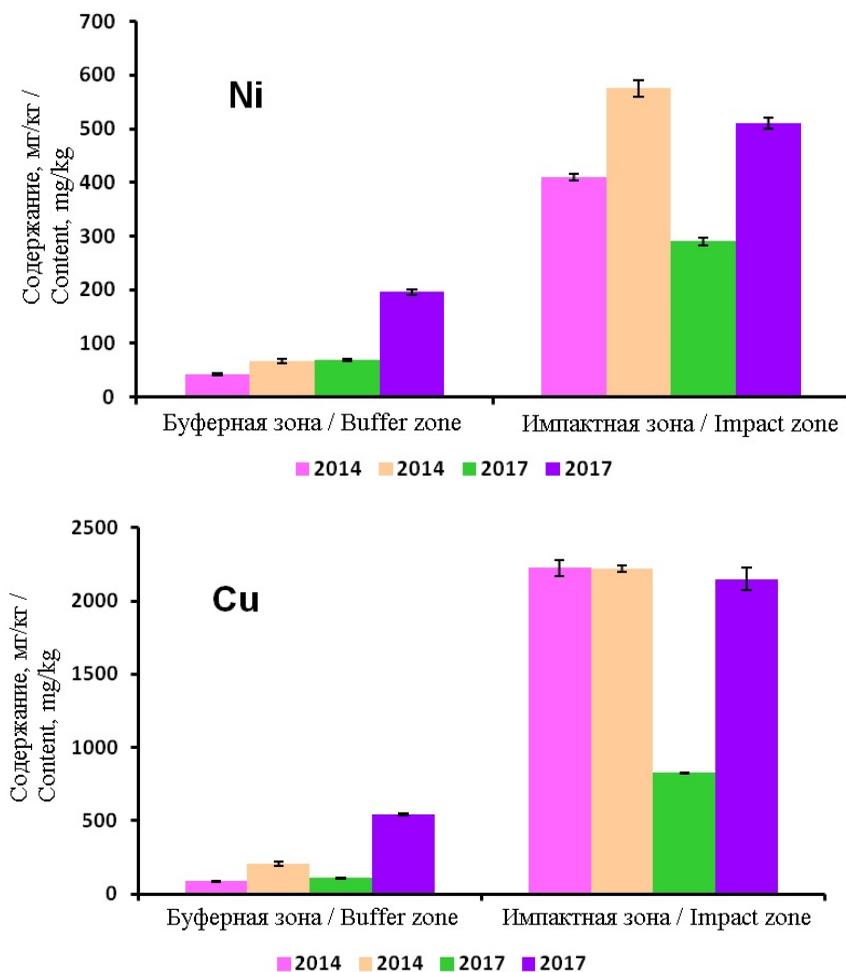


Рис. 2. Абсолютные значения Ni и Cu в органогенных горизонтах в 2014–2017 гг. (по [3]) / Figure 2. Absolute values of Ni and Cu in organic horizons, 2014–2017 (according to [3])

Как уже было сказано выше, основными поллютантами являются диоксид серы (SO_2) и полиметаллическая пыль (Cu, Ni, Co). Это обусловлено характером производства, которое ведется на комбинате «Североникель», а именно выплавка цветных руд. Данный процесс включает как обжиг самих

руд, побочным продуктом которого является выделение диоксида серы, так и очистку уже готовых металлов, в результате которого происходит выброс металлической пыли. Данная пыль, несмотря на свои малые размеры, все же является твердым веществом, что существенно ограничивает ее перемещение с воздушными массами (содержание ее в окрестностях комбината снижается экспоненциально по мере удаления от источника загрязнения). Диоксид серы имеет более обширную площадь распространения, так как, помимо своего агрегатного состояния (газ), является кислотным оксидом, что позволяет ему вступать в реакцию с атмосферной влагой и преобразовываться в нестабильную сернистую кислоту.

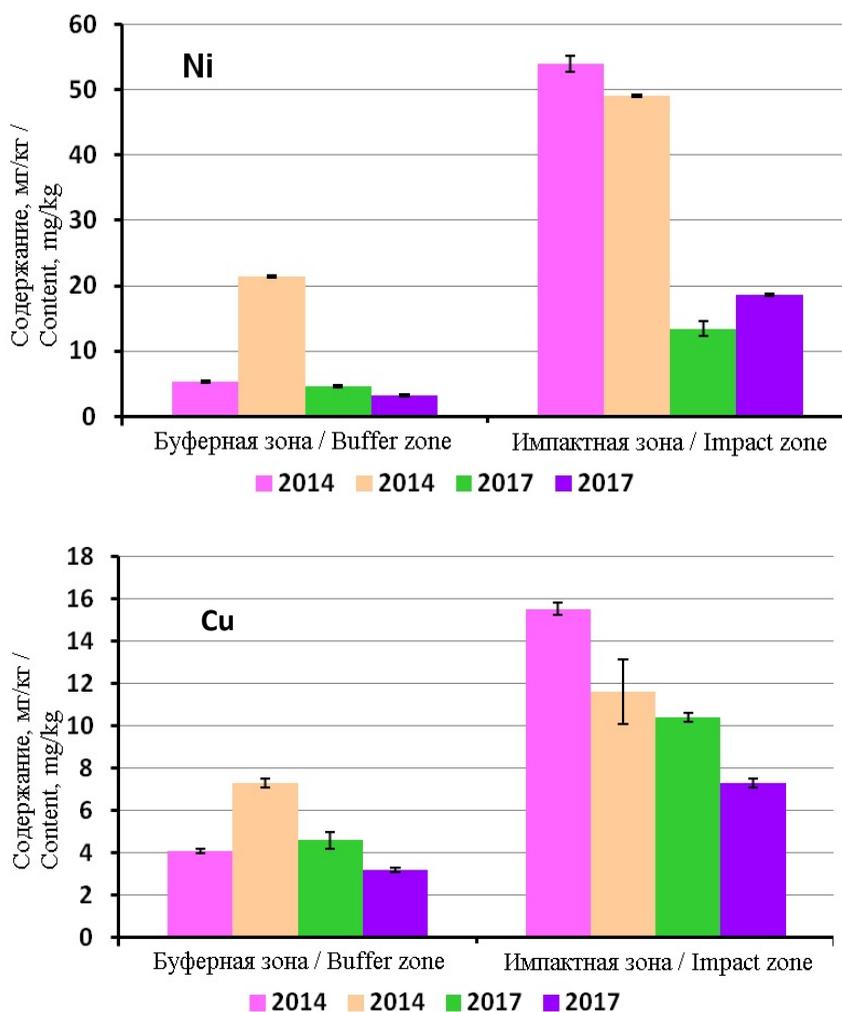


Рис. 3. Абсолютные значения Ni и Cu в побегах черники (*Vaccinium myrtillus* L.) в 2014–2017 гг. (по [3]) /
 Figure 3. Absolute values of Ni and Cu in the shoots of blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.), 2014–2017 (according to [3])

Выборка была сформирована на четырех постоянных пробных площадях (ППП): ППП 100 – 10 км (N 68 00.384, E 032 55), ППП 270 – 25 км (N 68 06.817, E 033 19.455) 541 – севернее источника загрязнения; ППП 29 – 15 км (N 67 44.216, E 032 46.447), ППП 3 – 35 км (N 67 38.168, E 032 42.234) – южнее источника загрязнения. Две пробные площади были заложены севернее источника загрязнения, две южнее (рис. 4). Такое количество и расположение пробных площадей обусловлено спецификой расположения сосновых лесов в окрестностях комбината и их доступностью для долгосрочных и продолжительных исследований.

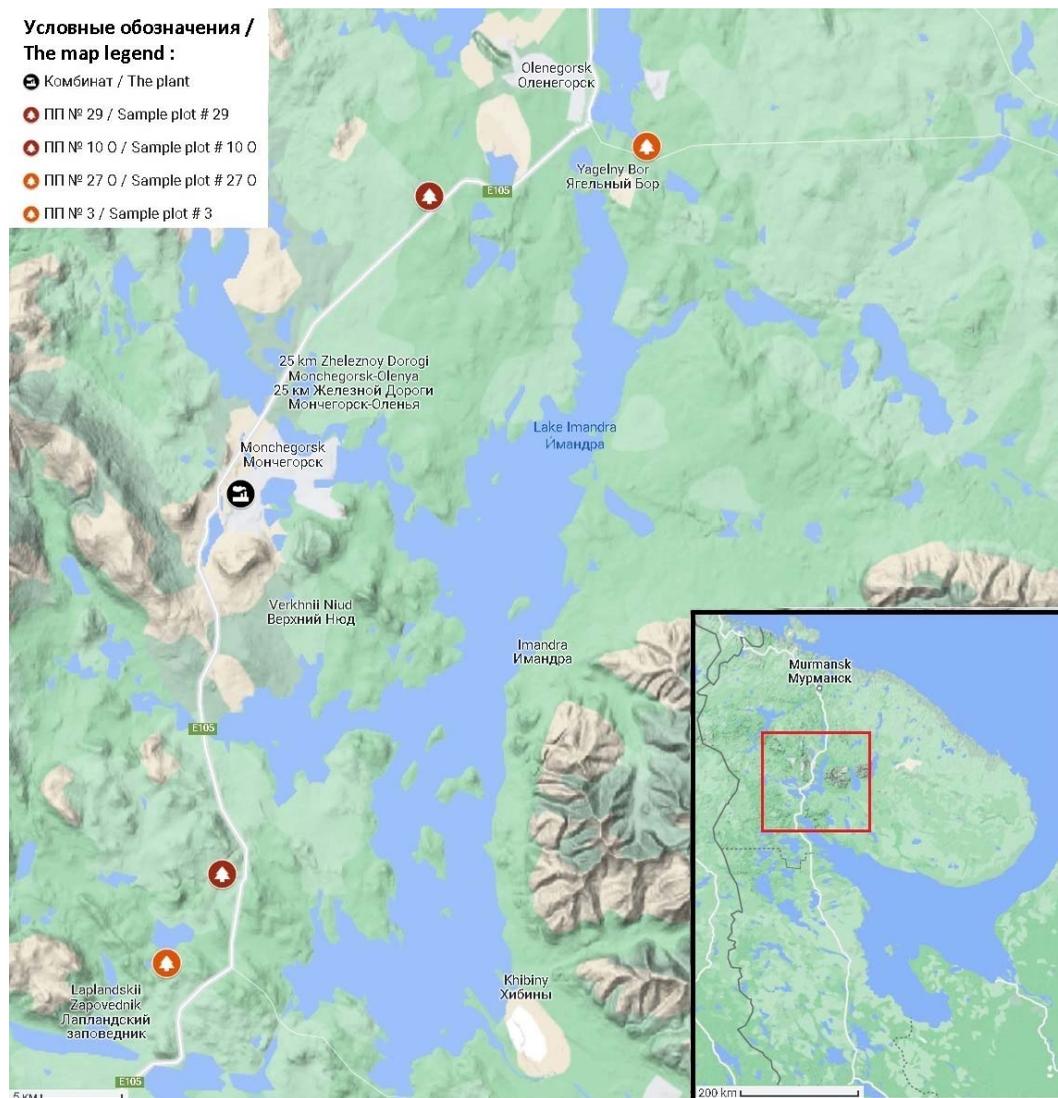


Рис. 4. Места закладки постоянных пробных площадей на различном удалении от источника загрязнения Мончегорского района Мурманской области / Figure 4. Places of laying permanent sample plots at different distances from the source of pollution in the Monchegorsk district of the Murmansk region

Для особей, формирующих древесный ярус на данных ППП, были определены следующие данные: определены диаметр ствола, высота дерева и категория состояния (по данному показателю мы исходили из общепринятой шкалы категорий жизненного состояния древесных форм [8]: I – здоровые особи; II – ослабленные особи; III – сильно ослабленные особи; IV – усыхающие особи; V – сухие особи). Исходя из данного распределения, был определен индекс жизненного состояния древостоя [8–10] по формуле

$$I_n = \frac{n_1 + 0,7n_2 + 0,4n_3 + 0,1n_4}{n},$$

где I_n – индекс жизненного состояния; n_1 – количество здоровых особей; n_2 – количество ослабленных особей; n_3 – количество сильно ослабленных особей; n_4 – количество усыхающих особей; n – общее количество особей.

Данная формула широко используется в лесном хозяйстве и имеет две вариации: количественную (использованную в данной работе) и процентную, предусматривающую изначально оперировать с процентными соотношениями различных категорий лесообразующей породы.

Следует отметить, что к ярусу древостоя нами были отнесены все особи основной лесообразующей породы, имеющие на высоте 1,3 м диаметр ствола 4 см и более [7; 8]. Необходимость этого допущения обусловлена тем, что в зоне северной тайги рост деревьев снижен по сравнению с характером роста аналогичных видов средней и южной тайги, где к ярусу древостоя относят особи, достигшие 6–8 см в диаметре на высоте 1,3 м.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования нами была выявлена следующая закономерность: виталитетная структура, а следовательно, индекс жизненного состояния для данных сосновых сообществ в условиях снижающегося воздействия аэротехногенных поллютантов сохраняют устойчивость на протяжении рассматриваемого временного интервала. При рассмотрении динамики изменения индекса жизненного состояния мы получили следующие результаты.

В импактном районе виталитетная структура почти полностью без изменений – для 2015 г. среднее значение индекса жизненного состояния составило 0,53 (0,56 для ППП 100 и 0,49 для ППП 29). Статистическое распределение групп особей по категориям жизненного состояния составило:

– для ППП 100 – 15,7 % здоровых, 30,4 % ослабленных, 45,1 % сильно ослабленных и 8,8% усыхающих деревьев;

– для ППП 29 – 21,7 % здоровых, 20,7 % ослабленных, 24,8 % сильно ослабленных и 32,8 % усыхающих деревьев.

Среднее значение индекса жизненного состояния для 2017 г. в среднем составило 0,53 (0,55 для ППП 100 и 0,48 для ППП 29). Статистическое распределение групп особей по категориям жизненного состояния составило:

– для ППП 100 – 17,3 % здоровых, 30,2 % ослабленных, 39,7 % сильно ослабленных и 5,5% усыхающих деревьев;

– для ППП 29 – 25,8 % здоровых, 18,4 % ослабленных, 18,9 % сильно ослабленных и 16,1 % усыхающих деревьев.

Для 2018 г. данные показатели остались без изменений и составили в среднем 0,53 (0,56 для ППП 10О и 0,48 для ППП 29). Статистическое распределение групп особей по категориям жизненного состояния осталось без изменений.

В буферном районе для 2015 г. среднее значение индекса жизненного состояния составило 0,81 (0,83 для ППП 27О и 0,79 для ППП 3). Статистическое распределение групп особей по категориям жизненного состояния составило:

– для ППП 27О – 70,8 % здоровых, 5,6 % ослабленных, 19,4 % сильно ослабленных и 4,2% усыхающих деревьев;

– для ППП 3 – 64,2 % здоровых, 12,6 % ослабленных, 10,6 % сильно ослабленных и 12,6 % усыхающих деревьев.

Для 2017 г. данный показатель в среднем составил 0,83 (0,84 для ППП 27О и 0,81 для ППП 3). Статистическое распределение групп особей по категориям жизненного состояния составило:

– для ППП 27О – 72,0% здоровых, 6,3 % ослабленных, 18,0 % сильно ослабленных и 1,5 % усыхающих деревьев;

– для ППП 3 – 66,9 % здоровых, 14,3 % ослабленных, 8,8 % сильно ослабленных и 3% усыхающих деревьев.

Для 2018 г. индекс жизненного состояния для буферного района, так же как и для импактного остался без изменений и составил в среднем 0,83 (0,84 для ППП 27О и 0,82 для ППП 3). Статистическое распределение групп особей по категориям жизненного состояния, так же как и в импактной зоне, не подверглось каким-либо существенным изменениям (табл. 1, рис. 5) и находится в пределах погрешности при статистической обработке полученного материала) [9].

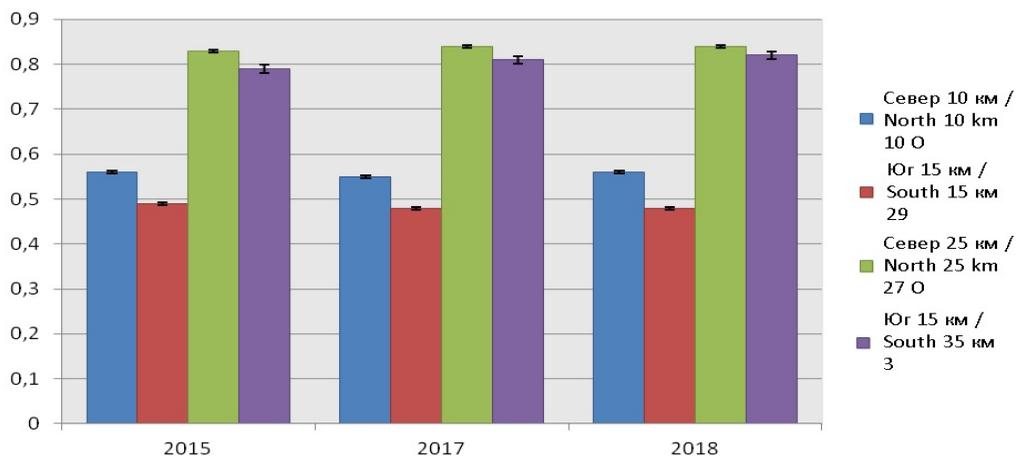


Рис. 5. Виталитетная структура древесного яруса для сообществ сосны обыкновенной, находящихся в зоне воздействия аэротехногенными выбросами комбината «Североникель» в 2015–2018 гг. /

Figure 5. The vitality structure of the tree layer for Scots pine communities in the area affected by aerotechnogenic emissions from the Severonickel plant, 2015–2018

Таблица 1. Распределение в сообществе *Pinus sylvestris* особей по категориям жизненного состояния в условиях различной техногенной нагрузки /
 Table 1. Distribution of individuals in the community of *Pinus sylvestris* by categories of life status under conditions of various technogenic pressure

Количество особей на ПП / Number of individuals on the sample plot, %	Постоянные пробные площади / Permanent sample plots			
	Импактные / Impact		Буферные / Buffer	
	100 Север 10 км / North 10 km	29 Юг 15 км / South 15 km	270 Север 25 км / North 25 km	3 Юг 35 км / South 35 km
2015				
Здоровые / Healthy	15,7	21,7	70,8	64,2
Ослабленные / Defoliated	30,4	20,7	5,6	12,6
Сильно ослабленные / Severely defoliated	45,1	28,4	19,4	10,6
Усыхающие / Withered	8,8	32,8	4,2	12,6
2017				
Здоровые / Healthy	17,3	25,8	72,0	66,9
Ослабленные / Defoliated	30,2	18,4	6,3	14,3
Сильно ослабленные / Severely defoliated	39,7	18,8	18,0	8,8
Усыхающие / Withered	5,5	16,1	1,5	3,0
2018				
Здоровые / Healthy	18,1	25,9	72,2	67,3
Ослабленные / Defoliated	30,4	18,5	6,3	14,8
Сильно ослабленные / Severely defoliated	39,3	18,6	17,8	8,1
Усыхающие / Withered	5,1	16,1	1,4	3,2

Заключение

В результате проведенного исследования хорошо заметно, что витали-тетная структура и индекс жизненного состояния сообществ *Pinus sylvestris* в исследуемом регионе на имеющихся постоянных пробных площадях в период с 2015 по 2018 г. изменился незначительно, несмотря на явную тенденцию к снижению аэротехногенных выбросов полиметаллической пыли и сернистого ангидрида предприятием и, как следствие, уменьшению содержания кислоторастворимых форм тяжелых металлов в верхних горизонтах почвы и ассимиляционных органах растений. Также отметим, что для фоно-вых районов показатель жизненного состояния находится в диапазоне от 0,8 до 0,9, что несущественно отличается от буферной зоны, испытывающей явную техногенную нагрузку. Основным объяснением столь явно противоре-чивых на первый взгляд данных может быть тот факт, что древесный ярус при любом уровне воздействия (в пределах зоны толерантности) будет реагиро-вать на изменения окружающей среды в значительном временном диапазоне, нежели другие жизненные формы. Также это может быть связано с продол-жительной аккумуляцией тяжелых металлов в различных горизонтах почвы (как органогенных, так и минеральных), что и вызывает весьма длительное восстановление сосновых лесов импактной и буферной территории.

Список литературы

- [1] Ярмишко В.Т., Баккал И.Ю., Борисова О.В., Горшков В.В., Катютин П.Н., Лянгу-зова И.В., Мазная Е.А., Ставрова Н.И., Ярмишко М.А. Динамика лесных сообществ северо-запада России. СПб.: ВВМ, 2009. 276 с.

- [2] Лянгузова И.В., Ярмишко В.Т., Евдокимов А.С. Прогноз состояния напочвенного покрова северотаежных сосновых лесов при аэротехногенном загрязнении // Экологические проблемы промышленных городов: материалы 7-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ч. 2 / под ред. Е.И. Тихомировой. Саратов: СГТУ, 2015. 392 с.
- [3] Лянгузова И.В., Ярмишко В.Т., Евдокимов А.С., Беляева А.И. Состояние лесных экосистем Кольского полуострова на фоне снижения объемов антропогенных выбросов // Растительные Ресурсы. 2018. 2018. Т. 54. С. 516–531.
- [4] Исаченко Е.А., Филиппова Л.Н. Влияние промышленного задымления на естественную растительность в окрестностях г. Мончегорска // Естественная среда и биологические ресурсы Крайнего Севера. Л., 1975. С. 135–143.
- [5] Крючков В.В., Сыроид Н.А. Изменение экосистем Кольского Севера под влиянием антропогенной деятельности // 8 Всесоюзный симпозиум «Биологические проблемы Севера»: Тез докл. Апатиты: КФ АН СССР, 1979. С. 39–42.
- [6] Зябченко С.С. Сосновые леса Европейского Севера. Л., 1984. 247 с.
- [7] Федорчук В.Н., Дыренков С.А. Выделение и распознавание типов леса. Л., 1975. 55 с.
- [8] Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: СпбГУ, 1997. 210 с.
- [9] Евдокимов А. С., Ярмишко В. Т. Состояние древесного яруса лесных сообществ центральной части Кольского полуострова на фоне снижающейся аэротехногенной эмиссии // Актуальные проблемы экологии и природопользования. 2019. С. 81–86.
- [10] Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / отв. ред. В.А. Алексеев. Л.: Наука, 1990. 200 с.
- [11] Ярмишко В.Т., Горшков В.В., Ставрова Н.И. Виталитетная структура *Pinus sylvestris* L. в лесных сообществах с разной степенью и типом антропогенной нарушенности (Кольский полуостров) // Растительные ресурсы. 2003. Т. 39, № 4. С. 1–19.

References

- [1] Yarmishko VT, Bakal IYu, Borisova OV, Gorshkov VV, Katyutin PN, Lyanguzova IV, Maznaya EA, Stavrova NI, Yarmishko MA. *Dynamics of forest communities in northwestern Russia*. SPb.: VVM; 2009. (In Russ.)
- [2] Lyanguzova IV, Yarmishko VT, Evdokimov AS. Forecast of the state of the ground cover of the northern taiga pine forests under aerotechnogenic pollution. *Ecological problems of industrial cities. Materials of the 7th All-Russian scientific and practical conference with international participation*. SGTU; 2015. Part 2 (In Russ.)
- [3] Lyanguzova IV, Yarmishko VT, Evdokimov AS, Belyaeva AI. The state of forest ecosystems of the Kola Peninsula against the background of a decrease in anthropogenic emissions. *Plant Resources*. 2018;54. (In Russ.)
- [4] Isachenko EA, Filippova LN. Influence of industrial smoke on natural vegetation in the vicinity of Monchegorsk. *Natural environment and biological resources of the Far North*. Leningrad; 1975. (In Russ.)
- [5] Kryuchkov VV, Syroid NA. Changes in the ecosystems of the Kola North under the influence of anthropogenic activity. *8th All-Union Symposium "Biological Problems of the North": Abstracts of reports*. Apatity: KF AN SSSR; 1979;(8):39–42. (In Russ.)
- [6] Zyabchenko SS. *Pine forests of the European North*. Leningrad; 1984. (In Russ.)
- [7] Fedorchuk VN, Dyrenkov SA. *Selection and recognition of forest types*. Leningrad; 1975. (In Russ.)

- [8] Yarmishko VT. *Scotch pine and atmospheric pollution in the European North*. St. Petersburg: St. Petersburg State University; 1997. (In Russ.)
- [9] Evdokimov AS, Yarmishko VT. The state of the tree layer of forest communities in the central part of the Kola Peninsula against the background of declining aerotechnogenic emissions. *Actual problems of ecology and nature management*. 2019. p. 81–86. (In Russ.)
- [10] Alekseev VA. (responsible ed.) *Forest ecosystems and atmospheric pollution*. Leningrad: Nauka, 1990. (In Russ.)
- [11] Yarmishko VT, Gorshkov VV, Stavrova NI. Vital structure of *Pinus sylvestris* L. in forest communities with different degree and type of anthropogenic disturbance (Kola Peninsula). *Plant Resources*. 2003;39(4):1–19. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Евдокимов Александр Сергеевич, научный сотрудник кафедры ботаники и экологии факультета биологии, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Российская Федерация, 191186, Санкт-Петербург, набережная реки Мойки 48, ORCID: 0000-0002-8871-4774, eLIBRARY SPIN-код: 8151-6417. E-mail: evdokimov89@gmail.com

Ярмишко Василий Трофимович, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник с возложением обязанностей заведующего Ботаническим садом Петра Великого, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Российская Федерация, 197022, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 2, eLIBRARY SPIN-код: 4483-9930. E-mail: yarmishko@binran.ru

Bio notes:

Alexander S. Evdokimov, Researcher, Department of Botany and Ecology, Faculty of Biology, Herzen State Pedagogical University of Russia, Russian Federation, 191186, St. Petersburg, Moika emb., 48, ORCID: 0000-0002-8871-4774, eLIBRARY SPIN-code: 8151-6417. E-mail: evdokimov89@gmail.com

Vasily T. Yarmishko, Dr. Sc., Professor, Department Head, Department of Botanical Garden, Komarov Botanical Institute of the RAS, 2 Professor Popova St, St. Petersburg, 197022, Russian Federation. eLIBRARY SPIN code: 4483-9930. E-mail: yarmishko@binran.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-1-127-136

EDN: HFYOEJ

УДК 58.07

Научная статья / Research article

Современная практика использования альгоресурсов в Российской Федерации: тенденции и возможности

М.С. Шишканова¹✉, А.И. Никифоров^{2,3} 

¹ Государственное бюджетное негосударственное общеобразовательное учреждение Пензенской области «Губернский лицей», Пенза, Российская Федерация

² Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Российская Федерация

³ Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации, Москва, Российская Федерация

✉ i.am.maria.shishkanova@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены перспективы хозяйственного использования альгоресурсов, обладающих уникальными биохимическими свойствами и являющихся ценным сырьем для многих сфер производственной деятельности. Актуальность данной тематики обусловлена тем, что, несмотря на высокие адаптационные возможности и практически повсеместное распространение альгоресурсов, их хозяйственно-экономический потенциал реализуется не в полной мере, а данная сфера экономики является весьма перспективной для научных поисков. Анализ доступной литературы показал, что, несмотря на очевидную перспективность расширения сферы использования альгоресурсов, российские предприниматели пока оставляют без должного внимания возможности применения водорослей в качестве сырья для различных промышленных процессов. В то же время на данный момент выявлены районы дальневосточных и северных морских акваторий, обладающих особенно богатыми запасами альгоресурсов, весьма перспективными с точки зрения их хозяйственного освоения. Представленные примеры свидетельствуют о высоких потенциальных перспективах расширения хозяйственного использования альгоресурсов России.

Ключевые слова: альгоресурсы, практическое применение водорослей, промышленное производство, рациональное природопользование, голубая экономика, экономика России

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

История статьи: поступила в редакцию 30.04.2022; доработана после рецензирования 20.11.2022; принята к публикации 12.12.2022

© Шишканова М.С., Никифоров А.И., 2023



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

Для цитирования: Шишканова М.С., Никифоров А.И. Современная практика использования альгоресурсов в Российской Федерации: тенденции и возможности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 1. С. 127–136. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-127-136>

Modern practice of algal resources exploitation in the Russian Federation: trends and opportunities

Mariia S. Shishkanova¹✉, Andrey I. Nikiforov^{2,3} 

¹ *Gubernsky Lyceum, Penza, Russian Federation*

² *Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
Moscow, Russian Federation*

³ *Moscow State Institute of International Relations (University), Moscow, Russian Federation*
✉i.am.maria.shishkanova@gmail.com

Abstract. The article deals with the prospects of economic use of algae resources, which have unique biochemical properties and are valuable raw materials for many areas of industrial activity. The relevance of this topic is due to the fact that, despite the high adaptive capacity and almost ubiquitous distribution of algal resources, their economic potential is not fully realized, and this area of the economy is very promising for scientific research. Analysis of available literature showed that in spite of obvious perspectives of expanding sphere of algae resources use, Russian businessmen still leave without proper attention possibilities of algae use as raw material for different industrial processes. At the same time, the Far Eastern and Northern sea areas with particularly rich reserves of algae resources, which are very promising from the point of view of their economic development, have now been identified. The examples presented in this paper demonstrate the high potential prospects for expanding the economic use of algae resources in Russia.

Keywords: algal resources, practical use of algae, industrial production, environmental management, blue economy, Russian economy.

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

Article history: received 30.04.2022; revised 20.11.2022; accepted 12.12.2022

For citation: Shishkanova MS, Nikiforov AI. Modern practice of algal resources exploitation in the Russian Federation: trends and opportunities. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(1):127–136. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-127-136>

Введение

При поиске инновационных решений для расширения хозяйственной деятельности человек традиционно обращается к природным ресурсам. Однако, несмотря на ту огромную роль, которую играют водоросли во многих биологических сообществах, а также на объективно оцениваемые колоссальные запасы их биомассы на планете, их хозяйственное использование пока достаточно фрагментарно.

Объективная перспективность расширения использования дикорастущих и культивируемых альгоресурсов и необходимость оценки их экономического потенциала определяют актуальность настоящей работы. В связи с этим можно с уверенностью утверждать, что имеющиеся возможности практического использования альгоресурсов далеко не исчерпаны, а методы устойчивого управления ими только разрабатываются.

Россия, являющаяся одним из мировых лидеров по протяженности береговой линии и обладающая колоссальными запасами водных биологических ресурсов, однозначно имеет карт-бланш в голубой экономике, что, в свою очередь, может сыграть особую роль в расширении международной практики использования альгоресурсов.

В связи с этим особый интерес представляет анализ отечественного и зарубежного опыта устойчивой эксплуатации альгоресурсов с целью выявления потенциально наиболее перспективных вариантов развития практики использования альгоресурсов в российском контексте.

Результаты и обсуждение

В последнее время развитие прикладной альгологии происходит ускоренными темпами, прежде всего, потому, что вся ценная пищевая и техническая продукция, получаемая из альгоресурсов, является возобновляемым сырьем, получаемым в ходе эксплуатации автотрофного компонента водных экосистем.

Роль альгоресурсов во многих современных совершенно разнообразных промышленных производствах сложно переоценить. При этом, вследствие поразительной выносливости и неприхотливости, компоненты альгофлоры являются поистине вездесущими и способны развиваться даже в крайне суровых условиях. При этом, благодаря ценным биохимическим свойствам, водоросли представляются универсальным исходным материалом для практически всех сфер промышленной активности человека по всему миру (рис. 1).

На национальном уровне в качестве наиболее перспективного (с организационной и экономической точек зрения) направления следует рассматривать хозяйственное использование морских макроводорослей.

К потенциально пригодным для хозяйственного использования морским водорослям-макрофитам относят представителей таких отделов, как зеленые (*Chlorophyta*), бурые (*Phaeophyceae*) и красные водоросли (*Rhodophyta*). В общей сложности в мире ведется добыча 409 видов водорослей (51 вида зеленых водорослей, 134 вида бурых, 224 вида красных), из которых на долю России, обладающей 12 морями, приходится всего 69 видов (8 видов зеленых, 28 бурых и 33 красных). При этом только разведанные запасы промысловых макрофитов составляют порядка 10–11 млн т: в морях Дальнего Востока 8,8–9,3 млн т; в Белом море 0,7–1,0 млн т; в Баренцевом море – 350–400 тыс. т; в Чёрном море 1–1,5 млн т, из которых примерно половина относится к российским акваториям [4].

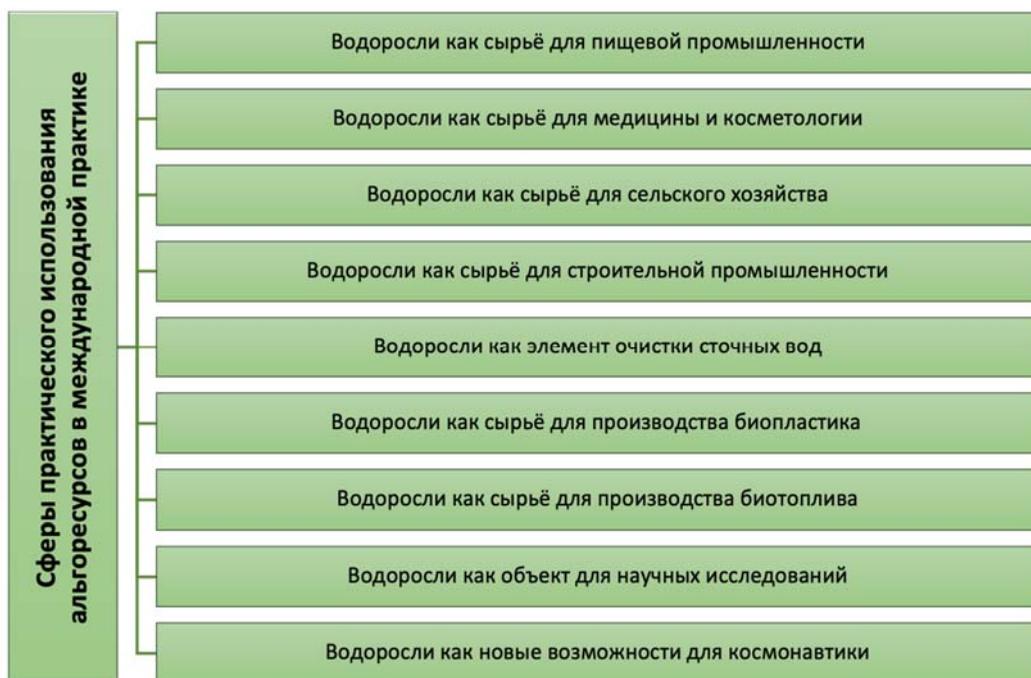


Рис. 1. Сферы эксплуатации альгоресурсов в международной практике

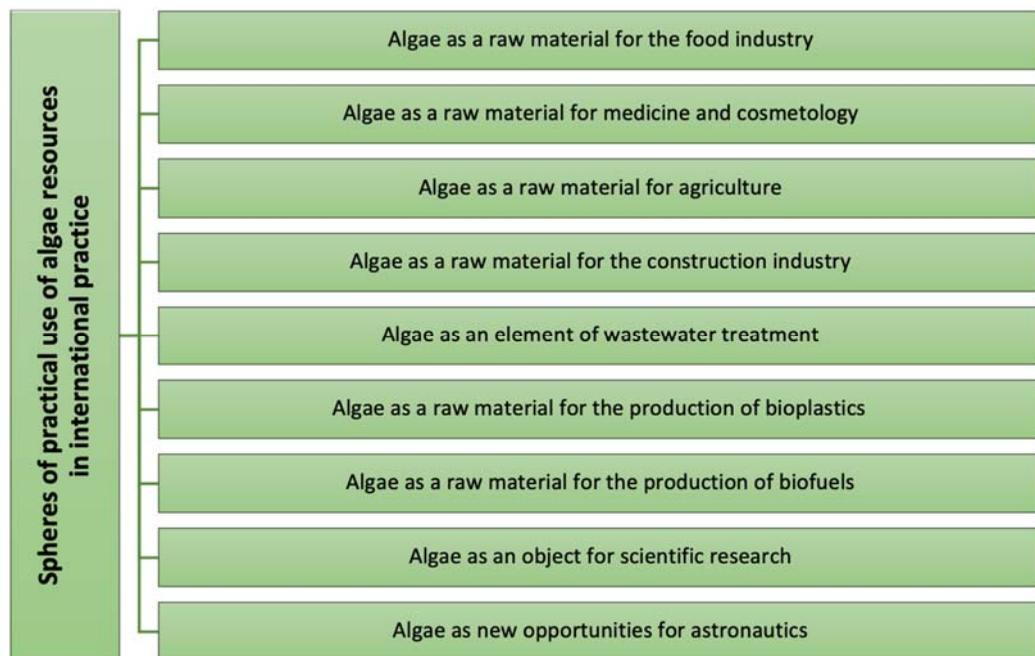


Figure 1. Areas of exploitation of algae resources in international practice

Все это обеспечивает наличие значительного потенциала для широкого хозяйственного использования альгоресурсов в России и в мире (рис. 2).



Рис. 2. Районы промышленной добычи альгоресурсов в России (схема составлена авторами на основании данных сайта «GIS-Lab».
 Источник: GIS-Lab.info. URL: <https://gis-lab.info> (дата обращения: 25.12.2021).

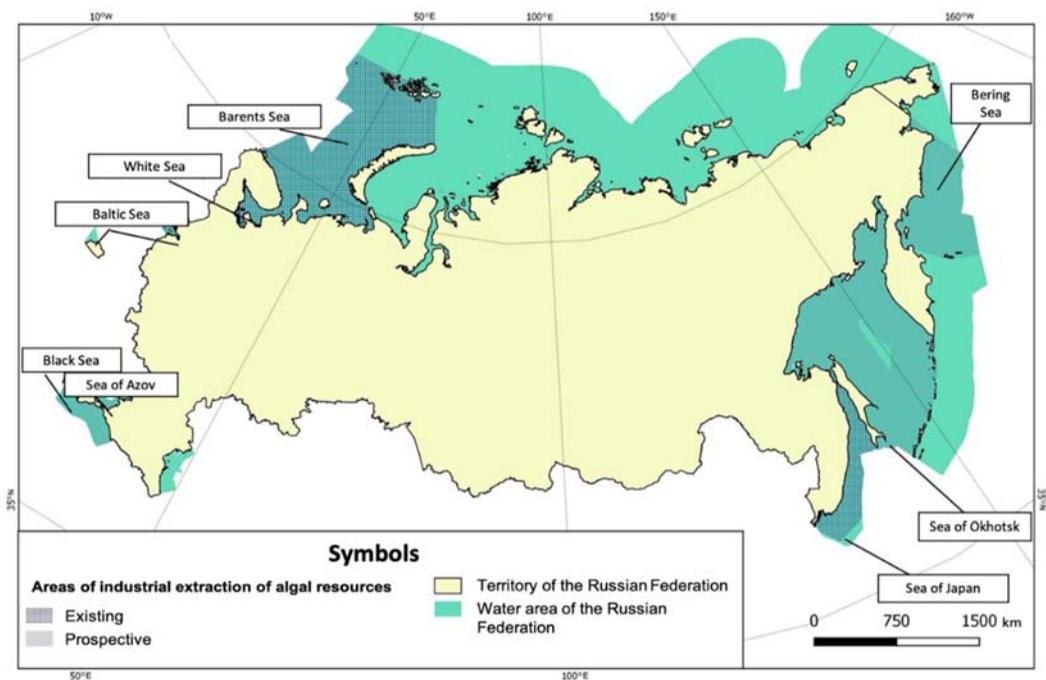


Figure 2. Areas of industrial extraction of algal resources in Russia (the scheme was compiled by the authors based on the data from the website "GIS-Lab".
 Source: "GIS-Lab". Available from: <https://gis-lab.info> (accessed: 25.12.2021).

Так, согласно данным, представленным в Государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году», перспективными морями с точки зрения промышленной добычи альгоресурсов считаются Чёрное и Азовское моря, где содержатся значительные запасы бурой водоросли цистозире, Балтийское море, а также дальневосточные моря, в особенности Берингово и Охотское¹.

Попытки промышленного культивирования водорослей предпринимались ранее на территории России от дальневосточного Приморья до Белого моря, однако в силу климатических и целого ряда организационных сложностей производство продукции из альгоресурсов так и не вышло за рамки хозяйственного эксперимента или локального использования.

В целом следует отметить, что во времена Советского Союза многие научные организации достаточно активно занимались изучением ресурсов морских водорослей. Среди научных учреждений, которых интересовала данная проблематика, – Ботанический институт им. В.Л. Комарова, Институт океанологии им. П.П. Ширшова, Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, Мурманский морской биологический институт, Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского и др.

В СССР были созданы и успешно работали перерабатывающие водорослевое сырьё предприятия в Архангельске и на Дальнем Востоке. Благодаря многочисленным научным экспедициям, в которых собирались коллекции морских макрофитов, изучалась их биология, распространение, продукция, запасы и методы хозяйственного применения, была сформирована значительная научная база, которая сегодня, к сожалению, востребована лишь частично и пока не находит широкого применения [3].

Несмотря на то, что исследования морских водорослей продолжают и поныне почти во всех перечисленных выше учреждениях, их интенсивность значительно снизилась. В результате естественного старения кадров и целого ряда трансформаций и реорганизаций научных структур существенно сократилось число российских специалистов-альгологов. При этом в целом в мире наблюдается своего рода «водорослевый бум», характеризующийся экспоненциальным спросом на продукты из водорослевого сырья, применяющиеся сегодня в самых разнообразных отраслях экономики.

В отношении полноты имеющейся информации по запасам пригодных для использования альгоресурсов следует отметить, что в целом сведения о макрофитах северных морей (от Карского до Чукотского) весьма отрывочны и, за редкими исключениями, не актуализированы (большинство получено еще в 1970–1980-х гг.). Особого внимания заслуживает Российская Арктика, которую все чаще называют приоритетным регионом для развития экономики и научных исследований, но на сегодняшний день она, к сожалению, остается неким «белым пятном» с точки зрения изучения ее альгоресурсов.

¹ Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019.

Несколько лучше обстоит ситуация с освоением запасов альгоресурсов в дальневосточных морях. На российском Дальнем Востоке в настоящее время добывается примерно 3 % имеющихся водорослевых ресурсов – около 5 тыс. т [1].

В промышленных масштабах в России также ведется промысел водорослей в акваториях Баренцева и Белого морей. Белое море в целом весьма богато альгоресурсами (известно около 190 видов), из которых в промышленности используются шесть-пять видов бурых (два вида ламинарий и три вида фукуса), и один вид красных (анфельция) водорослей. Относительная мелководность Белого моря, наличие подходящего субстрата для прикрепления водорослей, хорошей аэрации воды, а также наличие достаточной освещенности ввиду высокой прозрачности воды способствует широкому распространению водорослей в нем.

В акватории Белого моря функционирует уникальное предприятие по переработке водорослей – Архангельский водорослевый комбинат. Это единственное в России предприятие, которое осуществляет комплексную переработку альгоресурсов вот уже более века (начиная с 1918 года). В настоящее время Архангельский комбинат использует в качестве сырья преимущественно различные виды ламинарии и фукуса [5].

Производственный процесс включает в себя добычу водорослей собственным маломерным флотом в Белом море, естественную сушку на Соловецких островах в непосредственной близости от места добычи и транспортировку морским транспортом до перерабатывающего завода в Архангельске. Далее на комбинате осуществляется обработка высушенных водорослей, которые после продаются в виде готового сырья под брендом «SNOWSEA», в ассортимент которого входят пищевые добавки и косметическая продукция [5] (рис. 3).



Рис. 3. Производственный процесс Архангельского водорослевого комбината [6]

Источник: Архангельский водорослевый комбинат. URL: <http://avk1918.ru/ru/> (дата обращения: 14.10.2021).



Figure. 3. The production process of the Arkhangelsk Algal Plant [6]

Source: Arkhangelsk Algae Processing Plant. (In Russ.) Available from: <http://avk1918.ru/ru/> (accessed: 14.10.2021).

Необходимо отметить, что за счет крайне богатого микро- и макроэлементного состава беломорских водорослей альгоресурсы северных морей обладают более высокой биологической активностью по сравнению с макрофитами более южных широт.

Однако деятельность Архангельского водорослевого комбината направлена лишь на использование дикорастущих водорослей, а не на выращивание альгоресурсов, и пока массовое культивирование водорослей в России расценивается как экономически нерентабельное производство. В то же время уже сегодня в России существуют отдельные примеры успешной реализации данного направления природопользования.

Так, одной из самых успешных практик культивирования альгоресурсов в России является деятельность научно-производственного объединения «Биосоляр МГУ», начатая учеными Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова под руководством М.Я. Лямина, направленная на производство биологически активных продуктов питания на основе водоросли *Spirulina Platensis* [2].

Текущим проектом «Биосоляр МГУ» является запуск второй очереди предприятия по выращиванию спирулины в Поньровском районе Курской области. В бассейнах со специально подготовленным минеральным раствором водоросль спирулина размножается, а затем полученная биомасса сушится и измельчается до порошка, широко применяющегося в качестве биологически активной пищевой добавки.

Эффективность полезных свойств культивируемой спирулины была многократно подтверждена, в том числе в ходе довольно необычных экспериментов. Так, в ходе одного из этапов исследования учащиеся одной из школ Поньровского района Курской области получали порошок из спирулины в качестве добавки в рамках комплексного обеда. Результаты проведенного исследования показали, что успеваемость школьников повысилась почти в два раза, у детей повысился иммунитет, активизировалась работа мозга [2].

Еще одним примером успешно реализуемых программ по промышленному использованию альгоресурсов является экологический стартап по производству воздушных фильтров «Veoly», основанных на способности микроводорослей рода *Chlorella* к фотосинтезу. Группа молодых ученых из Ростова-на-Дону спроектировала современный компактный аналог космического аппарата жизнеобеспечения на основе альгоресурсов. Он улучшает качество воздуха в помещении, производя кислород, снижая содержание углекислого газа в помещении и фильтруя фенолы и формальдегиды независимо от размера и типа здания².

Потребляемая мощность данной системы, сконструированной российскими учеными, – всего около одного киловатта. Кроме того, он оборудован

² Cyber Grow Systems. URL: <https://cybergrow.ru/oborudovanie/fotobioreaktory/biofiltr-generator-kislорода-veoly> (дата обращения: 29.10.2021).

умной системой мониторинга воздуха, которая анализирует его состав и включается по мере необходимости. Прибор производит 600 граммов чистого кислорода в сутки, что примерно равняется эффекту фотосинтеза дюжины крупных деревьев, и может круглосуточно обеспечивать чистым воздухом одного взрослого мужчину даже в полностью закрытом помещении³. Описанная разработка может быть смонтирована в любом помещении, что делает ее поистине универсальной.

Заключение

Безусловно, российские альгоресурсы по праву можно назвать недооцененным богатством. Но причины того, что наша страна, являющаяся обладательницей поистине бесчисленных водных биоресурсов (в том числе альгоресурсов), до сих пор реально практически не использует их потенциал, лежат не столько в организационной, сколько в экономической и социально-культурной областях.

Очевидно, что добыча и переработка водорослей не может дать такого дохода, какой дает добыча топливных полезных ископаемых. Несмотря на то, что грамотная многоуровневая переработка водорослей оказывается исключительно продуктивной (выход агара, например, может составлять до 10-15% от биомассы водорослей), мало кто из производителей заинтересован начать свой бизнес в данной сфере, так как пока в обществе не сформирован адекватный спрос на такую специфическую продукцию.

В отношении перспектив развития устойчивых практик эксплуатации морских альгоресурсов в России авторам видятся следующие важнейшие шаги в данном направлении:

1. Расширение научно-исследовательских работ в области альгологии и практического применения альгоресурсов с уделением особого внимания развитию роли водорослей в голубой экономике России.

2. Нарращивание объемов рациональной добычи альгоресурсов без вреда для окружающей среды с учетом применения инновационных методов изъятия ресурса (например, щадящее кошение водорослей, не повреждающее субстрат) в соответствии с научно установленными объемами добычи ресурса.

3. Нарращивание объемов культивирования и расширение видового ассортимента культивируемых водорослей без вреда для окружающей среды.

4. Активизация просветительской деятельности среди населения России относительно полезных свойств альгоресурсов для создания адекватного спроса на данную продукцию.

5. Выделение целевых государственных субсидий для развития отрасли.

6. Имплементация опыта других стран в области практического применения альгоресурсов на уровне науки и бизнеса.

³ Cyber Grow Systems. URL: <https://cybergrow.ru/oborudovanie/fotobioreaktory/biofiltr-generator-kisloroda-veoly> (дата обращения: 29.10.2021).

Список литературы

- [1] Аминина Н.М. Сравнительная характеристика бурых водорослей прибрежной зоны Дальнего Востока // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). 2015. Т. 182. № 3. С. 258–268.
- [2] Биосоляр МГУ. URL: <https://spirulina-mgu.ru> (дата обращения: 21.10.2021).
- [3] Ведущие отечественные альгологические центры // Вопросы современной альгологии. URL: <http://algae.ru/184>
- [4] Титлянов Э.А., Титлянова Т.В. Морские растения стран азиатско-тихоокеанского региона, их использование и культивирование. Владивосток: Дальнаука, 2012.
- [5] Щербак А.П., Тишков С.В. Водоросли Белого моря и перспективы их использования // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. № 4. С. 60–66.

References

- [1] Aminina NM. Comparative description of brown algae from the coastal zone of Far East. *Proceedings of the Pacific Ocean branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography*. 2015;182(3):258-268. (In Russ.).
- [2] *Biosolar MSU*. [cited: 21.10.2021]. Available from: <https://spirulina-mgu.ru> .
- [3] Leading Russian Algological Centers. *Issues of Modern Algology*. (In Russ.) Available from: <http://algae.ru/184>
- [4] Titlyanov EA, Titlyanova TV. *Marine plants of Asian-Pacific Region, their use and cultivation*. Vladivostok: Dalnauka; 2012. (In Russ.).
- [5] Shcherbak AP, Tishkov SV. The White Sea Algae and Their Prospects of Using. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2015;(4):60–66. (In Russ.).

Сведения об авторах:

Шишканова Мария Сергеевна, педагог дополнительного образования, Государственное бюджетное нетиповое общеобразовательное учреждение Пензенской области «Губернский лицей», Российская Федерация, 440046, Пенза, ул. Попова, д. 66. eLIBRARY SPIN-код: 5370-5314. E-mail: i.am.maria.shishkanova@gmail.com

Никифоров Андрей Игоревич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра Международных комплексных проблем природопользования и экологии МГИМО МИД России, Российская Федерация, 119454, Москва, проспект Вернадского, д. 76. ORCID: 0000-0003-3112-5378, eLIBRARY SPIN-код 5896-7947. E-mail: hosanianig@gmail.com

Bio notes:

Mariia S. Shishkanova, Further Education Teacher in Environmental Studies, State Budget Non-Typical Educational Institution of Penza Region “The Provincial Lyceum”, 66 Popova St, Penza, 440046, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 5370-5314. E-mail: i.am.maria.shishkanova@gmail.com

Andrey I. Nikiforov, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor; Department of International Complex Problems of Nature Management and Ecology MGIMO Ministry of Foreign Affairs of Russia, 76 Vernadsky Prospekt, Moscow, 119454, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-3112-5378, eLIBRARY SPIN-код 5896-7947. E-mail: hosanianig@gmail.com



НОВОСТИ

NEWS

Российский университет дружбы народов
Неправительственный экологический фонд им. В.И. Вернадского
Московский государственный объединенный музей-заповедник
Казахский национальный университет им. Аль-Фараби
Институт зоологии КН МОН Республики Казахстан
Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова
Белорусского государственного университета
Самаркандский государственный университет
Научно-исследовательский центр «Экология и водные проблемы»
Каршинского инженерно-экономического института (Узбекистан)

Ежегодная международная научно-практическая конференция
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ
И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»
Москва, 20–22 апреля 2023 года

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО

Уважаемые коллеги!

Приглашаем вас принять участие в работе ежегодной научно-практической конференции, которая проходит с 1999 года в институте экологии РУДН. Очередная, XXIV конференция АПЭиП – 2023, состоится 20–22 апреля 2023 года. К участию в конференции приглашаются учёные и специалисты в области экологии, природопользования, безопасности жизнедеятельности и чрезвычайных ситуаций, студенты, аспиранты, а также школьные учителя и школьники.

Формат проведения: устные сессии – очно / дистанционно, постерная сессия – дистанционно на сайте конференции.

Рабочие языки конференции: русский, английский.

КОНТАКТЫ

Место проведения: Институт экологии Российского университета дружбы народов: Москва, Подольское шоссе, д. 8, к. 5

Сайт конференции: <https://ecoconfrudn.wixsite.com/2017>

Электронный адрес оргкомитета конференции: ecoconfrudn@gmail.com

Контактное лицо: Ледащева Татьяна Николаевна,

телефон: +7 (926) 036 24 84

НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

➤ **Популяционная экология и экология сообществ** (структура и динамика численности популяций; сукцессионные процессы в экосистемах; ключевые факторы экологической ниши видов растений и животных; поведенческая экология и биокоммуникация; влияние антропогенных факторов на состояние экосистем; биоиндикация)

➤ **Экология почв** (факторы почвообразования, динамика и эволюция почв; экологические функции почв; продуктивность почв; почвенные экосистемы; влияние антропогенных факторов на состояние почв; сукцессионные процессы в почвенных экосистемах)

➤ **Геоэкология и устойчивое развитие** (геоэкологические аспекты природопользования; геохимия окружающей среды; мониторинг состояния окружающей среды; рациональное использование природных ресурсов; моделирование и информационные технологии в природопользовании)

➤ **Прикладная экология** (экономические и правовые основы рационального природопользования; управление качеством окружающей среды; технологии защиты окружающей среды; «зелёные» стандарты в экономике, строительстве, ЖКХ; энергоэффективные материалы и берегающие технологии; возобновляемая безуглеродная энергетика; проблемы внедрения HSE-менеджмента; управление социо-эколого-экономическими системами)

➤ **Экологическая и продовольственная безопасность и экология человека** (техническое регулирование и экологическая безопасность продукции; выполнение требований по экологической безопасности продукции, процессов ее производства, хранения, перевозки, утилизации, как составляющая для принятия решения о выпуске в обращение на рынок; экологическая маркировка; продукция с улучшенными экологическими характеристиками; продукция органических производств; проблемы адаптации человека к измененным условиям окружающей среды, управление адаптационными способностями организма, экологически обусловленные патологии).

Также в рамках конференции:

➤ Молодежная научно-практическая конференция на иностранных языках «Проблемы изучения и охраны окружающей среды – 2023» 21 апреля 2023 г. (International Youth Scientific Conference on Environmental Studies and Protection Issues – 2023, April 21, 2023).

➤ Конкурс научно-исследовательских работ студентов (только для устных докладов).

➤ Экологическая конференция школьников 22 апреля 2023 г.

➤ Экскурсия по экологической тропе музея-заповедника Коломенское, 22 апреля 2023 г.

ПУБЛИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Сборник научных трудов конференции – материалы докладов в виде коротких сообщений (статьи объемом 4-5 тыс. знаков); сборник индексируется в БД «РИНЦ» постатейно; после проведения конференции размещается на сайте конференции в электронном виде.

Программный комитет конференции может рекомендовать статьи по материалам докладов к публикации в журнале «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности».

В связи с задержкой издания специального выпуска журнала Geography, Environment, Sustainability по материалам конференции 2022 г., решение о публикации специальных выпусков в 2023 г. будет принято позже и озвучено во 2-м информационном письме.

УСЛОВИЯ УЧАСТИЯ И ДАТЫ

Регистрация: до 15 марта 2023 г.

Предоставление файла с регистрационной формой на адрес оргкомитета конференции.

Предоставление текстов статей: до 20 марта 2023 г.

Требования к содержанию и оформлению статей в шаблоне статьи (файл).

Подтверждение принятия докладов к участию от оргкомитета: до 10 апреля 2023 г.

Оплата организационного взноса: до 15 апреля 2023 г.

Оплата производится только после получения от оргкомитета подтверждения и реквизитов для оплаты. После оплаты на адрес оргкомитета необходимо прислать подтверждение – скан-копию, или фото квитанции, или скриншот страницы при оплате онлайн.

Для участия в качестве **слушателя** необходимо **до 15 апреля 2023 г.** прислать заявку, указав форму участия «слушатель».

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ ВЗНОС

Оплачивается 1 раз для 1 доклада, независимо от числа соавторов. **Включает:** расходы по организации участия в конференции, кофе-брейки, публикацию в сборнике, «папку участника». **Не включает** печатный экземпляр сборника.

- Участие с докладом – 1500 р.
- Студентам и сотрудникам соорганизаторов конференции предоставляется скидка на базовый оргвзнос 20 %.
- Участие в студенческой конференции на иностранных языках – бесплатно.
- Участие в экологической конференции школьников – бесплатно.

С любыми вопросами и предложениями просим писать на адрес оргкомитета: ecoconfrudn@gmail.com

ЗАЯВКА НА УЧАСТИЕ
В XXIV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»
 20–22 апреля 2023 г.

Фамилия, имя, отчество			
Имя, фамилия на английском языке			
Ученая степень, ученое звание			
Должность (для студентов – уровень обучения и курс, для аспирантов – год)			
Название организации полное			
Страна / регион, город			
Телефон / e-mail (обязательно)			
Название доклада			
Формат доклада (выделить нужное)	Устный, очно <input type="checkbox"/>	Устный, дистанционно <input type="checkbox"/>	Постерный <input type="checkbox"/>
Соавторы (если есть – просьба заполнить на каждого соавтора)			
1	Фамилия, имя, отчество		
	Ученая степень, ученое звание		
	Должность (для студентов уровень обучения и курс, для аспирантов – год)		
	Название организации полное		
	e-mail (необязательно)		
	Страна / регион, город		
2	Фамилия, имя, отчество		
	Ученая степень, ученое звание		
	Должность (для студентов уровень обучения и курс, для аспирантов – год)		
	Название организации полное		
	e-mail (необязательно)		
	Страна / регион, город		
Предполагаемая секция (отметить нужное)			
Популяционная экология и экология сообществ		<input type="checkbox"/>	
Экология почв		<input type="checkbox"/>	
Геоэкология и природопользование		<input type="checkbox"/>	
Прикладная экология		<input type="checkbox"/>	
Экологическая и продовольственная безопасность и экология человека		<input type="checkbox"/>	
Студенческая конференция на иностранных языках		<input type="checkbox"/>	

Научный руководитель (для студентов, если не является соавтором)	
Фамилия, имя, отчество	
Ученая степень, ученое звание	
Должность	
Название организации полное	
e-mail	
Страна / регион, город	

Настоящим подтверждаю, что исключительные права на использование направляемой для участия в Конференции статьи принадлежат мне и даю согласие на размещение ее в сборнике трудов участников конференции.

Российский университет дружбы народов
Институт экологии

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ШКОЛЬНИКОВ
в рамках ежегодной международной научно-практической
конференции
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ
И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»
Москва, 22 апреля 2023 года

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО

Уважаемые коллеги!

Институт экологии РУДН приглашает принять участие в работе экологической конференции школьников в рамках ежегодной научно-практической конференции, которая проходит с 1999 г.

Формат: устные сессии – очно / дистанционно, постерная сессия – дистанционно на сайте конференции.

Язык конференции: русский, английский.

КОНТАКТЫ

Место проведения: Институт экологии Российского университета дружбы народов: Москва, Подольское шоссе, д. 8, к. 5

Сайт конференции: <https://ecoconfrudn.wixsite.com/2017>

Электронный адрес оргкомитета конференции: ecoconfrudn@gmail.com

Контактное лицо: Ледащева Татьяна Николаевна,

телефон: +7 (926) 036 24 84

НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- Популяционная экология и экология сообществ
- Экология почв
- Геоэкология и устойчивое развитие
- Прикладная экология
- Экологическая и продовольственная безопасность и экология человека
- Экологическое воспитание и образование в целях устойчивого развития.

В рамках конференции проводятся:

– конкурс научно-исследовательских работ школьников – только для устных докладов с одобренной к публикации статьей;

– конкурс докладов – для всех устных докладов независимо от публикации.

Все участники получают сертификаты участника, научные руководители – благодарности.

Также в рамках конференции запланирована экскурсия по экологической тропе музея-заповедника Коломенское, 22 апреля 2023 г., по завершении работы секций.

ПУБЛИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Материалы докладов в виде коротких сообщений, выполненные в соответствии с требованиями к статьям, публикуются в сборнике научных трудов конференции. После проведения конференции сборник размещается на сайте конференции в электронном виде (в разделе «История и архив») и подается на постатейную индексацию в РИНЦ. Возможно также участие с докладом без публикации.

УСЛОВИЯ УЧАСТИЯ И ДАТЫ

Регистрация: до 20 марта 2023 г. – предоставление файла с регистрационной формой (форма в конце информационного письма) на адрес оргкомитета конференции.

Предоставление текстов статей: до 30 марта 2023 г.

Подтверждение принятия докладов к участию от оргкомитета: до 10 апреля 2023 г.

Предоставление постеров для постерных докладов: до 15 апреля 2023 г.

Организационный взнос для школьников не предусмотрен при любой форме участия.

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ ДОКЛАДОВ

Для публикации в сборнике трудов конференции предоставляется статья объемом 4-5 тыс. знаков (5 страниц формата А5) на русском или английском языках, обязательно с аннотацией на русском и английском языке. Для статей школьников обязательно указание научного руководителя. Подробно требования к оформлению представлены в шаблоне, который рекомендуется использовать для оформления статьи.

Статья должна быть написана в научном стиле, иметь высокий уровень оригинальности текста, представлять новые результаты собственных исследований автора (авторов). Структура статьи должна соответствовать общепринятой (постановка задачи, актуальность, состояние изученности; материалы и методы исследования; результаты исследования и их обсуждение; выводы). Подразделы в статье не выделяются.

Статья должна быть написана с соблюдением международных норм публикационной этики, в том числе в отношении цитирования: все приведенные в статье факты или суждения должны принадлежать авторам либо иметь ссылку на первоисточник, указанный в списке литературы; прямое или не прямое цитирование без указания источника не допускается. Источниками могут служить научная, справочная и учебная литература, статьи, в том числе опубликованные в сети Интернет, информационные сайты.

Для доклада без публикации предоставляются материалы в свободной форме (аннотация, тезисы доклада, проект и т.п.) Если участник заявил постерный доклад, предоставляется также постер, выполненный в соответствии с шаблоном (будет выслан автору при регистрации постерного доклада).

ФОРМА ЗАЯВКИ

**ЗАЯВКА НА УЧАСТИЕ
В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ШКОЛЬНИКОВ В РАМКАХ
XXIV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ»
22 апреля 2023 г.**

Фамилия, имя, отчество		
Имя, фамилия на английском языке		
Возраст, класс		
Название организации полное		
Страна / регион, город		
Телефон / e-mail (обязательно)		
Название доклада		
Форма участия (отметить нужное)	Устный доклад <input type="checkbox"/>	Постерный доклад <input type="checkbox"/>
Соавторы (если есть – просьба заполнить на каждого соавтора)		
1	Фамилия, имя, отчество	
	Имя, фамилия на английском языке	
	Возраст, класс	
	Название организации полное	
2	Фамилия, имя, отчество	
	Имя, фамилия на английском языке	
	Возраст, класс	
	Название организации полное	
...
Научный руководитель		
Фамилия, имя, отчество		
Ученая степень, ученое звание		
Должность		
Название организации полное		
Страна / регион, город		

Настоящим подтверждаю, что исключительные права на использование направляемой для участия в Конференции статьи принадлежат мне и даю согласие на размещение ее в сборнике трудов участников конференции.

ФГАОУ ВО «РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ» (РУДН)



ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ
115093, Москва, Подольское шоссе, 8 к. 5

**Молодежная научно-практическая конференция
с международным участием
«ESPI-2023»
Проблемы изучения и охраны окружающей среды
г. Москва, 21 апреля 2023 года**

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО

Уважаемые коллеги!

Приглашаем вас принять участие в работе научно-практической конференции на иностранных языках, которая состоится **21 апреля 2023 г.** в Институте экологии РУДН.

К участию в конференции приглашаются учёные, специалисты, аспиранты и студенты.

Рабочие языки конференции: английский, немецкий, французский, испанский, китайский

Секции конференции

➤ **Популяционная экология и экология сообществ** (*структура и динамика численности популяций; сукцессионные процессы в экосистемах; ключевые факторы экологической ниши видов растений и животных; поведенческая экология и биокоммуникация; влияние антропогенных факторов на состояние экосистем; биоиндикация*)

➤ **Экология почв** (*факторы почвообразования, динамика и эволюция почв; экологические функции почв; продуктивность почв; почвенные экосистемы; влияние антропогенных факторов на состояние почв; сукцессионные процессы в почвенных экосистемах*)

➤ **Геоэкология и устойчивое развитие** (*геоэкологические аспекты природопользования; геохимия окружающей среды; мониторинг состояния окружающей среды; рациональное использование природных ресурсов; моделирование и информационные технологии в природопользовании*)

➤ **Прикладная экология** (*экономические и правовые основы рационального природопользования; управление качеством окружающей среды; технологии защиты окружающей среды; зелёные стандарты в экономике, строительстве, ЖКХ; энергоэффективные материалы и берегающие технологии; возобновляемая*

безуглеродная энергетика; проблемы внедрения HSE-менеджмента; управление социо-эколого-экономическими системами)

➤ **Экологическая и продовольственная безопасность и экология человека** (техническое регулирование и экологическая безопасность продукции; выполнение требований по экологической безопасности продукции, процессов ее производства, хранения, перевозки, утилизации как составляющая для принятия решения о выпуске в обращение на рынок; экологическая маркировка; продукция с улучшенными экологическими характеристиками; продукция органических производств; проблемы адаптации человека к измененным условиям окружающей среды, управление адаптационными способностями организма, экологически обусловленные патологии).

➤ **Экологическое воспитание и образование в целях устойчивого развития**

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ будет размещена на странице конференции:
<http://greenconfrudn.ru/>

Сборник научных трудов конференции индексируется постатейно в БД «РИНЦ»

К публикации в Сборнике принимаются материалы объемом 4-5 с., оформленные в соответствии с требованиями (см. ниже). В Сборнике будут опубликованы все статьи, рекомендованные Оргкомитетом Конференции.

Все участники Конференции получают именные Сертификаты участника.

ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Для участия необходимо

– до **19.03.2023** зарегистрироваться на сайте конференции
<http://greenconfrudn.ru/>

– до **01.04.2023** выслать текст статьи на адрес greenconf@bk.ru

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ ВЗНОС:

Для участников Конференции статья на иностранном языке публикуется бесплатно.

По поводу оформления приглашений и других организационных вопросов обращаться: greenconf@bk.ru

Требования к представлению материалов для публикации

I. Требования к содержанию

Материал, представленный для публикации, должен:

- соответствовать тематике конференции,
- давать представление о личном вкладе авторов,
- быть написан в научном стиле;
- структура статьи должна соответствовать прилагаемому шаблону.

Предоставленные материалы проверяются на уникальность текста.

II. Требования к оформлению

1. Объем статьи 4-5 страниц; ориентация книжная; абзац: отступ 1 см; междустрочный интервал одинарный; редактор Microsoft Office Word; шрифт Times New Roman. Номера страниц не ставить, колонтитулы не использовать.

Поля:

верхнее – 6,1 см, нижнее – 6,5 см, правое – 4,9 см, левое – 4,9 см. Поля соответствуют формату А5, что является требованием типографии РУДН;

размер:

фамилия и инициалы авторов – 11, полужирный, курсив; название доклада – 11, прописной, полужирный;

полное название организаций – 10, курсив;

аннотация на русском и английском языках – 10, обычный; основной текст и список литературы – 11, обычный;

выравнивание:

авторы, название доклада, название организации, слово литература (курсивом), аннотации – по центру;

основной текст доклада и список литературы – по ширине.

2. Формулы должны быть включены в текст доклада с помощью встроенного в WORD редактора формул.

3. Рисунки, фотографии и таблицы должны быть вставлены в текст, пронумерованы и иметь названия.

4. Материалы, представленные для публикации, должны быть на иностранных языках (материалы на русском языке не публикуются).

5. Список литературы должен быть оформлен в соответствии с международными требованиями, подробная информация на сайте конференции: www.green-conference.com

6. Оформление статьи должно полностью соответствовать прилагаемому шаблону.

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)



Institute of Environmental Engineering
8/5 Podolskoye shosse, Moscow, 115093

**International Youth Scientific Conference
«ESPI-2023»
Environmental Studies and Protection Issues
Moscow, 21 April 2023**

Conference Call

Dear colleagues,

We are pleased to invite you to take part in annual conference, which will take place at the Institute of Environmental Engineering, RUDN University on **21 April, 2023**.

Scientists, specialists in the area of ecology, environmental management, engineering, safety and emerging situations, students, Ph.D. students and postdoc researchers.

Conference languages: English, German, French, Spanish, Chinese

CONFERENCE WORKSHOPS:

1. **Population and community ecology** (structure and dynamics of populations; succession processes in ecosystems; key factors of the ecological niche of plant and animal species; behavioral ecology and biocommunication; the impact of anthropogenic factors on the state of ecosystems; bioindication)

2. **Ecology of soils** (factors of soil formation, dynamics and evolution of soils; ecological functions of soils; soil productivity; soil ecosystems; the impact of anthropogenic factors on the state of soils; succession processes in soil ecosystems)

3. **Geoecology and sustainable development** (geoecological aspects of nature management; environmental geochemistry; environmental monitoring; rational use of natural resources; modeling and information technologies in nature management)

4. **Applied ecology** (economic and legal foundations of rational nature management; environmental quality management; environmental protection technologies; green standards in the economy, construction, housing and communal services; energy-efficient materials and saving technologies; renewable carbon-free energy; problems of implementing HSE management; management of socio-ecological-economic systems)

5. **Ecological and food security, human ecology** (technical regulation and environmental safety of products; compliance with the requirements for environmental safety of products, processes of their production, storage, transportation, disposal, as a

component for making a decision on the release into market circulation; environmental labeling; products with improved ecological characteristics; products of organic production; problems of human adaptation to changed environmental conditions, management of the human adaptive abilities, environmentally induced pathologies).

6. Environmental and sustainable development education

CONFERENCE PROGRAMME will be available at the conference WEBSITE:

<http://greenconfrudn.ru/>

**The Collection of conference scientific papers will be deposited in «RINC»
(Russian index of scientific citation)**

All the participants of the conference will get the Certificates of participation.

SUBMISSION AND DEADLINES

To submit a paper the participants need to:

- register on the conference website <http://greenconfrudn.ru/>;
- format a manuscript in the template provided <http://greenconfrudn.ru/manuscript>;
- e-mail a paper to the conference committee: greenconf@bk.ru.

Deadlines:

19.03.2023 – registration of conference participants;

01.04.2023 – full paper submission.

For any inquiries please e-mail the organizing committee: greenconf@bk.ru

Guidelines

Please format your manuscript in the template provided on a conference site:

<http://greenconfrudn.ru/manuscript>

MANUSCRIPT SUBMISSION

1. Content requirements

The manuscript has to comply with the following:

- conference agenda;
- authors' individual contribution;
- academic register;
- conference template (attached on the website).

All manuscripts will be checked for plagiarism.

2. Formatting requirements

Publication materials – 3 600–5 400 printed characters.

Portrait orientation; paragraph indentation of 1 cm; Single line spacing; Editor – Microsoft Office Word; Font – Times New Roman.

Page numbers are not set, the headers and footers are not used.

Publication materials should contain the abstract and keywords.

Margins: top – 6.1 cm, bottom – 6.5 cm, right – 4,9 cm, left – 4.9 cm.

The author's surname and initials – 11 bold, italic;

The report title – 11, uppercase, bold;

Academic degree, academic rank – 10, italic;

Full name of organization – 10, italic;

Contact details (telephone, e-mail) – 10, uppercase, bold;

Abstract – 10, normal; 200 printed characters; if the article is not written in English, the abstract is written in two languages: English and the language of the article;

Keywords – 10, normal;

The main text and references – 11, normal;

Alignment:

author, title, degree, organization name, contact details, the word *References* (in italics), abstract – in the middle.

The main text of the report and a list of references – in width.

1. The formulas should be included in the text of the report with the built-in formula editor MICROSOFT WORD.

2. Figures, photos and tables should be inserted in the text and have titles.

3. Manuscripts in Russian will not be published, languages of the conference only.

4. Reference list should be formatted in line with international standards, more information on the conference website: <http://greenconfrudn.ru/manuscript>

5. The paper should be formatted in line with the template attached.

РУДН – национальный координатор в UI GreenMetric World University Ranking: некоторые итоги 2022 г.

RUDN as a National Coordinator in UI GreenMetric World University Ranking: some results of 2022

Представлены основные результаты деятельности РУДН как национального координатора по России в глобальном партнерстве университетов UI GreenMetric.

The main results of the activity of the RUDN as the national coordinator for Russia in the global partnership of UI GreenMetric universities are presented.

Начиная с 2017 г. Российский университет дружбы народов является национальным координатором в российском партнерстве университетов UI GreenMetric. Об эффективности этой работы и внимании к ней в РУДН говорит тот факт, что в 2020 г. наш вуз получил признание как наиболее активный национальный координатор среди множества университетов во всех регионах мира.

В 2022 г. среди основных направлений деятельности РУДН как национального координатора представлены:

– подготовка и проведение образовательных, просветительских мероприятий для всех заинтересованных в вопросах устойчивого развития, сохранения биоразнообразия, экологической безопасности в различных сферах;

– проведение научно-технических мероприятий различного уровня (международные, национальные, региональные, университетские) по основным направлениям научно-технического развития и приоритетной тематике международного сотрудничества в области устойчивости;

– продвижение российских университетов в рейтинге UI GreenMetric;

– научные исследования и практико-ориентированные проекты;

– совершенствование работы РУДН по всем ведущим оценочным категориям, представленным в UI GreenMetric: инфраструктура, энергетика и климат, водопользование, транспорт, управление отходами наука и образование.

Важнейшие результаты работы РУДН в 2021–2022 гг. были представлены на ежегодном мероприятии – Национальном круглом столе «Зеленые университеты России». Участие в мероприятии приняли представители руководства международного рейтинга: президент проф. Рири Фитри Сари, ведущие эксперты. С приветственным словом к участникам обратился Президент РУДН проф. В.М. Филиппов, подчеркнувший важность международного сотрудничества университетов и необходимость объединения усилий вузов для достижения целей устойчивого развития. Проректор РУДН по хозяйственной деятельности А.А. Киричук представил масштабный проект «Зеленый и здоровый кампус». Он предполагает кроме экологических улучшений также и целый комплекс работ по сохранению и укреплению здоровья наших студентов и сотрудников, снижению энерго- и ресурсопотребления. Директор института экологии Е.В. Савенкова представила информацию о крупном мероприятии – декаде экологической науки, образования и просвещения в РУДН. Представители вузов-партнеров, принявшие участие в работе круглого стола, продемонстрировали свои результаты в сфере экологизации, развития передовых исследований, организации инновационных образовательных программ в области экологической безопасности, экологической инженерии, устойчивого развития.

Возможность стать частью глобального партнерства университетов получили студенты РУДН и партнерских вузов, принявшие участие в летней школе «Экологические рейтинги: современная практика», организованной преподавателями института экологии при участии руководства рейтинга UI GreenMetric.

Исследовательские проекты – важная составляющая деятельности РУДН как национального координатора. Один из ключевых проектов, получивший поддержку со стороны руководства РУДН и традиционно вызывающий интерес партнеров, – проект по экологическому мониторингу кампуса, проводимый в РУДН с 2017 г. (научное руководство – проф. Хаустов А.П., проф. Редина М.М.). Помимо образовательного и просветительского эффекта проект позволил накопить необходимую информационную базу для создания новых практических руководств по анализу транспортной нагрузки города на экосистемы и обоснования подходов к управлению транспортными потоками.

Сведения об авторах:

Савенкова Елена Викторовна, доктор экономических наук, доцент, директор института экологии РУДН, директор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6., eLIBRARY SPIN-код: 9083-6539. E-mail: savenkova-ev@rudn.ru

Редина Маргарита Михайловна, доктор экономических наук, доцент, профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-3169-0142; eLIBRARY SPIN-код: 2496-8157. E-mail: redina-mm@rudn.ru

Bio notes:

Elena V. Savenkova, Dr.Sc. (Econ.), Associate Professor, Professor of the Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-код: 9083-6539. E-mail: savenkova-ev@rudn.ru

Margarita M. Redina, Dr.Sc. (Econ.), Associate Professor, Professor of the Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-3169-0142; eLIBRARY SPIN-code: 2496-8157. E-mail: redina-mm@rudn.ru