



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

2024 Том 32 № 2

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2

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

**Научный журнал
Издается с 1993 г.**

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

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

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

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

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

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

Ответственный секретарь редколлегии

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Периодичность: ежеквартально

Языки публикаций: русский, английский.

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

Цели и тематика

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

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

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

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

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

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

Адрес редакции:

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

Адрес редакционной коллегии журнала:

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

Подписано в печать 05.06.2024. Выход в свет 28.06.2024. Формат 70×108/16.

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

Усл. печ. л. 12,25. Тираж 500 экз. Заказ № 612. Цена свободная.

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

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

© Российский университет дружбы народов, 2024



RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

2024 VOLUME 32 No. 2

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2

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

Founded in 1993

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editors-in-Chief

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

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

Executive Secretary

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Frequency: Quarterly

Publication languages: Russian, English

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

Aims and Scope

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

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

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

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

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

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

Address of the editorial office:

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

Address of the editorial board of the journal:

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

Printing run 500 copies. Open price.

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ

- Коновалова А.П., Савин И.Ю.** Научное обоснование создания карбоновой фермы 93
- Бердникова Т.В.** Разработка методики обследования загрязненных территорий на основе применения прямого спектрального зондирования с внедрением индексов состояния 107
- Якимов А.В.** Негативный вклад промыслового флота в загрязнение морской среды 118

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Катин В.Д., Журавлев А.А.** Анализ действующих и разработка модернизированных конструкций горелок типа ГП с низким выбросом оксидов азота для трубчатых нефtezаводских печей 126
- Немущенко Д.А., Ларичкин В.В., Муравьев М.Т., Неустроев М.А.** Строительная керамика с высокими эксплуатационными характеристиками на основе твердых отходов 136
- Зимнухова А.Е., Гаевая Е.В.** Исследование физико-механических свойств бурового шлама при его высокотемпературном обезвреживании 155

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

- Побилат А.Е., Киричук А.А., Баранова О.В.** Особенности элементного статуса коренного населения юга Средней Сибири 163
- Апанасюк О.Н., Скоробогатов А.М.** Опыт создания базы данных репозитория архивных документов государственной статистики о размерах посевных (убранных) площадей и фактического сбора урожая на территориях Орловской области, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС, в 1988–1991 гг. 172

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

- Чудинова О.Н., Чередова Т.В., Бутакова А.А., Беспрозванных А.П.** Оценка загрязнения атмосферного воздуха продуктами сгорания угля и мазута на примере квартальных котельных г. Улан-Удэ 184
- Пухальский Я.В., Ковальчук А.И., Лоскутов С.И., Воробьев Н.И., Осипов А.И., Косильников Ю.В., Кожемяков А.П., Лактионов Ю.В.** Оценка изменения содержания кадмия и алюминия в растениях гороха посевного под влиянием селена и кремния на ранней фазе вегетации 198
- Баженова О.В., Золотова О.А., Иванищева Е.А., Осолодкина А.Ф.** Пространственно-временной анализ лесопользования в Вологодской области 213

CONTENTS

ECOLOGY

- Konovalova A.P., Savin I.Yu.** Scientific substantiation of the establishment of a carbon farm 93
- Berdnikova T.V.** Development of a methodology for assessment of contaminated territories based on the utilization of direct spectral probing with the implementation of state indices 107
- Iakimov A.V.** Negative contribution of the fishing fleet to marine pollution 118

INDUSTRIAL ECOLOGY

- Katin V.D., Zhuravlev A.A.** Analysis of existing and development of modernized structures GP type burners with low nitrogen oxide emissions for tubular refinery furnaces 126
- Nemuschenko D.A., Larichkin V.V., Murav'ev M.T., Neustroev M.A.** High performance building ceramics based on solid waste 136
- Zimnukhova A.E., Gaevaya E.V.** Research of physical and mechanical properties of drilling sludges during its high-temperature neutralization 155

HUMAN ECOLOGY

- Pobilat A.E., Kirichuk A.A., Baranova O.V.** Features of the elemental status of the indigenous population of the south of Central Siberia 163
- Apanasyuk O.N., Skorobogatov A.M.** Experience in creating a database of a repository of archival documents of state statistics on the size of sown (harvested) areas and the actual harvest in the territories of the Orel region contaminated as a result of the Chernobyl accident in 1988–1991 172

ENVIRONMENTAL MONITORING

- Chudinova O.N., Cheredova T.V., Butakova A.A., Besprozvannykh A.P.** Assessment of atmospheric air pollution by coal and fuel oil combustion products and fuel oil on the example of neighborhood boiler plants in Ulan-Ude 184
- Puhalsky J.V., Kovalchuk A.I., Loskutov S.I., Vorobyov N.I., Osipov A.I., Kosulnikov Yu.V., Kozhemyakov A.P., Laktionov Yu.V.** Assessment of changes in the accumulation of cadmium and aluminum in pea plants under the influence of selenium and silicon in the early phase of vegetation 198
- Bazhenova O.V., Zolotova O.A., Ivanishcheva E.A., Osolodkina A.F.** Spatiotemporal analysis of forest management in the Vologda region 213



ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY


DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-93-106

EDN: XAOJPY

УДК 504.062

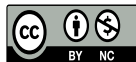
Научная статья / Research article

Научное обоснование создания карбоновой фермы

А.П. Коновалова¹  , И.Ю. Савин² ¹ *Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация*² *Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Российская Федерация* psareva_ap@pfur.ru

Аннотация. В Российской Федерации в настоящее время актуальны вопросы и проблемы разработки и перехода к углеродным стандартам, которые уже установлены во многих зарубежных странах, для регулирования и контроля над негативными последствиями антропогенной деятельности человека. Квотирование выбросов парниковых газов на глобальном уровне подталкивает к разработке и внедрению технологий для их уменьшения. Одним из путей уменьшения выбросов в сельском хозяйстве является создание карбоновых ферм. В настоящее время на территории РФ отсутствует единая методологическая и статистическая база для создания карбоновой фермы. При ее создании необходимо не только понимать общие принципы функционирования агроландшафтов, но и учитывать факторы, которые имеют влияние на поглотительную способность углерода угодьями, расположенными на территории фермы. Предложен новый подход к сокращению выбросов посредством оптимизации размещения сельскохозяйственных угодий с учетом секвестрационного потенциала земель на основе пространственного моделирования. Специфика подхода продемонстрирована на примере хозяйства Всероссийского НИИ мелиорированных земель (Тверская область, Калининский район, поселок Эммаусс). После дополнительной апробации подход может быть рекомендован к внедрению в практику углерод-депонирующего сельскохозяйственного землепользования.

© Коновалова А.П., Савин И.Ю., 2024

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

Ключевые слова: баланс углерода, карбоновые фермы, секвестрация углерода, квота на выбросы, пространственное моделирование, использование земель

Благодарности и финансирование. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Вклад авторов. Коновалова А.П. – разработка подхода, проведение эксперимента, написание статьи, подготовка иллюстраций; Савин И.Ю. – концептуализация, редактирование текста.

История статьи: поступила в редакцию 10.01.2024; доработана после рецензирования 10.02.2024; принята к публикации 10.03.2024.


Для цитирования: Коновалова А.П., Савин И.Ю. Научное обоснование создания карбоновой фермы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 93–106. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-93-106>

Scientific substantiation of the establishment of a carbon farm

Alyona P. Konovalova¹, Igor Yu. Savin²

¹*RUDN University, Moscow, Russian Federation*

²*Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation*

psareva_ap@pfur.ru

Abstract. The Russian Federation needs to transition to carbon standards, which are established in many foreign countries, to regulate and control the negative consequences of anthropogenic human activity. Quoting of greenhouse gas emissions at the global level pushes for the development and implementation of technologies to reduce them. One of the ways to reduce emissions in agriculture is the creation of carbon farms. At present, there is no unified methodological and statistical basis for the creation of a carbon farm in the Russian Federation. When creating it, it is necessary to understand not only the general principles of agrolandscapes functioning, but also to take into account the factors that have an impact on the carbon absorption capacity of the land located on the territory of the farm. A new approach to reducing emissions by optimising the location of agricultural land with regard to its sequestration potential on the basis of spatial modelling has been proposed. The specificity of the approach is demonstrated on the example of the farm of the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (Tver region, Kalininsky district, Emmauss settlement). After additional testing, the approach can be recommended for implementation in the practice of carbon-depleting agricultural land use.

Keywords: carbon balance, carbon farms, carbon sequestration, emission allowance, spatial modeling, land use

Acknowledgements and Funding. The work was carried out within the framework of realization of the most important innovative project of state importance “Development of a system of ground and remote monitoring of carbon pools and greenhouse gas fluxes on the territory of the Russian Federation, ensuring the creation of a system of accounting data on the fluxes of climatically active substances and carbon budget in forests and other terrestrial ecological systems” (reg. № 123030300031-6).

Authors’ contributions. *Konovalova A.P.* – developing the approach, conducting the experiment, writing the article, preparing illustrations; *Savin I.Yu.* – conceptualization, text editing.

Article history: received 10.01.2024; revised 10.02.2024; accepted 10.03.2024.

For citation: Konovalova AP, Savin IYu. Scientific substantiation of the establishment of a carbon farm. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):93–106. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-93-106>

Введение

Проблема секвестрации углерода имеет трансграничный характер и глобальный масштаб, в связи с чем она наиболее заметна для больших площадей – крупных территорий, отдельных стран или природных зон [1]. Борьба с проблемой изменения климата посредством эксплуатации карбоновых ферм и создание технологий поглощения парниковых газов и их влияние на окружающую среду – это относительно новое направление для дискуссий и обсуждений в научной среде как на территории Российской Федерации, так и за границей [2; 3]. Карбоновые фермы являются одним из методов оптимизации поглощения углерода с помощью внедрения способов, увеличивающих скорость удаления CO₂ из атмосферы и его накопления в почвах земельных угодий и в органике растений. До тех пор пока традиционные методы ведения сельского хозяйства приводят к выбросу углерода, углеродное сельское хозяйство в форме ведения карбоновой фермы дает обратный эффект [4; 5].

В статье приведены результаты исследований с целью научного обоснования нового подхода к сокращению выбросов посредством оптимизации размещения сельскохозяйственных угодий с учетом секвестрационного потенциала земель на основе пространственного моделирования.

Объект исследования

В качестве объекта исследований выступают земли хозяйства Всероссийского НИИ мелиорированных земель (Калининский район, Тверская область). Хозяйство находится на юге Тверской области, в 15 км от Твери. Территория характеризуется умеренно-континентальным климатом.

Температура воздуха зимой составляет в среднем –8 °С, летом +20 °С (на рис. 1 представлены данные о количестве осадков и средней температуре воздуха на территории Калининского района, где расположено хозяйство).

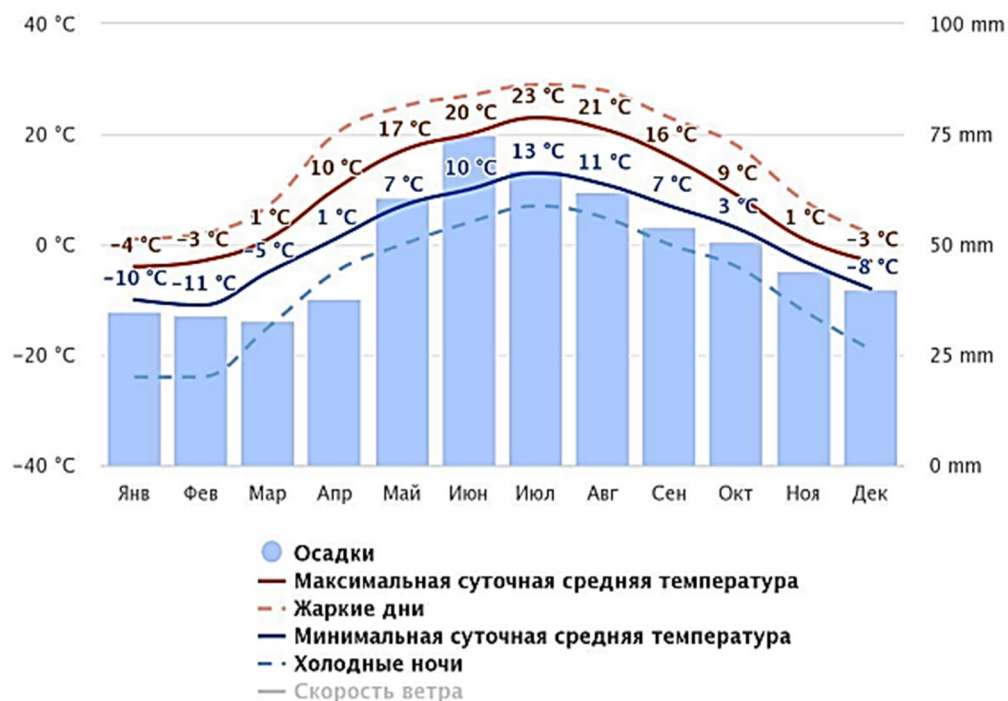


Рис. 1. Средняя температура воздуха и количество осадков на территории Калининского района Тверской области [6]
 Источник: составлено авторами.

В центральной части Восточно-Европейской равнины расположена Тверская область с характерным равнинным рельефом с чередующимися возвышенностями и низменностями.

На территории хозяйства преобладают дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые осушенные слабокаменистые почвы (29,22 %) и дерново-среднеподзолистые поверхностно-слабоглееватые осушенные почвы (18,71 %).

Метод проведения исследования

Последовательность исследований представлена на рис. 2.

На первом этапе была создана база данных ГИС, содержащая данные о земельных ресурсах хозяйства. База данных включала в себя следующие карты:

1. *Почвенная карта.* За основу была взята бумажная почвенная карта хозяйства в масштабе 1:10000, созданная специалистами РОСГИПРОЗЕМа в конце 80-х гг. прошлого века, которая была привязана географически, векторизована и сопровождалась атрибутивной информацией о свойствах почв (рис. 3).

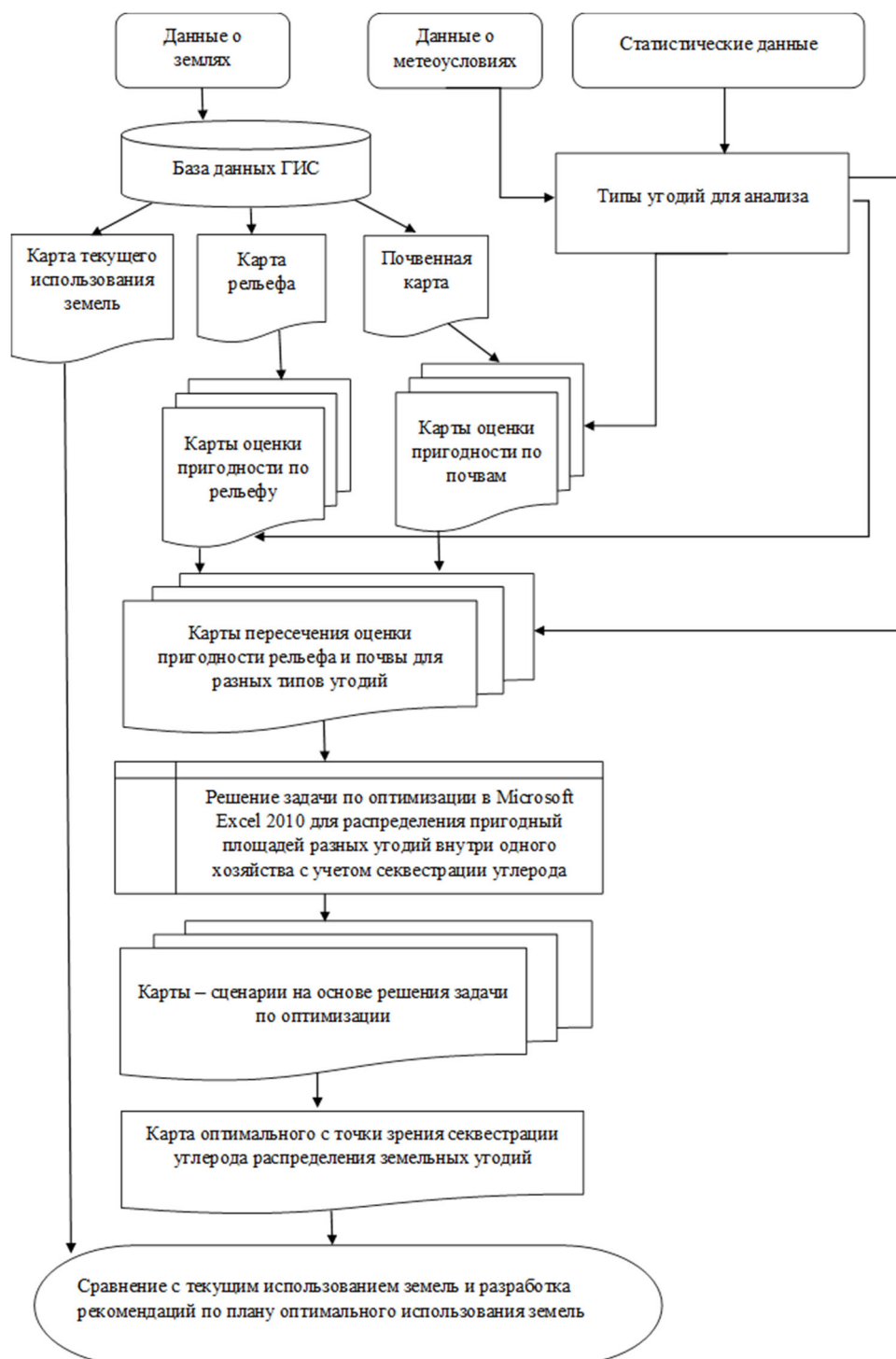


Рис. 2. Схема последовательности работ по разработке оптимального сценария размещения земельных угодий хозяйства с точки зрения повышения секвестрации углерода

Источник: составлено авторами.

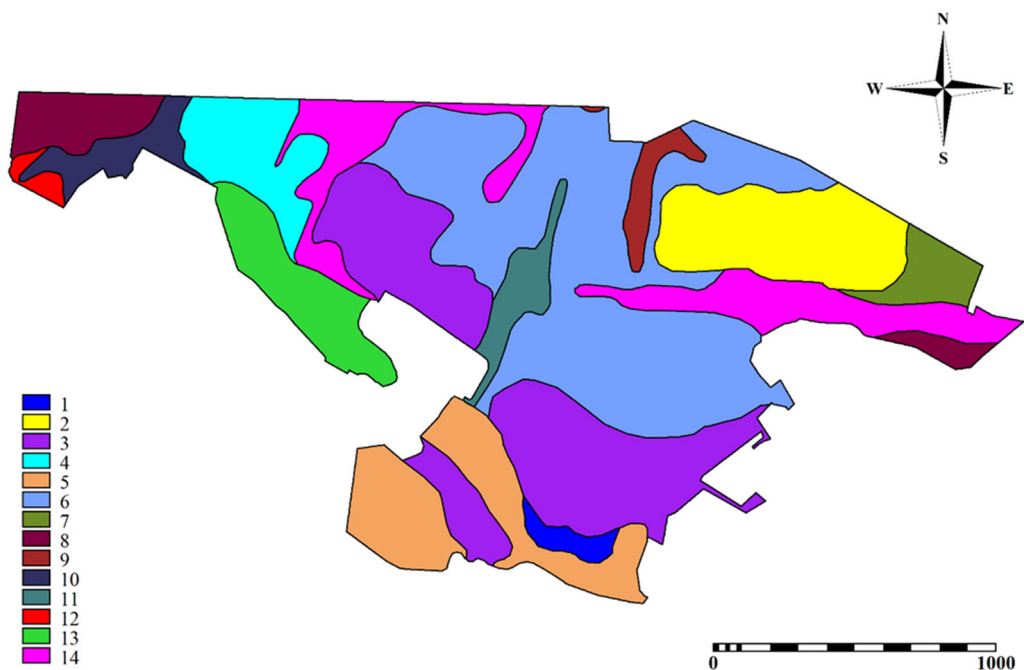


Рис. 3. Почвенная карта хозяйства:

1 – дерново-среднеподзолистые эрозионно опасные; 2 – дерново-среднеподзолистые слабокаменистые осушенные поверхностно-слабоглеевые; 3 – дерново-среднеподзолистые поверхностно-слабоглееватые осушенные; 4 – дерново-среднеподзолистые поверхностно-слабоглееватые; 5 – дерново-среднеподзолистые осушенные поверхностно-глееватые; 6 – дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые слабокаменистые; 7 – дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые осушенные слабокаменистые; 8 – дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые слабокаменистые; 9 – дерново-сильноподзолистые профильно-глееватые слабокаменистые осушенные; 10 – дерново-сильноподзолистые профильно-глееватые; 11 – дерново-сильноподзолистые профильно-глееватые осушенные; 12 – дерново-сильноподзолистые поверхностно-глееватые в комплексе до 10 % с дерново-сильноподзолистыми профильно-глееватыми; 13 – перерытые земли; 14 – дерново-сильноподзолистые профильно-глееватые осушенные
 Источник: составлено авторами.

2. *Карты характеристик рельефа.* Для характеристики рельефа использовались данные об абсолютных высотах местности SRTM¹ (рис. 4). Данные имеют пространственное разрешение 90 м и получены по состоянию на начало текущего века. В ГИС была построена производная карта уклонов местности, которая и использовалась при анализе.

3. *Карта фактического использования земель.* Для оценки текущего использования земель были проанализированы снимки территории хозяйства, полученные с использованием беспилотного летательного аппарата Phantom 4 DJI FC 330 в 2020 и 2021 гг. Распознавание объектов происходило с использованием камеральных методов дешифрирования путем визуального анализа снимков с пространственным разрешением от 10 до 50 см. Карта использования земель хозяйства представлена на рис. 5.

¹ EarthExplorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed: 17.12.2023).

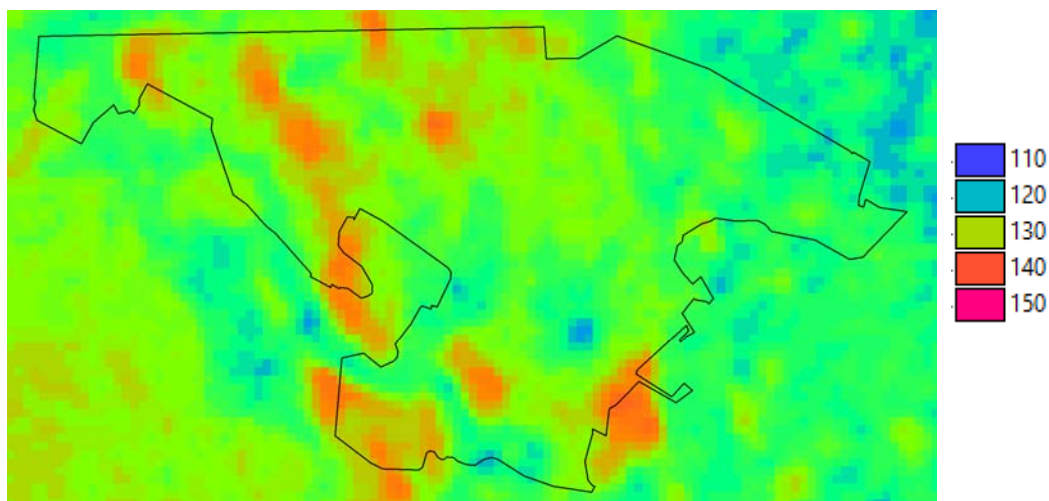


Рис. 4. Цифровая модель местности SRTM для территории хозяйства
Источник: составлено авторами.

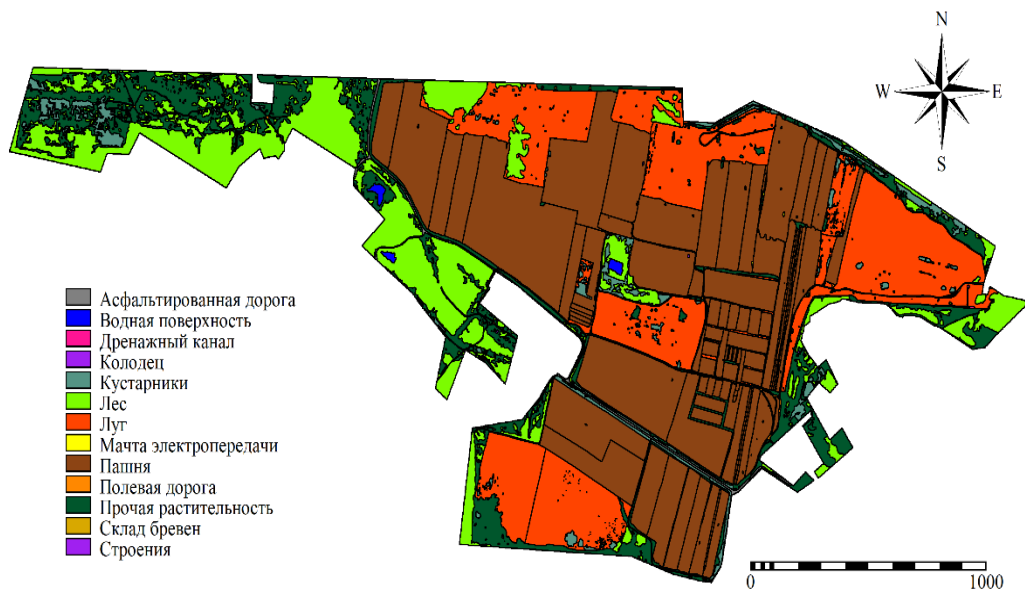


Рис. 5. Карта текущего использования земель хозяйства поселка Эммаус.
Источник: составлено авторами.

Дополнительно были собраны литературные данные по секвестрации углерода для различных типов земельных угодий [1; 6]².

² 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 3. Consistent Representation of Lands. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_03_Ch3_Representation.pdf (accessed: 07.01.2024).

На основе базы данных ГИС созданы карты оценки пригодности рельефа и почв для основных типов сельскохозяйственных угодий. Оценка пригодности проводилась на основе подходов к оценке земель ФАО, адаптированных к российским условиям [9].

С учетом пересечения между собой карт пригодности в ГИС были определены площади земель, пригодных под то или иное угодые.

Решив задачу оптимизации площадей с учетом их секвестрационного углеродного потенциала методом линейного программирования, были получены площади распределения типов угодий на территории хозяйства, что позволило создать карты-сценарии для земельных угодий с учетом секвестрации углерода и выбрать наиболее оптимальный сценарий. После этого было проведено сравнение текущего использования земельных ресурсов и оптимального сценария с точки зрения секвестрации углерода.

Пространственный анализ данных проводился с использованием пакета прикладных задач ILWIS 3.3³. Задачи оптимизации решались с использованием Microsoft Excel 2010⁴.

Результаты и обсуждение

Оценка пригодности земель по рельефу

С применением программного обеспечения ILWIS были созданы карты оценки пригодности для различных типов угодий в соответствии с уклоном местности. Оценивалась пригодность под такие угодыя, как пашня, пастбище, болото и лес, с использованием следующих градаций: пригодные, непригодные и ограничено пригодные (табл. 1). На рис. 6–9 представлены карты оценки пригодности рельефа для разных угодий (черный контур – граница хозяйства, зеленый цвет – пригодные земли, желтый цвет – ограничено пригодные, красный цвет – непригодные земли).

Таблица 1. Критерии оценки пригодности для разных типов угодий

Тип угодыя	Пригодно	Ограничено пригодно	Непригодно
Пашня	< 2	2–5	> 5
Пастбище	< 5	5–8	> 8
Лес	< 8	8–12	> 12
Болото	< 2	–	> 2

Источник: составлено авторами.

³ ILWIS – Remote Sensing and GIS software. URL: <https://www.itc.nl/ilwis/> (accessed: 07.01.2024).

⁴ См.: Постановка и решение задачи с помощью надстройки «Поиск решения» // Служба поддержки Майкрософт. URL: <https://support.microsoft.com/ru-ru/office/постановка-и-решение-задачи-с-помощью-надстройки-поиск-решения-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040> (дата обращения 11.11.2023); Решение задач оптимизации в Microsoft Excel 2010: учеб. пособие / Н. И. Шадрина, Н. Д. Берман; [науч. ред. Э. М. Вихтенко]. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. 101 с.

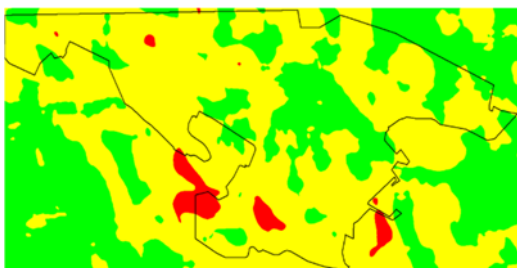


Рис. 6. Карта пригодности рельефа для пашни
Источник: составлено авторами.

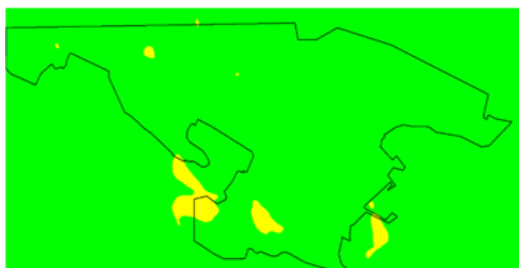


Рис. 7. Карта пригодности рельефа для пастбища
Источник: составлено авторами.

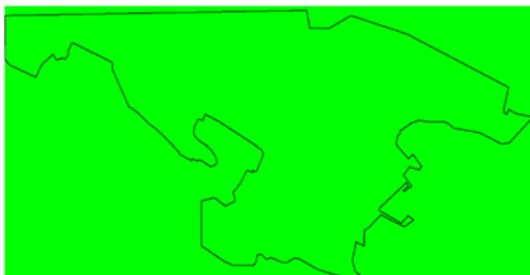


Рис. 8. Карта пригодности рельефа для леса
Источник: составлено авторами.

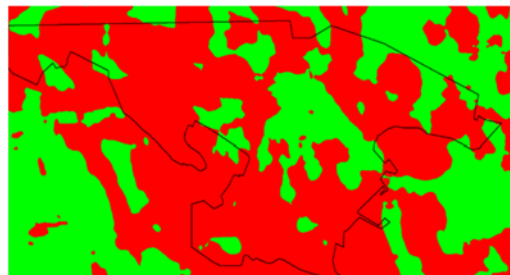


Рис. 9. Карта пригодности рельефа для болота
Источник: составлено авторами.

Оценка пригодности земельных ресурсов по типам почв

Аналогично на основе почвенной карты были созданы карты с оценкой пригодности почв для разных типов угодий (рис. 10–13).

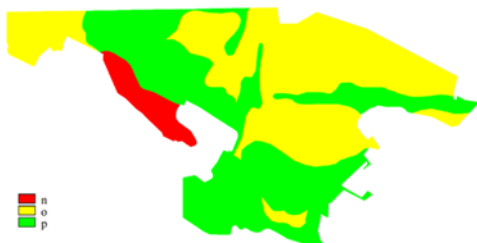


Рис. 10. Карта пригодности почв для пашни:
p – пригодно; *o* – ограниченно пригодно;
n – непригодно
Источник: составлено авторами.

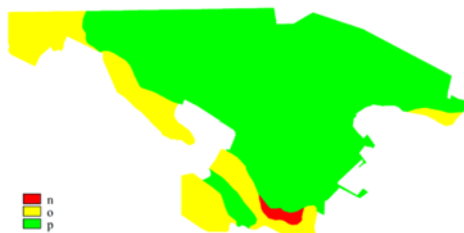


Рис. 11. Карта пригодности почв для пастбища:
p – пригодно; *o* – ограниченно пригодно;
n – непригодно
Источник: составлено авторами.



Рис. 12. Карта пригодности почв для леса:
p – пригодно; *o* – ограниченно пригодно;
n – непригодно
Источник: составлено авторами.



Рис. 13. Карта пригодности почв для болота:
p – пригодно; *o* – ограниченно пригодно;
n – непригодно
Источник: составлено авторами.

Интегральная оценка пригодности земель

Для создания итоговых карт пригодности земель необходимо было создать пересечения карт по пригодности рельефа и почв для пашни, пастбища, леса и болота. Карты представлены на рис. 14–17.

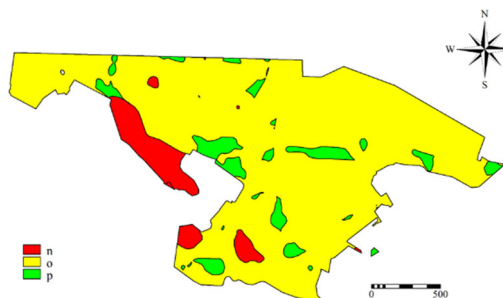


Рис. 14. Карта пригодности земель для пашни: *p* – пригодно; *o* – ограниченно пригодно; *n* – непригодно

Источник: составлено авторами.

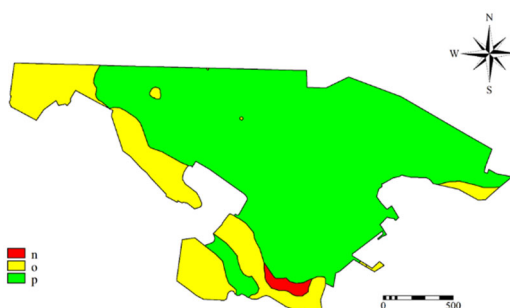


Рис. 15. Карта пригодности земель для пастбища:

p – пригодно; *o* – ограниченно пригодно; *n* – непригодно

Источник: составлено авторами.

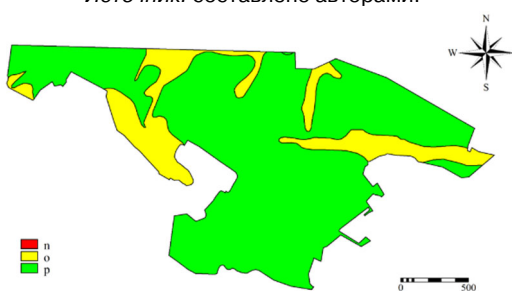


Рис. 16. Карта пригодности земель для леса:

p – пригодно; *o* – ограниченно пригодно; *n* – непригодно

Источник: составлено авторами.

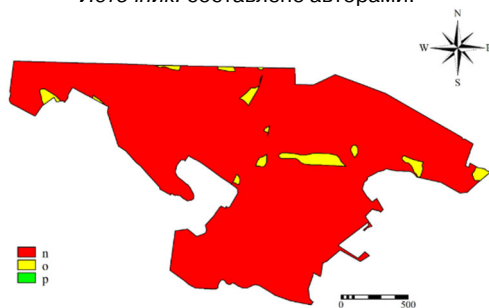


Рис. 17. Карта пригодности земель для болота:

p – пригодно; *o* – ограниченно пригодно; *n* – непригодно

Источник: составлено авторами.

В качестве основы для оптимизации размещения угодий на территории хозяйства использовались данные табл. 2, составленной на основе данных литературного обзора [6; 7]⁵.

С помощью методов линейного программирования была построена модель оптимального состава угодий на территории хозяйства с использованием информации табл. 2 и пригодности земель. Данный метод использовался с целью получения рациональной структуры размещения угодий с максимальным поглощением углерода для каждого типа угодий. Задача решалась с максимальным критерием оптимальности – средним запасом углерода. В конечном итоге метод линейного программирования позволил рассчитать площади угодий, при которых будет достигаться максимальная поглощающая способность земель хозяйства (табл. 3).

⁵ ФАО, 1976. URL: <https://www.fao.org/3/x5310e/x5310e00.htm> (дата обращения: 10.12.2023)

Таблица 2. Запасы органического углерода в различных типах почв на различных угодьях

Угодье	Почвы	Запасы $C_{орг}$, кг/м ²		
		min	max	среднее
Пахотные	Дерново-подзолы, дерново-подзолистые почвы	4,40	7,8	6,1
Леса	Дерново-подзолы, дерново-подзолистые почвы	5,30	8,7	7
Переувлажненные луговые, заболоченные леса	Подзолы глеевые, дерново-подзолисто-глеевые, торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые, дерново-глеевые и перегнойно-глеевые	10,00	25	17,5
Болота	торфяно-болотные	24,00	65	44,5
Луга, лугово-кустарниковая растительность, заброшенная пашня	Пойменные слабокислые и нейтральные, луговые и луговатые	21,20	36,8	29

Источник: составлено авторами.

Таблица 3. Площади текущего использования земель с разными оценками пригодности, м²

Тип угодья	Ограниченно пригодно	Пригодно	Средний запас углерода, кг/м ²
Пашня	2 572 442	196 198	6,1
Пастбище	627 028	2 320 629	29
Лес	518 833	2 457 809	17,5
Болото	86 509	0	44,5
Всего угодий	2 976 642		

Источник: составлено авторами.

Таблица 4. Результат решения задачи оптимизации, м²

Тип угодья	Ограниченно пригодно	Пригодно	Сумма пригодных + ограниченно пригодных
Пашня	298	0	298
Пастбище	568 908	2 320 628	2 889 536
Лес	298	0	298
Болото	86 509	0	86 510

Источник: составлено авторами.

Решение задачи оптимизации показало (табл. 4), что земли, занятые болотами и пастбищами, обладают максимальной поглощающей способностью на территории исследований. Поэтому при создании карты оптимального распределения угодий сначала учитывались земли, максимально пригодные для болот и пастбищ, а оставшиеся земли были распределены между пашнями и лесами. Полученная карта представлена на рис. 18.

Сравнение карты данного сценария с картой фактического использования земель показывает, что его внедрение потребует коренного изменения специализации хозяйства. Необходимая конверсия одних угодий в другие представлена в табл. 5.

Согласно данным, приведенным в табл. 5 и на карте (рис. 18), около 67 % земель хозяйства должны быть конвертированы в другие угодья. Для увеличения секвестрации углерода и перехода к полностью карбоновой ферме необходимо будет постепенно изменить специализацию хозяйства с растениеводства на животноводство, а пашню (включая заброшенную) необходимо будет преобразовать в пастбища и сенокосы.

Таблица 5. Сравнение площадей использования земельных ресурсов и площадей в соответствии с оптимальным с точки зрения секвестрации углерода на территории хозяйства Эммаусс

Текущее использование земель	Предлагаемый тип угодий	Класс пригодности	Площадь, м ²
Пашня	Болото	Ограниченно пригодно	40 809,1
	Лес	Ограниченно пригодно	423,7
	Пастбище	Пригодно	1 254 997,8
	Пастбище	Ограниченно пригодно	97 264,6
	Пашня	Ограниченно пригодно	276,3
Водная поверхность	Пастбище	Пригодно	2260,0
	Пастбище	Ограниченно пригодно	3904,8
Луг	Болото	Ограниченно пригодно	10 652,7
	Пастбище	Пригодно	614 018,0
	Пастбище	Ограниченно пригодно	110 059,5
Дренажный канал	Пастбище	Пригодно	1008,4
	Пастбище	Ограниченно пригодно	22,9
Лес	Болото	Ограниченно пригодно	24 469
	Пастбище	Пригодно	163 456
	Пастбище	Ограниченно пригодно	214 832
	Пастбище	Ограниченно пригодно	130 736
Прочая растительность	Болото	Ограниченно пригодно	6597
	Пастбище	Пригодно	159 202
	Пастбище	Ограниченно пригодно	130 736
Полевая дорога	Болото	Ограниченно пригодно	958
	Пастбище	Пригодно	24 645
	Пастбище	Ограниченно пригодно	6341
	Пастбище	Ограниченно пригодно	1128
Мачта электропередачи	Пастбище	Пригодно	19
	Пастбище	Ограниченно пригодно	16 365
Асфальтированная дорога	Пастбище	Пригодно	1625
	Пастбище	Пригодно	208
Сооружения	Пастбище	Пригодно	208
	Пастбище	Пригодно	208
	Пастбище	Пригодно	208
Кустарники	Болото	Ограниченно пригодно	2175
	Пастбище	Пригодно	61 287
	Пастбище	Ограниченно пригодно	5668
Склад бревен	Болото	Ограниченно пригодно	141
	Пастбище	Пригодно	747

Источник: составлено авторами.

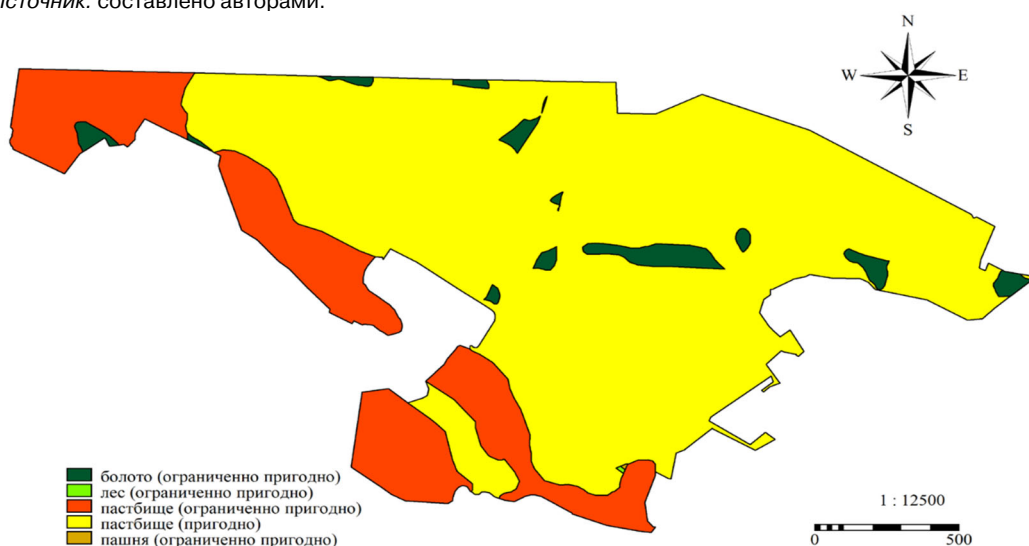


Рис. 18. Карта оптимального с точки зрения секвестрации углерода распределения земельных угодий

Источник: составлено авторами.

Следует также отметить, что полученные результаты базируются лишь на анализе ресурсного потенциала земель и не включают в себя экономический анализ последствий предлагаемой конверсии земель, без которого практическое внедрение разработанного сценария вряд ли целесообразно. Однако они могут рассматриваться как основа для разработки рекомендаций по постепенной оптимизации землепользования хозяйства с целью придания ему большей эффективности с точки зрения секвестрации углерода и постепенного перехода к полностью карбоновой ферме.

Заключение

В рамках исследования был предложен пространственный сценарий оптимального размещения земельных угодий с учетом секвестрации углерода на примере хозяйства Всероссийского НИИ мелиорированных земель (Тверская область, Калининский район, поселок Эммаусс).

Подобный сценарий позволяет дать оценку потенциалу использования земельных угодий хозяйства в качестве карбоновой фермы и оценивать возможности поглощения углерода сельскохозяйственными угодьями. Предложенный подход необходимо учитывать при разработке внутрихозяйственного плана землеустройства планируемой карбоновой фермы. Важно отметить, что исследование осуществлялось лишь на основе потенциала земельных ресурсов. Далее необходимо проводить исследования экономической эффективности такого типа размещения угодий, а также исследования для выбора потенциальных культур для размещения внутри карбоновой фермы.

Создание карбоновых ферм может послужить механизмом достижения целей, поставленных в рамках COP26 по снижению выбросов парниковых газов, а также стимулировать развитие рынка торговли квотами на углерод.

Список литературы

- [1] Шарков И.Н., Антипина П.В. Некоторые аспекты углерод-секвестрирующей способности пахотных почв // Почвы и окружающая среда. 2022. Т. 5. № 2. С. 10.
- [2] Калинина Е.В., Рудакова Л.В., Шварцбург Я.Д. Углеродный баланс карбоновой фермы // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 9. С. 28–32. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-9-28-32>
- [3] Дочкина Д.Д., Филимонова И.В. Социально-экономическое влияние развития карбоновых ферм на территории регионов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. № 4. С. 218–226.
- [4] Михайлов Д.М., Шажгаев И.Ш., Чуманская В.В., Абрамов В.И. Проблемы и перспективы регулирования углеродного рынка в контексте устойчивого развития регионов // Экономические отношения. 2022. Т. 12. № 2. С. 265–284. <https://doi.org/10.18334/eo.12.2.114843>
- [5] Столбовой В. С. Регенеративное земледелие и смягчение изменений климата // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 7. С. 19–26. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10703>

- [6] Коломыйц Э.Г., Сурова Н.А. Методы расчетов углеродного баланса лесных экосистем при глобальных изменениях климата // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2019. Т. 28. № 2. С. 189–218.
- [7] Ji H., Han J., Xue J., Hatten J. A., Wang M., Guo Y., Li P. Soil organic carbon pool and chemical composition under different types of land use in wetland: Implication for carbon sequestration in wetlands // The Science of the total environment. 2020. Vol. 716. 136996. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136996>
- [8] Щепаченко Д. Г., Мухоморова Л. В., Швиденко А. З., Ведрова Э. Ф. Запасы органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2013. № 2. С. 107–116.
- [9] Иванов А.Л., Савин И.Ю., Егоров А.В. Методология оценки ресурсного потенциала земель России для сельскохозяйственного производства (на примере хмеля) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2014. № 73. С. 29–94. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2014-73-29-94>

Сведения об авторах:

Коновалова Алёна Павловна, аспирант, ассистент департамента рационального природопользования, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, Москва, Подольское шоссе, д. 8. ORCID: 0009-0000-4958-6274, eLIBRARY SPIN-код: 8874-2330. E-mail: psareva_ap@pfur.ru

Савин Игорь Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, профессор департамента рационального природопользования институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, Москва, Подольское шоссе, д. 8; главный научный сотрудник, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 119017, Москва, Пыжёвский пер., д. 7, стр. 2. ORCID: 0000-0002-8739-5441, eLIBRARY SPIN-код: 5132-0631. E-mail: savigory@gmail.com



DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-107-117

EDN: XBMVEB


УДК 556.53

Научная статья / Research article

Разработка методики обследования загрязненных территорий на основе применения прямого спектрального зондирования с внедрением индексов состояния

Т.В. Бердникова  

Самарский государственный технический университет, Самара, Российская Федерация

 tatyana.berdnikova.98@mail.ru

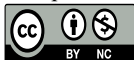
Аннотация. Приводится описание процесса обследования загрязненных территорий с использованием контактного спектрального зондирования. Рассматриваются основные этапы обследования, включая подготовку к работе, сбор данных, их обработку и анализ, а также интерпретацию полученной информации. Контактное спектральное зондирование позволяет получать данные для расчета почвенных индексов состояния, по значениям которых появляется возможность определения степени загрязнения почв. В результате данный подход обеспечивает более полное понимание загрязненности территорий и может быть использован в целях определения и управления экологическими рисками.

Ключевые слова: спектральное зондирование, спектральные характеристики, индексы состояния, мониторинг почв

История статьи: поступила в редакцию 26.11.2023; доработана после рецензирования 12.12.2023; принята к публикации 15.01.2024.

Для цитирования: Бердникова Т.В. Разработка методики обследования загрязненных территорий на основе применения прямого спектрального зондирования с внедрением индексов состояния // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 107–117. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-107-117>

© Бердникова Т.В., 2024




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

Development of a methodology for assessment of contaminated territories based on the utilization of direct spectral probing with the implementation of state indices

Tatyana V. Berdnikova  

Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

 tatyana.berdnikova.98@mail.ru

Abstract. The study describes the process of survey of contaminated territories using contact spectral sounding. The main stages of the survey are considered, including preparation for work, data collection, their processing and analysis, as well as interpretation of the obtained information. Contact spectral sounding allows obtaining data for calculation of soil condition indices, which values make it possible to determine the degree of soil contamination. As a result, this approach provides a more complete understanding of the contamination of territories and can be used to identify and manage environmental risks.

Keywords: spectral sensing, spectral characteristics, condition indices, soil monitoring

Article history: received 26.11.2023; revised 12.12.2023; accepted 15.01.2024.

For citation: Berdnikova TV. Development of a methodology for assessment of contaminated territories based on the utilization of direct spectral probing with the implementation of state indices. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):107–117. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-107-117>

Введение

Загрязнение почв является одной из наиболее серьезных экологических проблем современности, оказывающей негативное влияние на здоровье человека и окружающую среду. Данные Глобального мониторингового отчета о загрязнении почв подтверждают, что каждый третий почвенный участок в мире содержит загрязнители, превышающие допустимые нормы. Более того, около 23 % почвенных участков классифицируются как сильно загрязненные¹.

Особое внимание следует уделить динамике роста площадей загрязненных почв. По данным отчета ФАО, в последние десятилетия наблюдался значительный рост загрязненных территорий². Это особенно отчетливо видно в интенсивно развивающихся странах, где деятельность промышленности и сельского хозяйства оказывает значительное воздействие на окружающую среду. Каждый год мир теряет не менее 100 миллионов гектаров здоровых и плодородных земель [1].

Причины загрязнения почв разнообразны и связаны с неконтролируемым использованием химических удобрений и пестицидов в сельском хозяйстве,

¹ Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2022 году. Обнинск: НПО «Тайфун», 2023. С. 13.

² Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций: официальный сайт. – URL: <https://www.fao.org/> (дата обращения: 10.12.2023 г.).

неправильным управлением промышленными и бытовыми отходами, а также другими факторами.

Для решения проблемы загрязнения в первую очередь необходима разработка эффективных методов мониторинга состояния почв. Мониторинг включает обследование загрязненных участков с выявления характеристик загрязнения и определения уровня риска для человека и экосистем.

В последние годы в связи с развитием оптико-аналитических систем наблюдается рост интереса к применению контактного спектрального зондирования в области экологии и оценки загрязненных территорий. Контактное спектральное зондирование представляет собой метод, основанный на анализе интенсивности отраженного света на различных длинах волн от загрязненных поверхностей [2]. Этот метод позволяет получать спектральный отклик и на его основе определить характер и интенсивность загрязнения. За счет высокой скорости анализа возможно его многократное повторение в полевых условиях и оценка распространения загрязнения по площади.

Оперативный характер контактного спектрального зондирования является одним из преимуществ этого метода. Благодаря ему все измерения и анализ производятся непосредственно на месте исследования без необходимости забора проб или выезда в лабораторию. Такой подход существенно сокращает время и затраты, связанные с проведением обследования, а также улучшает возможность оперативного реагирования на обнаруженные загрязнения.

За счет высокой скорости анализа контактное спектральное зондирование может быть многократно повторено в полевых условиях. Это позволяет оценить распространение загрязнения по площади и следить за его динамикой.

Целью исследования является описание порядка обследования загрязненных территорий с применением контактного спектрального зондирования. В работе будут рассмотрены основные этапы обследования, а также предложены подходы к интерпретации полученных данных. Порядок обследования территорий с применением контактного спектрального зондирования может быть полезен для экологов и других специалистов, занимающихся проблемами загрязнения территорий и оценкой экологического состояния.

Материалы и методы

Для проведения обследования загрязненных территорий предлагается использовать метод прямого спектрального зондирования с внедрением индексов состояния. Этот метод представляет собой эффективный подход к исследованию территорий и контролю качества почв. Ранее авторами были рассмотрены особенности индексирования спектров при контактном зондировании [3].

Полевые исследования осуществляются с использованием естественного или искусственного источника света. Регистрация интенсивности отражения

проводится спектрометром, работающим в видимом или ближнем инфракрасном диапазоне спектра. Полученная информация далее обрабатывается на компьютере, и производится расчет почвенного индекса [4], который отражает относительное содержание компонентов в почвенном слое. Важно отметить, что получение абсолютных значений содержания загрязнителей оказывается недоступным из-за различий в условиях получения спектра и базовом составе почвы.

Для определения состава почвы во множестве точек на исследуемой пробной площадке с сохранением условия ее однородности проводится калибровка, построенная в формате «спектральный индекс состояния – концентрация». Для этого необходимо выполнить количественный химический анализ двух почвенных проб, которые отбираются из точек с принципиально различными значениями индексов (минимальным и максимальным). Такой подход позволяет интерполировать значения индексов для определения состава для других точек на выбранном участке.

Процесс обследования загрязненных территорий с использованием контактного спектрального зондирования состоит из следующих этапов:

1. Подготовка оборудования и выбор контрольных точек.
2. Проведение измерений.
3. Обработка полученных данных и расчет почвенного индекса.
4. Построение калибровочной зависимости «почвенный индекс – концен».
5. Анализ результатов.

В настоящей работе был использован спектрометр, имеющий рабочий диапазон на участке длин волн 650–1100 нм и волоконно-оптический зонд отражения/обратного рассеивания. В качестве источника света применяется компактная галогеновая лампа. В случае работы с естественным освещением вместо зонда используется коллиматор.

При подключении спектрометра необходимо провести настройку базовых уровней отражения. Наивысший уровень отражения достигается, когда количество света, падающего на объект, равно количеству света, отражаемому от него, а самый минимальный уровень отражения – когда свет полностью поглощается. Для получения максимального уровня отражения используют стандартный образец (например, один из образцов комплекта мер диффузного отражения ОДО-4) со спектральным коэффициентом диффузного отражения выше 0,5. Время интегрирования спектрометра для стандартного образца исследования выбирается исходя из степени освещенности исследуемой поверхности и отражательной способности изучаемой почвы. Получаемая спектральная кривая эталона должна быть приближена к максимуму яркости, регистрируемой спектрометром. Для фиксации фонового спектра, вызванного «шумом» оборудования в качестве «черного» образца, используют крышку коллиматора или крышку зонда отражения при выключенном источнике света.

При выборе контрольных точек для анализа загрязненной территории следует учитывать несколько факторов. Прежде всего, необходимо рассмотреть историю и динамику загрязнения, чтобы для предположения о наиболее загрязненных участках и включения этих точек в план съемки. Далее, важно подобрать контрольные точки таким образом, чтобы они охватывали различные области исследуемой территории, а также учитывали пространственное распределение загрязнений. Выбор контрольных точек должен быть репрезентативным для общего состояния загрязненной зоны, учитывая особенности (уклон, растительность и т.д.) конкретного района и характеристики фонового уровня загрязнений. Это позволит получить более точные и достоверные данные о загрязненности территории. Для первичной оценки состояния участка могут быть использованы данные дистанционного зондирования с низким пространственным разрешением без четкой привязки к типу загрязнителя, но демонстрирующие на снимках различия в состоянии почвенного покрова [5].

Спектрометр с коллиматором закрепляется на высоте до 30 см над уровнем земли в зависимости от освещенности и рельефа изучаемой поверхности на любой вид подвижной платформы для фиксации интенсивности отраженного света от почвы. Высота съемки фиксируется для всех точек съемки. При использовании оптико-волоконного зонда его выходное окно может напрямую контактировать с выбранным участком почвы, но следует содержать его в чистоте после каждого измерения. При съемке рекомендуется выбирать ровные участки почвы без камней и растений. Это помогает предотвратить возможные искажения результатов из-за неровностей поверхности или наличия посторонних объектов.

Получение спектра отражения почвы производится с установленным временем интегрирования, которое задается на этапе подготовки [6]. Если спектральная кривая выходит за пределы диапазона между максимумом от стандартного образца и минимумом при отсутствии доступа света к спектрометру, то проводится повторная подготовка спектрометра к работе. Количество повторных измерений спектра в одной точке задается при настройке спектрометра, но не может составлять менее трех повторений. Это позволяет учесть возможные вариации в измерениях и повысить точность результатов.

Данные полевой съемки собираются в накопителе или сразу передаются на ЭВМ в зависимости от модели спектрометра, где открываются через специальное, установленное ранее, программное обеспечение и выводятся в виде спектральных кривых. На основе полученных данных рассчитывается почвенный индекс в каждой точке, характеризующий содержание какого-либо компонента почвы. Пример карты-схемы обследованного участка представлен на рис. 1.

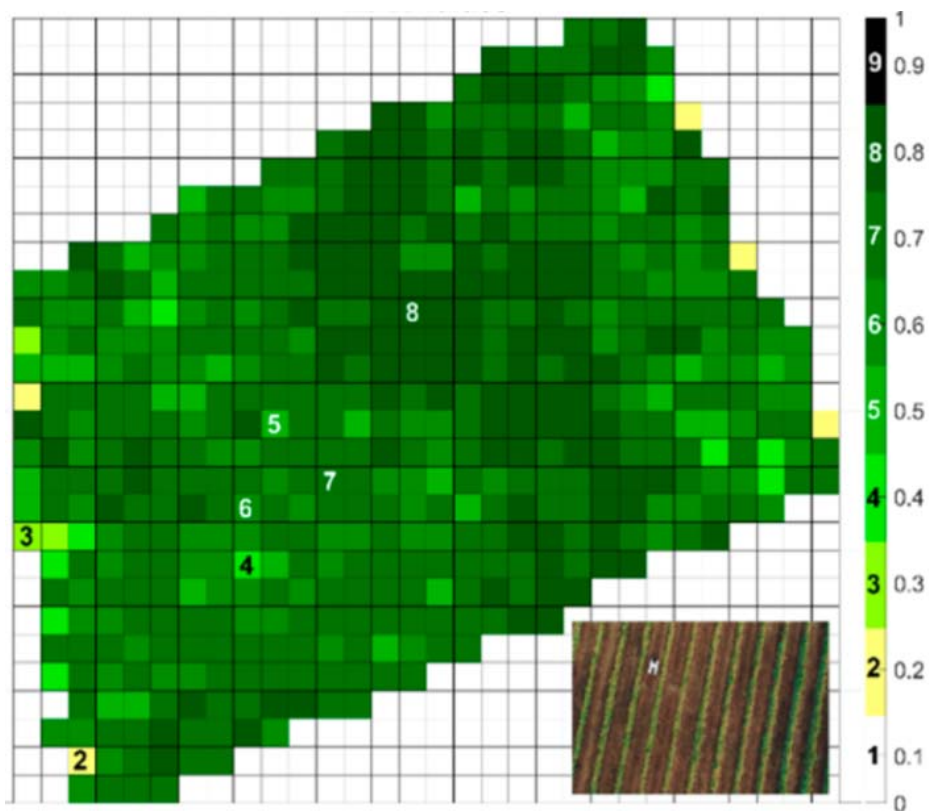


Рис. 1. Карта-схема участка после обследования с указанием значения спектрального индекса загрязнения

Источник: составлено автором /

Figure 1. Schematic map of the site after the survey indicating the value of the spectral contamination index

Source: compiled by the author.

Для дальнейшего определения содержания почвенных компонентов проводится калибровка в формате «спектральный индекс – концентрация» по двум почвенным образцам, отобраным из точек с максимально отличающимися значениями индексов (рис. 2). Путем подстановки значений спектральных индексов в уравнение калибровочной кривой получают значения концентраций фосфора для каждой из точек на исследуемом участке.

Результаты

Предложенный метод исследования загрязненных территорий с использованием прямого спектрального зондирования является эффективным и оперативным способом получения информации о состоянии почв на больших территориях. В процессе исследования был рассмотрен участок площадью 1 гектар, на котором были осуществлены замеры в точках, располагающиеся через каждые 10 м по сетке.

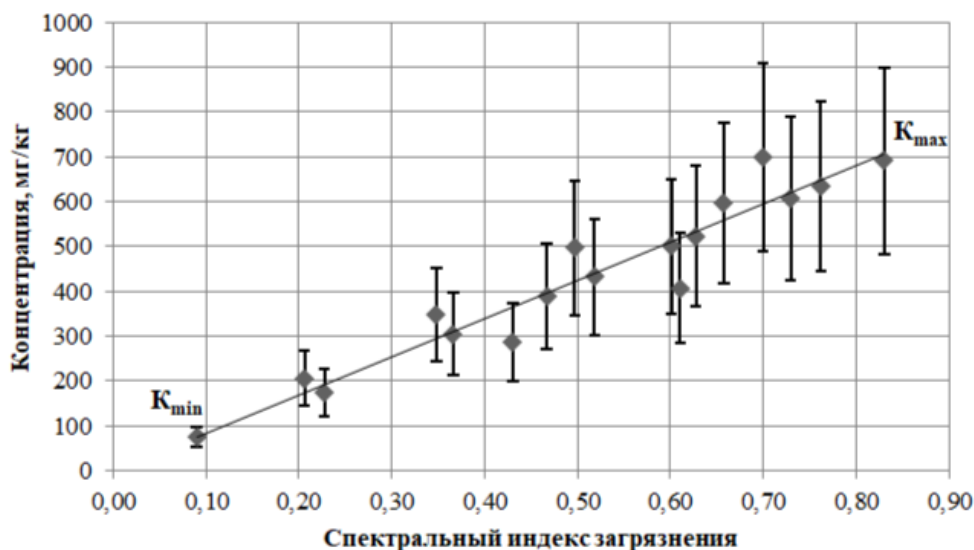


Рис. 2. Калибровочный график зависимости «спектральный индекс загрязнения – концентрация»
 Источник: составлено автором.

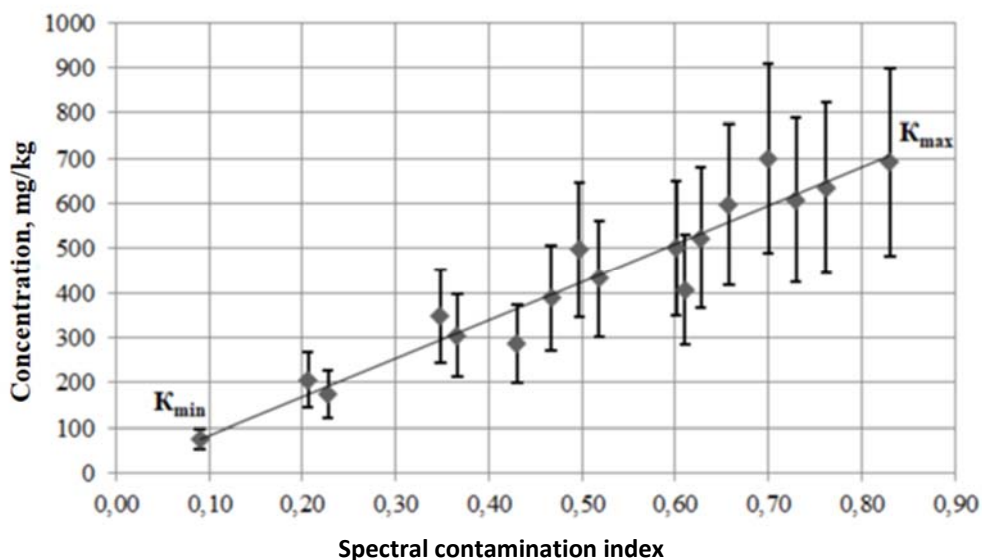


Figure 2. Calibration curve “Spectral contamination index – Concentration”
 Source: compiled by the author.

Для каждой контрольной точки были получены спектральные данные, которые были использованы для расчета индексов состояния. Так, в общей сложности был найден состав 100 контрольных точек. Такой подход позволяет получить информацию о загрязненности почвы на каждой контрольной точке и составить полную картину состояния почвенного покрова на всей территории исследования.



Рис. 3. Схема съемки спектральных данных и отбора проб почвогрунтов
Источник: составлено автором.



Figure 3. Survey of spectral data and soil sampling
Source: compiled by the author.

Ранее был разработан индекс по определению фосфора в почве [3]. Была проведена валидация метода определения концентрации фосфора в почве по спектральным расчетным индексам в натуральных условиях. Расширенная неопределенность предлагаемого метода составила 31,91 % при $k = 2$. Для

лабораторных исследований расширенная неопределенность варьируется от 16 до 20 % в зависимости от метода проведения анализа. Следовательно, предлагаемый способ уступает лабораторным методам в точности определения, однако все равно является достаточно достоверным для полевого метода исследования.

В сравнении с традиционными методами исследования почв предложенный метод прямого спектрального зондирования обладает рядом преимуществ. В соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб» для участка площадью 1 га требуется отобрать не менее одной объединенной пробы, которая представляет собой смесь не менее двух точечных проб³. Обычно для отбора проб на пробной площадке используется метод «конверта» (5 точек – по углам площадки и в ее середине). Однако такой подход может оказаться недостаточным для полного описания степени загрязненности территории. В отличие от этого метод прямого спектрального зондирования позволяет провести замеры и расчеты для значительно большего числа точек, что способствует более полному и точному определению степени загрязнения почвы и составлению более детальной карты загрязненных участков.

Также следует отметить, что метод прямого спектрального зондирования предоставляет возможность по выявлению степени загрязнения конкретной части исследуемой местности и, следовательно, позволяет определить приоритетные участки для проведения работ по рекультивации и снизить затраты на обширные работы по очистке всей территории.

Выводы

Таким образом, обследование территорий с использованием контактного спектрального зондирования предоставляет множество преимуществ перед традиционными методами исследования состава почвы. Этот современный подход позволяет быстро получать данные о составе почвы на месте без необходимости сбора образцов и их лабораторного анализа, позволяя экономить время и ресурсы, а также эффективно обследовать большие территории и оперативно получать результаты.

Кроме того, контактное спектральное зондирование дает возможность измерять свойства почвы без физического контакта с ней, что исключает риск повреждения или искажения данных. Благодаря этому методу мы можем получать более точные и надежные данные о составе почвы без влияния человеческого фактора или случайных внешних условий.

Также следует отметить, что использование контактного спектрального зондирования позволяет проводить долгосрочный мониторинг состояния

³ ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200159508> (дата обращения: 01.12.2023 г.).

почвы и изменений, происходящих со временем. Это особенно важно для анализа влияния различных факторов, в частности таких, как антропогенная активность, на состав почвы. Благодаря такому подходу мы можем обнаруживать и анализировать тенденции изменения почвенного покрова, что является ценной информацией для планирования и прогнозирования мер по улучшению экологического состояния территории.

Исходя из всего вышесказанного, обследование территорий с использованием контактного спектрального зондирования является эффективным и современным методом исследования состава почвы, позволяющим быстро получать данные, обеспечивает точность измерений и дает возможность проводить долгосрочный мониторинг изменений в почвенном покрове.

Список литературы

- [1] Сизов О.С., Соромотин А.В., Лоботросова С.А., Лобжанидзе Н.Е., Приходько Н.В. Нарушенность почвенно-растительного покрова на севере Западной Сибири: пространственное распространение и способы рекультивации // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2022. № 4 (307). С. 40–46.
- [2] Бурин Д.А., Смирнов А. А. Обзор технических средств неинвазивного мониторинга состояния растений, использующих методы гиперспектральной визуализации // Электротехнологии и электрооборудование в АПАК. 2021. № 2 (43). С. 54–61
- [3] Бердникова Т.В., Бран А.А., Ермаков В.В. Разработка техники индексирования при прямом спектральном зондировании почв для цели мониторинга// Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2023. № 5 (314). С. 10–18.
- [4] Коротков А.А., Астанов А.Ю. Вегетационный индекс NDVI для мониторинга растительности // Наука и образование. 2020. № 3. С. 131.
- [5] Полухина В.С., Цораева Э.Н. Использование современных информационных технологий в проведении мониторинга земель сельскохозяйственного назначения // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Математическое моделирование и информационные технологии при исследовании явлений и процессов в различных сферах деятельности». Краснодар, 2022. С. 230–233.
- [6] Корец М.А., Рыжкова В.А., Данилова И.В., Сулейманова Ж.Р. Опыт и методы картографирования состояния растительности в зонах воздействия промышленных предприятий // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2021: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Севастополь, 2021. С. 687.

References

- [1] Sizov OS, Soromotin AV, Lobotrosova SA, Lobzhanidze NE, Prikhodko NV. Disturbance of soil and vegetation cover in the north of Western Siberia: spatial distribution and methods of reclamation. *Environmental protection in oil and gas complex*. 2022;4(307):40–46. (In Russ.)
- [2] Burin DA, Smirnov AA. Review of technical means of non-invasive monitoring of plant condition using hyperspectral visualization methods. *Electrotechnologies and electrical equipment in APAC*. 2021;2(43):54–61. (In Russ.).

- [3] Berdnikova TV, Bran AA, Ermakov V.V. Development of indexing techniques for direct spectral sensing of soils for monitoring purposes. *Environmental protection in the oil and gas complex*. 2023;5:10–18. (In Russ.)
- [4] Korotkov AA, Astapov AYu. Vegetation index NDVI for vegetation monitoring. *Science and Education*. 2020;3:131. (In Russ.)
- [5] Polukhina VS, Tsoraeva EN. Use of modern information technologies in monitoring of agricultural land. *Collection of materials of the II International Scientific and Practical Conference of students, undergraduates and graduate students «Mathematical modeling and information technology in the study of phenomena and processes in various spheres of activity»*. 2022:230–233. (In Russ.)
- [6] Korets MA, Ryzhkova VA, Danilova IV, Suleymanova JR. Experience and methods of mapping the state of vegetation in the zones of impact of industrial enterprises. *Environmental, industrial and energy security – 2021. Collection of articles on the materials of the international scientific-practical conference*. 2021:687. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Бердникова Татьяна Владимировна, аспирант кафедры «Химическая технология и промышленная экология», Самарский государственный технический университет, Российская Федерация, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244. ORCID: 0000-0002-5441-4853, SPIN-код: 9007-8672. E-mail: tatyana.berdnikova.98@mail.ru

Bio note:

Tatyana V. Berdnikova, a graduate student at the Department of Chemical Technology and Industrial Ecology, Samara State Technical University, 244 Molodogvardeyskaya St, 443100, Samara, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-5441-4853, SPIN-код: 9007-8672. E-mail: tatyana.berdnikova.98@mail.ru.



DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-118-125


EDN: XHNQXT

УДК 502.5:504.052:639.2

Научная статья / Research article

Негативный вклад промыслового флота в загрязнение морской среды

А.В. Якимов  

*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Российская Федерация
 applo_o@mail.ru*

Аннотация. Эксплуатационные отходы, сброс за борт мусора и биологических ресурсов являются актуальной проблемой загрязнения морской среды. Современная программа обновления флота преимущественно направлена на модернизацию и вклад в более глубокую переработку продукции. При этом уменьшения негативного влияния промысла на водную экосистему не происходит. В работе приводится пример работы промыслового флота на промысле минтая как одного из самых массовых. Описывается негативный вклад рыбодобывающих судов в загрязнение акватории, которое происходит из-за нерационального пользования водными биологическими ресурсами и связанными с этим значительными объемами сброса рыбы за борт.

Ключевые слова: минтай, море, промысел, сброс отходов, загрязнение

Благодарности и финансирование. Данная статья подготовлена по материалам НИР, выполненной в рамках гранта Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета.

История статьи: поступила в редакцию 10.07.2023; доработана после рецензирования 12.12.2023; принята к публикации 15.01.2024.

Для цитирования: Якимов А.В. Негативный вклад промыслового флота в загрязнение морской среды // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 118–125. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-118-125>

© Якимов А.В., 2024




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

Negative contribution of the fishing fleet to marine pollution

Andrei V. Iakimov  

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russian Federation

 applo_o@mail.ru

Abstract. Operational waste, discharge of waste and biological resources overboard is an urgent issue of marine environment pollution. The modern fleet renewal program is more focused on modernization and contribution to deeper processing of products. However, reducing the negative impact of fishing on the aquatic ecosystem is not occurring. The work provides an example of the operation of the fishing fleet on the pollock fishery, as one of the most abundant. It describes the negative contribution of fishing vessels to the pollution of the waters, which occurs due to irrational use of aquatic biological resources and the associated significant volumes of fish discards overboard.

Keywords: pollock, marine environment, fishing industry, waste disposal, environmental contamination

Acknowledgements and Funding. This article is based on the materials of research carried out within the framework of a grant from the Far Eastern State Technical Fisheries University.

Article history: received 10.07.2023; revised 12.12.2023; accepted 15.01.2024.

For citation: Iakimov AV. Negative contribution of the fishing fleet to marine pollution. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):118–125. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-118-125>

Введение

В настоящее время суда на промысле значительно устарели, они не отвечают современным экологическим стандартам, что создает дополнительные проблемы в области защиты Мирового океана от загрязнения [1; 2].

Вопросами рационального пользования биологическими ресурсами, в частности минтая как одного из самых массовых объектов отечественного промысла, занимаются разные авторы [3–7]. Они подтверждают, что в настоящее время существуют проблемы, есть значительные объемы сброса за борт рыбы, что является одним из факторов загрязнения морской среды.

В управлении промыслом необходимо использовать научный подход и бороться с расточительным природопользованием, чего в настоящее время не происходит на должном уровне [8; 9].

Материалы и методы

Материалы для проведения данного исследования собирались на промысловых судах, которые производили филе и фарш минтая, а также рыбную муку. Работы проводились в два этапа. На первом этапе в зимний период в Охотском море производились промеры случайной выборки особей из трала, учитывались уловы, а также сброс за борт продуктов переработки и прилова.

Количество сбрасываемых отходов определялось по визуальным наблюдениям, с производением фото- и видеофиксации, а также взвешиванием и пересчетом из отсека, через который уходили за борт гидробионты и отходы производства. Поскольку для производства филе требовался более крупный минтай, определялась минимальная и максимальная длина особей, которые не шли в обработку и становились основой отходов.

На втором этапе в весенне-летний период сбор материала продолжился на другом судне в Беринговом море по той же методике. Фиксировались все случаи сброса мусора, а также водных биологических ресурсов как основного объекта промысла, так и прилова.

Результаты и обсуждения

При проведении научно-исследовательских работ на рыбопромысловых судах в Охотском и Беринговом море получены достоверные результаты, которые помогают охарактеризовать рациональность промысла. Есть два сезона добычи минтая, в первом облавливаются преднерестовые и нерестовые скопления, во втором – нагульный минтай. Проведенные работы охватывали оба района, общий период наблюдений продолжался с декабря по август, в результате чего получены качественные данные по работе флота на промысле.

При проведении промеров рыб из траловых уловов установлено, что на судне, выпускающем продукцию филе, наиболее оптимальные минимальные размерные показатели рыб, которые идут в обработку, начинаются от 41 см, в то время как при производстве продукции «минтай без головы» достаточно длины 38–39 см. В настоящее время наблюдается тенденция к более глубокой переработке. При этом возрастает необходимость в рыбе больших размеров, чтобы производить филе и фарш. По данным собственных наблюдений, ресурсы минтая в Охотском море в некоторой степени себя истощили. В этом районе при суммировании размерных показателей на долю рыб размером до 41 см приходилось 49 % (табл. 1, рис. 1), которые в большинстве случаев не шли в обработку и сбрасывались за борт. По подсчетам при среднемесячных уловах 5096 т с одного судна, на котором проводились наблюдения, объем сброса составлял около 2142 т.

В Беринговом море при суммировании размерных показателей на долю рыб размером до 41 см приходилось 30,7 % (табл. 2, рис. 2). По некоторым подсчетам, при среднемесячных уловах 3776 т отходы с одного судна за месяц составляли 1132 т. При этом прилов сельди значительно больше, чем в Охотском море, поскольку она нагуливалась вместе с минтаем и, соответственно, на судах, которые не занимались ее добычей, увеличивался сброс.

Сравнивая полученные данные, средняя длина минтая в уловах в Охотском море составила 40,5 см, а в Беринговом море 42 см. Здесь будет рассматриваться разница между количеством рыб менее 40 см, она составляет 10 %. При этом минимальная средняя длина минтая из траловых уловов в Охотском море была 28,6 см, а максимальная – 43,8 см, в то время как в Беринговом – 36 и 50,6 см соответственно (рис. 3).

Таблица 1. Размерные показатели минтая из уловов /
Table 1. The size composition of Pollock in the catch

X_{\min} , см	X_{\max} , см	$X \pm m$, см	$AC \leq 41$ см, %	n , экз.
11	65	40,4±2,8	49	12663

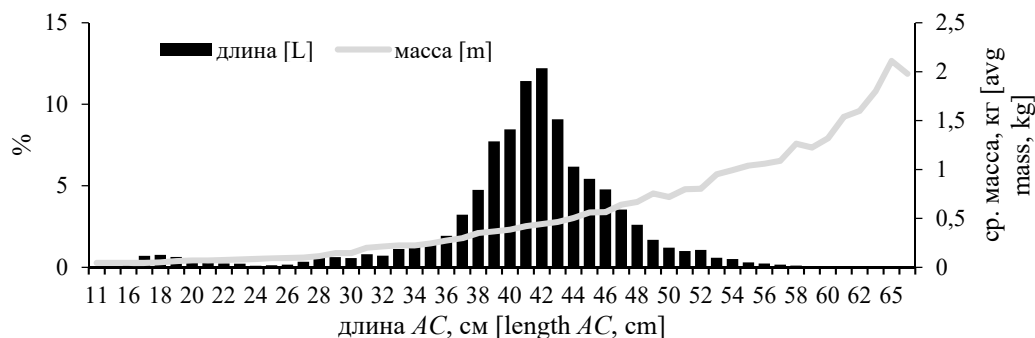


Рис. 1. Размерный состав минтая в уловах

Источник: составлено авторами.

Figure 1. The size of Pollock in the catch

Source: compiled by the authors.

Таблица 2. Размерные показатели минтая из уловов /
Table 2. The size composition of Pollock in the catch

X_{\min} , см	X_{\max} , см	$X \pm m$, см	$AC \leq 41$ см, %	n , экз.
21	76	42±3,3	30,7	6972

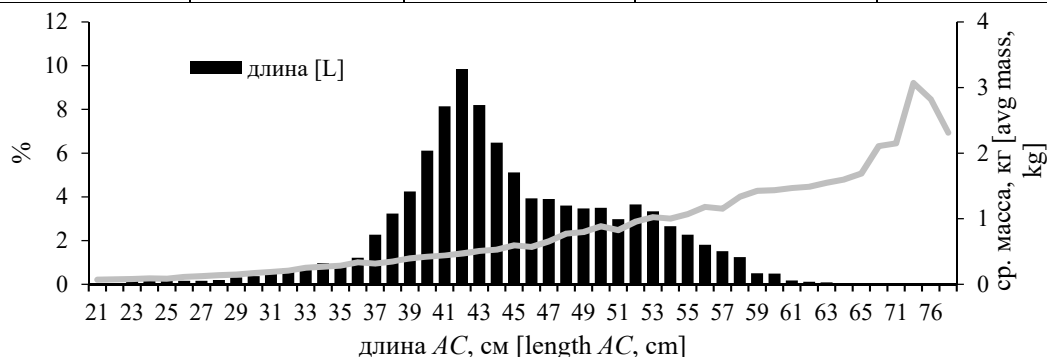


Рис. 2. Размерный состав минтая в уловах

Источник: составлено авторами.

Figure 2. The size composition of Pollock in the catch

Source: compiled by the authors.

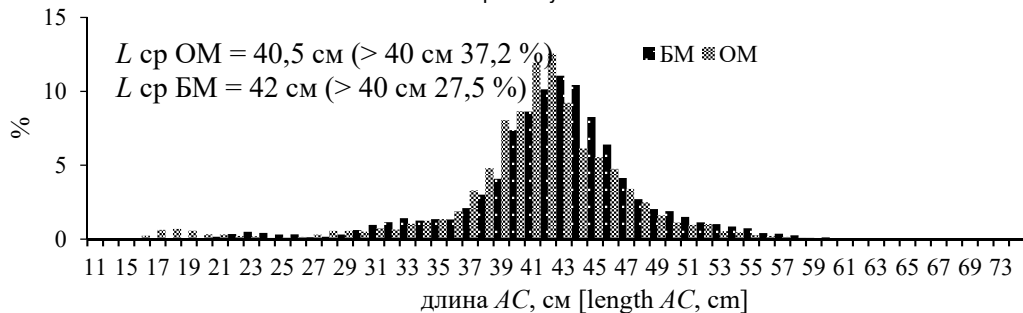


Рис. 3. Размерный состав минтая в уловах

Источник: составлено авторами.

Figure 3. The size composition of Pollock in the catch

Source: compiled by the authors.

Таким образом, можно сделать вывод что рациональнее производить из минтая филе и фарш в Беринговом море в летний период, поскольку там размерные показатели значительно выше. Однако если бы работы проводились на другом судне с первого этапа, но при этом в другом море, то количество отходов было бы выше, поскольку там ввиду технических особенностей рыба нужна была крупнее (от 41 см, в то время как здесь 39–40). Но, несмотря на то, что на судне в Беринговом море в обработку брали рыбу меньше 41 см, вначале отходы всё равно были значительные, поскольку минтай только подходил нагуливаться и еще не имел достаточной массы, в то время как в Охотском море в преднерестовый и нерестовый период рыба была более упитанной.

При промысле преднерестового и нерестового минтая в Охотском море масса прилова других видов минимальна и составляет сотые доли процента, поскольку работы проводятся пелагическими тралами и косяки рыб очень плотные. Совершенно другая обстановка в Беринговом море. Из-за концентраций минтая у дна приходится работать донным тралом, в связи с чем возрастает процент прилова других видов. Наиболее часто попадаются треска, керчаки, палтусы (табл. 3). Поскольку без разрешения промысел других видов запрещен, то все сбрасывается за борт, в большинстве случаев это касается и сельди, поскольку многие суда не могут одновременно производить продукцию из нескольких видов рыб.

Таблица 3. Показатели видового разнообразия прилова за одно траление /
Table 3. Indicators of the species diversity of the tide for one trawling

Вид / Species	Встречае- мость / Occurrence, %	Длина, см / Length, cm		Ср. масса, кг / avg mass, kg	Улов, кг / Catch, kg		
		мин / min	макс / max		мин / min	макс / max	ср / avg
<i>Anoplopoma fimbria</i>	14,9	33	69	1,71	12,1	418,6	89,2
<i>Beryteuthis magister</i>	12,8	17	33	0,41	6,8	1500	248,1
<i>Clupea pallasii</i>	59,6	25	62	0,33	24	210000	49966
<i>Gadus macrocephalus</i>	28,2	41	104	3,25	10,5	565	136,1
<i>Myoxocephalus polyacanthocephalus</i>	21,3	28	77	3,72	17,8	686	138,8
<i>Hippoglossus stenolepis</i>	20,2	41	135,8	2,04	10,4	419,1	121,1
<i>Reinhardtius hippoglossoides matsurae</i>	6,9	62,9	79,2	3,46	2,3	50,8	30,5

Источник: составлено авторами.
Source: compiled by the authors.

В районе работ при наблюдении за поверхностью воды в поле зрения в основном наблюдались загрязнения от продуктов переработки минтая, а именно его внутренности. При проведении исследований на судне производились наблюдения за действиями с бытовыми отходами. В отличие от результатов, полученных на судне в Охотском море, где происходило незначительное разделение и накопление отходов, в Беринговом море всё, включая пластиковые бутылки и прочее запрещенное конвенцией, сбрасывалось за борт и на судне ничего не сжигалось или не складировалось. Установка для термической утилизации мусора (инсинератор) не работала.

По собственным наблюдениям, когда судно возвращается в российский порт, члены экипажа избавляются от упаковочной продукции (картонная упаковка и полиэтиленовые мешки), сбрасывая ее за борт, чтобы не декларировать. Это связано с тем, что в большинстве случаев снабжение приобретает за границей (в основном в Китае и Южной Корее).

В ходе исследований установлено, что некоторые суда не заходят в порты Российской Федерации, хотя имеют там порт приписки. Согласно данным, полученным от членов экипажа, на многих судах из устаревшего флота, в основном типа БМРТ (больших морозильных рыбопромысловых траулеров), холодильные установки работают на фреоне, который запрещен для использования различными нормативными документами. Тот факт, что они не заходят в российский порт, позволяет им не проходить регистр, а в месте их основного базирования и проведения ремонтных работ (в основном порты Южной Кореи) они не подлежат досмотру, поскольку не занимаются промысловой деятельностью в этом государстве.

При проведении исследований можно сделать вывод, что во всех районах при промысле наблюдаются нарушения и расточительное пользование биоресурсами. Описывая полученные результаты в зимне-весенний период промысла, в Охотском море наблюдается более нерациональное обращение с минтаем. Из-за большого процента прилова молоди и особей, размеры которых не подходят для производства филе, во всех районах Охотского моря, особенно в Западно-Камчатской подзоне, сбросы рыбы за борт значительны и в единичных случаях могут достигать 90 %. При этом в данном районе другие виды рыб в уловах встречаются значительно реже и доля от общего улова минимальна. Только при работе в районе Курильских островов возможно попадание больше других видов, как по численности, так и по биомассе.

В Беринговом море промысел ведется в весенне-осенний период. Поскольку рыба сюда приходит нагуливаться, то зачастую основные ее скопления в придонном и донном слое. В связи с работой донными тралами попадание прочих видов очень большое и они значительно превосходят охотоморские. Установлено, что прилов молоди и прочих видов при промысле практически полностью сбрасывается за борт и лишь незначительная их часть может идти на производство рыбной муки (в особенности на судах, которые производят рыбное филе, поскольку там для этих целей используются остатки тушек минтая).

В Охотском море избежать прилова молоди практически невозможно ввиду истощения его запасов, где сказывается недостаточная селективность орудий лова. В Беринговом море это можно решить запретом на пользование донным тралом (который в настоящее время и так существует, но его бесконтрольно нарушают) при этом возрастет процент молоди в уловах.

При существующей сертификации минтая в Охотском море, который официально соответствует стандартам Морского Попечительского Совета (Marine Stewardship Council, MSC), на основе полученных данных в исследовании реальная обстановка на промысле противоречит тому, что

подтверждает его как хорошо управляемый и рациональный. В целом, говоря о рациональности промысла минтая при соблюдении всех норм, будет отсутствовать негативный вклад в загрязнение морской среды продуктами переработки, однако особое внимание следует обратить на отношение к соблюдению норм о предотвращении загрязнения моря со стороны членов экипажа, которые сбрасывают за борт бытовые отходы, в том числе пластик.

Заключение

При проведении исследований получены новые данные на промысловых судах, ведущих промысел минтая, производящих филе и фарш. Посчитанный уровень сброса рыбы за борт позволяет сделать вывод, что такой объем ведет к загрязнению морской среды. Так, в Охотском море он составил в среднем за месяц 2142 т, а в Беринговом – 1132 т. Учитывая количество флота на промысле в период путины, суммарный сброс минтая за борт значительный и, помимо вреда для экономики страны из-за большого количества неучтенной рыбы, – это в первую очередь вред для морской экосистемы.

Установлено, что на судах за борт сбрасывается бытовой мусор, среди которого пластик – практически в полном объеме.

Немаловажную роль в увеличении сброса минтая за борт определяет тенденция к возвращению производства глубокой переработки на судах, с производством филе и фарша. Так, промысел считается рациональным, если размерные показатели рыб в уловах достигают 41 см и более, в противном случае происходит перерасход рыбы-сырца, уменьшение выхода готовой продукции и увеличение отходов.

Возможные пути решения – это создание единой цифровой системы мониторинга промысла в режиме реального времени, когда оператор на берегу может видеть где и когда судно совершило промысловую операцию, объем улова, размерные группы рыбы. Датчики движения позволят фиксировать любые виды сброса отходов за борт. Дополнительно можно отслеживать и количество произведенной продукции для минимизации фальсификации данных.

Список литературы

- [1] Самогин А.С., Галанова В.Р. Проблемы защиты мирового океана от загрязнения в контексте национальной безопасности государства // Образование и право. 2020. № 12. С. 31–34.
- [2] Мизгирев Д.С., Захаров В.Н., Отделкин Н.С., Наумов В.С. Современное состояние проблемы обращения с судовыми отходами // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2019. Т. 27. № 4. С. 282–297.
- [3] Булатов О.А., Васильев Д.А. Регулирование промысла минтая: «Предосторожный подход» или максимальный устойчивый улов? // Вопросы рыболовства. 2023. № 3. С. 7–20.
- [4] Хен Г.В., Дулепова Е.П., Сомов А.А., Степаненко М.А., Катугин О.Н., Кулик В.В. Результаты исследований элементов экосистемы конвенционного района Берингова моря и перспективы промысла // Вопросы рыболовства. 2023. № 1. С. 5–38.

- [5] *Макоедов А.Н., Матишов Г.Г., Пономарева Е.Н., Бердников С.В.* Аквакультура на юге России // *Известия ТИНРО*. 2023. Т. 203, вып. 2. С. 413–426.
- [6] *Колончин К.В., Павлова А.О., Бетин О.И., Яновская Н.В.* Минтай как объект российского и мирового промысла // *Труды ВНИРО*. 2022. Т. 189. С. 5–15.
- [7] *Шунтов В.П., Волвенко И.В.* К вопросу о перестройках в донных и придонных ихтиоценозах российских дальневосточных морей под влиянием промыслового пресса // *Вопросы рыболовства*. 2020. Т. 21. С. 359–378.
- [8] *Варкентин А.И.* О прилове минтая непромыслового размера в северо-восточной части Охотского моря в период зимне-весеннего специализированного промысла: от наблюдений к правилам рыболовства // *Вопросы рыболовства*. 2023. № 2. С. 5–25.
- [9] *Дьяков Ю.П., Бугаев А.В.* О промысловой эксплуатации биологических ресурсов в водах Камчатского края // *Вестник КамчатГТУ*. 2023. № 63. С. 66–77.

References

- [1] Samogin AS, Galanova VR. Problems of protection of the world ocean from pollution in the context of national security of the state. *Education and law*. 2020;12:31–34. (In Russ.)
- [2] Mizgirev DS, Zakharov VN, Otdelkin NS, Naumov VS. The current state of the problem of ship waste management. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2019;27(4):282–297. (In Russ.)
- [3] Bulatov OA, Vasiliev DA. Regulation of pollock fishing: “Precautionary approach” or maximum sustainable catch? *Fishing issues*. 2023;(3):7–20. (In Russ.)
- [4] Khen GV, Dulepova EP, Somov AA, Stepanenko MA, Katugin ON, Kulik VV. Results of studies of ecosystem elements of the convention area of the Bering Sea and fishing prospects. *Fishing issues*. 2023;(1):5–38. (In Russ.)
- [5] Makoedov AN, Matishov GG, Ponomareva EN, Berdnikov SV. Aquaculture in the south of Russia. *Izvestia TINRO*. 2023;203(2):413–426. (In Russ.)
- [6] Kolonchin KV, Pavlova AO, Betin OI, Yanovskaya NV. Pollock as an object of Russian and world trade. *Proceedings of VNIRO*. 2022;189:5–15. (In Russ.)
- [7] Shuntov VP, Volvenko IV. On the issue of perestroika in the bottom and bottom ichthyocenes of the Russian Far Eastern seas under the influence of the commercial press. *Questions of fisheries*. 2020;21:359–378. (In Russ.)
- [8] Varkentin AI. On by-catch of pollock of non-commercial size in the northeastern part of the Sea of Okhotsk during the winter-spring specialized fishing: from observations to fishing rules. *Fishing issues*. 2023;2:5–25. (In Russ.)
- [9] Dyakov YP, Bugaev AV. On commercial exploitation of biological resources in the waters of the Kamchatka territory. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*. 2023;63:66–77. (In Russ.)

Сведения об авторе:

Якимов Андрей Васильевич, аспирант, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Российская Федерация, 690087, Владивосток, ул. Луговая, д. 52-Б. ORCID: 0000-0003-0753-178X, eLIBRARY SPIN-код: 4518-7161. E-mail: applo_o@mail.ru

Bio note:

Andrei V. Iakimov, postgraduate student, Far Eastern State Technical Fisheries University, 52-B Lugovaya St, Vladivostok, 690087, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0753-178X, eLIBRARY SPIN-код: 4518-7161. E-mail: applo_o@mail.ru



ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-126-135

EDN: XIBCTW

УДК 66.042.3

Научная статья / Research article

Анализ действующих и разработка модернизированных конструкций горелок типа ГП с низким выбросом оксидов азота для трубчатых нефтезаводских печей

В.Д. Катин, А.А. Журавлев✉

Дальневосточный государственный университет путей сообщения,

г. Хабаровск, Российская Федерация

✉ goposor@yandex.ru

Аннотация. Проанализированы и рекомендованы к внедрению в нефтегазовой отрасли авторские инновационные технические решения по модернизации действующих горелочных устройств типа ГП с малым выбросом токсичных оксидов азота, защищенные патентами на полезные модели. Заслуживают внимания и представляют практический интерес новые конструкции горелок ГП с размещением мазутной форсунки в амбразуре, с дополнительным оборудованием их специальной трубой с распылителем пара в топку, а также с дополнительным расположением разделителя воздушного потока, установленного в смесительной камере и снабженного соплами для подачи сжатого воздуха, что повышает экологичность их работы за счет снижения выбросов оксидов азота и продуктов неполного горения.

Ключевые слова: нефтеперерабатывающие заводы, трубчатые печи, газомазутные горелки, оксиды азота, продукты неполного горения, модернизированные горелочные устройства типа ГП, мазутная форсунка, амбразура горелки, труба с распылителем пара, разделитель воздушного потока, сопла для подачи сжатого воздуха

Вклад авторов. Катин В.Д. – автор полезных моделей, написание текста статьи; Журавлев А.А. – автор полезных моделей, подготовка текста к публикации;

© Катин В.Д., Журавлев А.А., 2024



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

История статьи: поступила в редакцию 10.06.2023; доработана после рецензирования 12.11.2023; принята к публикации 15.11.2023.

Для цитирования: Катин В.Д., Журавлев А.А. Анализ действующих и разработка модернизированных конструкций горелок типа ГП с низким выбросом оксидов азота для трубчатых нефтезаводских печей // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 126–135. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-126-135>

Analysis of existing and development of modernized structures GP type burners with low nitrogen oxide emissions for tubular refinery furnaces

Victor D. Katin, Alexander A. Zhuravlev✉

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russian Federation
✉goposor@yandex.ru

Abstract. Author's innovative technical solutions for modernizing existing burner devices of the GP type with low emissions of toxic nitrogen oxides, protected by patents for utility models, were analyzed and recommended for implementation in the oil and gas industry. New designs of GP burners with the placement of an oil nozzle in the embrasure, with additional equipment with a special pipe with a steam sprayer into the firebox, as well as with an additional arrangement of an air flow separator installed in the mixing chamber and equipped with nozzles for supplying compressed air, which increases the environmental friendliness of their operation by reducing emissions of nitrogen oxides from incomplete combustion products.

Keywords: oil refineries, tube furnaces, oil-gas burners, nitrogen oxides, incomplete combustion products, modernized GP-type burner devices, fuel oil nozzle, burner embrasure, pipe with steam spray, air flow separator, nozzles for compressed air supply

Authors' contributions. Katin V.D. – author of utility models, writing the text of the article; Zhuravlev A.A. – author of utility models, preparation of text for publication;

Article history: received 10.06.2023; revised 12.11.2023; accepted 15.11.2023.

For citation: Katin VD, Zhuravlev AA. Analysis of existing and development of modernized structures GP type burners with low nitrogen oxide emissions for tubular refinery furnaces. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):126–135. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-126-135>

Введение

В нашей стране Росприроднадзором осуществляется на деле Федеральный проект «Чистый воздух», согласно которому ключевой задачей является снижение общего объема вредных выбросов в атмосферный воздух к 2026 г. более чем на 20 %. Достичь такого результата возможно за счет модернизации действующих производств, в том числе нефтеперерабатывающих и создания принципиально новых конструкций топливосжигающих устройств на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), эксплуатируемых в со-

ставе трубчатых технологических печей и обладающих низким выбросом загрязняющих веществ, прежде всего оксидов азота (NO_x). В этой связи следует отметить, что NO_x считаются наиболее экологически опасными веществом, образующимися при горении газа и мазута в нефтезаводских печах [1–4]. Это подтверждается тем, что, по данным [3], при обеспечении полноты горения топлива токсичность продуктов сгорания природного газа определяется на 90–95% содержанием в них NO_x , а при сжигании мазута выбросы NO_x гораздо выше, что объясняется более высокой максимальной температурой факела, чем при горении газа. В связи с этим вектор усилий исследователей-экологов, на наш взгляд, должен быть направлен на разработку технических решений, снижающих вредные выбросы NO_x .

Эколого-технические требования, предъявляемые к горелочным устройствам

Проблема снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух с продуктами сгорания топлива наиболее тесно связана с созданием новых горелочных устройств (ГУ), обеспечивающих минимальный выброс NO_x .

На отечественных НПЗ эксплуатируется более 1500 технологических трубчатых печей, на которых работают десятки тысяч различных конструкций ГУ. В связи с этим необходимо, чтобы горелки при эксплуатации обеспечивали бы полное и экологичное сжигание топлива, т.е. без химического недожога топлива и с минимальным выбросом NO_x .

По данным [1; 2], на печах работают ГУ следующих типов и классов: кинетические ГУ с полным предварительным смешением топлива и воздуха (типов ГИК, ГЭВК, ГГМ и др.), ГУ диффузионного принципа сжигания топлива (горелки типа ГП и др.) и многосопловые плоскофакельные ГУ (типа ФП и др.), работающие по диффузионно-кинетическому принципу горения.

При этом, по данным обследования парка ГУ Хабаровского НПЗ около 75–80 % всех ГУ приходится на диффузионные горелки, а остальные 20–25 % составляют ГУ кинетического и смешанного принципов горения [4].

Модернизация действующих и разработка новых конструкций ГУ для нефтезаводских печей – одна из актуальных и сложных задач. На протяжении многих лет выпускаемые для печных агрегатов горелки являлись универсальными и использовались в трубчатых печах различных типов без учета специфических особенностей конструкций печей, а также параметров и условий работы.

К конструированию и применению на НПЗ горелок, работающих на газообразном и жидком топливе, предъявляются следующие эколого-технические требования [1; 2]:

- обеспечение равномерного, стабильного распределения теплоты по зонам печи и заданного температурного профиля;
- обеспечение полноты сжигания топлива при малых избытках воздуха;

- возможность включения в систему автоматического управления тепловым процессом печи;
- организация такого метода сжигания, при котором обеспечивалось бы соответствие габаритных и теплообменных параметров факела размерам топки, относительному расположению экранных поверхностей во избежание прямого контакта пламени с поверхностью труб и недопущения их опасного прогара;
- простота изготовления, монтажа на печи и возможность ремонта без останова печи;
- обеспечение экологических показателей сжигания топлива с целью сохранения чистоты окружающей среды и предотвращения загрязнения атмосферы вредными выбросами с продуктами сгорания.

Отметим, что последнее требование, предъявляемое к ГУ, является приоритетным вследствие отсутствия каких-либо руководящих документов и нормативных указаний по проектированию малотоксичных горелок и их подбору для нефтезаводских печей.

Следует отметить, что применяемые на предприятиях отрасли горелки неполностью удовлетворяют перечисленным требованиям. Необходимы критический анализ эколого-технического уровня эксплуатации парка горелок на НПЗ и разработка их усовершенствованных конструкций, отвечающих современным экологическим требованиям.

Анализ технического состояния и условий работы горелок различных типов и разработка новых ГУ типа ГП

Авторами данной работы было проведено обследование технического состояния и условий эксплуатации парка ГУ на Хабаровском НПЗ. Одной из особенностей технологий сжигания газообразного и жидкого топлива в трубчатых печах является возможность одновременного сжигания газа и мазута в некоторых конструкциях ГУ. Однако для большинства комбинированных горелок конструкции ВНИИнефтемаша типов ГП, ГИК, ГЭВК и др. эти возможности весьма ограничены.

При эксплуатации горелок типа ГЭВК, спроектированных для оснащения трубчатых печей большой единичной мощности, наблюдается попадание капель мазута в газовые сопла, в результате чего закоксовываются отверстия и нарушается одновременное совместное сжигание газа и мазута. Причиной этого является неудачное расположение газовой части горелки в одной камере с жидкостной форсункой. Подобный конструктивный недостаток присущ инжекционным горелкам типа ГИК, эксплуатируемым на НПЗ. Здесь также основной причиной нарушения нормальной работы ГУ является близкое расположение зон воспламенения газа и мазута, когда выходящие струи газообразного топлива деформируют поток распыленного жидкого топлива, в результате чего ухудшаются условия для распыления капель мазута и перемешивания его паров с воздухом.

Кроме того, опыт эксплуатации горелок типа ГП с жидкостной форсункой, предназначенной для вертикальной и горизонтальной установки на

печах, показывает, что при наклонном расположении форсунки с поступлением в нее жидкого топлива в смесителе происходит расслоение фаз и пульсационный выброс нераспыленного мазута, что затрудняет их нормальную работу.

В связи с этим необходима модернизация действующих горелок и разработка их новых конструкций с точки зрения безопасности и экологичности работы. Авторами запатентовано новое ГУ типа ГП¹, применение которого позволяет повысить эффективность совместного сжигания газа и мазута в одном корпусе горелки. С этой целью предложено распылительную часть мазутной форсунки горизонтально сдвинуть и расположить в амбразуре горелки. Это обусловлено тем, что при совместном сжигании в горелке мазута и газа газ через патрубок поступает в коллектор и, распределяясь по газораздающим отверстиям, расположенным в смесительной камере, истекает в виде поперечных струй в высокоскоростной поток воздуха, а распылительная часть форсунки располагается в амбразуре горелки, тем самым исключая близость расположения распылительной части форсунки от газораздающих отверстий.

Однако, по данным исследований [4], существенным недостатком данного ГУ является повышенный выброс NO_x при горении газа и мазута вследствие расположения распылительной части мазутной форсунки у основания амбразуры. Известно, что выход термических оксидов азота при сжигании топлива определяется максимальной температурой факела. В образуемом ядре факела при сжигании мазута наблюдается наиболее высокая температура, что и приводит к повышенному выбросу NO_x .

В связи с этим авторами была разработана принципиально новая малотоксичная горелка ГП, в которой для снижения выхода NO_x предусмотрена подача пара через трубу с распылителем, установленную в специальном канале у основания амбразуры ГУ (см. рис. 1).

Газомазутная горелка содержит корпус 1 с патрубком для подачи воздуха 2, соединенный с амбразурой горелки 3, установленной в отверстие печи, смесительную камеру 4, трубу с патрубком 5 для подачи воздуха при работе горелки на мазуте, расположенную на оси корпуса 1, вставку 6, закрепленную на наружной поверхности трубы 5 с возможностью поворота и предназначенную для образования пережима на воздушном тракте, периферийный кольцевой коллектор 7 с патрубком 8 и газораздающими отверстиями 9, расположенными в зоне пережима воздушного тракта, мазутную форсунку 10, установленную внутри трубы 5, распылительная часть форсунки 10 расположена в амбразуре 3 горелки у ее основания. В амбразуре 3 горелки дополнительно проделан специальный канал 11, в котором установлена труба 12 с распылителем 13 подачи пара в высокотемпературную зону горения газа и мазута, что приводит к снижению на 10–15 % выбросов NO_x . На

¹ Патент 139470 RU. Газомазутная горелка / В.Д. Катин, А.Ю. Березуцкий. Опубл. 20.04.2014. Бюл. № 11.

предлагаемую конструкцию ГУ авторами получен патент на полезную модель².

Существенным недостатком газомазутной горелки, описанной выше, на взгляд авторов, является неполнота сгорания газа, объясняемая неравномерностью распределения воздушного потока в смесительной камере и неоднородностью перемешивания газозвушной смеси. В связи с этим авторы поставили задачу создать такую конструкцию горелки типа ГП, которая позволила бы снизить не только выбросы NO_x , но и продуктов неполного горения топлива.

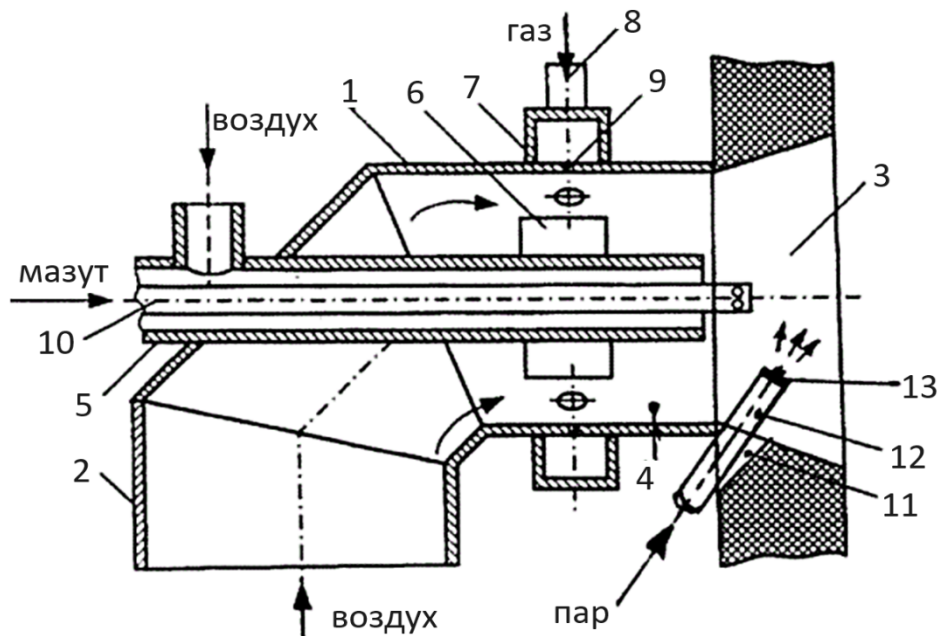


Рис. 1. Схема новой газомазутной горелки типа ГП с подачей пара в зону горения (Патент №187171)

Источник: составлено авторами /

Figure 1. Diagram of a new gas-oil burner of the GP type with steam supply to the combustion zone (Patent No. 187171) Gorenje

Source: compiled by the authors.

Разработка модернизированной конструкции горелки типа ГП с разделителем воздушного потока

Для решения поставленной задачи в известной газомазутной горелке дополнительно оборудуется разделитель воздушного потока с овальными отверстиями, установленный в смесительной камере и снабженный соплами для впрыска сжатого воздуха периодического действия.

Благодаря указанным конструктивным изменениям в ГУ повышается его экологическая эффективность. Разделитель воздушного потока имеет

² Патент 187171 RU. Газомазутная горелка / В.Д. Катин, В.И. Нестеров. Оpubл. 22.02.2019. Бюл. № 6.

изогнутую форму, которая способствует увеличению интенсивности воздушного потока вдоль поверхности разделителя, что позволяет равномерно распределять поток воздуха в смесительной камере. Разделитель воздушного потока дополнительно оснащен овальными отверстиями, которые выполняют функцию разделителя воздушного потока по этажам смесительной камеры, а сопла для впрыска сжатого воздуха, установленные в смесительной камере под углом $\alpha = 20\text{--}30^\circ$, интенсифицируют процессы перемешивания.

Новая конструкция горелки ГП показана на рис. 2–4. При этом на рис. 2 и 3 показаны разрезы (фронтальный и профильный) горелки. На рис. 4 горизонтальный разрез ГУ.

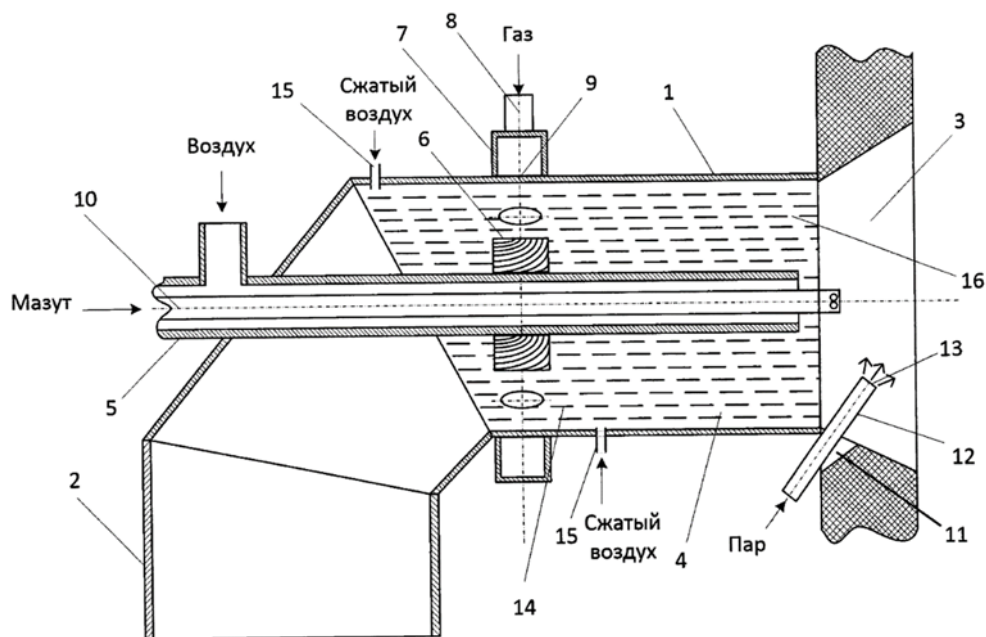


Рис. 2. Фронтальный разрез ГУ новой конструкции типа ГП (Патент 208146)

Источник: составлено авторами.

Figure 2. The frontal section of the GU of the new GP type design (Patent 208146)

Source: compiled by the authors.

Из рис. 2–4 видно, что новая газомазутная горелка содержит корпус 1 с патрубком для подачи воздуха 2, соединенный с амбразурой 3 горелки, установленной в отверстие печи, смесительную камеру 4, разделитель воздушного потока 14, овалы отверстия 16, сопла для впрыска сжатого воздуха 15, трубу 5 с патрубком для подачи воздуха при работе горелки на мазуте, расположенную на оси корпуса 1, вставку 6 (причем вставка выполнена гофрированной с образованием выступов), закрепленную на наружной поверхности трубы 5 с возможностью поворота и предназначенную для образования пережима на воздушном тракте, периферийный кольцевой коллектор 7 с патрубком 8 и газораздающими отверстиями 9, расположенными в зоне пережима воздушного тракта, мазутную форсунку 10, установленную внутри трубы 5, распылительная часть форсунки 10 расположена в амбразуре

3 горелки у ее основания. В амбразуре 3 горелки дополнительно проделан канал 11, в котором установлена труба 12 с распылителем 13 впрыска пара зону горения газа и мазута.

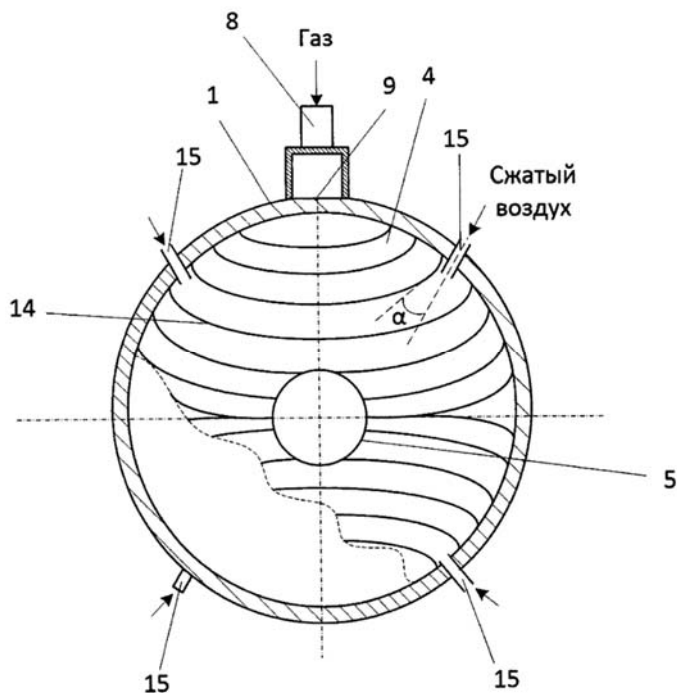


Рис. 3. Профильный разрез ГУ новой конструкции типа ГП

Источник: составлено авторами.

Figure 3. Profile section of the GU of a new design of the GP type

Source: compiled by the authors.

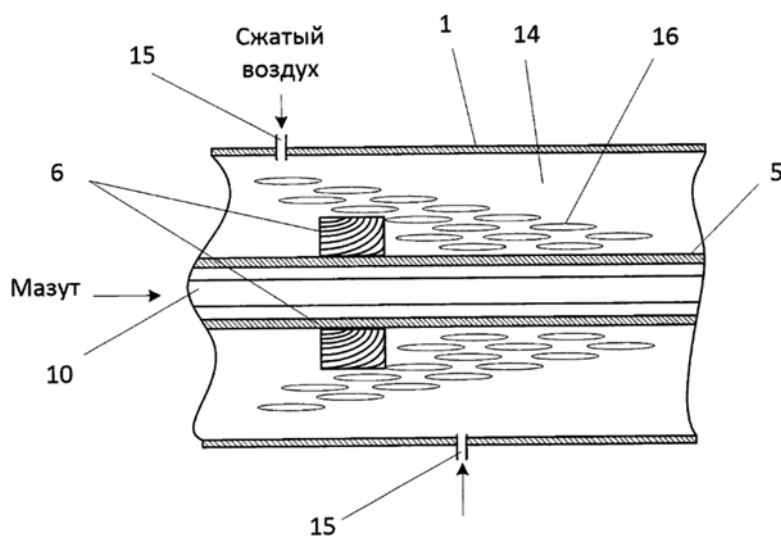


Рис. 4. Горизонтальный разрез ГУ новой конструкции типа ГП

Источник: составлено авторами.

Figure 4. Horizontal section of the GU of the new GP type design

Source: compiled by the authors.

Новое ГУ работает следующим образом. При работе горелки на газе и мазуте воздух из патрубка 2 поступает в виде кольцевого потока в корпус 1, затем проходит через разделитель воздушного потока 14. При достижении потоком воздуха вставки 6 осуществляется его поджатие, в результате чего возрастает скорость его подачи. Одновременно газ по патрубку 8 поступает в коллектор 7 и, распределяясь по газораздающим отверстиям 9, истекает из них в виде поперечных струй в высокоскоростной поток воздуха, после чего через сопла для впрыска сжатого воздуха периодического действия 15 подается сжатый воздух на короткий интервал времени, затем происходит интенсивный массообмен воздуха и газа через овальные отверстия 16. Затем смесь воздуха и газа поступает в амбразуру горелки. Одновременно в амбразуру 3 горелки через распылительную часть мазутной форсунки 10 поступает мазут, а через патрубок в трубе 5 поступает воздух для интенсивного распыления мазута. Для повышения экологической эффективности совместного сжигания газа и мазута предусмотрена подача пара через трубу 12 с распылителем 13, установленную в канале 11 у основания амбразур 3 горелки. Это приводит к уменьшению максимальной температуры горения и, как следствие, к снижению на 10–15 % образования NO_x . Кроме того, разделитель воздушного потока 14 обеспечивает полноту горения газа за счет его интенсивного перемешивания с воздухом. На данную конструкцию нового ГУ типа ГП получен патент на полезную модель³.

Таким образом, в предлагаемой авторами газомазутной горелке как обеспечивается полнота сгорания топлива, так и снижаются выбросы NO_x .

В свою очередь, это приводит к существенному повышению экологической эффективности эксплуатации модернизированной конструкции горелки типа ГП⁴.

Заключение

На основании изложенного материала можно рекомендовать для практического применения на НПЗ описанные выше авторские инновационные технические решения по созданию модернизированных малотоксичных ГУ типа ГП, которые в отличие от действующих аналогов обладают простотой устройства, оригинальностью конструкции, достаточно высокой экологической эффективностью и сравнительно малыми капитальными и эксплуатационными расходами и затратами.

Таким образом, предлагаемые авторами новые конструкции газомазутной горелки типа ГП позволят оздоровить экологическую обстановку на предприятиях нефтепереработки и повысить эффективность природоохранительных мероприятий, связанных с охраной атмосферного воздуха от загрязнения.

³ Патент 208146 RU. Газомазутная горелка / А.А. Журавлев, В.Д. Катин. Оpubл. 06.12.2021. Бюл. № 34.

⁴ Там же.

Список литературы

- [1] Жидков А.Б. Трубчатые нагревательные печи нефтепереработки и нефтехимии. СПб.: Артпроект, 2015. 104 с.
- [2] Колмогоров А.Н., Катин В.Д. Проектирование высокоэффективных печных агрегатов для НПЗ. М.: ЦНИИТЭнефтехим. 2005. 88 с.
- [3] Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. СПб.: Недра, 1998. – 312 с.
- [4] Катин В.Д., Булгаков С.В. Проблемы сокращения вредных выбросов в атмосферу из нефтезаводских печей. Хабаровск: ТОГУ, 2019. 192 с.

References

- [1] Zhidkov AB. *Tubular heating furnaces for oil refining and petrochemicals*. St. Petersburg: Artproekt, 2015. 104 p.
- [2] Kolmogorov AN, Katin VD. *Design of highly efficient furnace units for oil refineries*. M.: TsNIITEneftekhim. 2005. 88 p.
- [3] Seagal IYa. *Protection of the air basin during fuel combustion*. St. Petersburg: Nedra, 1998. – 312 p.
- [4] Katin VD, Bulgakov SV. *Problems of reducing harmful emissions into the atmosphere from oil refinery furnaces*. Khabarovsk: TOGU, 2019. 192 p.

Сведения об авторах:

Катин Виктор Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47. E-mail: bgd@festu.khv.ru.

Журавлев Александр Александрович, аспирант, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47. eLIBRARY SPIN-код: 6959-7411. E-mail: goposor@yandex.ru

Bio notes:

Viktor D. Katin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal State Budgetary Institution of Higher Education, Far Eastern State University of Railway Engineering, 47 Serysheva St, Khabarovsk, 680021, Russian Federation. E-mail: bgd@festu.khv.ru

Alexander A. Zhuravlev, postgraduate student, Federal State Budgetary Institution of Higher Education Far Eastern State University of Railway Engineering, 47 Serysheva St, Khabarovsk, 680021, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 6959-7411. E-mail: goposor@yandex.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-136-154

EDN: XIFGUI

УДК 691.42:662.613.1:504.064.45


Научная статья / Research article

Строительная керамика с высокими эксплуатационными характеристиками на основе твердых отходов

Д.А. Немущенко  , В.В. Ларичкин, М.Т. Муравьев, М.А. Неустроев

«Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск,

Российская Федерация

 nemuschenko@corp.nstu.ru

Аннотация. Наиболее важной экологической проблемой угольной энергетики в России является накопление в золоотвалах твердых отходов – продуктов сжигания угля. Золоотвалы, как правило, располагаются на землях в пределах населенных пунктов и являются источником образования токсичной пыли, загрязнения поверхностных и подземных вод растворимыми соединениями и повышенной радиоактивности. Эффективным решением проблемы накопления золошлаковых отходов является их использование в качестве вторичного сырья в строительной отрасли. В работе физико-химическими методами проведено исследование золошлакового сырья угольных электростанций г. Новосибирска и стеклобоя коммунального происхождения. Разработаны рецептуры строительной керамики при варьировании содержания зол уноса ТЭЦ и стеклобоя, технологии формования, режимы сушки и обжига изделий. Изучено влияние различных способов подготовки сырья (измельчение, фракционирование, прокаливание, механоактивация) и методов обработки и диспергирования керамических масс на физико-механические свойства экспериментальных образцов. Показана возможность получения керамических изделий, соответствующих требованиям нормативных документов к материалам строительного назначения.

Ключевые слова: строительная керамика, угольные электростанции, золошлаковые отходы, утилизация отходов, стекольные отходы

Вклад авторов: *Ларичкин В.В.* – научное руководство, итоговые выводы; *Немущенко Д.А.* – постановка эксперимента, анализ полученных данных, написание текста, итоговые выводы; *Муравьев М.Т., Неустроев М.А.* – получение и испытание экспериментальных образцов, анализ данных.

История статьи: поступила в редакцию 10.06.2023; доработана после рецензирования 12.12.2023; принята к публикации 15.12.2023.

© Немущенко Д.А., Ларичкин В.В., Муравьев М.Т., Неустроев М.А., 2024



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

Для цитирования: Немущенко Д.А., Ларичкин В.В., Муравьев М.Т., Неустроев М.А. Строительная керамика с высокими эксплуатационными характеристиками на основе твердых отходов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 136–154. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-136-154>

High performance building ceramics based on solid waste

Dmitry A. Nemuschenko  , Vladimir V. Larichkin,
Mihail T. Murav'ev, Maksim A. Neustroev

Novosibirsk State Technical University, *Novosibirsk, Russian Federation*

 nemuschenko@corp.nstu.ru

Abstract. The most important environmental problem of coal energy in Russia is the accumulation of solid waste in ash dumps – products of coal combustion. Ash dumps are located on the lands of populated areas and are source of toxic dust, contamination of surface and groundwater with soluble compounds and increased radioactivity. An effective solution to the problem of accumulation of ash and slag waste is its use as secondary raw materials in the construction industry. In this work, physicochemical methods were used to study ash and slag raw materials from coal-fired power plants in Novosibirsk and municipal cullet. Recipes for building ceramics have been developed by varying the content of fly ash and cullet, molding technologies, and modes of drying and firing of products. The influence of various methods of preparing raw materials (grinding, fractionation, ignition, mechanical activation) and methods of processing and dispersing ceramic masses on the physical and mechanical properties of experimental samples was studied. The possibility of obtaining ceramic products that meet the requirements of regulatory documents for construction materials is shown.

Keywords: construction ceramics, coal power plants, ash and slag waste, recycling, glass waste

Authors' contributions. *Larichkin V.V.* – scientific guidance, final conclusions; *Nemuschenko D.A.* – setting up an experiment, analyzing the data obtained, writing the text, final conclusions; *Murav'ev M.T.*, *Neustroev M.A.* – obtaining and testing experimental samples, data analysis.

Article history: received 10.06.2023; revised 12.12.2023; accepted 15.12.2023.

For citation: Nemuschenko DA, Larichkin VV, Murav'ev MT, Neustroev MA. High performance building ceramics based on solid waste. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):136–154. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-136-154>

Введение

Керамические строительные материалы – стеновой кирпич и облицовочная плитка – продолжают играть важнейшую роль при возведении многоквартирных жилых и производственных зданий в индивидуальном жилищном строительстве.

В период до пандемии COVID-19 эксперты строительного рынка сообщали о снижении производства строительного кирпича в России в связи с уменьшением значительного количества производственных мощностей

(например, за период с 2016 по 2017 г. закрыто 37 предприятий)¹ [1]. Рынок керамической плитки более стабилен в связи с появлением, прежде всего, совместных с зарубежными партнерами предприятий и модернизацией действующих мощностей за счет использования зарубежного оборудования. На данный момент отмечается дефицит керамических изделий в отдельных регионах РФ, где наблюдается рост промышленного и жилищного строительства, в том числе в Новосибирской области. Значительная доля производства керамической плитки отправляется на экспорт, в основном в Казахстан и Беларусь.

Также эксперты отмечают дефицит керамического сырья в связи с выработкой крупных месторождений и отсутствием необходимой инфраструктуры для освоения новых залежей. Во многих российских регионах отсутствуют месторождения глин необходимого качества для производства стеновой и облицовочной керамики, существующие залежи суглинков и супесей имеют небольшую мощность отложений и нестабильный состав. Стратегией развития промышленности строительных материалов предусмотрено значительное увеличение доли использования отходов в строительных изделиях [1–2]².

Актуальность работы связана с проблемой утилизации многотоннажных золошлаковых отходов угольной энергетики, особенно острой для тепловых электростанций города Новосибирска. Золошлаковые отходы (ЗШО) давно зарекомендовали себя в качестве компонентов строительных материалов, так как строительная отрасль способна поглощать наиболее значительные объемы минеральных отходов. Основополагающим трудом, содержащим сведения об использовании золошлаковых отходов энергетики при производстве керамических строительных материалов, является монография С.Ж. Сайбулатова, С.Т. Сулейменова, А.В. Ралко «Золокерамические стеновые материалы» [2], а также серия научных работ указанных авторов в 80-е годы прошлого века. В настоящее время интерес к технологиям получения керамики из ЗШО не ослабевает.

На примере золошлаковой смеси с золоотвала Казанской ТЭЦ-2 показано [3], что добавление отходов в формовочную шихту улучшает физико-механические характеристики стеновых кирпичей и уменьшает их плотность.

¹ См.: Развитие керамической промышленности в России: профессионалы обсудили перспективы отрасли // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 44–47; Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ 10 мая 2016 г. № 868-р. М., 2016. С. 64.

² См.: Развитие керамической промышленности в России: профессионалы обсудили перспективы отрасли // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 44–47; Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ 10 мая 2016 г. № 868-р. М., 2016. С. 64; ИТС 4-2015. Производство керамических изделий / Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям, введен 2016-07-01. М.: Бюро НДТ, 2015. 235 с.

В рецептурах варьировалось содержание ЗШО от 10 до 25 % при температуре обжига 980 °С. По результатам рентгеноструктурного анализа показано увеличение интенсивности пиков гематита и волластонита при росте количества ЗШО в рецептуре, что привело также к увеличению прочности.

В работах В.З. Абдрахимова с соавторами получены высокомарочные легковесные (теплоизоляционные) кирпичи с высокими физико-механическими показателями при использовании шлака от сжигания бурого угля Канско-Ачинского бассейна на Красноярской ТЭЦ-2 [4–5]. Показано, что вовлечение шлака и межсланцевой глины в керамическое производство значительно расширяет сырьевую базу.

Сотрудниками ФГУП «ЦНИИ Геолнеруд»³ было предложено использовать в рецептуре керамической массы наряду с основным компонентом – легкоплавкой глиной – добавку в виде техногенного отхода, состоящего из золы-уноса угольной электростанции (80 %) и пыли уноса печей кальцинации глинозема (20 %). Добавка подбиралась из условия получения соотношения $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:1$. При соотношении легкоплавкой глины к техногенному отходу 85:15 и 90:10 наблюдалось повышение прочности при сжатии изделий до 36 и 47 МПа соответственно.

В работе [6] показано, что на основе золы уноса или золошлаковой смеси Ангренской ТЭЦ, а также стеклобоя возможно получение стеклокристаллов строительного назначения, обладающих преимуществом перед керамическими облицовочными плитками за счет улучшенных прочностных характеристик, долговечности и устойчивости к выцветанию под воздействием солнечного света. В экспериментах температура обработки варьировалась от 850 до 950 °С.

Авторами работы [7] был получен керамический образец из золошлакового отхода с отвала Ново-Зиминской ТЭЦ (Иркутская область) с прочностью при сжатии 27 МПа, водопоглощением 14,5 % и средней плотностью 1550 кг/м³. Рецептuru включала золошлаковую смесь, плавень (NaCl), суперпластификатор (СП-1, ОАО «Полипласт») и может быть использована при получении материала с меньшим весом и низкой теплопроводностью в сравнении с традиционным составом кирпича.

Анализ литературных источников [8–10] показал, что для получения керамических материалов можно использовать ЗШО различных электростанций, но в силу специфики минерального, гранулометрического состава вторичного сырья и его морфологии не всегда представляется возможным распространение разработанных технологий на местные сырьевые материалы.

Целью исследования являлась разработка рецептур строительной керамики, удовлетворяющей требованиям нормативных документов, а также

³ Пат. РФ № 2496742. Керамическая масса / А.В. Корнилов, Е.Н. Пермяков, Т.З. Лыгина, С.В. Морозова – Заяв. 30.05.2012, опубл. 27.10.2013. 2013. Бюл. № 30.

вовлечение в сырьевую базу строительной отрасли максимального количества местных крупнотоннажных отходов. В качестве вторичного сырья для получения керамики использовали золы уноса от сжигания угля на тепловых электростанциях г. Новосибирска и коммунальные стекольные отходы.

Материалы и методы

Рецептуры экспериментальных образцов керамики на *первом этапе* включали два компонента: глинистый компонент и золы уноса Новосибирских ТЭЦ. На *втором этапе* дополнительно вводилась добавка стеклобоя, играющего роль плавня.

Основной компонент шихты – золы уноса сухого отбора от электрофильтров ТЭЦ-3 и ТЭЦ-4 г. Новосибирска. На ТЭЦ-3 сжигаются бурые угли Канско-Ачинского угольного бассейна, на ТЭЦ-4 – каменные угли Кузнецкого бассейна. На данный момент на ТЭЦ-3 функционирует система сухого отбора золы уноса для промышленных потребителей.

Золы уноса проходили исследование комплексом физико-химических методов – определялся гранулометрический, химический, минеральный состав, связующая способность, термические свойства (ДТА, интервалы спекания), потери при прокаливании, радиационная безопасность и др. Более подробно об исследованных золах изложено в [11; 12].

В качестве глинистого компонента использовали подготовленную в производственных условиях глинистую массу (суглинок) с карьера предприятия строительных материалов г. Новосибирска (далее – глина) или бентонитовую глину (далее – бентонит) производителя ОАО «Хакасский бентонит», марка ПТГ1.

Стеклобой был получен измельчением стекломатериала (коммунальные отходы – стеклянная тара, оконное стекло) последовательно в щековой дробилке и дисковом стирателе. Из полученного материала отбиралась средняя проба, ситовым методом определялся гранулометрический состав. Гранулометрический состав золы уноса ТЭЦ-3 (для примера) и стеклобоя приведен на рис. 1, для получения экспериментальных образцов использовалась фракция менее 1 мм.

Фазовый состав сырьевых материалов исследовали рентгенофазовым методом (РФА) с применением дифрактометра D8 (Bruker, Германия), $\text{CuK}\alpha$ излучение ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), с высокотемпературной камерой НТК-16 (Anton Paar, Австрия). Результаты исследования приведены в табл. 1, пример дифрактограммы – на рис. 2.

Золы уноса также содержат более сложные минеральные образования – алюмосиликатные соединения – соединения кальция с алюминием, железом, кремнием. В табл. 1 приводится перерасчет таких соединений на оксидную форму с учетом атомной массы. Зола ТЭЦ-4 относится к кислым золам – с высоким содержанием кремнезема, зола ТЭЦ-3 – к высококальциевым – способна при затворении водой проявлять вяжущие свойства.

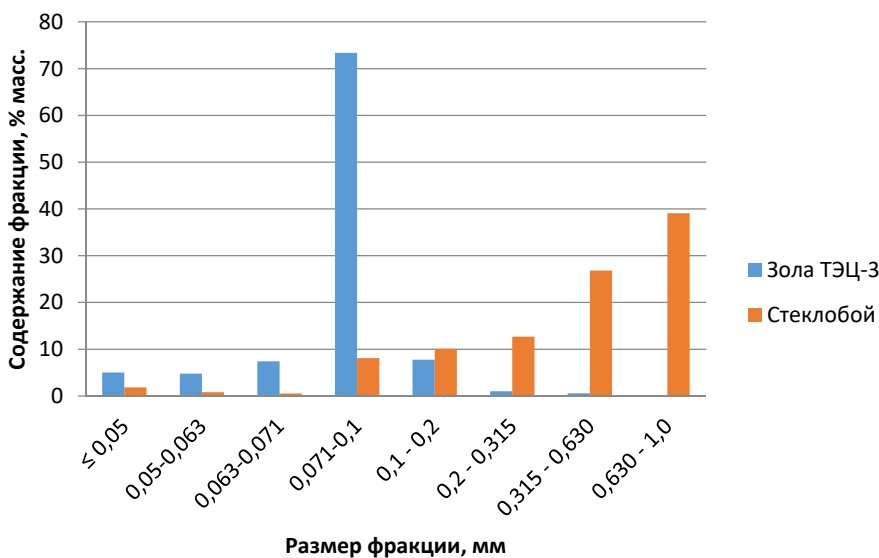


Рис. 1. Гранулометрический состав сырья
Источник: составлено авторами.

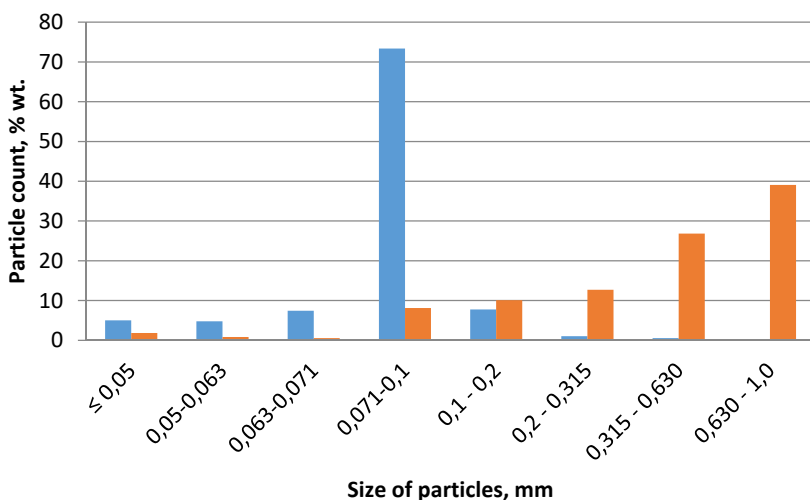


Figure 1. Granulometric composition of raw materials
Source: compiled by the authors.

Таблица 1. Содержание основных оксидов в сырье

Наименование сырьевого компонента	Оксидный состав, масс. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + Fe ₃ O ₄	CaO	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	K ₂ O	SO ₃
Глина	66,74	13,78	5,65	1,52	1,55	1,90	0,85	2,07	–
Бентонит	46,50	36,00	0,90	0,40	0,30	0,20	–	1,00	0,15
Зола уноса ТЭЦ-3	34,46	9,79	8,30	36,92	8,14	–	–	–	2,40
Зола уноса ТЭЦ-4	44,46	15,22	5,08	3,52	1,23	2,14	–	1,87	–
Стеклобой	71,50	3,30	0,02	5,20	3,20	16,00	–	–	0,20

Источник: составлено авторами.

Table 1. Content of main oxides in raw materials

Name of raw material component	Oxide composition, % wt.								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + Fe ₃ O ₄	CaO	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	K ₂ O	SO ₃
Clay	66.74	13.78	5.65	1.52	1.55	1.90	0.85	2.07	–
Bentonite	46.50	36.00	0.90	0.40	0.30	0.20	–	1.00	0.15
Ash waste TPS-3	34.46	9.79	8.30	36.92	8.14	–	–	–	2.40
Ash waste TPS-4	44.46	15.22	5.08	3.52	1.23	2.14	–	1.87	–
Glass waste	71.50	3.30	0.02	5.20	3.20	16.00	–	–	0.20

Source: compiled by the authors.

Определение потерь при прокаливании (п.п.п.) проводили аналогично методике ГОСТ 21216-2014 «Сырье глинистое. Методы испытаний». Сущность метода заключается в прокаливании тиглей с навеской пробы при температуре (1000±50) °С. Результаты приведены в табл. 2, от величины потерь при прокаливании зависит плотность керамики и ее водопоглощение. В золе ТЭЦ-3 содержится незначительное количество несгоревших органических остатков, ТЭЦ-4, напротив, будет обеспечивать высокую пористость керамических изделий.

С целью разработки режима обжига керамики определялись интервалы спекания и температуры начала оплавления для сырьевых материалов по аналогии с методикой ГОСТ 21216.9-93 «Сырье глинистое. Метод определения спекаемости глин» с шагом 25 °С. Результаты приведены в табл. 2.

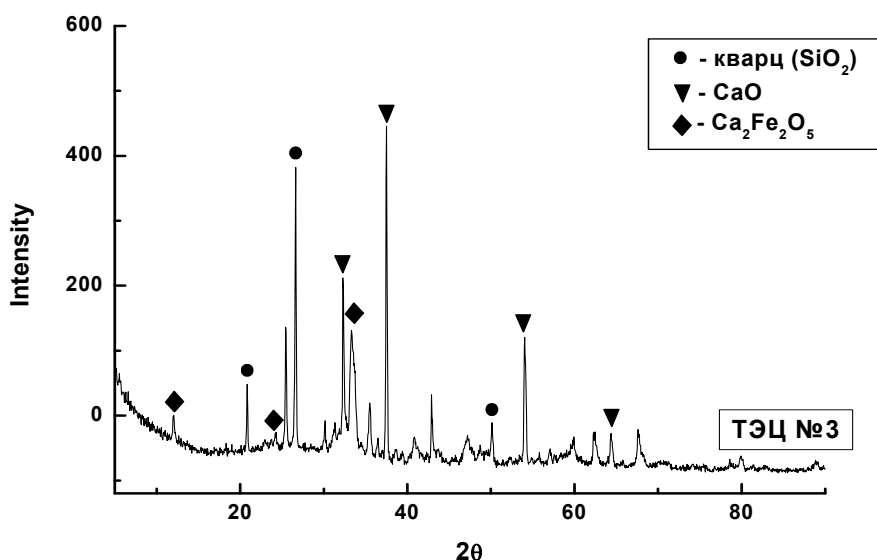


Рис. 2. Дифрактограмма исходной золы ТЭЦ-3
 Источник: составлено авторами /
 Figure 2. X-ray diffraction pattern of the original ash TPS-3
 Source: compiled by the authors.

Таблица 2. Характеристики сырьевых материалов

Сырье	Глина	Бентонит	Зола ТЭЦ-3	Зола ТЭЦ-4	Стеклобой
Потери при прокаливании, масс. %	5,35	5,15	1,40	21,78	–
Интервал спекания, °С	900–1125	1075–1250	1075–1300	1100–1175	630–700 по уплотнению черепка
Температура оплавления / вспучивания, °С	1125	1250	1300	1175	700

Источник: составлено авторами.

Table 2. Characteristics of raw materials

Raw materials	Clay	Bentonite	Ash waste TPS-3	Ash waste TPS-4	Glass waste
Loss by roasting, % wt.	5.35	5.15	1.40	21.78	–
Sintering range, °C	900–1125	1075–1250	1075–1300	1100–1175	630–700 densification of ceramic body
Flowing temperature / bloating temperature, °C	1125	1250	1300	1175	700

Source: compiled by the authors.

Экспериментальные образцы керамики изготавливались методом полусухого прессования. Сухие компоненты смешивали в шаровой мельнице в течение 5 мин, масса увлажнялась (10–12 % по массе) и формовалась при помощи гидравлического пресса при усилии 10 МПа в цилиндрической форме – получали образцы диаметром и высотой 22 мм.

Рецептуры образцов на *первом этапе* (1 и 2 серия в табл. 3) включали глинистый компонент (глина) и золы уноса Новосибирских ТЭЦ-3 и ТЭЦ-4; при этом варьировалось содержание золы уноса в диапазоне от 10 до 90 %.

На *втором этапе* (3 серия в табл. 3) дополнительно вводилась добавка стеклобоя. В качестве глинистого компонента использовали бентонитовую глину как имеющую более стабильный состав и меньше посторонних примесей. Содержание стеклобоя варьировалось в диапазоне от 10 до 60 % массы, большего содержания достичь не удастся, так как при содержании стеклобоя более 60 % (содержание глины менее 30 %) сырец не имеет достаточной прочности. Разработанные составы приведены в табл. 3.

Таблица 3. Компонентный состав экспериментальных образцов

Серия образцов	Компоненты рецептуры	Диапазон содержания компонентов, масс. %
1	Глина	10...90
	Зола ТЭЦ-3	10...90
2	Глина	10...90
	Зола ТЭЦ-4	10...90
3	Бентонит	30
	Зола ТЭЦ-3	10...60
	Стеклобой	10...60

Источник: составлено авторами.

Table 3. Component composition of experimental samples

Sample series	Formulation components	Component content range, wt. %
1	Clay	10...90
	Ash waste TPS-3	10...90
2	Clay	10...90
	Ash waste TPS-4	10...90
3	Bentonite	30
	Ash waste TPS-3	10...60
	Glass waste	10...60

Source: compiled by the authors.

Сушка извлеченных из формы образцов осуществлялась на воздухе в течение 2 суток.

На основе результатов исследований минерального состава сырья и его термических свойств, а также информации о протекающих физико-химических процессах при высокой температуре (в основном по [2]) был разработан режим обжига керамики. Режим обжига содержит изотермические выдержки (при 65, 125, 250, 350, 550, 700, 900 °С и максимальной температуре), позволяющие полностью удалить воду и выгорающие компоненты, контролировать процессы разложения солей и протекание других физико-химических процессов. Таким образом, режим обжига позволяет повысить качество получаемых керамических изделий.

Максимальные температуры обжига подбирались для каждой рецептуры индивидуально исходя из интервалов спекания материалов и соотношения в рецептуре легкоплавкого (стеклобой) и тугоплавкого (зола уноса) компонентов. Температура варьировалась с шагом 25 °С, за оптимальную принята температура обжига, соответствующая минимальному водопоглощению образцов.

Исследования многих авторов [14–15] показали, что наиболее эффективным методом повышения эксплуатационных свойств строительной керамики является механическая активация сырья или шихты в мельницах. В рамках данной работы проведено исследование влияния времени помола смеси сухих компонентов рецептуры в шаровой мельнице. Условия механообработки:

- планетарная мельница FRITSCH «Pulverisette 5»;
- время обработки варьировалось от 15 до 45 мин;
- частота вращения 250 об/мин;
- 4 мелющих шара на размольный стакан, соотношение измельчаемой массы и массы шаров 1:1.

Эксплуатационные характеристики керамики определяли по нормированным методикам для материалов строительного назначения.

Водопоглощение и среднюю плотность определяли по ГОСТ 7025-91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости». Водонасыщение проводили при атмосферном давлении в воде температурой 20 °С в течение 48 часов, по разнице масс вычисляли водопоглощение в процентах. Средняя

плотность вычислялась на основе геометрических размеров образцов и их массы по методике указанного стандарта.

Предел прочности при сжатии определяли на электромеханической испытательной машине Instron 3369 с учетом требований ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе» и ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия».

Огневую усадку оценивали стандартным методом на основе разницы геометрических размеров образца до и после обжига, соотнося с исходным размером – разница выражалась в процентах.

Для оценки достоверности результатов испытаний были рассчитаны среднеквадратичные отклонения, их величины указаны на диаграммах (рис. 6–9) планками погрешностей.

Результаты и обсуждение

Проанализируем влияние компонентов рецептуры на физико-механические свойства образцов керамики.

На первом этапе ставилась задача максимального вовлечения зол уноса угольных электростанций в рецептуру строительной керамики при удовлетворении нормативным требованиям к эксплуатационным характеристикам.

Результаты испытаний образцов на основе золы уноса ТЭЦ-4 на прочность при сжатии приведены на рис. 3. При увеличении содержания золы уноса прочность образцов падает (время активации – 0 минут), значительное падение прочности происходит при переходе от 50 к 70 % добавки золы по массе – в 7,5 раза. При содержании золы 50 масс. % возможно получение марки строительного кирпича по ГОСТ 530-2012⁴ М250 без применения механоактивации. Даже при содержании 90 масс. % золы в керамической массе возможно получение изделий марки М25 – минимальной предусмотренной ГОСТ для строительного кирпича.

Аналогичную зависимость можно проследить на рис. 4 (время активации – 0 минут) по величине прочности при сжатии в случае использования в рецептуре золы уноса ТЭЦ-3. При увеличении содержания золы от 50 до 70 масс. % прочность падает в 5,6 раза. С золой ТЭЦ-3 также существенно падает прочность при увеличении доли золы от 10 до 30 % – в 2,3 раза. При содержании золы 50 масс. % также возможно получение марки строительного кирпича М250, при содержании 80 % золы в керамической массе возможно получение изделий марки М35, при содержании 90 % золы – прочность образцов ниже допустимой. Характерная кривая нагружения образца до разрушения приведена на рис. 5.

⁴ ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. – Введ. 2013-07-01. М.: Стандартинформ, 2013. 27 с.

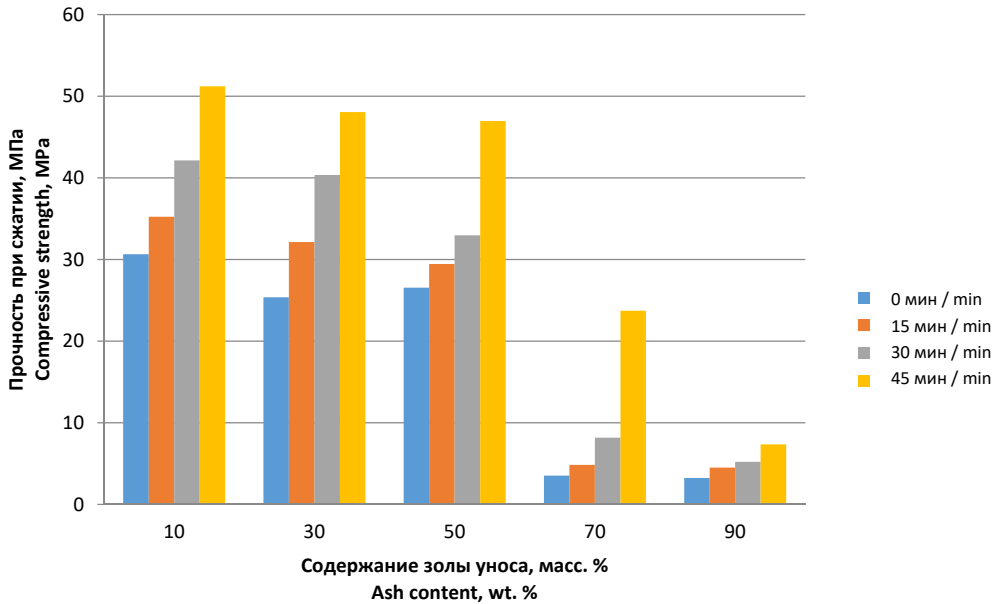


Рис. 3. Прочность при сжатии образцов керамики на основе золы уноса ТЭЦ-4 при различном времени механоактивации

Источник: составлено авторами /

Figure 3. Compressive strength of ceramic samples at different times of mechanical activation (ash TPS-4)

Source: compiled by the authors.

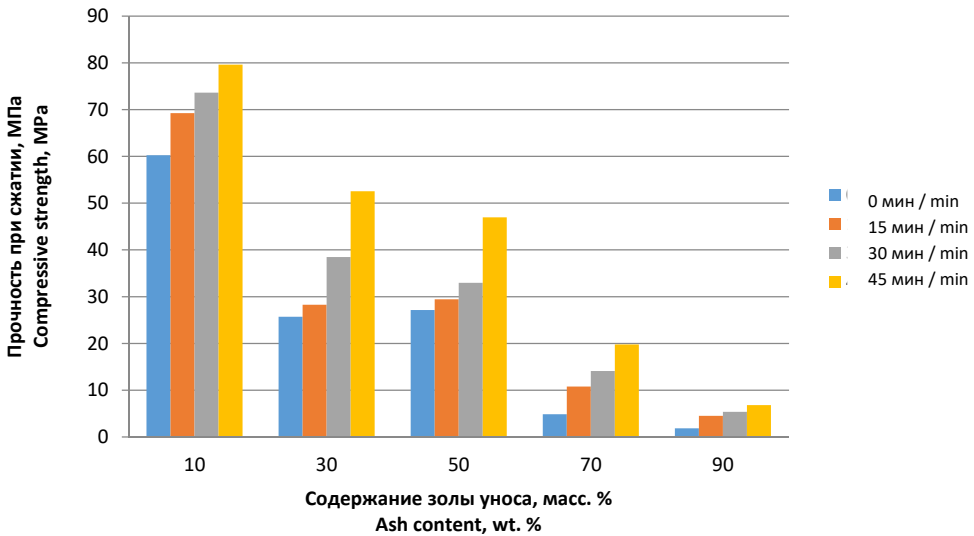


Рис. 4. Прочность при сжатии образцов керамики на основе золы уноса ТЭЦ-3 при различном времени механоактивации

Источник: составлено авторами

Figure 4. Compressive strength of ceramic samples at different times of mechanical activation (ash TPS-3)

Source: compiled by the authors.

Из рис. 3 и 4 можно видеть, что механоактивация шихты в шаровой мельнице приводит к значительному росту прочности, соответственно, данный метод показывает высокую эффективность и расширяет возможность вовлечения зол уноса в переработку. Так при 70 %-м содержании золы ТЭЦ-4 в рецептуре и обработке смеси в мельнице в течение 45 мин прочность растет в 6,7 раза. По приведенным диаграммам видно, что механоактивация может играть наибольшую роль при обработке смесей с большим содержанием зол уноса, так как в этом случае происходит кратный прирост прочности, например: при 70 %-м содержании золы ТЭЦ-3 помол 15 мин дает прирост прочности в 2,2 раза, 30 мин – в 2,9 от необработанной, 45 мин – в 4,1 раза.

Следует обратить внимание, что увеличение времени механоактивации приводит к росту плотности и усадки при сушке и обжиге.

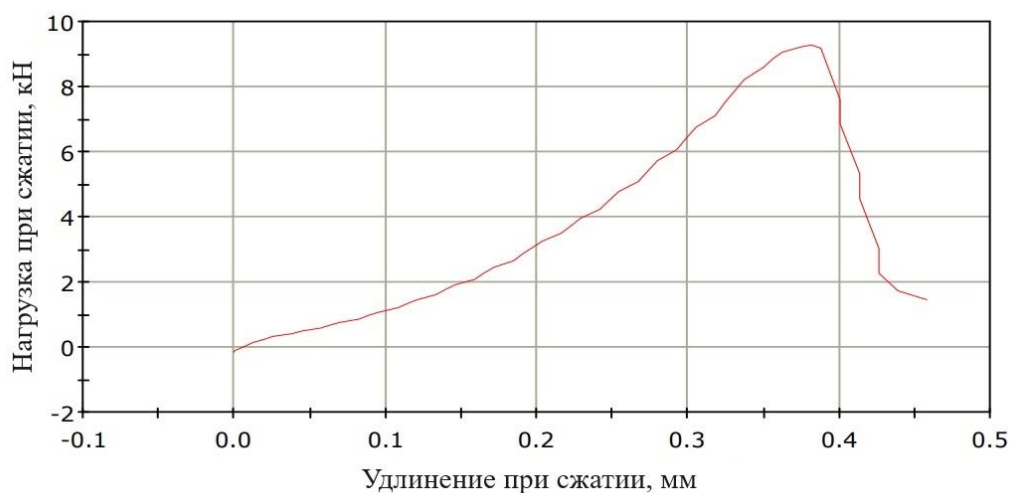


Рис. 5. Характерная кривая нагружения образца при испытании на прочность
Источник: составлено авторами

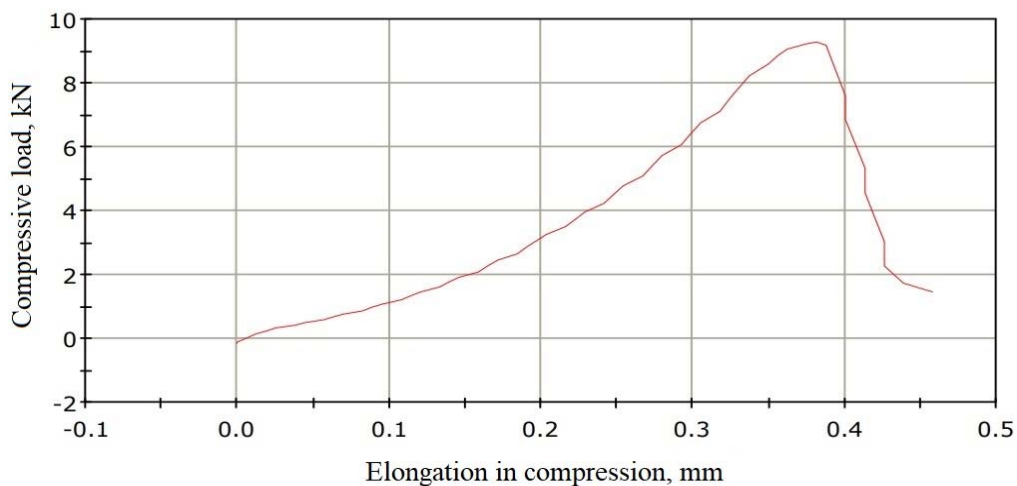


Figure 5. Sample loading graph during strength testing
Source: compiled by the authors.

При содержании в массе от 10 до 50 масс. % зола ТЭЦ-3 обеспечивает более высокие показатели прочности в сравнении с ТЭЦ-4, а при содержании 10 масс. % прочность образцов может достигать наивысших марок, предусмотренных ГОСТ (более М600).

При испытании керамики на водопоглощение было выявлено, что образцы на основе золы ТЭЦ-4 обладают высоким водопоглощением – от 29 до 51 %, что вызвано высокой открытой пористостью, формирующейся при выгорании органической массы в процессе обжига. Наличие значительного количества «недожога», как видно из табл. 2, – это потери при прокаливании, которые для золы ТЭЦ-4 составляют 21,78 %.

Для образцов на основе золы ТЭЦ-3 также характерно значительное в сравнении с требованиями ГОСТ 530-2012 водопоглощение – 17–20 %. Высокое водопоглощение приводит к низкой морозостойкости материала, которая является одним из важнейших, нормируемых ГОСТ, эксплуатационных показателей для строительных материалов.

На основе результатов первого этапа работы было принято решение отказаться от дальнейшего использования золы ТЭЦ-4 в силу значительного «недожога» и необходимости прокалывать такое сырье перед применением в рецептуре керамики, что приводит к росту себестоимости. На втором этапе для снижения водопоглощения (соответственно увеличения морозостойкости) было предложено вводить в рецептуру керамики стеклобой, который ранее находил применение в различных технологиях производства строительных материалов [6; 17–18]⁵.

Скорректированные рецептуры на основе золы уноса ТЭЦ-3, бентонита и стеклобоя представлены в табл. 3 (серия 3), а результаты испытания образцов керамики приведены на рис. 6–9. Содержание глинистого компонента на втором этапе не варьировалось, так как 30 масс. % является оптимальным для формирования необходимой минимальной прочности сырца.

Далее проведён анализ влияния соотношения золы уноса и стеклобоя в рецептуре на эксплуатационные свойства керамики. По результатам определения прочности при сжатии и водопоглощения (рис. 6, 7) установлено, что при содержании золы от 10 до 30 % по массе происходит увеличение прочности и снижение водопоглощения. Благодаря введению стеклобоя, например, для оптимальной рецептуры, содержащей 30 % золы и 40 % стеклобоя, удастся снизить водопоглощение более чем в 5 раз – с 20,1 до 3,5 %.

При увеличении доли золы с 10 до 30 масс. % прочность возрастает почти в 2 раза – с 60,6 до 119,5 МПа, водопоглощение уменьшается в 4,3 раза – с 14,9 до 3,5 %. Дальнейшее увеличение доли золы до 50 масс. % приводит к уменьшению прочности и росту водопоглощения, что ухудшает качественные показатели керамики.

⁵ Pat. 5,583,079 United States of America, C03C 1/00, C03C 1/02, C04B 18/06. Ceramic products, of glass, fly ash and clay and methods of making the same / J.T. Golitz, J.F. Mainieri, B.H. Bennett, R.D. Moore, A.M. Paxton – № 367,851; filed 19.07.94; date of patent 10.12.96

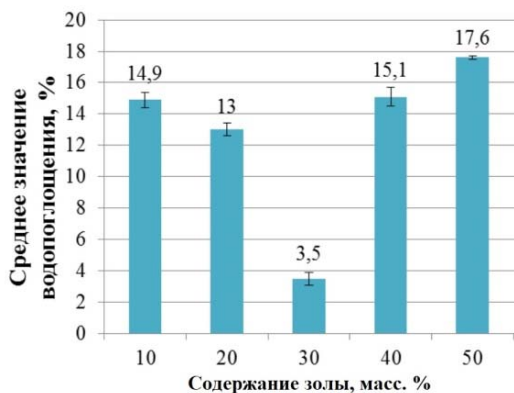


Рис. 6. Зависимость водопоглощения образцов от содержания золы ТЭЦ-3, масс. %
 Источник: составлено авторами.

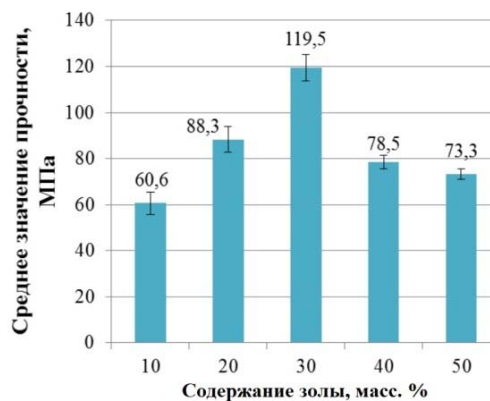


Рис. 7. Зависимость прочности при сжатии образцов от содержания золы ТЭЦ-3, масс. %
 Источник: составлено авторами.

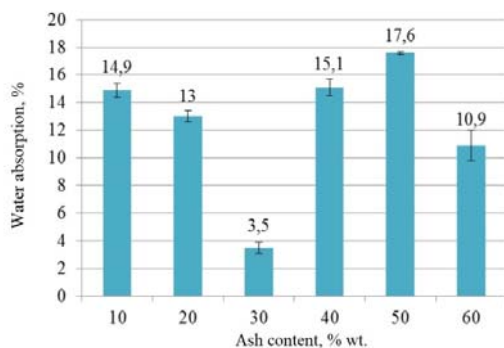


Figure 6. Dependence of water absorption of samples on fly ash content
 Source: compiled by the authors.

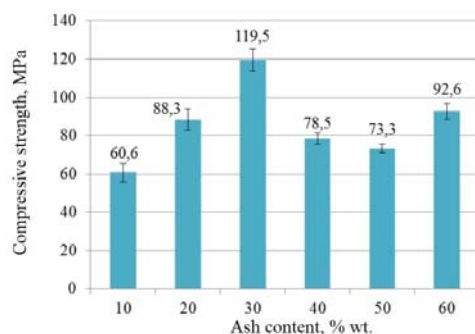


Figure 7. Dependence of compressive strength of samples on fly ash content
 Source: compiled by the authors.

Результаты измерения огневой усадки и средней плотности (рис. 8, 9) хорошо коррелируют между собой – с ростом огневой усадки возрастает плотность образцов. Огневая усадка зависит от химического состава, который определяет процессы при высокотемпературной обработке и появление определенных кристаллических фаз. Низкая огневая усадка говорит о недостаточной спеченности керамики, большая величина приводит к сложности соблюдения геометрических размеров готовых изделий, установленных ГОСТ. В целом огневая усадка в пределах 5 % характеризует правильность подбора температурного режима обжига керамики. Значения огневой усадки экспериментальных образцов варьируются в диапазоне от 0,45 до 4,55 %, т.е. удовлетворяют практическим рекомендациям.

По плотности исследованные образцы соответствуют 2,0 классу (1410–2000 кг/м³) по ГОСТ 530-2012. Кирпичи 2,0 класса по плотности могут быть клинкерными и рядовыми.

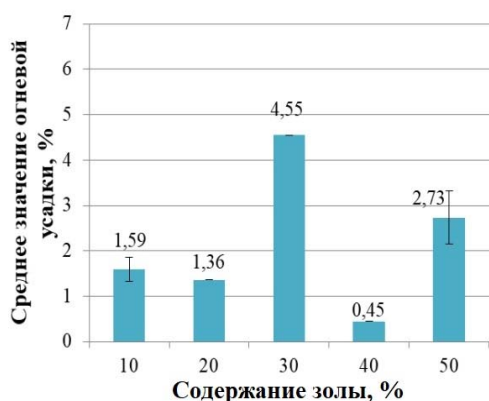


Рис. 8. Величина огневой усадки при различном содержании золы ТЭЦ-3, масс. %

Источник: составлено авторами.

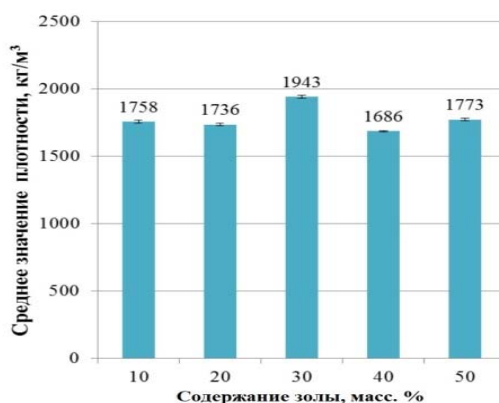


Рис. 9. Плотность образцов при различном содержании золы ТЭЦ-3

Источник: составлено авторами.

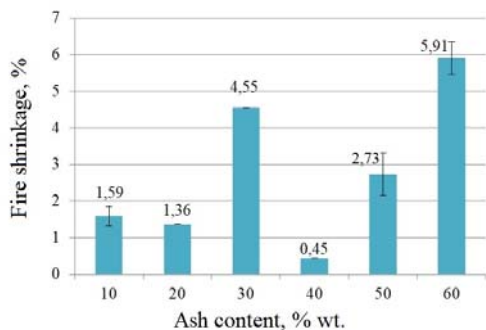


Figure 8. Fire shrinkage of experimental samples at different fly ash contents

Source: compiled by the authors.

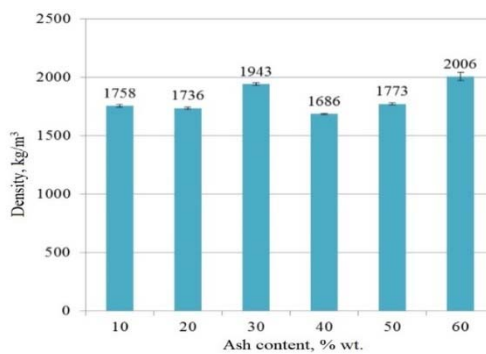


Figure 9. Density of experimental samples at different fly ash contents

Source: compiled by the authors.

Также следует отметить, что введение стеклобоя значительно снижает температуру обжига, а значит, энергозатраты, и, соответственно, снижается себестоимость продукции.

Экспериментальные образцы оптимальной рецептуры (30 % золы и 40 масс. % стеклобоя) проходили испытания на морозостойкость по ГОСТ 7025-91 (метод при объемном замораживании), износостойкость по ГОСТ 27180-2001 «Плитки керамические. Методы испытаний» и прочность при изгибе по ГОСТ 8462-85. На износостойкость и прочность при изгибе испытывались образцы в форме плитки размерами 50×50 мм, полученные по технологии, аналогичной цилиндрическим образцам, описанной в разделе «Материалы и методы».

Образцы выдерживают без разрушения не менее 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания, что соответствует марке F25. Прочность

образцов при трехточечном изгибе составляет 25 МПа, при требовании ГОСТ 530-2012 – 4,4 МПа.

Износостойкость в соответствии с ГОСТ 6787-2001 «Плитки керамические для полов. Технические условия» контролируется по потерям массы плитки при истирании на абразивном круге – круге истирания типа ЛКИ-3. Величина потерь массы при истирании экспериментальных образцов – 0,1 г/см², указанный в ГОСТ, устанавливает предельное значение потерь массы при истирании – 0,18 г/см².

Заключение

Показана возможность получения керамических материалов строительного назначения на основе твердых отходов, со значительным (до 70 масс. %) их включением в рецептуру. Проанализировано влияние содержания компонентов рецептуры на физико-механические характеристики керамики.

По основным показателям – прочность при сжатии и изгибе, водопоглощение, морозостойкость, плотность – полученные по разработанным рецептурам экспериментальные образцы удовлетворяют требованиям нормативных документов к изделиям строительного назначения, таким как рядовой кирпич, керамическая плитка для облицовки полов и стен внутри и снаружи помещений.

Наличие стеклобоя в рецептуре и образование жидкой фазы при обжиге позволяет регулировать водопоглощение и получать изделия при пониженной температуре обжига с высокой прочностью при сжатии – до 120 МПа. Оптимальная рецептура (30 % золы и 40 масс. % стеклобоя) по показателям удовлетворяет требованиям к клинкерному кирпичу. При этом максимальная температура обжига составляет 1075 °С, что ниже средних значений обжига клинкерного кирпича из природного сырья (1200–1300 °С). Клинкер используется для облицовки фасадов, цоколей, покрытия дорог и улиц. Результаты испытаний позволяют рекомендовать указанную рецептуру для внедрения в производство.

Внедрение разработанных рецептов позволит вовлекать во вторичное использование значительные объемы многотоннажных золошлаковых отходов энергетики и стеклобой – фракцию коммунальных отходов, выделение которой из потока ТКО организовано в большинстве регионов РФ. По результатам испытаний можно формировать рецептуры, позволяющие вовлекать в переработку до 50 % по массе ЗШО или стеклобоя в зависимости от потребностей в переработке и требований к качеству керамической продукции.

Отметим, что ключевой проблемой в переработке золошлаковых отходов энергетики является нестабильность физико-химических свойств такого вторичного сырья, поэтому поиск оптимальной рецептуры и технологии производства керамики должен базироваться на подробном исследовании используемых сырьевых компонентов.

Список литературы

- [1] *Кара-сал Б.К., Серен Ш.В.* Состояние и проблемы производства керамических стеновых материалов при использовании низкосортных глинистых пород // Вестник ТувГУ. 2015. № 3. С. 7–12.
- [2] *Сайбулатов С.Ж., Сулейменов С.Т., Ралко А.В.* Золокерамические стеновые материалы. Алма-Ата: Наука, 1982. 292 с.
- [3] *Бариева Э.Р., Королев Э.А., Егорова Е.С.* Моделирование состава керамической шихты с использованием золошлаковых отходов Казанской ТЭЦ-2 // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2009. № 7–8. С. 119–122.
- [4] *Абдрахимов В.З. Хасаев Г.Р., Абдрахимова Е.С., Колпаков А.В.* Использование углеродосодержащих отходов топливно-энергетического комплекса в производстве керамических материалов различного назначения // Экология и промышленность России. 2013. № 9. С. 30–33. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2013-9-30-33>
- [5] *Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С.* Использование шлака от сжигания угля Канско-Ачинского бассейна в производстве керамических материалов на основе межсланцевой глины // Экология и промышленность России. 2014. № 3. С. 36–39.
- [6] *Сидикова Т.Д.* Стеклокерамика для строительной промышленности на основе промышленных отходов // Современное строительство и архитектура. 2022. № 1. С. 31–35. <https://doi.org/10.18454/mca.2022.25.5>
- [7] *Макаренко С.В. Васильев К.О., Хохряков О.В., Хозин В.Г.* Производство зольной строительной керамики на основе золошлаковых отходов ТЭЦ Иркутской области – пример наилучшей доступной технологии их утилизации // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 54–61.
- [8] *Юрьев И.Ю., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г.* Исследование влияния модифицированных золошлаковых отходов на свойства обжиговых керамических изделий // Вестник ТГАСУ. 2013. № 4. С. 191–196.
- [9] *Шушков Д.А., Бурцев И.Н., Симакова Ю.С.* Плотные и пористые керамические материалы из угольных шламов Интинского месторождения // Стекло и керамика. 2022. Т. 95. № 4 (1132). С. 29–38. <https://doi.org/10.14489/glc.2022.04.pp.029-038>
- [10] *Diana Mireya A.V., Jairo Alberto G.C., Judith R., Aldo R.B.* Development and Characterization of Glass-Ceramics from Combinations of Slag, Fly Ash, and Glass Cullet without Adding Nucleating Agents // Materials. 2019. № 12. С. 1–17. <http://dx.doi.org/10.3390/ma12122032>
- [11] *Dash S. Panda L., Mohanty I., Gupta P.* Comparative feasibility analysis of fly ash bricks, clay bricks and fly ash incorporated clay bricks // Magazine of civil engineering. 2022. № 7 (115). С. 11–20. <https://doi.org/10.34910/MCE.115.2>
- [12] *Ларичкин В.В. Ведягин А.А., Мишаков И.В., Хлебников Б.М., Ларичкин В.В., Носков А.С.* Физико-химическое исследование золошлаковых отходов // Энциклопедия инженера-химика. 2008. № 10. С. 21–26.
- [13] *Немущенко Д.А., Ларичкин В.В.* Исследование зол уноса угольных электростанций как потенциального сырья для строительной индустрии // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 60–67. <https://doi.org/10.51608/26867818-2023-2-60>
- [14] *Стороженко Г.И.* Технология производства изделий стеновой керамики из активированного глинистого сырья: автореф. дис. ... д-ра техн. наук (05.23.08) // ТГАСУ. Томск, 2000. 44 с.
- [15] *Полубояров В.А., Андрюшкова О.В., Паули И.А., Кортаева З.А.* Механохимия создания материалов с заданными свойствами: учеб. пособие // Новосиб. гос. техн. ун-т. Новосибирск, 2007. 352 с.

- [16] Zhu M., Ji R., Li Z., Wang H., Liu L., Zhang Z. Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 112. P. 398–405. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.183>
- [17] Немущенко Д.А., Ларичкин В.В., Немущенко Д.А., Кальнеус В.А., Куницына Е.А., Леготин А.В., Слесаренко Р.А. Исследование влияния добавки нанопорошка SiO₂ на физико-механические свойства золокерамики // *Перспективные материалы*. 2014. № 11. С. 56–62.

References

- [1] Kara-sal BK, Seren SHV. State and problems of production of ceramic wall materials using low-grade clay rocks. *Vestnik TuvGU*. 2015;3:7–12. (In Russ.)
- [2] Sajbulatov SZH, Sulejmenov ST, Ralko AV. *Ash-ceramic wall materials*. Alma-Ata: Nauka, 1982. 292 p. (In Russ.)
- [3] Barieva ER, Korolev EA, Egorova ES. Modeling the composition of a ceramic charge using ash and slag waste from Kazan TPS-2. *News of universities. Energy problems*. 2009;7-8:119–122. (In Russ.)
- [4] Abdrahimov VZ, Hasaev GR, Abdrahimova ES, Kolpakov AV. Use of carbon-containing waste from the fuel and energy complex in the production of ceramic materials for various purposes. *Ecology and industry of Russia*. 2013;9:30–33. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2013-9-30-33> (In Russ.)
- [5] Abdrahimov VZ, Abdrahimova ES. Use of slag from the combustion of coal from the Kansk-Achinsk basin in the production of ceramic materials based on intershale clay. *Ecology and industry of Russia*. 2014;3:36–39. (In Russ.)
- [6] Sidikova TD. Glass ceramics for the construction industry based on industrial waste. *Modern construction and architecture*. 2022;1:31–35. <https://doi.org/10.18454/mca.2022.25.5> (In Russ.)
- [7] Makarenko SV, Vasil'ev KO, Hohryakov OV, Hozin VG. Production of ash building ceramics based on ash and slag waste from thermal power plants in the Irkutsk region - an example of the best available technology for their disposal. *Izvestiya KGASU*. 2020;4(54):54–61. (In Russ.)
- [8] YUr'ev IYU, Skripnikova NK, Volokitin OG. Study of the influence of modified ash and slag waste on the properties of fired ceramic products. *Vestnik TGASU*. 2013;4:191–196. (In Russ.)
- [9] SHushkov DA, Burcev IN, Simakova YUS. Dense and porous ceramic materials from coal slurries of the Inta deposit. *Glass and ceramics*. 2022;95(4(1132)):29–38. <https://doi.org/10.14489/glc.2022.04.pp.029-038> (In Russ.)
- [10] Diana Mireya AV, Jairo Alberto GC, Judith R, Aldo RB. Development and Characterization of Glass-Ceramics from Combinations of Slag, Fly Ash, and Glass Cullet without Adding Nucleating Agents *Materials*. 2019;12:1–17. <https://doi.org/10.3390/ma12122032>
- [11] Dash S, Panda L, Mohanty I, Gupta P. Comparative feasibility analysis of fly ash bricks, clay bricks and fly ash incorporated clay bricks. *Magazine of civil engineering*. 2022;7(115):11–20. <https://doi.org/10.34910/MCE.115.2>
- [12] Larichkin VV, Vedyagin AA, Mishakov IV, Hlebnikov BM, Larichkin VV, Noskov AS. Physico-chemical study of ash and slag waste. *Encyclopedia of a chemical engineer*. 2008;10:21–26. (In Russ.)
- [13] Nemuschenko DA, Larichkin VV. Research of ash waste from coal-fired power plants as a potential raw material for the construction industry. *Expert: theory and practice*. 2023;2(21):60–67. <https://doi.org/10.51608/26867818-2023-2-60> (In Russ.)

- [14] Storozhenko G.I. *Technology for the production of wall ceramic products from activated clay raw materials: abstract of the dissertation for the doctor of technical sciences* (05.23.08). TSABU. Tomsk; 2000. 44 p. (In Russ.)
- [15] Poluboyarov VA, Andryushkova OV, Poluboyarov VA, Pauli IA, Korotaeva ZA. *Mechanochemistry of creating materials with specified properties*. NSTU. Novosibirsk; 2007. 352 p. (In Russ.)
- [16] Zhu M, Ji R, Li Z, Wang H, Liu L, Zhang Z. Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass. *Construction and Building Materials*. 2016;112:398–405. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.183>.
- [17] Nemuschenko DA, Kal'neus VA, Kunicyna EA, Legotin AV, Slesarenko RA, Larichkin VV. Study of the influence of the addition of SiO₂ nanopowder on the physical and mechanical properties of ash ceramics *Promising materials*. 2014;11:56–62. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Немущенко Дмитрий Андреевич, старший преподаватель кафедры инженерных проблем экологии, Новосибирский государственный технический университет, Российская Федерация, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20. ORCID 0009-0000-8262-237X, eLIBRARY SPIN-код 6213-1170. E-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru

Ларичкин Владимир Викторович, доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой инженерных проблем экологии, Новосибирский государственный технический университет», Российская Федерация, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20. eLIBRARY SPIN-код 6583-0412. E-mail: larichkin@corp.nstu.ru

Муравьев Михаил Тимофеевич, студента 4-го курса, кафедра инженерных проблем экологии, Новосибирский государственный технический университет, Российская Федерация, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20. E-mail: misha_muravev_02@mail.ru

Неустроев Максим Алексеевич, студент 4-го курса, кафедра инженерных проблем экологии, Новосибирский государственный технический университет, Российская Федерация, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20. E-mail: neustroev_maks@bk.ru

Bio notes:

Dmitry A. Nemuschenko, senior lector of Department of Engineering Problems of Ecology, Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation. ORCID 0009-0000-8262-237X, eLIBRARY SPIN-код 6213-1170. E-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru,

Vladimir V. Larichkin, doctor of engineering sciences, professor, Department of Engineering Problems of Ecology, Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-код 6583-0412. E-mail: larichkin@corp.nstu.ru,

Mihail T. Murav'ev, student 4 courses, Department of Engineering Problems of Ecology, Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation. E-mail: misha_muravev_02@mail.ru

Maksim A. Neustroev, student 4 courses, Department of Engineering Problems of Ecology, Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation. E-mail: neustroev_maks@bk.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-155-162

EDN: WQYTZY

УДК 504.064.43:504.064.45

Научная статья / Research article

Исследование физико-механических свойств бурового шлама при его высокотемпературном обезвреживании

А.Е. Зимнухова✉, Е.В. Гаевая

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация

✉nastya_plotnikova@bk.ru

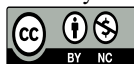
Аннотация. Изучена проблема эффективного обращения с буровыми шламами, разработки безотходных и малоотходных технологий. Рассматривается высокотемпературный обжиг как один из наиболее перспективных и универсальных методов. Целью исследования является изучение физико-механических характеристик бурового шлама в зависимости от температурного режима обезвреживания. В качестве объекта исследования использован буровой шлам Южно-Островного, Средне-Назымского, Средне-Балыкского нефтяных месторождений ХМАО-Югры. Представлены данные по гранулометрическому составу, прочности при сжатии, водопоглощению, изменению прочности в водонасыщенном состоянии, коэффициенту размягчения образцов бурового шлама в зависимости от температуры обжига. Выявлен наиболее благоприятный температурный режим для обезвреживания бурового шлама. Материал, полученный в результате обезвреживания, может рассматриваться для использования при строительстве площадных и линейных объектов в рамках обустройства месторождений.

Ключевые слова: буровой шлам, обезвреживание, высокотемпературный обжиг, свойства бурового шлама, гранулометрический состав, прочность при сжатии, вторичное использование

Вклад авторов. *Зимнухова А.Е.* – проведение лабораторных исследований, обработка данных, подготовка статьи; *Гаевая Е.В.* – консультирование, подготовка статьи.

История статьи: поступила в редакцию 15.09.2023; доработана после рецензирования 20.12.2023; принята к публикации 10.01.2024.

© Зимнухова А.Е., Гаевая Е.В., 2024



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

Для цитирования: Зимнухова А.Е., Гаевая Е.В. Исследование физико-механических свойств бурового шлама при его высокотемпературном обезвреживании // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 155–162. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-155-162>

Research of physical and mechanical properties of drilling sludges during its high-temperature neutralization

Anastasiia E. Zimnukhova✉, Elena V. Gaevaya

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

✉ nastya_plotnikova@bk.ru

Abstract. The article is devoted to the problem of effective management of drilling sludge, the development of waste-free and low-waste technologies. High-temperature firing is considered as one of the most promising and universal methods. The aim of the research is to study the physical and mechanical characteristics of drilling sludge depending on the temperature regime of neutralization. The drilling sludge of the Yuzhno-Ostrovnoe, Sredne-Nazymское, Sredne-Balyksкое oil fields of KhMAO-Yugra was used as an object of research. Data on the granulometric composition, compressive strength, water absorption, change in strength in the water-saturated state, softening coefficient of drilling sludge samples depending on the firing temperature are presented. The most favorable temperature regime for the neutralization of drilling sludge has been identified. The material obtained as a result of neutralization can be considered for use in the construction of areal and linear facilities as part of the development of deposits.

Keywords: drilling sludge, neutralization, high-temperature firing, properties of drilling sludge, granulometric composition, compressive strength, secondary use

Authors' contributions. *Zimnukhova A.E.* – laboratory research, data processing, article preparation; *Gaeva E.V.* – consulting, article preparation.

Article history: received 15.09.2023; revised 20.12.2023; accepted 10.01.2024

For citation: Zimnukhova AE, Gaevaya EV. Research of physical and mechanical properties of drilling sludges during its high-temperature neutralization. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):155–162. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-155-162>

Проблема обращения с буровыми шламами является одной из наиболее значимых экологических проблем в нефтегазовой отрасли. Традиционным методом обращения с данным отходом, независимо от применяемого бурового раствора, остается размещение и накопление в шламовых амбарах с последующей утилизацией [1; 2]. Такой подход подразумевает получение продуктов с низкой востребованностью вторичного использования в производственно-технологической цепочке, в результате чего эти продукты остаются в теле кустовой площадки.

На сегодняшний день одним из приоритетных направлений обращения с буровыми отходами являются обезвреживание и утилизация с получением экологически безопасной и рентабельной продукции¹.

Помимо этого, актуальным является вопрос разработки малоотходных ресурсосберегающих технологий, предусматривающих способы обезвреживания и утилизации буровых отходов [3; 4]. Обезвреживание буровых шламов способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду нескольких загрязнителей: нефтепродуктов, водорастворимых солей и др.

На сегодняшний день предпочтение отдается физико-химическим методам обезвреживания буровых шламов [5–9]. При этом термическое обезвреживание входит в перечень наилучших доступных технологий и является перспективным и универсальным методом² [10–11]. Также термический способ обезвреживания относят к наиболее эффективным, но не всегда экономически выгодным [12; 13]. Из недостатков данного метода можно выделить необходимость применения топлива и вероятность загрязнения атмосферного воздуха продуктами горения.

Целью исследования является изучение физико-механических характеристик бурового шлама в зависимости от температурного режима обезвреживания.

Материалы и методы

Объектом исследования является буровой шлам с нефтяных месторождений, отличающихся геологическим строением.

Отбор проб буровых шламов осуществлялся на Южно-Островном (*БШЮо*), Средне-Назымском (*БШСн*), Средне-Балыкском (*БШСб*) нефтяных месторождениях ХМАО-Югры.

Исследуемый буровой шлам был сформован на прессе ИЛ-100 под давлением 6 МПа в цилиндры диаметром 30 мм и высотой 30 мм. Влажность формования составила 8 %.

Сформованные образцы были высушены до постоянной массы при температуре 105 ± 5 °С, после чего подвергались обжигу. Обжиг бурового шлама (*БШЮо*) производился при температурах 600, 700, 800, 900, 1000 °С, а также ступенчато – нагрев до 300 °С, перестановка в 600 °С и нагрев до 800 °С.

На основании результатов испытаний образцов (*БШЮо*) буровые шламы (*БШСн*, *БШСб*) были подвержены обжигу при температурах 800, 900 и 1000 °С.

¹ Рекомендации по соблюдению обязательных требований в области охраны окружающей среды при строительстве скважин на суше на месторождениях углеводородов поликомпонентного состава, в том числе сероводородсодержащих: утверждено протоколом № 2 заседания НТС Росприроднадзора от 09 июня 2022 года. – М., 2022. 182 с.

² ИТС 9-2020. Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами. М.: Бюро НДТ, 2020. 236 с.

До и после обжига с помощью штангенциркуля контролировали размеры полученных цилиндров.

Прочность при сжатии определена методом статического нагружения с использованием машины для испытания на сжатие ИП-100.

Водопоглощение вычислялось методом водонасыщения. Водонасыщение проводилось в течение двух суток посредством замачивания образцов в воде.

Гранулометрический состав определен методом лазерной дифракции с помощью прибора лазерного анализатора частиц «Analysette 22» MicroTecPlus.

Результаты и обсуждение

По результатам анализа гранулометрического состава бурового шлама (рис. 1) установлено незначительное количество крупных (0,24 %) и средних (0,65 %) песчаных частиц, высокое содержание мелких пылеватых (35,51 %) и глинистых (63,60 %) частиц в пробе (*БШЮо*). Содержание частиц размером менее 0,01 мм (пылеватые и глинистые частицы) составило 99,11 %, на основании чего буровой шлам отнесен к глинам тяжелым.

В буровом шламе (*БШСн*) не зафиксировано крупных песчаных частиц. Количество мелких и тонких песчаных частиц было 8,4 %, крупных пылеватых – 55,8 %.

Содержание частиц размером менее 0,01 мм находилось на уровне 35,81 %. На основании этого буровой шлам отнесен к суглинкам средним.

В буровом шламе (*БШСв*) отсутствовали крупные песчаные частицы. Мелкие и тонкие песчаные частицы содержались в количестве 30,6 %, крупные пылеватые – 47,1 %. Содержание пылеватых и глинистых частиц было 22,3 %, что соответствовало суглинкам легким.

По результатам прочностных испытаний образцов бурового шлама, подверженных обжигу, установлено, что для буровых шламов Южно-Островного и Средне-Назымского месторождений наибольшая прочность достигалась при обжиге 800 °С и составила 18,86 МПа и 20,15 МПа соответственно. Для бурового шлама Средне-Балыкского месторождения наибольшая прочность наблюдалась при 900 °С и составила 26,15 МПа (рис. 2).

Полученные значения прочности на сжатие сравнивались с прочностью гранул керамзитового гравия, соответствующего требованиям ГОСТ 9757-90 – 10,4 МПа.

Водопоглощение оценивалось по массе и объему. Для образцов бурового шлама (*БШЮо*, *БШСн*) наименьшие значения водопоглощения наблюдались при обжиге 800 °С, для образцов (*БШСв*) – 900 °С (табл. 1).

Помимо этого, исследовано изменение прочности в водонасыщенном состоянии по отношению к сухому. Наименьшее изменение прочности наблюдалось у образцов буровых шламов (*БШСн*) при обжиге 800 °С и (*БШСв*) при обжиге 900 °С и составляет 1,59 % и 7,53 % соответственно.

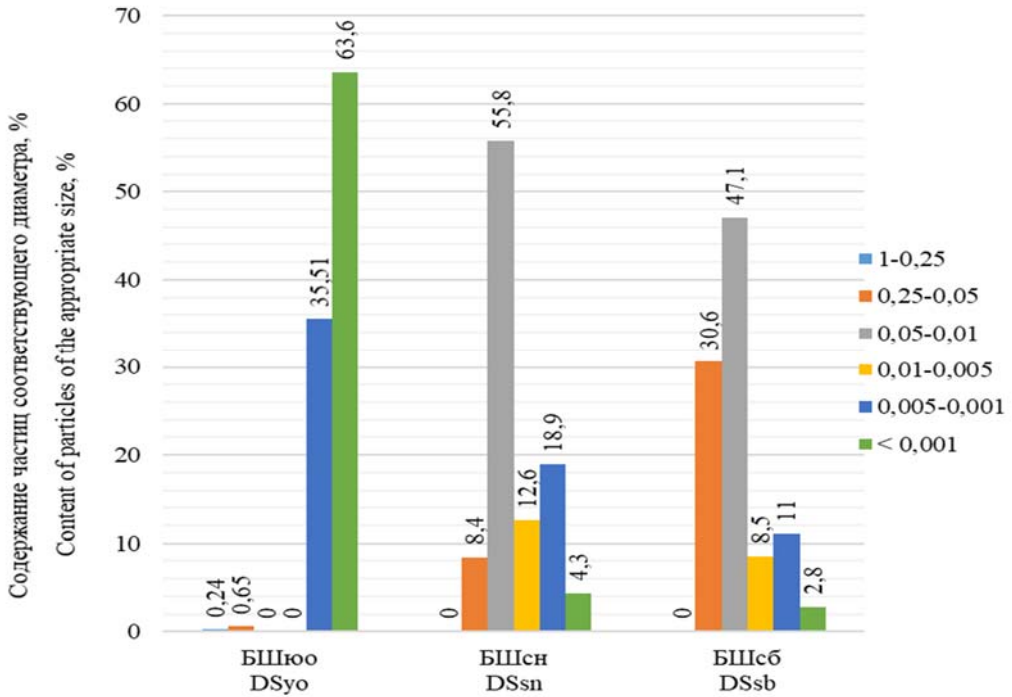


Рис. 1. Гранулометрический состав буровых шламов

Источник: составлено авторами /

Figure 1. Granulometric composition of drilling sludges

Source: compiled by the authors.

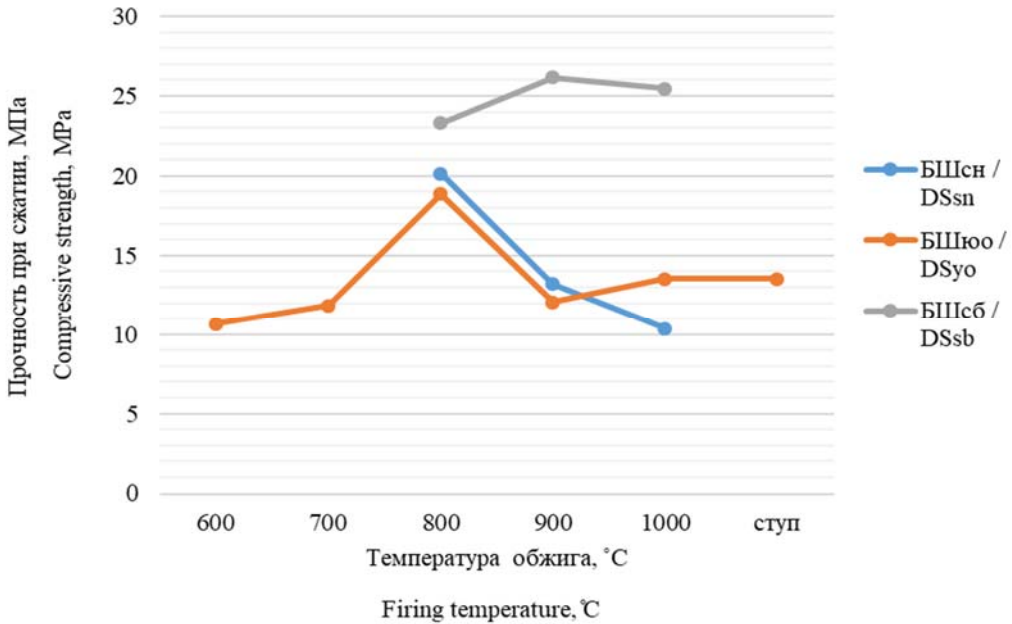


Рис. 2. Прочность на сжатие образцов бурового шлама, подверженных обжигу.

Источник: составлено авторами /

Figure 2. Compressive strength of drilling sludges samples exposed to firing

Source: compiled by the authors.

Для бурового шлама (БШ_{СН}), обожженного при 900 °С, отмечалось приращение прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии на 51,8 %.

На основании полученных данных прочностных испытаний в сухом и водонасыщенном состояниях определен коэффициент размягчения, равный отношению прочности во влажном состоянии к прочности в сухом. Строительные материалы считаются водостойкими, если коэффициент размягчения равен не менее 0,8. Обезвреженные буровые шламы относились к водостойким, кроме (БШ_{СБ}, БШ_{СВ}), обожженных при 800 °С.

В процессе обжига при 1000 °С образцы буровых шламов растрескивались, поэтому физико-механические характеристики не изучались.

Таблица 1. Физико-механические свойства буровых шламов в зависимости от температуры обжига

Образец бурового шлама	БШ _{ЮЮ}		БШ _{СН}		БШ _{СБ}	
	800	900	800	900	800	900
Температура, °С	800	900	800	900	800	900
Водопоглощение по массе, B_m , %	6,33	20,01	17,11	20,32	17,78	17,41
Водопоглощение по объему, B_v , %	13,43	35,62	31,38	34,32	31,39	30,06
Изменение прочности в водонасыщенном состоянии, ΔR , %	23,17	19,63	1,59	51,8	44,95	7,53
Коэффициент размягчения	0,77	0,82	0,98	2,08	0,55	0,93

Источник: составлено авторами.

Table 1. Physical and mechanical properties of drilling sludges samples depending on the firing temperature

Sample of drilling sludge	DS _{ЮЮ}		DS _{СН}		DS _{СБ}	
	800	900	800	900	800	900
Temperature, °C	800	900	800	900	800	900
Water absorption by weight, B_m , %	6.33	20.01	17.11	20.32	17.78	17.41
Water absorption by volume, B_v , %	13.43	35.62	31.38	34.32	31.39	30.06
Change in strength in the water-saturated state, ΔR , %	23.17	19.63	1.59	51.8	44.95	7.53
Softening coefficient	0.77	0.82	0.98	2.08	0.55	0.93

Source: compiled by the authors.

Заключение

На основании полученных данных можно сделать вывод о благоприятном влиянии высоких температур на физико-механические свойства буровых шламов разных нефтяных месторождений.

Обезвреживание при 800 и 900 °С является наиболее предпочтительным вариантом, позволяющим повысить прочность без растрескивания материала.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования высокотемпературного обжига как способа обращения с буровыми шламами. Материал, получаемый в результате обезвреживания, может применяться для отсыпки дорог, кустовых площадок при обустройстве месторождений, что позволит заменить часть привозных природных материалов и снизить стоимость обустройства.

Список литературы

- [1] Малахова Ю.В., Остах О.С., Мазлова Е.А. Экологические проблемы, связанные с содержанием государственных скважин на лицензионном участке недропользователя // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 8. С. 66–71. <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-8-66-71>

- [2] *Остах О.С.* Экологическая оценка методов утилизации отходов бурения // II Международная научно-практическая конференция «Наука и технологии в нефтегазовом деле»: сборник тезисов. Армавир, 2020. С. 333–335.
- [3] *Бортников А.Е., Талипова Е.В., Сайфиев Р.Р.* Решение проблемы утилизации бурового шлама на месторождениях ООО «Лукойл-Западная Сибирь» // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации): материалы Девятой Междунар. науч.-технич. конф. (посвященной 100-летию со дня рождения Протозанова Александра Константиновича). Тюмень, 2014. С. 222–227.
- [4] *Ноздря В.И., Мазыкин С.В., Мнацаканов В.А., Баранихин Е.В., Бержец М.С.* Опыт практической реализации комплексного подхода к обращению с отходами бурения в регионах Крайнего Севера // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2015. № 2. С. 30–33.
- [5] *Гаевая Е.В., Тарасова С.С., Солонина В.А.* Разработка научных основ утилизации буровых отходов при бурении скважин в нефтяной отрасли. Тюмень: ТИУ, 2021. 174 с.
- [6] *Идрисов Р.Х., Масагутов Р.Ф.* Анализ физических методов обезвреживания отходов бурения // Технические науки – от теории к практике. 2015. № 7–8 (44). С. 159–165.
- [7] *Литвинова Т.А.* Современные способы обезвреживания и утилизации нефтесодержащих отходов для ликвидации загрязнения окружающей среды // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 123. С. 902–916. <http://doi.org/10.21515/1990-4665-123-062>
- [8] *Хамидулина Г.А., Майский Р.А.* Применение технологии инъекции при утилизации буровых отходов с учетом геомеханической модели пласта // Вестник молодого учебного УГНТУ. 2016. № 1. С. 10–14.
- [9] *Ball A.S., Stewart R.J., Schliephake K.* A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings // *Waste Management and Research*. 2012. № 30. P. 457–473. <http://doi.org/10.1177/0734242X11419892>
- [10] *Huang Z., Xu Z., Quan Y., Jia H., Li J., Li Q., Chen Z., Pu K.* A review of treatment methods for oil-based drill cuttings // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 170, IOP Publishing, 2018. Article 022074. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/170/2/022074>
- [11] *Okeke P.N., Obi C.* Treatment of oil drill cuttings using thermal desorption technique // *ARPN Journal of Systems and Software*. 2013. No. 3. P. 153–158.
- [12] *Костылева Н.В., Першукова О.Ю.* К вопросу минимизации негативного воздействия на компоненты природной среды буровых шламов нефтегазовых месторождений // Нефть и газ Западной Сибири: материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Косухина Анатолия Николаевича. Тюмень, 2015. С. 270–272.
- [13] *Подавалов Ю.А.* Экология нефтяного производства. М.: Инфра-Инженерия, 2010. 416 с.

References

- [1] Malakhova YV, Ostakh OS, Mazlova EA. Environmental Challenges Associated with the Maintenance of State Wells in the Licensed Claim. *Ecology and Industry of Russia*. 2021;25(8):66–71. (In Russ.) <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-8-66-71>
- [2] Ostakh OS. Environmental assessment of drilling waste disposal methods. *II International Scientific and Practical Conference “Science and technology in the oil and gas industry” : collection of abstracts*. Armavir; 2020. pp. 333–335. (In Russ.)
- [3] Bortnikov AE, Talipova EV, Sajfiev RR. Solving the problem of drilling sludge utilization at the fields of Lukoil-Western Siberia LLC. *Geology and oil and gas potential of the West Siberian megabasin (experience, innovations): materials of the Ninth International*

- Scientific and Technical Conference (dedicated to the 100th anniversary of the birth of Protozanov Alexander Konstantinovich)*. Tyumen; 2014. pp. 222–227. (In Russ.)
- [4] Nozdrya VI, Mazy`kin SV, Mnaczkhanov VA, Baranixin EV, Berzhecz MS. Experience of practical implementation of an integrated approach to the management of drilling waste in the regions of the Far North. *Bulletin of the Association of Drilling Contractors*. 2015;2:30–33. (In Russ.)
- [5] Gaevaya EV, Tarasova SS, Solonina VA. *Development of scientific foundations for the disposal of drilling waste during well drilling in the oil industry*. Tyumen: TIU Publ.; 2021. 174 p. (In Russ.)
- [6] Idrisov RX, Masagutov RF. Analysis of physical methods of disposal of drilling waste. *Technical sciences – from theory to practice*. 2015;7-8(44):159–165. (In Russ.)
- [7] Litvinova TA. Modern ways of oil-contaminated waste utilization for the elimination of pollution. *Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2016;123:902–916. (In Russ.). <http://doi.org/10.21515/1990-4665-123-062>
- [8] Xamidullina GA, Majskij RA. Application of injection technology in the disposal of drilling waste, taking into account the geomechanical model of the formation. *Bulletin of the young scientist of the USPTU*. 2016;1:10–14. (In Russ.)
- [9] Ball AS, Stewart RJ, Schliephake K. A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings. *Waste Management and Research*. 2012;30:457–473. <http://doi.org/10.1177/0734242X11419892>
- [10] Huang Z, Xu Z, Quan Y, Jia H, Li J, Li Q, Chen Z, Pu K. A review of treatment methods for oil-based drill cuttings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 170, IOP Publishing, 2018:022074. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/170/2/022074>
- [11] Okeke PN, Obi C. Treatment of oil drill cuttings using thermal desorption technique // *ARPN Journal of Systems and Software*. 2013;3:153–158.
- [12] Kostyleva NV, Pershukova OYu. On the issue of minimizing the negative impact on the components of the natural environment of drilling slurries of oil and gas fields. *Oil and Gas of Western Siberia: materials of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 90th anniversary of the birth of Anatoly Nikolaevich Kosukhin*. Tyumen; 2015. pp. 270–272. (In Russ.)
- [13] Podavalov YuA. *Ecology of oil production*. Moscow: Infra-Inzheneriya Publ.; 2010. 416 p. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Зимнухова Анастасия Евгеньевна, аспирант, Тюменский индустриальный университет, Российская Федерация, 625000, Тюмень, ул. Володарского, д. 38. eLIBRARY SPIN-код: 8195-8940. E-mail: nastya_plotnikova@bk.ru

Гаевая Елена Викторовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности, Тюменский индустриальный университет, Российская Федерация, 625000, Тюмень, ул. Володарского, д. 38. eLIBRARY SPIN-код: 7995-7324. E-mail: gaevajaev@tyuiu.ru

Bio notes:

Anastasiia E. Zimnukhova, PhD student, Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St, Tyumen, 625000, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 8195-8940. E-mail: nastya_plotnikova@bk.ru

Elena V. Gaevaya, PhD in Biology, Professor of Technosphere Safety Department, Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St, Tyumen, 625000, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-код: 7995-7324. E-mail: gaevajaev@tyuiu.ru



ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

HUMAN ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-163-171

EDN: XLPFVE

УДК 556.53

Научная статья / Research article

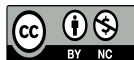
Особенности элементного статуса коренного населения юга Средней Сибири

А.Е. Побилат¹✉, А.А. Киричук¹ , О.В. Баранова² ¹Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация²Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация

✉apobilat@mail.ru

Аннотация. В настоящее время особенно актуальными являются исследования по установлению элементного статуса территорий экологически неблагоприятных регионов с высокой антропогенной нагрузкой, к которым относится Красноярский край. Природно-геохимические особенности территорий, как комплекс факторов, постоянно действующих на организм человека, могут вызвать не только эндемические заболевания, но и потенцировать антропогенное воздействие. В разных регионах Сибири проведено большое количество исследований по агрохимии, биогеохимии, почвоведению, экологии микроэлементов в природной среде. В то же время в южной части Красноярского края недостаточно изучены, обобщены и систематизированы данные о комплексной оценке содержания химических элементов в разных звеньях экосистемы. В связи с этим целью настоящего исследования явилось изучение особенностей элементного статуса коренного населения юга Средней Сибири. Лабораторные исследования по определению концентрации химических элементов в волосах обследованных лиц выполнены методом масс-спектрометрии с индукционно-связанной аргоновой плазмой. При рассмотрении результатов исследования отдельных групп населения города Красноярска были зафиксированы половые различия в элементном статусе. У мужчин отмечалось увеличение содержания калия в 1,7 раза, фосфора в 1,2 раза относительно 75 центиля. Содержание

© Побилат А.Е., Киричук А.А., Баранова О.В., 2024

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

кобальта и кальция соответствовало 25 центилю нормального содержания в биосубстратах. Для женщин, проживающих в городе Красноярске, было отмечено повышенное выведение из организма кальция и цинка в 1,2 раза относительно 75 центиля. В данной гендерной группе установлены нормальные как средние, так и медианные значения по содержанию железа и хрома в биосубстратах (волосы) и составили 21 и 0,46 мкг/г соответственно. Уровень токсичных элементов, таких как никель, ртуть, кадмий и свинец, был в норме и разброс максимальных значений не превышал 75-центильный интервал в обеих исследуемых группах.

Ключевые слова: элементный статус, макроэлементы, микроэлементы, тяжелые металлы

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

История статьи: поступила в редакцию 10.01.2024; доработана после рецензирования 21.02.2024; принята к публикации 28.02.2024.

Для цитирования: Побилат А.Е., Киричук А.А., Баранова О.В. Особенности элементного статуса коренного населения юга Средней Сибири // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 163–171. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-163-171>

Features of the elemental status of the indigenous population of the south of Central Siberia

Anna E. Pobilat¹✉, Anatoly A. Kirichuk¹ , Oksana V. Baranova² 

¹ RUDN University, Moscow, Russian Federation

² Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

✉ apobilat@mail.ru

Abstract. Particularly relevant are studies to establish the microelement status of territories in environmentally unfavorable regions with high anthropogenic load, which include the Krasnoyarsk Territory. Natural and geochemical features of territories, as a complex of factors constantly acting on the human body, can cause not only endemic diseases, but also potentiate anthropogenic effects. A large number of studies on geochemistry, biogeochemistry, soil science, and the ecology of microelements in the natural environment have been carried out in different regions of Siberia. At the same time, in the southern part of the Krasnoyarsk Territory, data on a comprehensive assessment of the content of microelements in different parts of the ecosystem have not been sufficiently studied, summarized and systematized. Thus, the purpose of the work was to study the characteristics of the elemental status of the indigenous population of the south of Central Siberia. Laboratory studies to determine the concentration of trace elements in the hair of the examined individuals were carried out using mass spectrometry with inductively coupled argon plasma. When considering the results of the study, certain groups of the population of the city of Krasnoyarsk were recorded in elemental status between the sexes. In men, there was an increase in potassium content by 1.7 times, phosphorus by 1.2 times relative to the 75th centile. The content of cobalt and calcium corresponded to the 25th centile of normal content in bio substrates. For women living in the city of Krasnoyarsk, an increased excretion of calcium and zinc from the body by 1.2 times relative to the 75th centile was noted. In this gender group, normal average and median values for the content of iron and chromium in bio substrates (hair) have been established and are 21 and 0.46 µg/g, respectively.

The level of toxic elements such as nickel, mercury, cadmium and lead were normal and the range of maximum values did not exceed the 75th centile interval in both study groups.

Keywords: elemental status, trace elements, heavy metals

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

Article history: received 10.01.2024; revised 21.02.2024; accepted 28.02.2024.

For citation: Pobilat AE, Kirichuk AA, Baranova OV. Features of the elemental status of the indigenous population of the south of Central Siberia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):163–171. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-163-171>

Введение

Из многочисленных литературных источников известно, что волосы являются наиболее качественным и информативным биологическим объектом, несущим в себе информацию об экологической обстановке, качестве питания, наличии заболеваний или отклонений в здоровье человека [1–3]. В медицинской элементологии ведутся дебаты о том, что волосы не являются индикатором уровня для всех микроэлементов. Однако они не затрагивают такие химические элементы, как свинец, селен, ртуть, кадмий и др. Поэтому волосы могут быть использованы для определения элементного статуса человека и населения [4; 5].

Выбор волос в качестве предмета анализа обусловлен многочисленными исследованиями, подтверждающими их пригодность как объекта в исследованиях элементного статуса популяции [6; 7]. Волосы – это легкодоступный биологический материал, сбор их прост и безболезнен. Хранение волос практически не ограничено длительно и не требует каких-либо особых условий. В связи с малой скоростью роста волос результаты анализа показывают не секундное содержание макро- и микроэлементов в образце, а усредненный уровень за несколько месяцев [8]. Химический состав волос отражает как внутреннее состояние организма, так и следствие воздействия различных экзогенных факторов [9; 10].

В этой связи мы использовали именно волосы в качестве биосубстратов для оценки содержания химических элементов у жителей города Красноярска, что и стало целью нашей работы. В качестве объектов исследования были отобраны образцы волос у взрослых людей (18–25 лет), долгое время проживающих в Красноярске (82 мужчины и 247 женщин). Исследования по содержанию микроэлементов в биосубстратах (волосы) проведено в КДЛ АНО «Центр Биотической Медицины» (г. Москва): аккредитация (аттестат № ГСЭН.RU.ЦОА.311); медицинская лицензия (МДКЗ №13665/5124); лицензия на лабораторную деятельность (МДКЗ №14690/6149); регистрационный номер в государственном реестре РОСС.RU.0001.513118 от 29.05.2003.

Лабораторные исследования по определению концентрации микроэлементов в волосах обследованных лиц выполнены методом масс-спектрометрии с индукционно-связанной аргоновой плазмой (МС – ИСП).

Результаты и обсуждение

В ходе работы нами были исследованы волосы для оценки возможного влияния экологической среды проживания и питания на содержание химических элементов в биосубстратах жителей города Красноярск. Результаты проведенного нами исследования элементного состава волос жителей города Красноярск представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Содержание (мкг/г) макро- и микроэлементов в волосах мужчин Красноярск ($n = 82$)

Показатель	Среднее значение ($M \pm m$)	Доверительный интервал $P = 0,95(\pm)$	Медиана (Me)	Min	Max	25–75 Центиль*
Натрий	318±50	99	139	3,4	2755	73–331
Магний	61±7	14	40	7	393	39–137
Калий	282±42 ↑	83	120	12	1764	29–159
Фосфор	197±9 ↑	17	183	9	634	83–165
Кальций	548±49 ↓	97	416	37	2496	494–1619
Марганец	0,46±0,69	0,135	0,26	0,0024	4,58	0,32–1,13
Кобальт	0,04±0,01 ↓	0,03	0,006	0,0	0,855	0,04–0,16
Медь	11±1,3	2,6	9,85	0,8	113	9–14
Хром	0,46±0,06	0,13	0,309	0,0	4,8	0,32–0,96
Железо	19±3	6	13	0,9	239	11–24
Цинк	191±10 ↑	19	178	0,9	699	155–206
Йод	0,51±0,13	0,26	0,232	0,0	10,8	0,27–4,2
Селен	0,70±0,12	0,24	0,489	0,0	8,41	0,2–1,8
<i>Токсичные</i>						
Никель	0,248±0,036	0,07	0,15	0,0	2,53	0,0021–0,53
Ртуть	0,283±0,03	0,06	0,212	0,016	1,79	0,05–2,0
Кадмий	0,042±0,018	0,04	0,009	0,0	1,09	0,05–0,12
Свинец	0,815±0,12	0,25	0,34	0,04	4,7	0,38–1,4

Примечание: * – [11].

Таблица 2. Содержание (мкг/г) макро- и микроэлементов в волосах женщин Красноярск ($n = 247$)

Показатель	Среднее значение ($M \pm m$)	Доверительный интервал $P = 0,95(\pm)$	Медиана (Me)	Min	Max	25–75 Центиль*
Натрий	149 ± 18	33	71	6	2248	73–331
Магний	131±9 ↑	19	83	13	986	39–137
Калий	115±18	35	35	139	10204	29–159
Фосфор	170±4 ↑	8	162	25	534	83–165
Кальций	1813±113 ↑	222	1247	139	10204	494–1619
Марганец	1,1±0,09 ↑	0,18	0,64	0,102	12	0,32–1,13
Кобальт	0,06± 0,009	0,018	0,0147	0,0007	1,29	0,04–0,16
Медь	14±0,9 ↑	1,8	11,5	1,86	139	9–14
Хром	0,46±0,03	0,058	0,336	0,01	3,14	0,32–0,96
Железо	21±1,3	2,5	15	4,5	154	11–24
Цинк	247±11 ↑	22	195	37	1135	155–206
Йод	0,62±0,08	0,16	0,276	0,0	11,9	0,27–4,2
Селен	0,66±0,11	0,215	0,405	0,0	13,8	0,2–1,8
<i>Токсичные</i>						
Никель	0,28±0,02	0,04	0,192	0,02	1,96	0,0021–0,53
Ртуть	0,328±0,02	0,04	0,232	0,0	1,97	0,05–2,0
Кадмий	0,018±0,006	0,011	0,007	0,0	1,18	0,05–0,12
Свинец	0,389±0,03	0,06	0,183	0,03	4,16	0,38–1,4

Примечание: * – [11].

При рассмотрении результатов исследования отдельных групп населения города Красноярска можно отметить значительные гендерные отличия в элементном статусе. Так, отмечено повышенное выведение из организма мужчин таких элементов, как калий в 1,7 раза, фосфор в 1,2 раза относительно 75 центиля, при этом содержание цинка в биосубстратах соответствует верхней границе допустимого выведения. Наряду с этим отмечено, что содержание кобальта и кальция соответствует 25 центиллю нормального содержания в исследуемых биосубстратах. Показано, что содержание натрия составляет 318 мкг/г, что соответствует верхней границе нормального содержания, тогда как медиана выборки составляет лишь 139 мкг/г, это обусловлено большим разбросом данных. Так, минимальное значение составляет всего 3,4 мкг/г, а максимальное значение 2755 мкг/г. Это же явление мы наблюдаем и по магнию, марганцу и йоду. Так, содержание этих элементов в волосах составляет в среднем 61; 0,46 и 0,51 мкг/г соответственно, тогда как медиана выборки в разы ниже средних значений и составляет лишь 40, 0,26 и 0,23 мкг/г соответственно.

Что касается женщин, проживающих в городе Красноярске, то для них характерно повышенное выведения из организма кальция и цинка в 1,2 раза относительно 75 центиля. Кроме того, содержание в исследуемых волосах фосфора, магния, марганца и меди соответствует верхней границе нормального содержания. Следует отметить, что и значения медианы в вышеперечисленных элементах стремятся к крайним значениям нормы.

Оценивая содержания в биосубстратах таких элементов, как натрий, калий, кобальт и йод, было установлено их среднее содержание на уровне нормы, тогда как их медианы выборки: натрий, калий, кобальт и йод – составляют 71, 35, 0,0147 и 0,27 мкг/г, соответственно, данные показатели стремятся к значениям 25 центиля. Установлено, что в данной гендерной группе выявлены нормальные как средние, так и медианные значения по содержанию железа и хрома в волосах и составляют 21 и 0,46 мкг/г соответственно.

Что касается токсичных элементов, таких как никель, ртуть, кадмий и свинец, то их значения были в норме и, несмотря на значительный разброс максимальных значений, не превышали 75-центильный интервал в обеих исследуемых группах.

На рис. 1 приведен элементный профиль жителей города Красноярска в зависимости от гендерных групп. При рассмотрении рисунка отмечаются значительные достоверные отличия ($p < 0,05$). Так, данные различия характерны для натрия, магния и кальция, совпадение повышенного выведения из организма обследованных жителей отмечено только для цинка. Элементный портрет мужчин выглядит следующим образом: \uparrow P, K, Zn / \downarrow Co, женщин – \uparrow Mg, Ca, Zn, Mn, Cu.

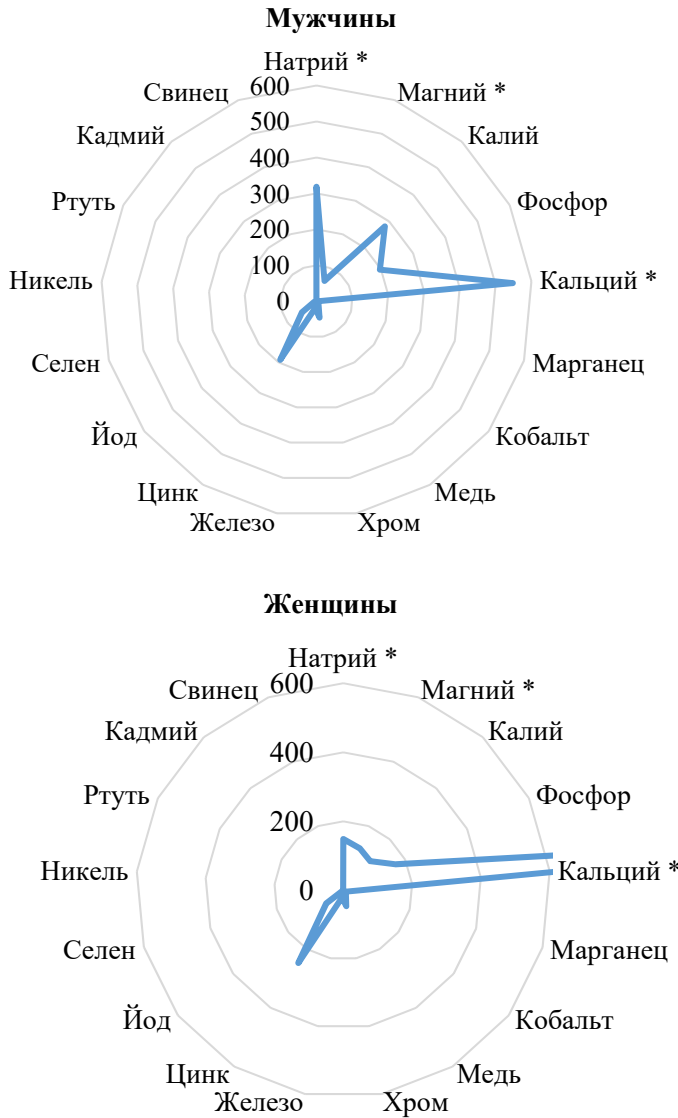


Рис. 1. Элементный профиль жителей Красноярска в разрезе гендерных групп
 Примечание: * – отличие достоверно ($p < 0,05$).

В настоящий момент население всей планеты испытывает стресс антропогенного загрязнения всех сред жизни – гидросферы, атмосферы и литосферы. Зачастую антропогенное воздействие сопряжено с выбросами в окружающую среду различных веществ, в том числе и тяжелых металлов, что неблагоприятно воздействует на организм человека. Поэтому возникает необходимость в изучении элементного статуса организма человека с целью выявления и коррекции различных элементозов. Актуальность проведенного исследования состоит в том, что, по мнению ряда авторов, существует связь между основными демографическими показателями населения, а также

состоянием здоровья лиц, проживающих на различных территориях, и обеспеченностью некоторыми эссенциальными макро- и микроэлементами [12–14]. При этом не только абсолютные популяционные показатели содержания химических элементов в волосах, но и относительные (частота отклонений от нормы) являются важным биомаркером демографического состояния.

В статье показана взаимосвязь обмена макро- и микроэлементов и ряда демографических показателей. Например, увеличение распространенности в популяции избыточного накопления Fe, Al, K у мужчин, дефицита Cu, Co у женщин на фоне дисбаланса Mn можно считать негативным прогностическим признаком в демографическом отношении. Кроме того, кальций-фосфорный обмен, а также обмен кобальта коррелирует с уровнем рождаемости [15]. В частности, авторами показано, что у мужчин продолжительность жизни отрицательно коррелирует с увеличением содержания в волосах Fe, Mn, Al ($r = -0,69$; $r = -0,61$; $r = -0,79$, 2005 г.; и $r = -0,78$, $r = -0,60$; $r = -0,58$, 2006 г.), то есть тех промышленных экотоксикантов, накопление которых в волосах, как показано выше, коррелирует с ростом показателя смертности. Повышение уровня в волосах K, как было зарегистрировано в нашем исследовании, по мнению исследователей [15], также отрицательно и достоверно значимо коррелирует с продолжительностью жизни мужчин ($r = -0,54$; $r = -0,51$). Известно, что нарушение обмена K, которое отражается в виде изменения его содержания в волосах [16], отмечается у лиц с перенапряжением симпатoadренальной системы, находящихся в состоянии хронического стресса, страдающих гипертонической болезнью и сахарным диабетом, а также у больных шизофренией [17]. Причем, как показано в исследовании А.Р. Грабеклиса с соавт. [18], повышенный уровень K в волосах коррелирует с понижением его концентрации в цельной крови, то есть гипокалиемией, соответственно, может рассматриваться в качестве индикатора риска сердечно-сосудистых заболеваний и смертности. В обстоятельных исследованиях было показано, что повышенное содержание Fe, Mn в волосах обычно положительно коррелирует с повышенным накоплением этих, с одной стороны, эссенциальных химических элементов, а с другой – промышленных экотоксикантов в организме [18].

Элементный статус населения, вероятно, оказывает существенное влияние на клинико-демографические показатели, такие как рождаемость, продолжительность жизни и смертность, развитие различных заболеваний. Важно отметить, что ведущую роль в этих влияниях следует отводить избыточному накоплению условно-эссенциальных и токсичных химических элементов. Разработка и внедрение научно обоснованных региональных программ по коррекции элементного статуса населения может явиться одной из действенных мер по улучшению демографической ситуации и здоровья населения определенных территорий, в том числе и Красноярском крае.

Заключение

Таким образом, в ходе проведенного исследования мы установили гендерные различия микроэлементного профиля жителей города Красноярска, которые заключаются в следующих формулах:

$$\text{мужчины} = \frac{\uparrow_{\text{K,P,Zn}}}{\downarrow_{\text{Co}}}; \text{женщины} = \uparrow_{\text{Mg, P, K, Ca, Mn, Cu, Zn}}$$

Таким образом, элементный состав волос человека является своеобразным индикатором, который можно использовать для оценки уровня здоровья человека. При этом в научной литературе большое внимание уделяется дефициту и избыточному накоплению как токсичных, так и эссенциальных металлов-микроэлементов, что может сопровождаться различными поведенческими нарушениями и значительным снижением уровня интеллекта [16].

Список литературы

- [1] Скальный А.В., Сальникова Е.В., Кудрявцева Е.А., Кустова А.С. Аккумуляция тяжелых металлов и микроэлементов в волосах населения Оренбургской области // Микроэлементы в медицине. 2012. Т. 13, № 4. С. 42–45.
- [2] Харисчаришвили И.З., Горгошидзе Б.Е. Анализ микроэлементного состава волос рентгено-флуоресцентным методом и его значение в деле диагностики заболеваний человека // Экспериментальная и клиническая медицина. 2006. № 7 (32). С. 65–67.
- [3] Umarova G., Batyrova G., Tlegenova Z., Kononets V., Balmagambetova S., Umarov Y. et al. Essential Trace Elements in Scalp Hair of Residents across the Caspian Oil and Gas Region of Kazakhstan // Toxics. 2022. Vol. 10, no. 7. P. 364.
- [4] Сальникова Е.В., Бурцева Т.И., Скальный А.В. Региональные особенности содержания микроэлементов в биосфере и организме человека // Гигиена и санитария. 2019. № 2. С. 148–152. <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-2-148-152>
- [5] Shilin M., Abramov V., Mandryka, O., Ershova A., Chusov A. Environment survey of northwest Russia population health // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM. 2019. Vol. 19, no. 5.2. P. 347–354. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/5.2/S20.043>
- [6] Maduray K., Moodley J., Soobramoney C., Moodley R., Naicker T. Elemental analysis of serum and hair from pre-eclamptic South African women // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 2017. Vol. 43. P. 180–186. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.03.004>
- [7] Kempson I. M., Lombi E. Hair analysis as a biomonitor for toxicology, disease and health status // Chemical Society Reviews. 2011. Vol. 40, no. 7. P. 3915-3940. DOI: 10.1039/c1cs15021a
- [8] Semenova Y., Zhunussov Y., Pivina L., Abisheva A., Tinkov A., Belikhina T. et al. Trace element biomonitoring in hair and blood of occupationally unexposed population residing in polluted areas of East Kazakhstan and Pavlodar regions // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 2019. Vol. 56. P. 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.07.006>
- [9] Kousa A., Loukola-Ruskeeniemi K., Hatakka T., Kantola M. High manganese and nickel concentrations in human hair and well water and low calcium concentration in blood serum in a pristine area with sulphide-rich bedrock // Environmental Geochemistry and Health. 2022. Vol. 44, no. 11. P. 3799–3819. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01131-6>

- [10] *Alshammari, E. M.* Simultaneous Detection of Toxic and Heavy Metals in the Scalp Hair Samples of Smokers // *Journal of Biochemical Technology*. 2022. Vol. 13, no. 1. P. 50–56. <https://doi.org/10.51847/doQEpDddDt>
- [11] *Элементный статус населения России*. Ч. 5: Элементный статус населения Сибирского и Дальневосточного федеральных округов / [Афтанас Л. И. и др.]; под ред. А. В. Скального, М. Ф. Киселева. СПб: Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2014. 543 с. ISBN 978-5-91322-082-0.
- [12] *Кураמיшина Д.Б., Новикова Л.Б., Гришина Т.Р., Торшин И.Ю., Громова О.А.* Анализ нарушений микроэлементного баланса у пациентов с ишемическим инсультом // *Земский врач*. 2011. № 7. С. 17–20.
- [13] *Skalny A.V., Grabekis A.R.* Trace element status of population and demography in Russia: possible linkage // *Abst, 15th Inter, Symp, on Trace Elements in Man and Animals «ТЕМА-15»*. June 22–26, 2014, Orlando, Florida.
- [14] *Юсупбеков А.А., Худайкулов А.Т., Данилова Е.А.* Анализ содержания микроэлементов в волосах у больных раком молочной железы // *Вопросы онкологии*, 2019. Т. 65, № 1. С. 110–113.
- [15] *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.
- [16] *Скальный А. В.* Цинк и здоровье человека (книга для современных думающих врачей и любознательных пациентов). Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. 80 с.
- [17] *Скальный А.В., Рудаков И.А.* Биоэлементы в медицине. М.: Оникс 21 в.: Мир, 2004. 271 с.
- [18] *Грабеллис А.Р., Нечипоренко С.П., Лакарова Е.В., Скальный А.В.* Изменения в элементном составе волос при производственном контакте с токсичными металлами // *Актуальные вопросы транспортной медицины*. 2010. № 4. С. 124–131.
- [19] *Киричук А. А.* Содержание токсичных металлов в волосах студентов из различных регионов мира // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. № 3. С. 289-297. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-3-289-297>

Сведения об авторах:

Побилат Анна Евгеньевна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник кафедры медицинской элементологии, медицинский институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: apobilat@mail.ru

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

Баранова Оксана Васильевна, кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией нутрициологии, Институт биоэлементологии, Оренбургский государственный университет, Российская Федерация, 460018, Оренбург, просп. Победы, д. 13. ORCID: 0000-0002-2780-6499. E-mail: baranovaov@yandex.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-172-183

EDN: XMPJNW


УДК 930.253+004.651

Научная статья / Research article

Опыт создания базы данных репозитория архивных документов государственной статистики о размерах посевных (убранных) площадей и фактического сбора урожая на территориях Орловской области, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС, в 1988–1991 гг.

О.Н. Апанасюк  , А.М. Скоробогатов 

*Институт проблем безопасного развития атомной энергетики
Российской академии наук, Москва, Российская Федерация*

 aon@ibrae.ac.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования хранящихся в фонде государственного архива Орловской области документов Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Орловской области (1988–1991 гг.), относящихся к агропромышленному производству на территориях сельскохозяйственного назначения, загрязненных ^{137}Cs в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Реабилитация сельскохозяйственных угодий радиоактивно загрязненных территорий Орловской области сохраняет свою актуальность до настоящего времени. Проведены поиск, отбор и сканирование наиболее важных документов по тематике «Защитные и реабилитационные мероприятия, связанные с ликвидацией последствий аварии на ЧАЭС» в агропромышленном комплексе Орловской области в 1988–1991 гг. Создан репозиторий файлов документов по указанной проблеме в Орловской области. На основании подготовленных электронных копий отобранных документов сформирована база данных, содержащая сведения о размерах посевных (убранных) площадей и фактического сбора урожая на территориях сельскохозяйственного назначения Орловской области, загрязненных ^{137}Cs в результате аварии на Чернобыльской АЭС, в 1988–1991 гг.

Ключевые слова: база данных, репозиторий, государственный архив, радиационная авария, радиоактивное загрязнение, реабилитация территорий, авария на Чернобыльской АЭС, государственная статистика, сельскохозяйственная продукция, Орловская область, ^{137}Cs

© Апанасюк О.Н., Скоробогатов А.М., 2024



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

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


История статьи: поступила в редакцию 28.01.2024; доработана после рецензирования 10.03.2024; принята к публикации 15.03.2024.

Для цитирования: Апанасюк О.Н., Скоробогатов А.М. Опыт создания базы данных репозитория архивных документов государственной статистики о размерах посевных (убранных) площадей и фактического сбора урожая на территориях Орловской области, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС, в 1988–1991 гг. // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 172–183. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-172-183>

Experience in creating a database of a repository of archival documents of state statistics on the size of sown (harvested) areas and the actual harvest in the territories of the Orel region contaminated as a result of the Chernobyl accident in 1988-1991

Oleg N. Apanasyuk  , Anatoly M. Skorobogatov 

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

 aon@ibrae.ac.ru

Abstract. The study presents the results of a study of the documents of the Territorial Body of the Federal State Statistics Service for the Oryol region (1988–1991) stored in the fund of the State archives of the Oryol region, related to agro-industrial production in agricultural areas contaminated with ^{137}Cs as a result of the accident at the Chernobyl accident. Rehabilitation of agricultural lands in radioactively contaminated areas of the Oryol region remains relevant to the present day. Search, selection and scanning of the most important documents on the subject of “Protective and Rehabilitation Measures Related to the Elimination of the Consequences of the Chernobyl accident” in the agro-industrial complex of the Oryol region in 1988–1991 were carried out. On the basis of the prepared electronic copies of the selected documents, a database was formed containing information on the size of sown (harvested) areas and the actual harvest in the agricultural areas of the Oryol region contaminated with ^{137}Cs as a result of the accident at the Chernobyl accident in 1988–1991.

Keywords: database, repository, state archives, radiation accident, radioactive contamination, rehabilitation of territories, Chernobyl accident, state statistics, agricultural products, Oryol region, ^{137}Cs

Authors' contributions. All authors contributed equally to this article.

Article history: received 28.01.2024; revised 10.03.2024.; accepted 15.03.2024.

For citation: Apanasyuk ON, Skorobogatov AM. Experience in creating a database of a repository of archival documents of state statistics on the size of sown (harvested) areas and the actual harvest in the territories of the Orel region contaminated as a result of the Chernobyl accident in 1988–1991. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):172–183. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-172-183>

Введение

В Российской Федерации в результате аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), произошедшей 26 апреля 1986 г., самые высокие уровни загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий наблюдались в Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областях [1; 2].

Более 40 % территорий Орловской области подверглись радиоактивному загрязнению [3]. Наиболее пострадали Болховской, Дмитровский, Кромской и Глазуновский районы, загрязненные более чем на 85 % [4].

В 1987 г. значительная часть загрязненных ^{137}Cs свыше 1 Ки/км² территорий Орловской области (669 тыс. га, в том числе 652 тыс. га с плотностью загрязнения 1–5 Ки/км² и 17 тыс. га – 5–15 Ки/км²) относилась к землям сельскохозяйственного назначения. В рамках реализации мероприятий федеральных целевых программ по преодолению последствий аварии на ЧАЭС проводились работы по реабилитации сельхозугодий, расположенных на радиоактивно загрязненных территориях Орловской области, особенно – в первые годы после чернобыльской аварии. В результате распада ^{137}Cs площадь загрязненных сельскохозяйственных угодий в Орловской области в 2019 г. сократилась на 60 % [5].

Благодаря своевременному проведению агрохимических защитных мероприятий вся производимая сельскохозяйственная продукция практически полностью соответствовала установленным нормативам [6], и на большей части загрязненной территории Орловской области было прекращено производство сельскохозяйственной продукции, содержание радионуклидов в которой превышало временно допустимые уровни (ВДУ-86). Исходя из прогноза радиологической ситуации в Орловской области, полное «очищение» почв сельскохозяйственных угодий до уровня менее 37 кБк/м² возможно не ранее 2090 г. [7].

Несмотря на успехи в проведении защитных и реабилитационных мероприятий в агропромышленном комплексе Орловской области, специалисты и ученые продолжают обсуждать проблемы, возникшие при ликвидации последствий радиационной аварии. Поэтому для оценки эффективности применяемых средств для восстановления сельскохозяйственных угодий, загрязненных радионуклидами, возникает необходимость создания документационной тематической межотраслевой базы данных репозитория архивных документов. Важное значение имеет сохранение и отображение архивной информации о ликвидации последствий аварии на ЧАЭС посредством систематизации массива исторических документов на интернет-портале [8].

Цель исследования – создание базы данных репозитория архивных документов, связанных с преодолением последствий радиационной аварии на ЧАЭС в 1986 г., относящихся к агропромышленному производству на территориях сельскохозяйственного назначения Орловской области, загрязненных ^{137}Cs , в 1988–1991 гг. для оценки эффективности применения сельскохозяйственных реабилитационных мероприятий на загрязненных радионуклидами территориях Орловской области.

Материалы и методы

Реабилитация сельскохозяйственных угодий радиоактивно загрязненных территорий Орловской области сохраняет свою актуальность до настоящего времени.

В рамках проведенного поиска отобранные хранящиеся в государственном архиве Орловской области документы Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Орловской области, относящиеся к агропромышленному производству на территориях сельскохозяйственного назначения, загрязненных ^{137}Cs , в 1988–1991 гг.

Результаты

В соответствии с мероприятиями по реализации федеральной целевой программы «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года»¹ в 2012 г. было проведено исследование документов, посвященных реабилитации сельскохозяйственных угодий радиоактивно загрязненных территорий Орловской области в 1988–1991 гг., хранящихся в фондах бюджетного учреждения Орловской области «Государственный архив Орловской области» (БУОО ГАОО)².

Отбор материалов для создания электронных версий осуществлялся по критериям связи содержания документа с защитными и реабилитационными мероприятиями в агропромышленном комплексе Орловской области, связанными с преодолением последствий аварии на ЧАЭС.

В результате изучения документов фонда БУОО ГАОО Р-2583 «Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Орловской области» отобранные наиболее значимые материалы, содержащие сведения о размерах посевных (убранных) площадей и фактического сбора урожая на территориях сельскохозяйственного назначения Орловской области, загрязненных ^{137}Cs в результате аварии на ЧАЭС, в 1988–1991 гг. Выполнено их сканирование (в PDF-формате) и создана база данных (БД)

¹ Постановление Правительства РФ от 29.06.2011 № 523 (ред. от 25.05.2016) «О федеральной целевой программе «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года» // Гарант: сайт. URL: <https://base.garant.ru/12187909/?ysclid=l6mjciewefh274315107> (дата обращения: 28.01.2024).

² Государственный архив Орловской области // БУОО ГАОО: сайт. URL: <https://gaorel.ru/?ysclid=lqf3yjrjl2603346014> (дата обращения: 28.01.2024).

репозитория документов фонда БУОО ГАОО, представленная в сводной таблице.

**Репозиторий документов фонда БУОО ГАОО Р-2583 «Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Орловской области», 1988–1991 гг. /
Repository of documents of the BUOO GAOO R-2583 "Territorial Body of the Federal State Statistics Service for the Oryol Region", 1988-1991**

№ фонда / Fund No.	№ описи / Inventory No.	№ дела / Case No.	Кол-во документов / Number of documents	Кол-во листов, всего / Number of sheets, total	Годы документов / Years of documents
P-2583	1	8700	1	8	1991
P-2583	1	8795	1	11	1991
P-2583	1	9073	22	22	1988
P-2583	1	9076	49	49	1988
P-2583	1	9493	13	13	1990
P-2583	1	9500	1	8	1990
P-2583	1	9831	9	10	1991
Всего			96	121	

Перечень документов фонда БУОО ГАОО Р-2583 «Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Орловской области» (1988–1991 гг.), входящих в базу данных

Орловская область

Размеры посевных площадей и фактического сбора урожая. *Итого* колхозы, межхозы, совхозы, подсобные и кооперативные хозяйства:

- в первоначально-оприходованном весе зерновых культур:
 - ячмень яровой;
 - гречиха;
 - горох;
 - вика и виковые смеси (с преобладанием вики) на зерно;
 - всего зерновых и зернобобовых культур;
 - из общего посева озимой и яровой пшеницы: сильной;
- картофеля и овоще-бахчевых культур:
 - картофель и овоще-бахчевые культуры – всего;
 - картофель.

Размеры убранных площадей и фактического сбора урожая сенокосов и культурных пастбищ. *Итого* колхозы, межхозы, совхозы, подсобные и кооперативные хозяйства:

- *итого* сенокосов (весь сбор) в переводе на сено;
- *итого* сена всякого.

Размеры посевных площадей и фактического сбора урожая (в первоначально-оприходованном весе) зерновых культур. Сельскохозяйственные колхозы:

- всего посеяно озимых осенью прошлого года;
- из них полностью погибло до окончания сева яровых культур;
- озимые зерновые культуры;
- пшеница озимая;

- рожь озимая;
- пшеница – вся (озимая и яровая);
- овес;
- кукуруза – вся (на зерно, силос и зеленый корм);
- всего яровых зерновых и зернобобовых культур;
- всего зерновых и зернобобовых культур.

Размеры посевных (убранных) площадей и фактического сбора урожая кормовых культур. Сельскохозяйственные колхозы:

- всего многолетних трав на сено;
- вся посевная площадь под урожай текущего года, 1988 г.³

Размеры посевных площадей и фактического сбора урожая. Межхозы:

- всего посеяно озимых осенью прошлого года;
- озимые зерновые культуры;
- пшеница озимая;
- рожь озимая;
- ячмень яровой;
- овес;
- пшеница – вся (озимая и яровая);
- рожь – вся (озимая и яровая);
- ячмень – весь (озимый и яровой);
- яровые зерновые и зернобобовые культуры (без кукурузы);
- зерновые и зернобобовые культуры (без кукурузы).

Размеры посевных (убранных) площадей и фактического сбора урожая кормовых культур. Межхозы:

- кормовые культуры посева текущего года и прошлых лет – всего;
- вся посевная площадь под урожай текущего года, 1990 г.⁴

Размеры посевных площадей и фактического сбора урожая картофеля и овоще-бахчевых культур. *Итого* по населению:

- картофель;
- картофель и овоще-бахчевые культуры – всего);
- овощи – всего;
- вся посевная площадь под урожай текущего года.

Размеры посевных (убранных) площадей и фактического сбора урожая кормовых культур. *Итого* по населению:

- из общей посевной площади посеяно в междурядьях садов.

Размеры убранных площадей и фактического сбора урожая сенокосов и культурных пастбищ. *Итого* по населению:

- сено естественных сенокосов – всего;

³ БУОО ГАОО. Ф. Р-2583. Оп. 1. Д. 9073. 22 л. б/н.

⁴ Там же. Д. 9493. 13 л. б/н.

– всего сенокосов (с учетом заготовленного колхозниками, рабочими совхоза, межхоза). Весь сбор в переводе на сено;

– всего сенокосов (с учетом заготовленного колхозниками, рабочими совхоза, межхоза) на сено, 1990 г.⁵

Орошаемые размеры посевных площадей и фактического сбора урожая зерновых культур. Все категории хозяйств:

- озимые зерновые культуры;
- пшеница озимая;
- рожь озимая;
- зерновые и зернобобовые культуры;
- зерновые и зернобобовые культуры (без кукурузы).

Орошаемые размеры посевных (убранных) площадей и фактического сбора урожая кормовых культур. Все категории хозяйств:

- однолетние травы на сено;
- многолетние травы посева прошлых лет на сено (всех укосов);
- многолетние травы посева прошлых лет на выпас;
- многолетние травы посева прошлых лет на семена (всех укосов);
- кормовые культуры посева текущего года и прошлых лет – всего;
- вся посевная площадь под урожай текущего года;
- валовая продукция сельского хозяйства, 1991 г.⁶

Информация о колхозах по районам Орловской области, подвергшимся радиоактивному загрязнению:

- валовая продукция сельского хозяйства;
- производство всех зерновых культур;
- производство картофеля;
- производство кормовых культур;
- производство молока;
- прибыли и убытки по всей деятельности;
- финансовые результаты от реализации продукции;
- результаты от реализации продукции сельского хозяйства, 1991 г.⁷

То же, включая структуру посевных площадей, 1991 г.⁸

Болховский район

Размеры посевных площадей и фактического сбора урожая. Колхозы и совхозы – всего:

- в первоначально-оприходованном весе зерновых культур;
- картофеля и овоще-бахчевых культур.

⁵ БУОО ГАОО. Ф. Р-2583. Оп. 1. Д. 9500. 8 л. б/н.

⁶ Там же. Д. 9831. Л. 2–4, 11, 16, 32, 39, 46, 47, 1 л. б/н.

⁷ Там же. Д. 8700. Л. 3, 5, 8, 10, 14, 23–25.

⁸ Там же. Д. 8795. Л. 3, 5, 6, 9, 11, 12, 14, 15, 24–26.

Размеры посевных (убранных) площадей и фактического сбора урожая кормовых культур.

Интенсивные технологии, 1988 г.⁹

Знаменский район

Размеры посевных площадей и фактического сбора урожая (в первоначально-оприходованном весе) зерновых культур. Колхозы и совхозы – всего, 1988 г.¹⁰

Дмитровский, Кромской районы

Размеры посевных площадей и фактического сбора урожая. Колхозы и совхозы – всего:

- в первоначально-оприходованном весе зерновых культур;
- картофеля и овоще-бахчевых культур.

Размеры посевных (убранных) площадей и фактического сбора урожая кормовых культур.

Размеры убранных площадей и фактического сбора урожая сенокосов и культурных пастбищ, 1988 г.¹¹

Миценский, Новосильский, Залегощенский, Глазуновский, Верховский районы

Размеры посевных площадей и фактического сбора урожая. Колхозы и совхозы – всего:

- в первоначально-оприходованном весе зерновых культур;
- картофеля и овоще-бахчевых культур.

Размеры убранных площадей и фактического сбора урожая сенокосов и культурных пастбищ.

Интенсивные технологии, 1988 г.¹²

Структура базы данных

Отобранные документы (в PDF-формате) – файлы репозитория были сгруппированы в следующей иерархии: фонд/опись/дело.

Наименования файлов репозитория даны символьной строкой следующего вида:

{FFFFFF}_ {OO}_ {DDDD}_ {LLL[+LLL-LLL LLLob+LLLbn]}_ {GGGG}.pdf,

где {FFFFFF} – номер фонда в Государственном архиве;

{OO} – номер описи в фонде;

{DDDD} – номер дела в описи фонда;

{LLL[+LLL-LLL+LLL+LLLob+LLLbn]} – номер листа в деле, номера листов через дефис или через символ «+», номер обратной стороны листа

⁹ БУОО ГАОО. Ф. Р-2583. Оп. 1. Д. 9076. Л. 1, 2, 5, 7, 13.

¹⁰ Там же. Д. 9076. Л. 14.

¹¹ Там же. Д. 9076. Л. 75, 76, 79, 1 л. б/н., 83, 84, 87, 100, 101, 104, 107–109.

¹² Там же. Д. 9076. Л. 126, 127, 130, 135, 138–140, 143, 147, 148, 151–153, 156, 160, 161, 164.176, 177, 180, 184, 185, 188, 213, 214, 217, 221, 222, 224.

с приставкой символа «ob» и/или количество листов без номеров с приставкой символа «bp» через символ «+»;

{GGGG} – год создания документа.

Пример наименований файла репозитория: Ф. Р-2583. Оп. 1. Д. 8700. Л. 3, 5, 8, 10, 14, 23–25 (1991 г.) – имя файла:

R-2583_1_8700_3+5+8+10+14+23-25_1991.pdf.

База данных включает в себя массив репозитория файлов, структура которой подробно описана в [9].

Созданная электронная база документов Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Орловской области (1988–1991 гг.), относящихся к агропромышленному производству на территориях сельскохозяйственного назначения, загрязненных ^{137}Cs в результате аварии на ЧАЭС, входит в состав межведомственной информационной системы по вопросам обеспечения радиационной безопасности населения и проблемам преодоления последствий радиационных аварий [10].

Выводы

Для оценки эффективности применения сельскохозяйственных реабилитационных мероприятий на загрязненных радионуклидами территориях Орловской области проведены поиск, отбор и сканирование наиболее важных документов по тематике «Защитные и реабилитационные мероприятия, связанные с ликвидацией последствий аварии на ЧАЭС» в агропромышленном комплексе Орловской области в 1988–1991 гг.

На основании подготовленных электронных копий документов фонда Государственного архива Орловской области Р-2583 «Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Орловской области» создана БД репозитория архивных документов (включающая копии в PDF-формате 96 документов на 121 листе), содержащая сведения о размерах посевных (убранных) площадей и фактического сбора урожая на территориях сельскохозяйственного назначения Орловской области, загрязненных ^{137}Cs в результате аварии на ЧАЭС, в 1988–1991 гг.

Список литературы

- [1] Сивинцева Ю.В., Качалова В.А. Чернобыль. Пять трудных лет: сборник материалов о работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в 1986–1990 гг. М.: ИздАТ, 1992. 384 с. ISBN 5-86656-006-2.
- [2] Фесенко С.В., Санжарова Н.И., Исамов Н.Н., Шубина О.А. Авария на Чернобыльской АЭС: защитные и реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве // Радиационная биология. Радиоэкология. 2021. Т. 61, № 3. С. 261–276. <http://doi.org/10.31857/S086980312103005X>. EDN: YZTHAW
- [3] Панов А.В., Санжарова Н.И., Шубина О.А., Гордиенко Е.Б., Титов И.Е. Современное состояние и прогноз загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей, подвергшихся воздействию

- аварии на Чернобыльской // Радиация и риск. 2017. Т. 26. № 3. С. 66–74. <http://doi.org/10.21870/0131-3878-2017-26-3-66-74>. EDN: ZFUBFN.
- [4] Захарченко Г.Л., Переверзева Е.Н., Васильев А.А., Полякова Е.Н., Милованов С.Н. Состояние радиационной обстановки на территории Орловской области, подвергшейся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9. № 2. С. 56–62. <http://doi.org/10.21514/1998-426X-2016-9-2-56-62>
- [5] Большова Л.А., Финогенов А.А., Ткачев В.А., Локишин А.М., Асмолов В.Г., Верпета В.И., Кузьмин С.В., Дорофеев А.Н., Панфилов А.П., Шершаков В.М., Булгаков В.Г., Вакуловский С.М., Крышев И.И., Каткова М.Н., Бурякова А.А., Козлов М.Н., Голубева Н.И., Иванов В.В., Линге И.И., Стрижов В.Ф., Мелихова Е.М., Абалкина И.Л., Симонов А.В., Марченко Т.А., Алымов А.В., Аккужина Г.Г., Романович И.К., Балонов М.И., Брук Г.Я., Галстян И.А., Грачев М.И., Саленко Ю.А., Иванов В.К., Максюттов М.А., Чекин С.Ю., Туманов К.А., Иванов С.А., Каприн А.Д., Санжарова Н.И., Фесенко С.В., Шубина О.А., Прудников П.В., Мартынюк А.А., Родин С.А., Раздайковин А.Н., Радин А.И., Ромашкин Д.Ю. Российский национальный доклад: 35 лет чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. 1986–2021 / под общ. ред. М.: Академ-Принт, 2021. 104 с. ISBN: 978-5-907375-02-4. EDN: UBYFPY.
- [6] Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Панов А.В. Реабилитационные мероприятия в агропромышленном комплексе как основа социально-экономического развития территорий, подвергшихся воздействию аварии на Чернобыльской АЭС // Вестник РАСХН. 2009. № 6. С. 28–30.
- [7] Панов А.В., Ратников А.Н., Свириденко Д.Г., Исамов Н.Н., Цыгвинцев П.Н. Реабилитация сельскохозяйственных земель при масштабном радиоактивном загрязнении (к 35-летию аварии на Чернобыльской АЭС) // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 3. С. 46–50. <http://doi.org/10.31857/S2500262721030091>. EDN: WZZEFZ.
- [8] Куприянова И.А., Каткова М.Н. Представление архивной информации о ликвидации последствий радиационных аварий на интернет-портале // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2017. Т. 63, № 2. С. 18–24. http://doi.org/10.12737/article_5ac61ad45ede28.13528430. EDN: YWFBMR
- [9] Апанасюк О.Н., Скоробогатов А.М., Буланцева Т.А. Создание репозитория и базы данных документов по преодолению последствий аварии на Чернобыльской АЭС в Брянской области в 1986–1993 гг. // XXI век. Техносферная безопасность. 2023. Т. 8, № 1. С. 27–47. <http://doi.org/10.21285/2500-1582-2023-1-27-47>. EDN: QLPKYT.
- [10] Скоробогатов А.М., Апанасюк О.Н., Буланцева Т.А. Опыт создания межведомственной информационной системы по вопросам преодоления последствий радиационных аварий // Наука. Исследования. Практика. Технические и естественные науки. Социально-экономические и гуманитарные науки. Психология. Спорт. Здравоохранение. Образование. Культура. Общество. Безопасность. Информатика. Техника. Управление (г. Санкт-Петербург, 26–31 августа 2021 года). СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2021. С. 319–324. <http://doi.org/10.37539/AUG298.2021.14.75.037>. EDN: DYLKTC.

References

- [1] Sivintseva YuV., Kachalova VA. *Chernobyl. Five difficult years. In Collection of materials on the liquidation of the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant in 1986–1990*. Moscow; 1992. 384 p. (In Russ.). ISBN: 5-86656-006-2.

- [2] Fesenko SV, Sanzharova NI, Isamov NN, Shubina OA. Accident at Chernobyl NPP: countermeasures and remedial actions in agriculture. *Radiacionnaja biologija. Radiojelogija*. 202;61(3):261-276 (In Russ.). <http://doi.org/10.31857/S086980312103005X>. EDN: YZTHAW.
- [3] Panov AV, Sanzharova NI, Shubina OA, Gordienko EB, Titov IE. Contamination of agricultural lands in Bryansk, Kaluga, Orel and Tula regions with ¹³⁷Cs as a result of the Chernobyl Accident: current status and prognosis. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*. 2017;26(32):66–74 (In Russ.). <http://doi.org/10.21870/0131-3878-2017-26-3-66-74>. EDN: ZFUBFN.
- [4] Zakharchenko GL, Pereverzeva EN, Vasilev AA, Polyakova EV, Milovanov SN. Radiation conditions in the Oryol region territory impacted by radioactive contamination caused by the Chernobyl NPP accident. *Radiatsionnaya gygiena – Radiation Hygiene*. 2016;9(2):56–62 (In Russ.). <http://doi.org/10.21514/1998-426X-2016-9-2-56-62>
- [5] Finogenov AA, Tkachev VA, Lokshin AM, Asmolov VG, Verpeta VI, Kuzmin SV, Dorofeev AN, Panfilov AP, Shershakov VM, Bulgakov VG, Vakulovsky SM, Kryshev II, Katkova MN, Buryakova AA, Kozlov MN, Golubeva NI, Ivanov VV, Linge II, Strizhov VF, Melikhova EM, Abalkina IL, Simonov AB, Marchenko TA, Alymov AV, Akkuzhyna GG, Romanovich IK, Balonov MI, Bruk GYa, Galstyan IA, Grachev MI, Salenko UA, Ivanov VK, Maksyutov MA, Chekin SYU, Tumanov TA, Ivanov SA, Kaprin AD, Sanzharova NI, Fesenko SV, Shubina OA, Prudnikov PV, Martynyuk AA, Rodin SA, Razdaivodin AN, Radin AI, Romashkin DYU. *Russian national report: 35 years of the Chernobyl accident. Results and prospects for overcoming its consequences in Russia. 1986–2021*. Moscow: Akadem-Print; 2021. 104 p. (In Russ.). ISBN 978-5-907375-02-4. EDN: UBYFPY.
- [6] Aleksakhin RM, Sanzharova NI, Panov AV. Rehabilitation Measures in the Agro-Industrial Complex as a Basis for Socio-Economic Development of the Territories Affected by the Chernobyl NPP. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2009;(6):28–30 (In Russ.).
- [7] Panov AV, Ratnikov AN, Sviridenko DG, Isamov NN, Tsygvintsev P.N. Agricultural land remediation during large scale radioactive contamination (to the 35th anniversary of the Chernobyl NPP accident). *Russian Agricultural Sciences*. 2021;(3):46-50 (In Russ.). <http://doi.org/10.31857/S2500262721030091>. EDN: WZZEFZ.
- [8] Kupriyanova IA, Katkova MN. Presentation of Archival Information on the Overcoming the Consequences of Radiation Accidents through Internet-Portal. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2018;63(2):18–24 (In Russ.). http://doi.org/10.12737/article_5ac61ad45ede28.13528430. EDN: YWFBMR.
- [9] Apanasyuk ON, Skorobogatov AM, Bulantseva TA. Creating a repository and a database for overcoming consequences of the Chernobyl accident in Bryansk region in 1986–1993. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost' = XXI century. Technosphere Safety*. 2023;8(1):27–47 (In Russ.). <http://doi.org/10.21285/2500-1582-2023-1-27-47>. EDN: QLPKYT.
- [10] Skorobogatov AM, Apanasyuk ON, Bulantseva TA. Experience in Creating an Interdepartmental Information System on Overcoming the Consequences of Radiation Accidents. Experience in creating an interdepartmental information system on overcoming the consequences of radiation accidents. *Science. Investigations. Practice. Technical and Natural Sciences. Socio-Economic Sciences and Humanities. Psychology. Sport. Health care. Education. Culture. Society. Security. Information. Technique. Management. Saint-Petersburg, 26–31 August 2021* (pp. 319–324). Saint-Petersburg; 2021. (In Russ.). <http://doi.org/10.37539/AUG298.2021.14.75.037>. EDN: DYLKTC.

Сведения об авторах:

Апанасюк Олег Николаевич, заведующий лабораторией развития целевых программ комплексной безопасности и защиты населения, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Российская Федерация, 115191, Москва, ул., Большая Тульская, д. 52, ORCID: 0000-0002-0362-3698, eLIBRARY SPIN-код: 1594-7421. E-mail: aon@ibrae.ac.ru

Скоробогатов Анатолий Михайлович, научный сотрудник лаборатории радиозологии, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Российская Федерация, 115191, Москва, ул. Большая Тульская, д. 52, ORCID: 0000-0002-7538-2707, eLIBRARY SPIN-код: 8068-1619. E-mail: sam@ibrae.ac.ru

Bio notes:

Oleg N. Apanasyuk, Head of the Laboratory for the Development of Targeted Programs for Integrated Security and Protection of the Population, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, 52 Bolshaya Tulsкая St, Moscow, 115191, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0362-3698, eLIBRARY SPIN-код: 1594-7421. E-mail: aon@ibrae.ac.ru

Anatoly M. Skorobogatov, Scientific Researcher at the Laboratory of Radioecology, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, 52 Bolshaya Tulsкая St, Moscow, 115191, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-7538-2707, eLIBRARY SPIN-код: 8068-1619. E-mail: sam@ibrae.ac.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-184-197

EDN: XPZVPD

УДК 504.3.054


Научная статья / Research article

Оценка загрязнения атмосферного воздуха продуктами сгорания угля и мазута на примере квартальных котельных г. Улан-Удэ

О.Н. Чудинова¹, Т.В. Чередова²,
А.А. Бутакова¹, А.П. Беспрозванных³

¹Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
Улан-Удэ, Российская Федерация

²Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Российская Федерация

³«Улан-Удэнский энергетический комплекс» филиал ПАО «ТГК-14»,
Улан-Удэ, Российская Федерация
chudinova1980@inbox.ru

Аннотация. Улан-Удэ ежегодно входит в приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха. Основными стационарными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу г. Улан-Удэ являются предприятия теплоэнергетики. Их вклад в общее загрязнение атмосферы города стационарными источниками составляет около 45 %. В качестве топлива используются каменный и бурый уголь, мазут. Целью исследования было изучение влияния различных видов топлива на загрязнение атмосферного воздуха по результатам расчетного моделирования и экспериментальной оценки качества снежного покрова. Объектами исследования являлись квартальные котельные, расположенные в г. Улан-Удэ (пос. Аэропорт, пос. Стеклозавод). Расчетное моделирование проведено с использованием Унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы «Web-Призма-предприятие». Анализ микроэлементного состава талой снеговой воды выполнен методом индуктивно-связанной

© Чудинова О.Н., Чередова Т.В., Бутакова А.А., Беспрозванных А.П., 2024



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

плазмы на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500ce. Результаты рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере показали превышение расчетных приземных концентраций при сжигании угля по твердым и газообразным веществам по сравнению с аналогичными концентрациями, создаваемыми при сжигании мазута, в 2,45–141,4 раза. По экспериментальным исследованиям снежного покрова, напротив, котельная, работающая на мазуте, вносит больший вклад в загрязнение ($Z_c = 1563,80$ – очень высокий уровень загрязнения) по сравнению с котельной, использующей в качестве топлива уголь ($Z_c = 107,61$ – средний уровень загрязнения). Причинами такого расхождения могут являться несовершенства методики расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу: нормированию подлежат твердые частицы (угольная или мазутная зола) без учета их химического состава; алгоритм рассеивания выбросов не учитывает плотность застройки вокруг источника выбросов в атмосфере.

Ключевые слова: котельная, загрязнение атмосферы, уголь, мазут, рассеивание загрязняющих веществ, снежный покров

Вклад авторов. Чудинова О.Н. – концепция исследования, планирование экспериментальной части, обзор литературы, обобщение результатов исследования, общая научная редакция; Чередова Т.В. – обработка, анализ и интерпретация результатов анализа элементного состава жидкой фазы снега; Бутакова А.А. – проведение расчетов рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, их обработка и интерпретация; Беспрозванных А.П. – отбор проб снега, подготовка проб к лабораторному анализу.

История статьи: поступила в редакцию 10.11.2023; доработана после рецензирования 10.01.2024; принята к публикации 12.02.2024.


Для цитирования: Чудинова О.Н., Чередова Т.В., Бутакова А.А., Беспрозванных А.П. Оценка загрязнения атмосферного воздуха продуктами сгорания угля и мазута на примере квартальных котельных г. Улан-Удэ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 184–197. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-184-197>

Assessment of atmospheric air pollution by coal and fuel oil combustion products and fuel oil on the example of neighborhood boiler plants in Ulan-Ude

Olga N. Chudinova¹  , Tatyana V. Cheredova² ,
Anna A. Butakova¹ , Aleksey P. Besprozvannykh³ 

¹East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russian Federation

²Dobretsov Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Ulan-Ude, Russian Federation

³«Ulan-Ude Energy Complex», branch of PJSC «TGC-14», Ulan-Ude, Russian Federation
chudinova1980@inbox.ru

Abstract. The city of Ulan-Ude is annually included in the priority list of cities with the highest level of atmospheric air pollution. The main stationary sources of pollutant emissions into the atmosphere of Ulan-Ude are heat and power enterprises. Their contribution to the total air pollution of the city by stationary sources is about 45%. As fuel they use hard and brown coal and fuel oil. The purpose of the presented work was to study the influence of different types of fuel on atmospheric air pollution based on the results of computational modeling and

experimental assessment of snow cover quality. The objects of the study were neighborhood boiler plants located in Ulan-Ude (Airport settlement, Glass Factory settlement). The computational modeling was carried out using the Unified program of atmospheric pollution calculation “Web-Prisma-Enterprise”. Analysis of microelement composition of melted snow water was performed by inductively coupled plasma method on Agilent 7500ce quadrupole mass spectrometer. The results of pollutant dispersion in the atmosphere showed an excess of the calculated surface concentrations at coal combustion for solid and gaseous substances compared to similar concentrations produced at fuel oil combustion by 2.45–141.4 times. In contrast, according to the experimental snow cover studies, the fuel oil-fired boiler plant contributes more pollution ($Z_c = 1563.80$ – very high pollution level) compared to the boiler plant using coal as fuel ($Z_c = 107.61$ – average pollution level). The reasons for this discrepancy may be imperfections in the methodology of calculating emissions of pollutants into the atmosphere: particulate matter (coal or fuel oil ash) is subject to regulation without taking into account their chemical composition; the algorithm of dispersion of emissions does not take into account the density of buildings around the source of emissions into the atmosphere.

Keywords: boiler house, atmospheric pollution, coal, fuel oil, dispersion of pollutants, snow cover

Authors’ contributions. *Chudinova O.N.* – research concept, planning of the experimental part, literature review, generalization of the research results, general scientific editing; *Cheredova T.V.* – processing, analysis and interpretation of the results of the analysis of the elemental composition of the liquid phase of snow; *Butakova A.A.* – carrying out calculations of pollutant dispersion in the atmosphere, their processing and interpretation; *Besprozvannykh A.P.* – snow sampling, preparation of samples for laboratory analysis.

Article history: received 10.11.2023; revised 10.01.2024; accepted 12.02.2024.

For citation: Chudinova ON, Cheredova TV, Butakova AA, Besprozvannykh AP. Assessment of atmospheric air pollution by coal and fuel oil combustion products and fuel oil on the example of neighborhood boiler plants in Ulan-Ude. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):184–197. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-184-197>

Введение

На протяжении ряда лет г. Улан-Удэ, расположенный в границах Байкальской природной территории, входит в приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха. По данным мониторинга атмосферного воздуха Бурятского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, среднегодовая концентрация бенз(а)пирена в 2022 г. составила 8,7 ПДК, по взвешенным веществам РМ10 – 1,48 ПДК, взвешенным веществам РМ2,5 – 1,68 ПДК, фенолу – 1,33 ПДК¹.

Основными стационарными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу г. Улан-Удэ являются предприятия теплоэнергетики: «Генерация Бурятии» ПАО «ТГК-14» (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2), «Улан-Удэнский энергетический комплекс» ПАО «ТГК-14», на балансе которого находятся

¹ Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Республики Бурятия в 2022 году».

33 котельные, работающие на угле, мазуте и электричестве. Вклад объектов теплоэнергетики в общее загрязнение атмосферы города стационарными источниками составляет около 45 %.

Для оценки загрязнения атмосферного воздуха в зимний период многими учеными [1-3] предлагается использовать снежный покров, который является хорошей депонирующей средой для различного вида загрязнителей. Исследования снежного покрова являются актуальными для определения химического состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферу различными источниками, изучения процессов их распределения по территории и осаждения.

Целью представленной работы было изучение влияния различного вида топлива на загрязнение атмосферного воздуха по результатам расчетного моделирования и экспериментальной оценки качества снежного покрова.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны две близкие по мощности квартальные котельные г. Улан-Удэ, работающие на разных видах топлива: котельные пос. Аэропорт и пос. Стеклозавод. При подборе исследуемых объектов одним из критериев выбора являлось отсутствие рядом прочих стационарных источников загрязнения атмосферы с наветренной стороны, а также удаленность от транспортных магистралей. Котельная пос. Аэропорт мощностью 16,245 Гкал/ч расположена в юго-западной части г. Улан-Удэ. Ближайшая жилая застройка находится на расстоянии 12 м в северо-восточном направлении от котельной. В качестве топлива используется уголь, общий расход которого составляет 33 тыс. т/год. Выброс загрязняющих веществ в атмосферу осуществляется через трубу высотой 30 м диаметром 1,5 м. В качестве пылегазоочистного оборудования установлены батарейные циклоны БЦ-2-7*(5+3) с эффективностью очистки 85,47–88,03 % (3 шт.) и циклон ЦН-11-02 с эффективностью очистки 81,07 % (1 шт.). Котельная пос. Стеклозавод мощностью 11,943 Гкал/ч расположена в северо-западной части г. Улан-Удэ, обеспечивает теплом и горячей водой одноименный жилой микрорайон. Ближайшие жилые дома находятся на расстоянии 109 м в северном направлении от котельной. В качестве топлива используется мазут, годовой расход которого составляет 8,48 тыс. т. Выброс загрязняющих веществ в атмосферу осуществляется через трубу высотой 45 м, диаметром 1,0 м. Пылегазоочистное оборудование отсутствует. Обе рассматриваемые котельные относятся к III категории объектов негативного воздействия на окружающую среду².

² Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 № 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий».

Для получения информации о возможных максимальных концентрациях загрязняющих веществ в атмосферном воздухе при сжигании топлива проведены расчеты рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере от источников выбросов с использованием Унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы «Web-Призма-предприятие», согласованной в соответствии с приказом Минприроды России³ и реализующей методику разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух⁴.

Данные о метеорологическом режиме местности, метеорологические характеристики и коэффициенты, необходимые для проведения расчетов загрязнения атмосферы (значение коэффициента стратификации атмосферы, средняя максимальная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца года, средняя температура наружного воздуха за самый холодный период, скорость ветра u^* (м/с), повторяемость превышения которой по средним многолетним данным составляет не более 5 %), приняты по данным Бурятского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Расчеты полей приземных концентраций загрязняющих веществ проведены в соответствии с методами расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) в атмосферном воздухе⁵ в условном расчетном прямоугольнике 600×600 м с шагом расчетной сетки 50×50 м.

Пробы снега в зоне воздействия рассматриваемых котельных отбирались в конце периода снегонакопления в соответствии с Методическими рекомендациями⁶ из шурфов на всю мощность снежного покрова, за исключением пятисантиметрового слоя над почвой, для избежания загрязнения проб литогенной составляющей во время формирования снегового покрова. При отборе проб снега замеряли площадь и глубину шурфа. Вес каждой пробы – около 10 кг. Для исследования были отобраны по 5 проб в зоне возможного воздействия каждой котельной: 4 пробы – вокруг каждой котельной (по румбам) на расстоянии от 50 до 150 м от границы объекта, пятая проба – на границе ближайшей жилой застройки. В качестве фоновой была отобрана проба в лесном массиве пригорода г. Улан-Удэ, где отсутствуют антропогенные источники загрязнения.

³ Приказ Минприроды России от 20.11.2019 № 779 «Об утверждении порядка проведения экспертизы программы для электронных вычислительных машин, используемой для расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (за исключением выбросов радиоактивных веществ)».

⁴ Приказ Минприроды России от 11.08.2020 № 581 «Об утверждении методики разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух».

⁵ Приказ Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе».

⁶ Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (утв. главным государственным санитарным врачом СССР от 15.05.1990 № 5174-90).

Анализ микроэлементного состава талой снеговой воды выполнен методом индуктивно-связанной плазмы на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500 се в Лимнологическом институте СО РАН (г. Иркутск) согласно методике [4].

Для оценки степени загрязнения снегового покрова были выбраны геохимические показатели, учитывающие распределение как отдельных элементов, участвующих в загрязнении, так и их ассоциаций, связанных с полиэлементностью химического состава техногенных потоков. К ним относятся коэффициент концентрации химических элементов (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c). Расчет K_c и Z_c был проведен в соответствии с методическими рекомендациями⁷ по формулам (1, 2):

$$K_c = \frac{C_i}{C_\phi}, \quad (1)$$

где K_c – коэффициент концентрации i -го вещества;

C_i – концентрация i -го элемента в исследуемой среде, мг/л;

C_ϕ – фоновая концентрация i -го элемента, мг/л;

$$Z_c = \sum_{i=1}^n (K_{ci} - (n - 1)), \quad (2)$$

где n – количество исследуемых элементов.

По показателю Z_c выделяют четыре уровня загрязнения снегового покрова: низкий ($Z_c = 32$ – 64), средний ($Z_c = 64$ – 128), высокий ($Z_c = 128$ – 256), очень высокий ($Z_c > 256$).

Обсуждение и результаты

Состав выбросов загрязняющих веществ на предприятиях теплоэнергетики зависит от крупности (для твердого топлива), влажности, зольности, химического состава топлива, который, в свою очередь, связан с месторождением углеводородного сырья. На предприятиях теплоэнергетики Республики Бурятия используется, как правило, каменный уголь Тугнуйского месторождения, бурый уголь Бородинского, Загустайского, Окино-Ключевского, Гусиноозерского, Дабан-Горхонского месторождений [5; 6]. Отличительной особенностью вышеперечисленных углей является повышенная зольность, достигающая 22 % [7–11].

Согласно утвержденной методике нормирования⁴ выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, при сжигании угля в атмосферный воздух с дымовыми газами поступают бенз(а)пирен, зола угольная (пыль неорганическая, содержащая 70–20 % двуокиси кремния), углерод черный, азота диоксид, азота оксид, серы диоксид, углерода оксид. При сжигании малосернистого

⁷ Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (утв. главным государственным санитарным врачом СССР от 15.05.1990 № 5174-90).

мазута в атмосферный воздух поступают бенз(а)пирен, мазутная зола теплоэлектростанций, углерод черный, азота диоксид, азота оксид, серы диоксид, углерода оксид.

По результатам проведенных расчетов приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе выявлено неравномерное распространение полей данных концентраций. Распределение расчетных концентраций на примере твердых веществ представлено на рис. 1–3.

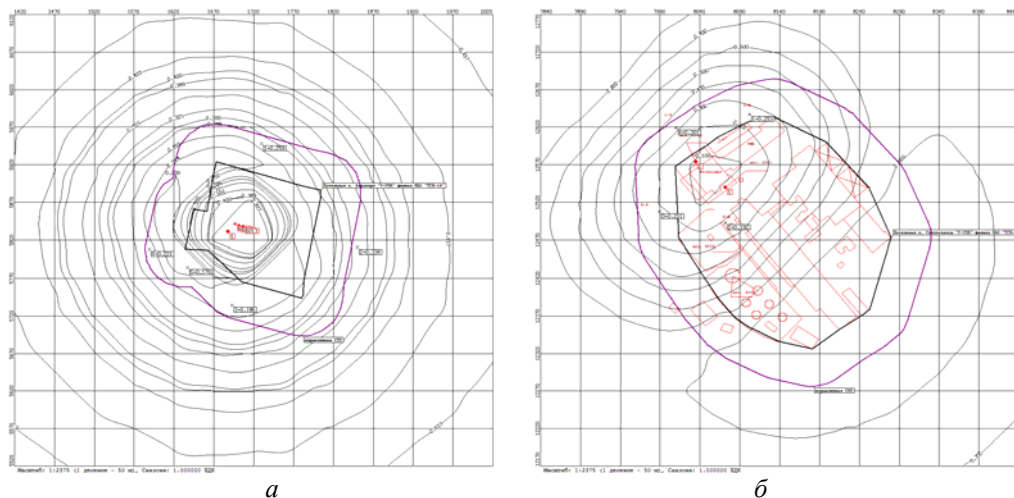


Рис. 1. Расчетные концентрации золы:
а – котельная пос. Аэропорт (зола угольная); б – котельная пос. Стеклозавод (зола мазутная)
Источник: составлено авторами

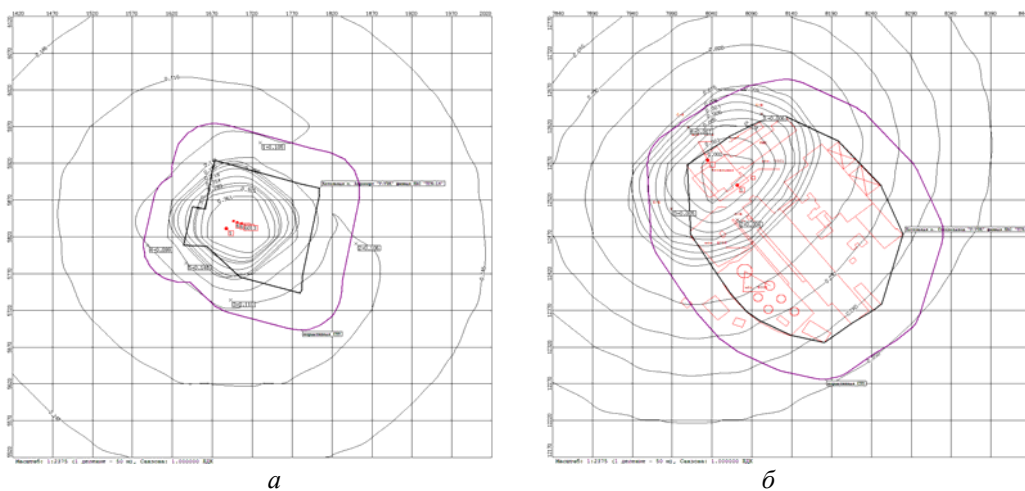


Рис. 2. Расчетные концентрации углерода черного:
а – котельная пос. Аэропорт; б – котельная пос. Стеклозавод
Источник: составлено авторами

Концентрация угольной золы от котельной пос. Аэропорт изменяется от 0,0538 до 0,1002 мг/м³ (среднее содержание составляет 0,0707 мг/м³). Поля концентраций угольной золы с максимальными показателями сосредоточены в восточной части от котельной, максимум составил 0,333 ПДК. Значения

выявленных концентраций мазутной золы теплоэлектростанций в атмосферном воздухе от котельной пос. Стеклозавод изменяются в диапазоне от 0,0003 до 0,0006 мг/м³ (среднее содержание – 0,0005 мг/м³). Поля концентраций данного вещества с максимальными показателями сосредоточены в северо-западной части от котельной, максимум составил 0,301 ПДК.

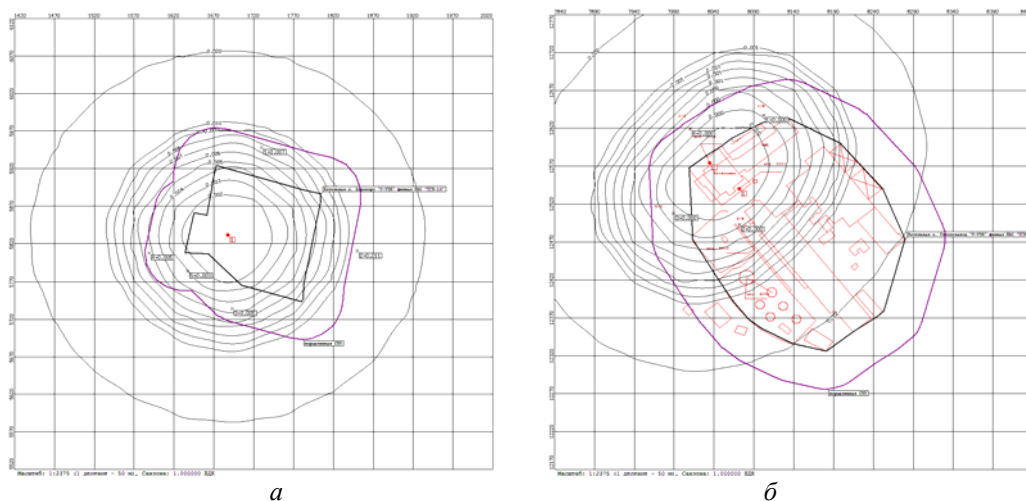


Рис. 3. Расчетные концентрации бенз(а)пирена:
 а – котельная пос. Аэропорт; б – котельная пос. Стеклозавод
 Источник: составлено авторами

Значения концентрации углерода черного (сажи) в атмосферном воздухе от котельной пос. Стеклозавод колеблются в диапазоне от 0,0006 до 0,0009 мг/м³ (среднее значение – 0,0008 мг/м³), от котельной пос. Аэропорт – от 0,0149 до 0,0222 мг/м³ (среднее значение – 0,0171 мг/м³). Поля концентраций углерода черного с максимальными показателями сосредоточены от котельной пос. Стеклозавод в северо-западной части, а от котельной п. Аэропорт – в юго-западной части (максимум – 0,148 ПДК). Средняя расчетная концентрация данного вещества от котельной пос. Аэропорт превышает аналогичную от пос. Стеклозавод в 21,38 раза.

Значения концентраций бенз(а)пирена в атмосферном воздухе от котельной пос. Стеклозавод изменяются от $2,209 \times 10^{-9}$ до $3,331 \times 10^{-9}$ мг/м³ (среднее значение – $2,718 \times 10^{-9}$ мг/м³), от котельной пос. Аэропорт – от $2,601 \times 10^{-8}$ до $1,124 \times 10^{-7}$ мг/м³ (среднее значение – $6,199 \times 10^{-8}$ мг/м³). Средняя расчетная концентрация бенз(а)пирена от котельной пос. Аэропорт превышает аналогичную от пос. Стеклозавод в 22,81 раза.

Анализ расчетных концентраций газообразных веществ, выбрасываемых в атмосферных воздух исследуемыми объектами (табл. 1), показал, что по всем веществам средние значения концентраций, создаваемых в атмосфере при сжигании угля, выше концентраций, образующихся при сжигании мазута: по диоксиду азота – в 4,06 раза, оксиду азота – в 4,07 раза, диоксиду серы – в 2,45 раза, оксиду углерода – в 20,23 раза.

Таблица 1. Расчетные концентрации газообразных веществ, создаваемые выбросами в атмосферу при сжигании различного топлива

Наименование исследуемого объекта	Расчетная концентрация газообразных веществ, мг/м ³			
	NO ₂	NO	SO ₂	CO
Котельная пос. Аэропорт (вид топлива – уголь)	<u>0.0049–0.0215</u> 0,0119	<u>0.0008–0.0035</u> 0,0019	<u>0.0165–0.0712</u> 0,0392	<u>0.0284–0.1229</u> 0,0678
Котельная пос. Стеклозавод (вид топлива – мазут)	<u>0.0024–0.0036</u> 0,0029	<u>0.0004–0.0005</u> 0,00047	<u>0.0128–0.0200</u> 0,0160	<u>0.0026–0.0041</u> 0,0034

Примечание. В числителе приведен диапазон расчетных концентраций, в знаменателе – среднее значение.

Источник: составлено авторами.

Для изучения воздействия загрязнения атмосферы предприятиями теплоэнергетики проведены исследования элементного состава снежного покрова. При установлении перечня анализируемых показателей элементного состава снеговой воды были использованы сведения о химическом составе исходного топлива.

Согласно отчету по инвентаризации в котельной пос. Аэропорт используется каменный уголь марки ДР Тугнуйского месторождения, бурый уголь марки 2 БПКО Бородинского месторождения. Петрографический состав представлен в основном витринитом (84 %), семивитринитом (2 %), липтинитом (1 %), инертинитом (5 %). Усредненный элементный состав угля в рабочем состоянии включает в себя макроэлементы: С, Н, N, O, P, Cl, As, F и микроэлементы: Zn, Cr, Co, Ni, Mn, Mo, Cu, Ba, Sr. Химический состав летучей золы угля представляет собой смесь оксидов литофильных (Si, Al, Ca, Mg, Ti, P, Na, K), халькофильных (S) и сидерофильных (Fe) элементов (по классификации В.М. Гольдшмидта). Летучая зола углей содержит в себе также редкоземельные металлы. Согласно исследованиям [12], содержание редкоземельных элементов в летучей золе может составлять (г/т): Y – 37,4, La – 53,5, Ce – 141,8, Pr – 9,7, Nd – 42,8, Sm – 9,9, Eu – 1,4, Gd – 9,7, Tb – 1,31, Dy – 8,2, Ho – 1,66, Er – 5,4, Yb – 4,2. Также в летучей золе обнаружены Sr – 2176 г/т, Hf – 6,6 г/т.

Наибольшее распространение среди жидких видов топлива на предприятиях теплоэнергетики г. Улан-Удэ, включая котельную пос. Стеклозавод, получил мазут малосернистый марки М-100. Макроэлементный состав мазута западно-сибирского месторождения [13] включает в себя С (87,4 %), Н (8,8 %), S (2,51 %), N (0,1 %), O (1,5 %). Химический состав зольных остатков, образующихся при сжигании мазута М-100 [14], состоит преимущественно из Fe – 63 %, V – 18,4 %, S – 11,5 %, Ni – 5,9 %, Ca – 0,7 %, Zn – 0,2 %, Mo – 0,2 %.

Таким образом, перечень контролируемых показателей для анализа составил 36 элементов: P, Cl, As, Zn, Cr, Co, Ni, Mn, Mo, Cu, Ba, Sr, Si, Al, Ca, Mg, Ti, Na, K, S, Fe, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Hf, V.

Основываясь на потенциальной повышенной радиоактивности углеводородного сырья, подтвержденной рядом исследований [15–17], к перечню контролируемых показателей был добавлен U (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика снегового покрова в районе исследуемых объектов

Элемент	Фоновая концентрация C_{ϕ} , мкг/л	Котельная пос. Аэропорт		Котельная пос. Стеклозавод	
		Диапазоны концентраций в снеговой воде, мкг/л	Коэффициент концентрации $K_{c(\max)}$	Диапазоны концентраций в снеговой воде, мкг/л	Коэффициент концентрации $K_{c(\max)}$
Na	450	1550–1820	4,04	1190–1740	3,87
Mg	230	1390–2100	9,13	590–1710	7,43
Al	12,7	12,4–37	2,91	36–1560	122,83
Si	200	1040–1290	6,45	230–520	2,60
P	30	27–29	0,97	10,5–18,7	0,62
S	770	3600–5300	6,88	4400–17800	23,12
Cl	950	1630–1730	1,82	950–1830	1,93
K	350	600–870	2,49	610–3700	10,57
Ca	2100	10400–15400	7,33	4400–10900	5,19
Ti	0,74	0,31–0,51	0,69	0,42–0,85	1,15
V	0,56	3,2–3,7	6,61	5,5–16,4	29,29
Cr	0,16	0,13–0,18	1,13	0,2–2,8	17,50
Mn	8,6	0,89–0,97	0,11	59–122	14,19
Fe	24	14,1–23	0,96	28–1800	75,00
Co	0,116	0,066–0,089	0,77	0,76–2,9	25,00
Ni	0,32	0,42–0,56	1,75	20–148	462,50
Cu	1,61	0,19–1,4	0,87	1,11–4,4	2,73
Zn	17,5	8,1–17,2	0,98	22–64	3,66
As	0,33	3,1–3,5	10,61	0,32–0,62	1,88
Sr	11,9	200–320	26,89	41–97	8,15
Y	0,016	0,01–0,024	1,50	0,015–0,73	45,63
Mo	0,88	2,2–3,4	3,86	0,54–1,04	1,18
Ba	9,2	39–48	5,22	29–62	6,74
La	0,011	0,0058–0,013	1,18	0,012–1,9	172,73
Ce	0,018	0,0028–0,018	1,00	0,018–1,65	91,67
Pr	0,0024	0,0007–0,0024	1,00	0,0027–0,159	66,25
Nd	0,006	0,0009–0,008	1,33	0,008–0,52	86,67
Sm	0,007	0,007–0,019	2,71	0,006–0,12	17,14
Eu	0,0005	0,0035–0,0037	7,40	0,0016–0,022	44,00
Gd	0,0024	0,00019–0,0026	1,08	0,0022–0,111	46,25
Tb	0,0005	0,00015–0,0005	1,00	0,0006–0,017	34,00
Dy	0,0016	0,00039–0,0024	1,50	0,0023–0,09	56,25
Ho	0,0009	0,00019–0,0005	0,56	0,0008–0,018	20,00
Er	0,0014	0,00029–0,0013	0,93	0,0018–0,056	40,00
Yb	0,0012	0,0005–0,0012	1,00	0,002–0,042	35,00
Hf	0,0009	0,0011–0,0013	1,44	0,0007–0,0036	4,00
U	0,01	0,063–0,175	17,50	0,025–0,131	13,10
Суммарный показатель загрязнения Z_c		107,61 / средний		1563,80 / очень высокий	

Источник: составлено авторами.

Результаты расчетов показали, что выбросы котельных оказывают значительное влияние на химический состав снежного покрова. При этом котельная пос. Стеклозавод вносит большой вклад в загрязнение по сравнению с

котельной пос. Аэропорт, что подтверждается суммарным показателем загрязнения снегового покрова, который составил для котельной п. Стеклозавод $Z_c = 1563,80$ (очень высокий уровень загрязнения), для котельной пос. Аэропорт – $Z_c = 107,61$ (средний уровень загрязнения). Высокая степень загрязнения снега вокруг котельной пос. Стеклозавод может быть объяснена рядом причин: во-первых, в котельной не установлено пылегазоочистное оборудование, что способствует выбросу загрязняющих веществ в атмосферу без предварительной очистки; во-вторых, мазут является одним из «грязных» видов топлива с точки зрения образования продуктов сгорания без специальной его подготовки перед сжиганием, что подтверждено некоторыми работами [18; 19]; в-третьих, плотная застройка вокруг котельной препятствует рассеиванию загрязняющих веществ, что не учитывается при расчетном моделировании. Среди элементов, концентрации которых максимально превышают фоновые показатели при сжигании мазута, следует выделить Al ($K_c = 122,83$), S ($K_c = 23,12$), V ($K_c = 29,29$), тяжелые металлы: Ni ($K_c = 462,50$), Fe ($K_c = 75,00$), Co ($K_c = 25,0$), Cr ($K_c = 17,50$), Mn ($K_c = 14,19$), Zn ($K_c = 3,66$), Cu ($K_c = 2,73$), группу редкоземельных элементов ($K_c = 172,73$ по La).

Коэффициенты концентрации большинства элементов снегового покрова, отобранного вокруг котельной пос. Аэропорт, работающей на угле, варьируются в относительно узком диапазоне: от 1,13 (для Cr) до 9,13 (для Mg). Аномально высокие концентрации наблюдаются для As ($K_c = 10,61$), Sr ($K_c = 26,89$). Данные элементы относятся к примесным элементам углей. Содержание стронция в углях [20] достигает для бурых углей (г/т): 120 ± 10 (уголь) и 740 ± 70 (зола); для каменных: 100 ± 7 (уголь), 730 ± 50 (зола). На околоскладском фоне выделяются угли с повышенными средними содержаниями Sr, составляющими 240-320 г/т. При сжигании углей на ТЭЦ содержащийся в них мышьяк образует ортоарсенаты, летящие с дымовыми газами и частично оседающие на частицах летучей золы [21]. Незначительные коэффициенты концентраций химических элементов в снеговом покрове вокруг данной котельной могут быть связаны с благоприятными топографическими условиями местности, способствующими рассеиванию загрязняющих веществ в атмосфере.

Снег вокруг обеих котельных содержит высокие значения U: на котельной пос. Стеклозавод превышение над фоном составляет 13,1 раза, на котельной пос. Аэропорт – 17,5 раза.

Заключение

Результаты рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере от квартальных котельных г. Улан-Удэ, работающих на твердом и жидком топливе, выявили, что расчетные приземные концентрации по твердым и газообразным веществам, создаваемые в атмосфере при сжигании угля, превышают аналогичные концентрации, создаваемые при сжигании мазута, в 2,45

(диоксид серы) – 141,4 (зола) раза. Однако экспериментальное исследование элементного состава жидкой фазы снега, отобранного в тех же точках, где проводилось расчетное моделирование загрязнения, показало обратную картину: котельная пос. Стеклозавод, работающая на мазуте, вносит больший вклад в загрязнение ($Z_c = 1563,80$ – очень высокий уровень загрязнения) по сравнению с котельной пос. Аэропорт, использующей в качестве топлива уголь ($Z_c = 107,61$ – средний уровень загрязнения). Причинами такого расхождения могут являться несовершенства методики расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу: нормированию подлежат твердые частицы (угольная или мазутная зола) без учета их химического состава; алгоритм рассеивания выбросов не учитывает плотность застройки вокруг источника выбросов в атмосферу.

Проведенные исследования показали, что для оценки качества атмосферного воздуха недостаточно применения только расчетных методов определения концентраций загрязняющих веществ в атмосфере. В дополнение к расчетам необходимо проводить лабораторные исследования химического состава атмосферного воздуха и снежного покрова в зоне влияния источников загрязнения.

Список литературы

- [1] Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв: монография. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 264 с.
- [2] Мищенко О.А., Шелганова А.А. Мониторинг состояния снежного покрова на территории Хабаровского края // Отходы и ресурсы. 2022. Т. 9, № 3. С. 1–10. <https://doi.org/10.15862/11ECOR322>.
- [3] Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
- [4] Чебыкин Е.П., Сороковикова Л.М., Томберг И.В. Современное состояние вод р. Селенги на территории России по главным компонентам и следовым элементам // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. Т. 20, № 5. С. 613–631.
- [5] Куклина М.В., Баяскаланова Т.А., Богданов В.Н., Уразова Н.Г. Перспективы использования малых угольных разрезов Республики Бурятия // Фундаментальные исследования. 2018. № 4. С. 98–103.
- [6] Вязова Н.Г., Шаулина Л.П., Шмидт А.Ф., Димова Л.М. Микроэлементы в углях Восточной Сибири // Химия твердого топлива. 2016. № 5. С. 45–55. <https://doi.org/10.7868/S0023117716050091>
- [7] Такайшвили, Л.Н., Агафонов Г.В. Тенденции и перспективы использования энергетических углей Восточной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 3. С. 15–28. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/3/3598>
- [8] Сидорова Г.П., Якимов А.А., Овчаренко Н.В., Гущина Т.О. Редкие и рассеянные элементы в углях Забайкалья // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25, № 2. С. 26–33. <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2019-25-2-26-33>
- [9] Сидорова Г.П., Чуркин А.А. Качество бурых углей Окино-Ключевского месторождения // Вестник ЗабГУ. 2011. № 6. С. 104–108.

- [10] Будаева А.Д., Золотов Е.В. Состав и свойства сорбентов, полученных из окисленных бурых углей Гусиноозерского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 2. С. 122–125.
- [11] Такайшвили Л.Н., Агафонов Г.В. Перспективы разработки месторождений местных углей Восточной Сибири для нужд энергетики // Борисовские чтения: материалы III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2021. С. 173–177.
- [12] Самбуева З.В., Грипак А.М. Состав, свойства и утилизация летучей золы энергетических углей // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. Пенза: Наука и Просвещение, 2020. С. 18–22.
- [13] Липантьев Р.Е., Тутубалина В.П. Влияние элементного состава нефти различных месторождений на эксплуатационные свойства мазута // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. № 9–10. С. 52–56.
- [14] Зверева Э.Р., Шагеев М.Ф., Дмитриев А.В. Использование золошлаковых отходов, образующихся при сжигании мазутов на тепловых электрических станциях // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 10, № 1(37). С. 64–73.
- [15] Бабаев Б.Д., Волианик В.В. Сравнительная оценка экологического влияния разных систем энергоснабжения // Вестник Московского энергетического института. 2014. № 4. С. 29–32.
- [16] Pak Iu., Pak D., Nuguzhinov Zh., Tebaeva A. Natural radioactivity of coal in the context of radioecological safety and rational use // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2021. No. 1. P. 97–106. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2021-1-97-106>
- [17] Сидорова Г.П., Крылов Д.А. Радиоактивность углей и золошлаковых отходов угольных электростанций // Энергия: экономика, техника, экология. 2017. № 2. С. 21–26.
- [18] Котлер В.Р. Выбросы оксидов азота при совместном сжигании угля с газом или мазутом // Теплоэнергетика. 1996. № 5. С. 47–52.
- [19] Пиляева О.В., Шепелев И.И., Головных Н.В., Жуков Е.И. Снижение выбросов угарного газа в атмосферу при сжигании мазута в технологических теплоэнергетических установках // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27, № 11. С. 4–8. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-11-4-8>
- [20] Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 538 с.
- [21] Авгушев И.В., Сидорук Е.И., Броновец Т.М. Стандартные методы испытания углей. Классификации углей. М.: Реклама мастер, 2019. 576 с.

Сведения об авторах:

Чудинова Ольга Николаевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленная экология и защита в чрезвычайных ситуациях», Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Российская Федерация, Республика Бурятия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40В, стр. 4. ORCID: 0000-0003-4160-3062, eLIBRARY SPIN-код: 8879-9145. E-mail: chudinova1980@inbox.ru

Чередова Татьяна Викторовна, младший научный сотрудник, Геологический институт им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН), Российская Федерация, Республика Бурятия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6а. ORCID: 0000-0002-8832-7731, eLIBRARY SPIN-код: 8289-9649. E-mail: cheredova-tv@yandex.ru

Бутакова Анна Александровна, преподаватель, кафедры «Промышленная экология и защита в чрезвычайных ситуациях», Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Российская Федерация, Республика Бурятия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40В, стр. 4. ORCID: 0009-0002-7607-7023, eLIBRARY SPIN-код: 9798-9181. E-mail: environment03@mail.ru

Беспрозванных Алексей Павлович, специалист по охране труда 1 категории Службы охраны труда и производственного контроля «Улан-Удэнский энергетический комплекс» филиал Публичного Акционерного Общества «Территориальная генерирующая компания № 14», Российская Федерация, Республика Бурятия, 670045, г. Улан-Удэ, ул. Тракторная, д. 11Б. ORCID: 0009-0009-9840-3812, eLIBRARY SPIN-код: 4727-9228. E-mail: aleksey.dom.com@gmail.com










DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-198-212

EDN: XSSDXL

УДК 546.28:633.358:661.691.1:669.73:669.71

Научная статья / Research article


Оценка изменения содержания кадмия и алюминия в растениях гороха посевного под влиянием селена и кремния на ранней фазе вегетации

Я.В. Пухальский^{1,2}, А.И. Ковальчук¹, С.И. Лоскутов²,
Н.И. Воробьев¹, А.И. Осипов³, Ю.В. Косульников¹,
А.П. Кожемяков¹, Ю.В. Лактионов¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, г. Пушкин, Российская Федерация

²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Агробиологический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

puhalskyan@gmail.com

Аннотация. Большое количество сельскохозяйственных угодий находится в непосредственной близости к крупным городам, а значит, промышленным предприятиям и магистральным дорогам, что приводит к неизбежному загрязнению почв тяжелыми металлами, из которых наиболее токсичным является кадмий. Также в связи со снижением темпов известкования и применения минеральных удобрений в кислых почвах происходит накопление ионов алюминия. В настоящее время ведутся поиски среди различных видов растений, проявляющих устойчивость к воздействию токсикантов и способных к постепенному выносу (фитоэкстракции) их из окружающей среды. В качестве потенциальных кандидатов, наравне со злаками (*Poáceae*) и Капустными (*Brassicáceae*), могут рассматриваться представители из семейства Бобовых (*Fabaceae*). Исследования, проведенные в данной работе с разными по толерантности генотипами гороха посевного (дикая чувствительная линия SGE и созданный на ее основе устойчивый мутант SGECDt), показали, что предпосевная обработка семян микроэлементами в виде селена и кремния по-разному подействовала на выбранные генотипы. Кремний обладал более выраженным стресс-протекторным действием, стимулирующим рост обоих видов. Однако в отдельных вариантах он снижал степень выноса и закрепления токсикантов в биомассе, что не подходит для использования его в технологии фитоэкстракции. Селен,

© Пухальский Я.В., Ковальчук А.И., Лоскутов С.И., Воробьев Н.И., Осипов А.И., Косульников Ю.В., Кожемяков А.П., Лактионов Ю.В., 2024



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

напротив, еще больше ингибировал урожайность, но способствовал большей аккумуляции алюминия в побегах. Биметаллический тип загрязнения проявился в снижении аккумуляции токсикантов в биомассе у обоих генотипов в среднем на 14,0 % в сравнении с моноэлементным типом. Обработка селеном и кремнием в целом не изменила картину, наблюдаемую нами в сравнении с моноэлементным типом загрязнения.

Ключевые слова: тяжелые металлы, *Pisum sativum*, SGE, SGECdt, загрязнение почв










Благодарности. Статья выполнена при поддержке Госзадания FGEW-2024-0009. Авторы признательны доктору биологических наук А.А. Белимову за предоставление семенного материала. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой статьи.

Вклад авторов. Пухальский Я.В., Лоскутов С.И. – концептуализация исследований, выполнение лабораторных опытов и сбор данных; Воробьев Н.И., Кожемяков А.П., Осипов А.И., Лактионов Ю.В. – критический анализ текста; Ковальчук А.И., Косульников Ю.В. – анализ данных и их интерпретация.

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

Для цитирования: Пухальский Я.В., Ковальчук А.И., Лоскутов С.И., Воробьев Н.И., Осипов А.И., Косульников Ю.В., Кожемяков А.П., Лактионов Ю.В. Оценка изменения содержания кадмия и алюминия в растениях гороха посевного под влиянием селена и кремния на ранней фазе вегетации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 198–212. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-198-212>


Assessment of changes in the accumulation of cadmium and aluminum in pea plants under the influence of selenium and silicon in the early phase of vegetation

Jan V. Puhalsky^{1,2}  , Anastasia I. Kovalchuk¹ ,
Svyatoslav I. Loskutov² , Nikolay I. Vorobyov¹ , Anatoly I. Osipov³ ,
Yuri V. Kosulnikov¹ , Andrey P. Kozhemyakov¹ , Yuriy V. Laktionov¹ 

¹All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Pushkin, Russian Federation

²Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbatova,
Russia Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russian Federation

³Agrophysical Institute of the Russian Academy of Agricultural Sciences, St. Petersburg,
Russian Federation

puhalskyan@gmail.com

Abstract. A large number of agricultural lands are located in close proximity to large cities, and therefore industrial enterprises and highways, which leads to inevitable soil contamination with heavy metals, of which cadmium is the most toxic. Also, due to a decrease in the rate of liming and the use of mineral fertilizers, aluminum ions accumulate in acidic soils. Currently, a search is underway among various plant species that exhibit resistance to the effects of toxicants and are capable of their gradual removal (phytoextraction) from the environment. Representatives from the legume family (*Fabaceae*) can be considered as potential candidates along with Cereals (*Poáceae*) and Brassicas (*Brassicácae*). Studies conducted in this work

with different tolerant genotypes of common pea (the wild sensitive line SGE, and the resistant mutant SGECdt created on its basis) showed that pre-sowing treatment of seeds with microelements in the form of selenium and silicon had a different effect on the selected genotypes. Silicon had a more pronounced stress-protective effect, stimulating the growth of both species. However, in some variants it reduced the degree of removal and fixation of toxicants in biomass, which is not suitable for use in phytoextraction technology. Selenium, on the contrary, further inhibited yield, but promoted greater accumulation of aluminum in shoots. The bimetallic type of pollution manifested itself in a decrease in the accumulation of toxicants in biomass in both genotypes by an average of 14.0%, compared with the monoelement type. Treatment with selenium and silicon here generally did not change the picture we observed in comparison with the monoelement type of pollution.

Keywords: heavy metals, *Pisum sativum*, SGE, SGECdt, soil pollution

Acknowledgments: The article was supported by State Assignment FGEW-2024-0009. The authors are grateful to Dr. A.A. Belimov for providing seed material. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Authors' contributions. Puhalsky J.V., Loskutov S.I. – conceptualization of research, laboratory experiments and data collection; Vorobyov N.I., Kozhemyakov A.P., Osipov A.I., Laktionov Yu.V. – critical analysis of the text; Kovalchuk A.I., Kosulnikov Y.V. – data analysis and interpretation.

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

For citation: Puhalsky JV, Kovalchuk AI, Loskutov SI, Vorobyov NI, Osipov AI, Kosulnikov YuV, Kozhemyakov AP, Laktionov YuV. Assessment of changes in the accumulation of cadmium and aluminum in pea plants under the influence of selenium and silicon in the early phase of vegetation. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):198–212. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-198-212>

Введение

Антропогенная нагрузка на окружающую среду приводит к повышению содержания поллютантов в компонентах биосферы, в частности к постепенному накоплению в почвах токсичных концентраций тяжелых металлов (ТМ)¹. Наиболее часто встречается полиэлементное загрязнение [1]. Для сельскохозяйственных земель это, прежде всего, связано с нерациональным применением минеральных удобрений, особенно фосфорных.

В последние годы особое внимание уделяется токсичному воздействию кадмия (Cd) на многие виды растений [2–5]. Согласно ранжированию ТМ по классам опасности для почв, элемент занимает одно из первых мест [6]. Согласно исследованиям, его содержание в почвах России варьирует в пределах от 0,01 до 1,0 мг/кг и может достигать 11 мг/кг. По оценкам ВОЗ, за последние 100 лет техногенное загрязнение окружающей среды кадмием выросло примерно в 5 раз. В РФ 185 тыс. га почв различного назначения необратимо загрязнены Cd. Сократить его валовое содержание в них

¹ См.: Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2008. 216 с.; Алексеенко В.А., Алёшкин Л.В., Беспалько Л.Е. Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. 200 с.; Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.

невозможно ввиду закрепления почвенными коллоидами [7]. Среди прочих токсикантов также можно выделить алюминий (Al), который хотя и не относится к типичным представителям ТМ, однако как металлоид тоже проявляет токсические эффекты по отношению к произрастающим растениям² [8], особенно на кислых почвах [9], где содержание алюминия колеблется от 30 до 200 мг/кг. В нашей стране вопрос токсичности ионов алюминия не был актуален вплоть до конца XX в. в связи с широкомасштабным известкованием почв. Однако в настоящее время интенсивность известкования снижается из-за дороговизны метода. Проблема решается путем селекции кислотоустойчивых сортов, чему также способствует создание экспресс-методик оценки внутривидовой варибельности сортов по признаку алюмотолерантности культур в водной среде. Такие методики просты в исполнении, не требуют значительного времени, обладают большой пропускной способностью и позволяют диагностировать генотипы и индивидуальные растения на ранних этапах онтогенеза. Это дает им преимущества перед вегетационными и полевыми методами, где возможна сильная варибельность pH, содержание ионов алюминия в почвенном растворе и влияние других неконтролируемых факторов [10].

В качестве потенциальных кандидатов для фитосанации загрязненных почв, наравне со Злаками (*Poáceae*) и Капустными (*Brassicáceae*), могут рассматриваться Бобовые (*Fabaceae*). Среди бобовых наиболее распространенной культурой в нашей стране является горох посевной (*Pisum sativum*), занимающий более 80 % площади бобовых культур, что составляет около 1 млн га [10]. Важно отметить, что в зависимости от их видовой принадлежности влияние различных ТМ по-разному сказывается на урожайности бобовых культур [11]. В исследованиях на примере сои было показано, что ионы Al и Cd проявляют синергетическое ингибирующее действие на рост и развитие данных растений [12]. Оба ксенобиотика вызывали значительное торможение роста и снижение активности антиоксидантных ферментов, подавление процессов транспирации, ингибирование синтеза хлорофилла в листьях, а также снижение скорости поступления биофильных веществ в биомассу.

В последнее время все больший интерес представляет практический прием биообогащения растений различными биогенными микроэлементами, которые используются в качестве средств защиты и повышения устойчивости молодых проростков к биотическим и абиотическим стресс-факторам. Среди последних часто выделяют селен (Se) и кремний (Si) – элементы, регулирующие антиоксидантную активность растений. Выяснено, что оба элемента проявляют синергию в отношении смягчения абиотических стрессов [13]. Вместе с тем аспекты проявления адаптационной лабильности в условиях полиметаллического стресса пока еще остаются дискуссионными. Обычно исследования по изучению Si-Se-Cd-Al взаимодействий проводят в сильнозагрязненных почвах.

² Зонн С.В., Траплев А.П. Алюминий. Роль в почвообразовании и влияние на растения. Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1992. 224 с.

Целью текущего исследования была оценка накопления Cd и Al в биомассе различных по металл-устойчивости генотипов гороха посевного, а также изменение баланса их выноса (фитоэкстракции) на ранней фазе вегетации под влиянием предпосевной обработки семян соединениями Se и Si.

Научная новизна. Показана эффективность применения в методике адаптации различных по устойчивости генотипов гороха посевного 0,002%-го раствора селена и 0,2%-го раствора кремния путем предпосевной обработки его семян.

Материалы и методы

Объектами для исследования послужили два генотипа гороха посевного из коллекции ФГБНУ ВНИИСХМ: дикая линия SGE и созданный на ее основе в результате мутагенеза этилметансульфонатом Cd-устойчивый генотип SGECd [14], сопоставимый по толерантности и накоплению ионов кадмия с индийской горчицей (*Brassica juncea* L. Czern.) VIR263 [15]. Растения выращивали в закрытом помещении в течение 3 недель при температуре воздуха 28 °С, влажности воздуха 60 % и искусственном освещении светильником ДНАТ 400 Вт с фотопериодом 16/8 ч.

Для выявления механизмов положительного действия селена и кремния на рост и развитие растений в условиях загрязнения почвы кадмием был проведен модельный опыт. Для закладки опыта использовали пахотный горизонт залежной дерново-подзолистой почвы слабой степени окультуренности, отобранной с сельскохозяйственного поля в Ленинградской области (рис. 1).

Агрохимическая характеристика почвы проведена стандартными методами: pH_{KCl} $4,63 \pm 0,62$; pH_{H_2O} $5,43 \pm 0,32$; содержание гумуса $1,47 \pm 0,01$ %; гидролитическая кислотность $4,89 \pm 0,02$ мг-экв/100 г; сумма обменных оснований $7,30 \pm 0,70$ мг-экв/100 г; K_2O $82,7 \pm 7,3$ мг/кг; P_2O_5 $93,9 \pm 4,9$ мг/кг.

Семена высевали в пластиковые сосуды с кассетами на 18 ячеек (в двукратной повторности) на вариант. При набивке смешанного образца почвы вносили минеральные удобрения в форме сложного комплекса с содержанием $N_{50}P_{16}K_{16}$, азофоску $N_{16}P_{16}K_{16}$ сразу при посеве и аммиачную селитру N_{34} по вегетации [16]. Негативное влияние кадмия в дозе 10 мг/кг – 3,0 г/м² и алюминия в дозе 30 мг/кг – 9 г/м² оценивали по результатам внесения в почвенный субстрат их солей в виде хлоридов $CdCl_2$ и $AlCl_3$. Анион солей ТМ был выбран неслучайно, поскольку на примере кадмия показано, что соленость хлоридов усиливает поглощение его растениями из почвенного раствора даже при очень низком содержании [17]. За день до посева проводили обработку семян селенитом натрия (Na_2SeO_3) и силикатом натрия ($Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$) путем их замачивания в чашках Петри растворами соответствующих соединений в концентрациях 20 ppm (0,002 %) Se [18] и 2000 ppm (0,2 %) Si [19] соответственно. В качестве контроля семена обрабатывали дистиллированной водой (рис. 2).



Рис. 1. Участок с точками отбора почвенных проб: № 1 – 59°25'06.1"N 30°02'12.5"E; № 2 – 59°25'05.9"N 30°02'13.5"E; № 3 – 59°25'05.5"N 30°02'12.5"E; № 4 – 59°25'05.9"N 30°02'11.5"E; № 5 – 59°25'05.9"N 30°02'12.4"E

Источник: составлено авторами /

Figure 1. Area with soil sampling points: No. 1 – 59°25'06.1"N 30°02'12.5"E; No. 2 – 59°25'05.9"N 30°02'13.5"E; No. 3 – 59°25'05.5"N 30°02'12.5"E; No. 4 – 59°25'05.9"N 30°02'11.5"E; No. 5 – 59°25'05.9"N 30°02'12.4"E

Source: compiled by the authors

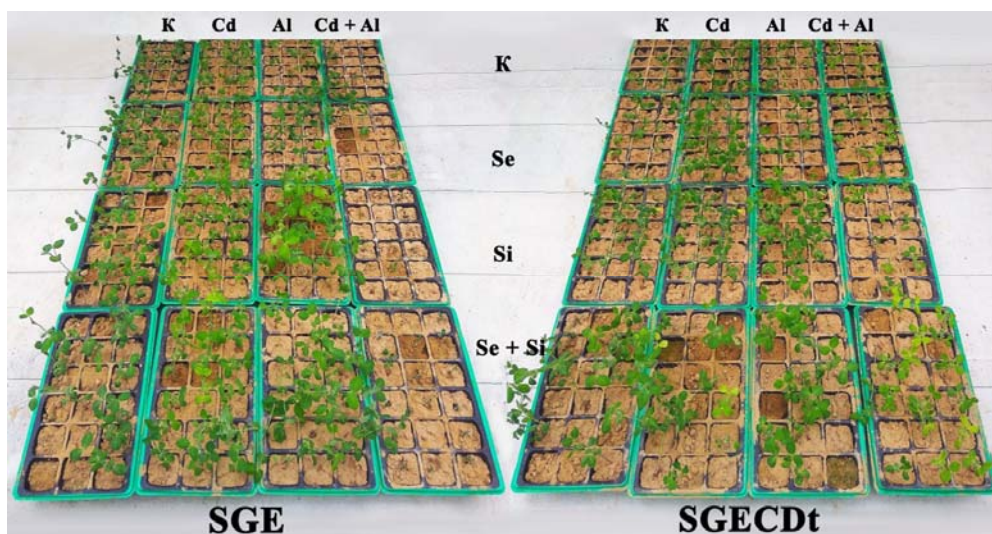


Рис. 2. Визуальное представление постановки опыта с горохом на загрязненной металлами дерново-подзолистой почве

Источник: составлено авторами /

Figure 2. Visual representation of an experiment with peas on metal-contaminated soddy-podzolic soil

Source: compiled by the authors

По окончании опыта зеленую биомассу побегов высушивали, взвешивали на аналитических весах РА 214С (Ohaus, США) и измельчали в лабораторной мельнице до состояния порошка для последующего химического анализа аккумуляции элементов Cd^{2+} и Al^{3+} в надземной части растений. Для этого небольшую навеску (0,1 г) помещали во фторопластовый сосуд для разложения, добавляли 2,0 мл концентрированной азотной кислоты (HNO_3), 2,0 мл 30 %-го пероксида водорода (H_2O_2) и проводили мокрое озоление в системе разложения проб Digiblock ED36S (LabTech, Италия) в течение 4 ч при температуре 170 °С. Азотную кислоту, используемую для разложения, предварительно очищали в системе очистки кислот subClean. Разложение и последующие операции осуществляли для двух одинаковых навесок анализируемой пробы. Одновременно готовили холостой раствор с использованием тех же самых реактивов. Полученные после терморазложения суспензии сливали в мерные полиэтиленовые сосуды на 50 мл, доводили до метки 25 мл дистиллированной водой и оставляли на сутки для лучшего осаждения и отбора верхнего супернатанта. Содержание токсикантов определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборе AAnalyst 200 (Perkin Elmer, США) в соответствии с методикой производителя.

Обработку полученных данных производили с помощью программы Excel 2016 (Microsoft Corp., США).

Результаты и их обсуждение

Результаты эксперимента показали, что повышенная концентрация кадмия (20 ПДК) и алюминия в почве незначительно повлияла на урожайность зеленой биомассы мутантного генотипа гороха SGECdt. Ингибирование в среднем по вариантам составило 17,0 % на кадмии и 21,0 % на алюминии в сравнении с контролем. Совместное внесение токсикантов в среднем снижало биомассу на 24,0 %. Для чувствительного генотипа SGE эти показатели составили 47,0, 30,0 и 49,0 % соответственно. На контроле предпосевная обработка семян кремнием увеличивала прибавку в весе побегов для SGECdt на 53,0 и 27,0 % для SGE; тогда как селен, напротив, незначительно ее снижал: на 2,8 % у SGECdt и на 9,0 % у SGE. Совместная обработка семян показала следующий результат: увеличение веса побегов для SGECdt на 25,0 и 9,0 % для SGE. На загрязненных кадмием и алюминием почве положительный эффект по увеличению биомассы от предпосевной обработки наблюдался только в тех вариантах, где применялось соединение кремния – от 7,0 до 78,0 % в сравнении с контролем без обработок на SGE и от 9,0 до 44,0 % на SGECdt (рис. 3).

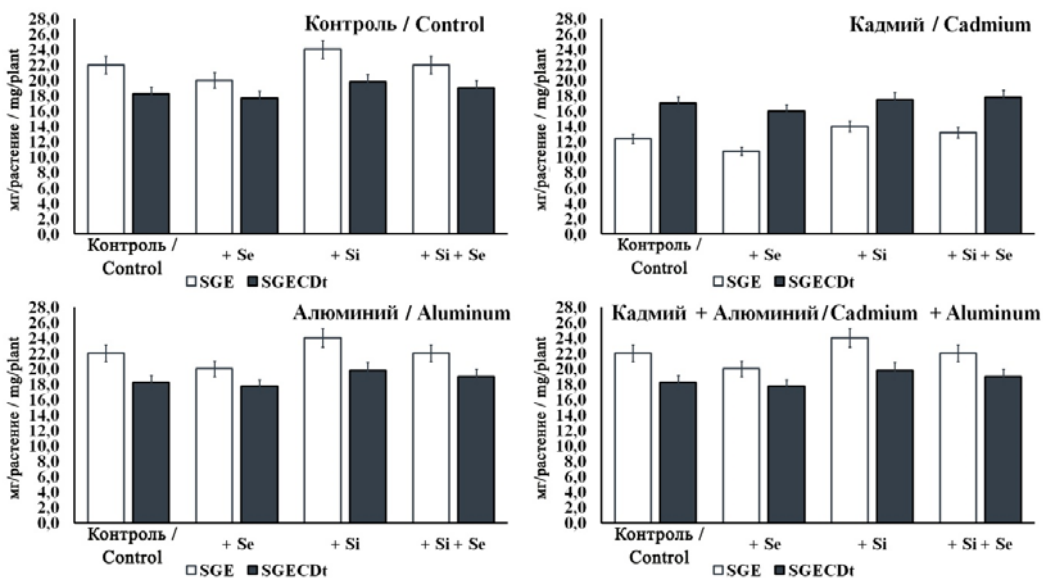


Рис. 3. Влияние предпосевной обработки семян гороха посевного селеном и кремнием на урожайность ювенильных побегов при повышенной концентрации кадмия и алюминия в почве
 Источник: составлено авторами /

Figure 3. Effect of pre-sowing treatment with selenium and silicon on the yield of juvenile shoots of peas at elevated concentrations of cadmium and aluminum in the soil

Source: compiled by the authors

Как и ожидалось, мутантный генотип в 2 раза больше аккумулировал в биомассе ионы кадмия и алюминия по сравнению с дикой линией как при моно-, так и при биеlementном типе загрязнения (табл. 1). При сравнении вы-

носа металлов при монозагрязнении почв с биэлементным типом, без дополнительной обработки семян микроэлементами было отмечено снижение аккумуляции токсикантов на последнем как у дикого вида, так и у мутанта. В сравнении с контрольными растениями обработка селеном способствовала повышению выноса токсикантов в побегах: на 23,0 % Cd и 92,0 % Al для SGE, на 11,5 % Cd и 84,3 % Al для SGECdt отдельно по кадмию на 92,0 % для SGE и на 84,3% для SGECdt отдельно по алюминию. Кремний, напротив, показал снижение аккумуляции токсикантов у обоих генотипов. При совместной обработке результат в накоплении у обоих генотипов проявился только на металлоиде, однако он был ниже, чем на варианте при воздействии отдельно селена. Увеличение по Al здесь составило 44,0 и 20,0 % по алюминию.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов и металлоидов в сухой биомассе побегов гороха посевного

Обработка				Содержание Cd, мг/г сухой массы		Содержание Al, мг/г сухой массы	
				Генотип			
Cd, мг/кг	Al, мг/кг	Se, ppm	Si, ppm	SGE	SGECdt	SGE	SGECdt
10	–	0	–	13,50	24,58	н/о	н/о
10	–	20	–	16,60	27,40	н/о	н/о
10	–	–	2000	10,44	15,97	н/о	н/о
10	–	20	2000	14,76	23,45	н/о	н/о
0	30	–	–	н/о	н/о	0,25	0,51
0	30	20	–	н/о	н/о	0,48	0,94
0	30	0	2000	н/о	н/о	0,22	0,59
0	30	20	2000	н/о	н/о	0,36	0,61
10	30	–	–	11,44	21,82	0,22	0,43
10	30	20	–	17,78	21,02	0,47	0,70
10	30	–	2000	11,08	16,95	0,26	0,58
10	30	20	2000	15,13	18,51	0,41	0,60

Примечание: н/о – не обнаружено.

Источник: составлено авторами.

Table 1. Content of heavy metals in dry biomass of pea shoots

Treatment				Cd content, mg/g dry weight		Al content, mg/g dry weight	
				Genotype			
Cd, mg/kg	Al, mg/kg	Se, ppm	Si, ppm	SGE	SGECdt	SGE	SGECdt
10	–	0	–	13.50	24.58	n/d	n/d
10	–	20	–	16.60	27.40	n/d	n/d
10	–	–	2000	10.44	15.97	n/d	n/d
10	–	20	2000	14.76	23.45	n/d	n/d
0	30	–	–	n/d	n/d	0.25	0.51
0	30	20	–	n/d	n/d	0.48	0.94
0	30	0	2000	n/d	n/d	0.22	0.59
0	30	20	2000	n/d	n/d	0.36	0.61
10	30	–	–	11.44	21.82	0.22	0.43
10	30	20	–	17.78	21.02	0.47	0.70
10	30	–	2000	11.08	16.95	0.26	0.58
10	30	20	2000	15.13	18.51	0.41	0.60

Note: n/d – not detected.

Source: compiled by the authors.

Биметаллический тип загрязнения проявился в снижении аккумуляции токсикантов в биомассе у обоих генотипов в среднем на 14,0 % в сравнении с моноэлементным типом. Обработка селеном и кремнием здесь в целом не изменила картину в сравнении с моноэлементным типом загрязнения.

Заключение

В среднем, исходя из опытных данных, можно заключить, что обработка семян кремнием и селеном повышала вынос алюминия у обоих генотипа вне зависимости от типа загрязнения. Снижение выноса токсикантов на контроле на 14,0 % без дополнительных добавок Se/Si может означать то, что, поступив в почву в виде водных растворов солей, ионы Cd и Al по-разному связываются с органическими лигандами (почвенными коллоидами). В результате взаимного влияния на сорбцию друг друга происходит межфазное смещение и других катионов (в частности кальция, магния и натрия) [12], которые могут выступать в роли антагонистов данных элементов при их транслокации через корневую зону в надземные органы и ткани. Кинетика данного процесса может носить достаточно долговременный характер [20–21]. За счет влияния обоих токсикантов на понижение кислотности, восстановление целостного состояния нарушенной среды и адаптацию культуры может уходить до 4 недель, что выходило за временные рамки, установленные в данном опыте. Тем не менее выявленные эффекты взаимного влияния ионов Cd и Al проявляются уже на первых минутах внесения в субстрат, что позволяет уже на раннем этапе онтогенеза растений оценить уровень лабильности двух выбранных генотипов по устойчивости к токсикантам и оценить различия в процессе их выноса с биомассой, обусловленных также дополнительным фактором влияния добавок микроэлементов.

Вероятно, степень негативного влияния селена на снижение биомассы растений SGE и закрепление в ней ионов алюминия будет и дальше сохраняться в вегетации культуры. Кремний обладал более стресс-протекторным действием, стимулируя рост обоих растений, в отдельных вариантах даже снижая степень выноса и закрепления токсикантов, что не подходит для использования его в фитоэкстракции.

Список литературы

- [1] Елькина Г.Я. Реакция растений на полиэлементное загрязнение подзолистых почв тяжелыми металлами // *Агрохимия*. 2017. № 7. С. 78–85. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29394888>.
- [2] Hasan S.A., Fariduddin Q., Ali B., Hayat S., Ahmad A. Cadmium: toxicity and tolerance in plants // *Journal of Environmental Biology*. 2009. Vol. 30, no. 2. P. 165–174. https://www.researchgate.net/publication/41396456_Cadmium_Toxicity_and_tolerance_in_plants
- [3] Haider F.U., Liqun C., Coulter J.A., Cheema S.A., Wu J., Zhang R., Wenjun M., Farooq M. Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. 211 p. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111887>.

- [4] *Abou Seeda M.A., Abou El-Nour E.A.A., Maha M.S. Abdallah, Hala M.S. El-Bassiouny, Abd El-Monem A.A.* Physiological Effects of Cadmium on Plants: A review // Middle East Journal of Agriculture Research. 2023. Vol. 12, no. 2. P. 267–362. <https://doi.org/10.36632/mejar/2023.12.2.19>.
- [5] *Zulfiqar U., Jiang W., Xiukang W., Hussain S., Ahmad M., Maqsood M.F., Ali N., Ishfaq M., Kaleem M., Haider F.U., Farooq N., Naveed M., Kucerik J., Brtnicky M., Mustafa A.* Cadmium Phytotoxicity, Tolerance, and Advanced Remediation Approaches in Agricultural Soils; A Comprehensive Review // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.773815>
- [6] *Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Пономарева С.В.* Ранжирование химических элементов по их экологической опасности для почвы // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2010. № 1. С. 27–29. <https://elibrary.ru/item.asp?id=12975273>
- [7] *Лапушкина А.А., Аленичева А.Д., Верниченко И.В., Щуклина О.А., Ворончихина И.Н.* Агроэкологическая оценка изменения содержания кадмия в растениях ярового ячменя под влиянием селена и кремния // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. Т. 29, № 2. С. 138–146. <https://elibrary.ru/item.asp?id=47814864>
- [8] *Neenu S., Karthika K.S.* Aluminium toxicity in soil and plants // Harit Dhara. 2019. Vol. 2, no. 1. P. 15–19.
- [9] *Gupta N., Gaurav S.S., Kumar A.* Molecular basis of aluminium toxicity in plants: a review // *American Journal of Plant Sciences*. 2013. Vol. 4, no. 12. P. 21–37. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.412A3004>.
- [10] *Вишнякова М.А., Семенова Е.В., Косарева И.А., Кравчук Н.Д., Лоскутов С.И., Пухальский Я.В., Шапошников А.И., Сазанова А.Л., Белимов А.А.* Метод экспресс-оценки алюмотолерантности у гороха посевного (*Pisum sativum* L.) // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 3. P. 353–360. <https://elibrary.ru/item.asp?id=23651341>.
- [11] *Belimov A.A., Safronova V.I., Tsyganov V.E., Borisov A.Y., Kozhemyakov A.P., Stepanok V.V., Martenson A., Gianinazzi' Pearson V., Tikhonovich I.A.* Genetic variability in tolerance to cadmium and accumulation of heavy metals in pea (*Pisum sativum* L.). *Euphytica*. 2003. Vol. 131, no. 1. P. 25–35. <https://doi.org/10.1023/A:1023048408148>.
- [12] *Shamsi I.H., Wei K., Jilani G., Zhang G.P.* Interactions of cadmium and aluminum toxicity in their effect on growth and physiological parameters in soybean // *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*. 2007. Vol. 8, no. 3. P. 181–188. <https://doi.org/10.1631/jzus.2007.B0181>.
- [13] *Cunha L.O., Prado R.M.* Synergy of Selenium and Silicon to Mitigate Abiotic Stresses: a Review // *Gesunde Pflanzen*. 2023. Vol. 75, no. 14. P. 1461–1474. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00826-9>.
- [14] *Tsyganov V.E., Belimov A.A., Borisov A.Y., Safronova V.I., Georgi M., Dietz K.-J., Tikhonovich I.A.* A Chemically Induced New Pea (*Pisum sativum* L.) Mutant SGECdt with Increased Tolerance to, and Accumulation of Cadmium // *Annals of Botany*. 2007. Vol. 99, no. 2. P. 227–237. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl261>.
- [15] *Belimov A.A., Shaposhnikov A.I., Azarova T.S., Makarova N.M., Safronova V.I., Litvinskiy V.A., Nosikov V.V., Zavalin A.A., Tikhonovich I.A.* Microbial Consortium of PGPR, Rhizobia and Arbuscular Mycorrhizal Fungus Makes Pea Mutant SGECdt Comparable with Indian Mustard in Cadmium Tolerance and Accumulation // *Plants*. 2020. Vol. 9, no. 8. P. 975. <https://doi.org/10.3390/plants9080975>.

- [16] *Сабитов М.М.* Влияние предшественников и удобрений на продуктивность и экономическую эффективность гороха в условиях лесостепи Поволжья // Пермский аграрный вестник. 2017. Т. 3. № 19. С. 106–113. <https://elibrary.ru/item.asp?id=30009686>.
- [17] *López-Chuken U.J., López-Domínguez U., Parra-Saldivar R., Moreno-Jiménez E., Hinojosa-Reyes L., Guzmán-Mar J.L., Olivares-Sáenz E.* Implications of chloride-enhanced cadmium uptake in saline agriculture: modeling cadmium uptake by maize and tobacco // *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2012. Vol. 9. P. 69–77. <https://doi.org/10.1007/s13762-011-0018-2>
- [18] *Shedeed S.I., Fawzy Z.F., El-Bassiony A.M.* Nano and mineral selenium foliar application effect on pea plants (*Pisum sativum* L.) // *Bioscience Research*. 2018. Vol. 15, no. 2. P. 645–654.
- [19] *Новикова Н.Е., Самсонова Н.Е.* Влияние соединений кремния на процесс прорастания семян гороха и защиту проростков от окислительных повреждений // *Вестник аграрной науки*. 2020. Т. 2. № 83. С. 21–28. <https://elibrary.ru/item.asp?id=42808951>.
- [20] *Ладонин Д.В.* Конкурентные взаимоотношения ионов при загрязнении почвы тяжелыми металлами // *Почвоведение*. 2000. № 10. С. 1285–1293.
- [21] *Polcaro A.M., Mascia M., Palmas S., Vacca A., Tola G.* Competitive Sorption of Heavy Metal Ions by Soils // *Environmental Engineering Science*. 2003. Vol. 20, no. 6. P. 607–616. <https://doi.org/10.1089/109287503770736122>

References

- [1] *Elkina GYa.* Plant response to polyelement contamination of podzolic soils with heavy metals. *Agrochemistry*. 2017;(7):78–85. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=29394888>.
- [2] *Hasan SA, Fariduddin Q, Ali B, Hayat S, Ahmad A.* Cadmium: toxicity and tolerance in plants. *Journal of Environmental Biology*. 2009;30(2):165–174. https://www.researchgate.net/publication/41396456_Cadmium_Toxicity_and_tolerance_in_plants.
- [3] *Haider FU, Liqun CC, Coulter JA, Cheema SA, Wu J, Zhang R, Wenjun M, Farooq M.* Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021;211:111887. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111887>.
- [4] *Abou Seeda MA, Abou El-Nour EAA, Maha MS Abdallah, Hala MS El-Bassiouny, Abd El-Monem AA.* Physiological Effects of Cadmium on Plants: A review. *Middle East Journal of Agriculture Research*. 2023;12(02):267–362. <https://doi.org/10.36632/mejar/2023.12.2.19>.
- [5] *Zulfiqar U, Jiang W, Xiukang W, Hussain S, Ahmad M, Maqsood MF, Ali N, Ishfaq M, Kaleem M, Haider FU, Farooq N, Naveed M, Kucerik J, Brtnicky M, Mustafa A.* Cadmium Phytotoxicity, Tolerance, and Advanced Remediation Approaches in Agricultural Soils; A Comprehensive Review. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.773815>.
- [6] *Kolesnikov SI, Kazeev KSh, Valkov VF, Ponomareva SV.* Ranking of chemical elements according to their environmental hazard for the soil. *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2010;(1):27–29. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=12975273>.
- [7] *Lapushkina AA, Alenicheva AD, Vernichenko IV, Shchuklina OA, Voronchikhina IN.* Agroecological assessment of changes in cadmium content in spring barley plants under

- the influence of selenium and silicon. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2021;29(2):138–146. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=47814864>.
- [8] Neenu S, Karthika KS. Aluminium toxicity in soil and plants. *Harit Dhara*. 2019;2(1):15–19.
- [9] Gupta N, Gaurav SS, Kumar A. Molecular basis of aluminium toxicity in plants: a review. *American Journal of Plant Sciences*. 2013;4(12C):21–37. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.412A3004>.
- [10] Vishnyakova MA, Semenova EV, Kosareva IA, Kravchuk ND, Loskutov SI, Pukhalsky JV, Shaposhnikov AI, Sazanova AL, Belimov AA. Method for rapid assessment of aluminum tolerance in pea (*Pisum sativum* L.). *Agricultural biology*. 2015;50(3):353–360. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=23651341>.
- [11] Belimov AA, Safronova VI, Tsyganov VE, Borisov AY, Kozhemyakov AP, Stepanok VV, Martenson A, Gianinazzi' Pearson V, Tikhonovich IA. Genetic variability in tolerance to cadmium and accumulation of heavy metals in pea (*Pisum sativum* L.). *Euphytica*. 2003;131(1):25–35. <https://doi.org/10.1023/A:1023048408148>.
- [12] Shamsi IH, Wei K, Jilani G, Zhang GP. Interactions of cadmium and aluminum toxicity in their effect on growth and physiological parameters in soybean. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*. 2007;8(3):181–188. <https://doi.org/10.1631/jzus.2007.B0181>.
- [13] Cunha LO, Prado RM. Synergy of Selenium and Silicon to Mitigate Abiotic Stresses: a Review. *Gesunde Pflanzen*. 2023;75(14):1461–1474. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00826-9>.
- [14] Tsyganov VE, Belimov AA, Borisov AY, Safronova VI, Georgi M, Dietz K-J, Tikhonovich IA. A Chemically Induced New Pea (*Pisum sativum* L.) Mutant SGECdt with Increased Tolerance to, and Accumulation of Cadmium. *Annals of Botany*. 2007;99(2):227–237. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl261>.
- [15] Belimov AA, Shaposhnikov AI, Azarova TS, Makarova NM, Safronova VI, Litvinskiy VA, Nosikov VV, Zavalin AA, Tikhonovich IA. Microbial Consortium of PGPR, Rhizobia and Arbuscular Mycorrhizal Fungus Makes Pea Mutant SGECdt Comparable with Indian Mustard in Cadmium Tolerance and Accumulation. *Plants*. 2020;9(8):975. <https://doi.org/10.3390/plants9080975>.
- [16] Sabitov MM. The influence of precursors and fertilizers on the productivity and economic efficiency of peas in the forest-steppe conditions of the Volga region. *Perm Agrarian Bulletin*. 2017;3(19):106–113. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=30009686>.
- [17] López-Chuken UJ, López-Domínguez U, Parra-Saldivar R, Moreno-Jiménez E, Hinojosa-Reyes L, Guzmán-Mar JL, Olivares-Sáenz E. Implications of chloride-enhanced cadmium uptake in saline agriculture: modeling cadmium uptake by maize and tobacco. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2012;9:69–77. <https://doi.org/10.1007/s13762-011-0018-2>
- [18] Shedeed SI, Fawzy ZF, El-Bassiony AM. Nano and mineral selenium foliar application effect on pea plants (*Pisum sativum* L.). *Bioscience Research*. 2018; 15(2):645–654.
- [19] Novikova NE, Samsonova NE. The influence of silicon compounds on the process of germination of pea seeds and the protection of seedlings from oxidative damage. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020;2(83):21–28. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=42808951>.
- [20] Ladonin DV. Competitive relationships of ions during soil contamination with heavy metals. *Soil science*. 2000;10:1285–1293. (In Russ.).
- [21] Polcaro AM, Mascia M, Palmas S, Vacca A, Tola G. Competitive Sorption of Heavy Metal Ions by Soils. *Environmental Engineering Science*. 2003;20(6):607–616. <https://doi.org/10.1089/109287503770736122>

Сведения об авторах:

Пухальский Ян Викторович, инженер-микробиолог 1-й категории, Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии, 196608, Российская Федерация, Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, 3; инженер-исследователь ВНИИ пищевых добавок – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова, 191014, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 55. ORCID: 0000-0001-5233-3497. E-mail: puhalskyuan@gmail.com

Ковальчук Анастасия Игоревна, техник 1-й категории, Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии, 196608, Российская Федерация, Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, д. 3. ORCID: 0009-0005-7206-2395. E-mail: k.nastya4321@gmail.com

Лоскутов Святослав Игоревич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ВНИИ пищевых добавок – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова, 191014, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 55. ORCID: 0000-0002-8102-2900. E-mail: lislosk@mail.ru

Воробьев Николай Иванович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии, 196608, Российская Федерация, Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, д. 3. ORCID: 0000-0001-8300-2287. E-mail: nik.ivanvorobyov@yandex.ru

Осипов Анатолий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Агрофизический научно-исследовательский институт, 195220, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14. ORCID: 0009-0003-3181-3792. E-mail: aosipov2006@mail.ru

Косульников Юрий Витальевич, кандидат технических наук, научный сотрудник, Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии, Российская Федерация, 196608, Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, д. 3. ORCID: 0000-0003-1134-3503. E-mail: kullavayn@gmail.com

Кожмяков Андрей Петрович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии, Российская Федерация, 196608, Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, д. 3. ORCID: 0000-0002-9657-2454. E-mail: kojemyakov@rambler.ru

Лактионов Юрий Владимирович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий, Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии, Российская Федерация, 196608, Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, д. 3. ORCID: 0000-0001-6241-0273. E-mail: laktionov@list.ru

Bio notes:

Jan V. Puhalsky, engineer-microbiologist 1 category, All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology (ARRIAM), 3 Highway Podbelskogo, St. Petersburg - Pushkin, 196608, Russian Federation, Research Engineer of VNIIPD – a Branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbatova, Russia Academy of Sciences, 55 Liteiny prosp., Saint-Petersburg, 191014, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5233-3497. E-mail: puhalskyuan@gmail.com

Anastasia I. Kovalchuk, research engineer, All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology (ARRIAM), 3 Highway Podbelskogo, St. Petersburg, Pushkin, 196608, Russian Federation. ORCID: 0009-0005-7206-2395. E-mail: k.nastya4321@gmail.com

Svyatoslav I. Loskutov, Ph.D. Agricultural Sciences, Senior Researcher, VNIIPD – a Branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbatoва”, Russia Academy of Sciences, 55 Liteiny prosp, St. Petersburg, 191014, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-8102-2900. E-mail: lislosk@mail.ru

Nikolay I. Vorobyov, Ph.D. Tech. Sciences, Leading Researcher, All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology (ARRIAM), 3 Highway Podbelskogo, St. Petersburg, Pushkin, 196608, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8300-2287. E-mail: nik.ivanvorobyov@yandex.ru

Anatoly I. Osipov, Doctor of Agriculture Sciences, Chief Scientific of the Agrophysical Institute of the Russian Academy of Agricultural Sciences, 14 Grazhdansky pr., St. Petersburg, 195220, Russian Federation. ORCID: 0009-0003-3181-3792. E-mail: aosipov2006@mail.ru

Yuri V. Kosulnikov, Ph.D. Tech. Sciences, Researcher All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology (ARRIAM), 3 Highway Podbelskogo, St. Petersburg, Pushkin, 196608, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-1134-3503. E-mail: kullavayn@gmail.com

Andrey P. Kozhemyakov, Ph.D. Biol. Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology (ARRIAM), 3 Highway Podbelskogo, St. Petersburg, Pushkin, 196608, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-9657-2454. E-mail: kojemyakov@rambler.ru

Yuriy V. Laktionov, Ph.D. Biol. Sciences, Head of the Laboratory of Ecology of Symbiotic and Associative Rhizobacteria of the All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology (ARRIAM), 3 Highway Podbelskogo, St. Petersburg, Pushkin, 196608, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6241-0273. E-mail: laktionov@list.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-213-226

EDN: XVQTZG


УДК 504.7:574

Научная статья / Research article

Пространственно-временной анализ лесопользования в Вологодской области

О.В. Баженова, О.А. Золотова, Е.А. Иванищева , А.Ф. Осолодкина 

Вологодский государственный университет, Вологда, Российская Федерация

 gorodishenina.al@mail.ru

Аннотация. Лесные ресурсы России, сосредоточенные прежде всего в таежной зоне, активно эксплуатируются, особенно в Европейской части России. Лесопользование даже в условиях одной природной зоны имеет заметные пространственные различия, обусловленные природно-климатическими различиями территорий и пространственно-временными особенностями эксплуатации лесов. Цель данного исследования – анализ качественно-количественных характеристик лесных ресурсов и объемов, а также структуры вырубki древесины с позиций трансформации лесоресурсной базы Вологодской области. Динамика лесистости, площади, структуры запасов древесины на протяжении XX в. рассмотрена для области в целом. Характеристики лесного фонда и оценки лесопользования для XXI в. выполнены на основе авторских расчетов и приведены в разрезе округов и районов области. Все оценки осуществлялись на основе данных официальной статистики, приведенных в комплексных территориальных кадастрах природных ресурсов и в отчетных документах Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Анализ ресурсов и лесопользования, выполненный на основе картографического моделирования, позволил выявить устойчивое увеличение объемов и интенсивности вырубki на фоне снижения доли хвойных и доли спелых древостоев. С начала XX в. доля хвойных в структуре древостоев снизилась до 50–55 %. Преобладающей породой в таежных лесах Вологодской области на сегодняшний день является береза. Доля спелых лесов также снизилась до 50 %, а среди спелых преобладают лиственные. Результаты исследования демонстрируют опасную для ближайших перспектив трансформацию лесных ресурсов, что представляет определенную угрозу как устойчивому лесопользованию, так и сохранению таежных ландшафтов в целом.

Ключевые слова: Вологодская область, лесные ресурсы, лесной фонд, лесопользование, интенсивность вырубki

© Баженова О.В., Золотова О.А., Иванищева Е.А., Осолодкина А.Ф., 2024



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

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


История статьи: поступила в редакцию 10.12.2023; доработана после рецензирования 10.01.2024; принята к публикации 10.02.2024.

Для цитирования: Баженова О.В., Золотова О.А., Иванищева Е.А., Осолодкина А.Ф. Пространственно-временной анализ лесопользования в Вологодской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 213–226. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-213-226>

Spatiotemporal analysis of forest management in the Vologda region

Oksana V. Bazhenova, Olga A. Zolotova,
Elizaveta A. Ivanishcheva , Alena F. Osolodkina 

Vologda State University, Vologda, Russian Federation

gorodishenina.al@mail.ru

Abstract. The forest resources of Russia, primarily concentrated in the taiga zone, are actively exploited, especially in the European part of Russia. Forest management even under conditions of one natural zone has significant spatial disparities due to natural climatic differences of territories and spatial and temporal peculiarities of forest exploitation. This study aims to analyze the qualitative and quantitative characteristics of forest resources and the structure and productivity of felling from the viewpoint of the transformation of the forest resource base of the Vologda Region. The dynamics of forest cover, area and structure of timber reserves during the XX century are considered for the region as a whole. The forest fund and estimates of forest resources for the XXI century are characterized under the authors' calculations and are given by districts and areas of the region. All estimates are based on official statistical data taken from the comprehensive territorial inventories of natural resources and the reporting documents of the Department of Natural Resources and Environmental Protection of the Vologda Region. The reserves and forest resources analyzed under the cartographical modeling show an increase in the volume and intensity of felling against the decrease in the share of both coniferous and mature timber. Since the beginning of the XX century, the share of coniferous trees in the forest stand structure has decreased to 50–55%. The dominating timber species in the taiga forests of the Vologda Region as of today is birch. The share of mature forests has also decreased to 50%, with the deciduous forests prevailing among the mature ones. The results of the study show a dangerous transformation of forest resources for the near future, thereby greatly threatening both sustainable forest resources and the conservation of taiga landscapes on the whole.

Keywords: the Vologda region, forest resources, forest fund, forest management, intensity of felling

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

Article history: received 10.12.2023; revised 10.01.2024; accepted 10.02.2024.

For citation: Bazhenova OV, Zolotova OA, Ivanishcheva EA, Osolodkina AF. Spatiotemporal analysis of forest management in the Vologda region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):213–226. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-213-226>

Введение

Вологодская область в Российской Федерации занимает лишь 26-е место по площади, которая составляет около 0,85 % от площади страны в целом. По запасу лесных ресурсов область входит в ТОП-20 российских регионов, занимая 17-е место по площади лесов (9867 тыс. га \approx 1,2 % от российской) и 15-е место по общему запасу древесины (1550,1 млн м³ \approx 1,9 % от российского) [1].

Однако значение области как региона, специализирующегося на лесном комплексе, существенно выше. По производству пиломатериалов область входит в тройку лидеров (12 002 тыс. плотных м³) и дает их более 9 % от общероссийского производства¹. По интенсивности вырубке древесины область имеет лидирующие позиции в стране, здесь вырубается 1,8 м³ с каждого гектара леса, в остальных регионах этот показатель ниже².

Несоответствие размерных показателей лесного фонда и показателей эксплуатации лесных ресурсов представляется актуальной проблемой, требующей детальной проработки не только на уровне Вологодской области в целом, но и в разрезе административных единиц, в связи с чем определена **цель исследования** – проанализировать качественно-количественные характеристики лесных ресурсов и объемов и структуры вырубки древесины с позиций трансформации лесоресурсной базы области.

Материалы и методы

Информационной базой для исследования послужили научные труды, опубликованные как в середине XX в., так и в последние годы, содержащие анализ лесов и лесного фонда на разные периоды времени и характеристику лесопользования в ретроспективном аспекте.

Анализ пространственно-временных особенностей распространения и трансформации лесных ресурсов, объемов и структуры запаса древесины, объемов и структуры вырубки в разрезе административных единиц за два десятилетия XXI в. выполнен на основе данных официальной статистики, приведенных в комплексных территориальных кадастрах природных ресурсов Вологодской области и в отчетных документах Департамента природных

¹ Регионы России: социально-экономические показатели. 2023: статистический сборник. М., 2023. 1126 с. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2023.pdf. (дата обращения: 19.11.2023).

² Названы регионы России с самой масштабной вырубкой лесов // Lenta.ru: сайт. 25 июля 2022 г. URL: https://lenta.ru/news/2022/07/25/no_les/ (дата обращения 19.11.2023).

ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области³ и проведенных на их основе расчетах. Пространственные аспекты распространения официальных показателей и данных, полученных расчетным путем, оценивались с применением картографического метода через построение и анализ карт, как помещенных в настоящую статью, так и отражающих промежуточные результаты.

Обсуждение результатов

Лидирующие позиции Вологодской области в эксплуатации лесных ресурсов обусловлены специфическими аспектами географического положения региона, которые во многом объясняют, почему область обходит гораздо более крупные по площади и более лесные регионы страны, такие как Тюменская, Архангельская, Томская области, Хабаровский и Забайкальский края, Республики Коми, Карелия и Саха. Все они в разы превосходят Вологодскую область по площади лесов и запасам древесины, но уступают ей по заготовке леса.

Только около 30 % лесного фонда России составляют леса, пригодные для эксплуатации, так как большая часть площади лесов приходится на горные, заболоченные или леса в условиях многолетней мерзлоты. Наиболее пригодные для эксплуатации леса находятся в Европейской части России, в пределах которой Вологодская область выигрывает у соседей-конкурентов благодаря более южному положению в зоне тайги (а значит, и более продуктивным лесам) в сравнении с Коми, Карелией или Архангельской областью. Положение области характеризуется и плюсами положения на пересечении транспортных путей и в максимальной близости к потенциальным потребителям.

Качество лесных ресурсов Вологодской области сложилось под влиянием зональных условий произрастания лесов и длительной истории их интенсивной эксплуатации. По геоботаническому районированию территория региона относится к средней и южной подзонам тайги евроазиатской таежной области. Коренная растительность в области представлена хвойными лесами – ельниками и сосняками [1]. Среди хвойных лесов наиболее широко распространены ельники, крупные массивы которых сосредоточены в Вытегорском районе, Бабаевском, Вожегодском, Верховажском, Великоустюгском, Никольском округах, преимущественно в северной части области

³ См.: Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Комплексный территориальный кадастр природных ресурсов Вологодской области. Вып. 27. Вологда, 2022. 391 с.; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Комплексный территориальный кадастр природных ресурсов Вологодской области. Вып. 6. Вологда, 2001. С. 32-33; Лесные ресурсы Вологодской области. Департамент лесного комплекса Вологодской области URL: <https://dlk.gov35.ru/vedomstvennaya-informatsiya/statistika/lesnye-resursy-vologodskoy-oblasti/> (дата обращения: 19.11.2023).

в подзоне средней тайги. Сосняки распространены повсеместно, но особенно крупные их массивы представлены на юго-западе области в границах Череповецкого района, Чагодощенского, Устюженского, Кадуйского, Бабаевского округов, а также в восточной части в Тарногском, Верховажском, Бабушкинском округах⁴.

Значительная территория Вологодской области занята вторичными мелколиственно-хвойными и мелколиственными лесами. Особенно широко они распространены в староосвоенных южнотаежных ландшафтах, где сформировались на месте хвойных и хвойно-широколиственных лесов, уничтоженных в ходе хозяйственной деятельности. Преобладающей древесной породой и в таких лесах и в составе лесов области в целом на сегодня является береза. Леса с явным преобладанием березы особенно широко распространены на юге центральной части области в Вологодском, Грязовецком, Междуреченском, Сокольском, Тотемском округах⁵ [1].

В южной части области в подзоне южной тайги в виде естественной примеси в мелколиственных и хвойно-мелколиственных лесах встречаются широколиственные породы – липа, клен, местами вяз и дуб. Элементы южной тайги по известковым почвам заходят довольно далеко на север [2]. Уникальные для области небольшие массивы вязовых лесов и леса с участием в древостое дуба взяты под охрану и включены в состав особо охраняемых природных территорий [3]. Разнообразие типов леса, особенно хвойных, также является основанием для включения значимых по площади массивов в систему охраняемых территорий. Но некоторые редкие для области типы лесных ландшафтов, слабо представленные или не представленные вообще в системе охраняемых территорий, продолжают относиться к эксплуатационным лесам и находиться под угрозой исчезновения [4; 5].

Изменения лесных ландшафтов происходили в ходе многовековой истории освоения человеком территории современной Вологодской области. На первых этапах освоения территории и вплоть до XV–XVI вв. леса расчищались под пашни и пастбища, использовались в ведущих промыслах в виде дров и в качестве строительного материала. В это время максимальному сведению подверглись леса с примесью широколиственных пород. Под влиянием изменений климата ухудшились естественные условия произрастания широколиственных пород и – на фоне массовой вырубki – в последующие века они уже не восстановились [6]. Вплоть до XVIII в. в области существовало два ареала железодельного промысла в окрестностях современных городов Устюжны и Белозерска и два ареала соляных промыслов в районах Тотьмы и села им. Бубушкина. Оба промысла потребляли огромное количество дров [6].

⁴ Атлас Вологодской области: учебное пособие. Санкт-Петербург; Череповец: Аэрогеодезия, Порт-Апрель, 2007. 108 с.

⁵ Там же.

Промышленное освоение лесов началось в петровскую эпоху в связи с развитием судостроения. Особенно ценились лиственничные корабельные рощи. Сосна была основной товарной породой до конца XIX в. Ее заготавливали для нужд кораблестроения и для экспорта мачтового леса. Только с 1880 г. в рубку пошла и крупномерная ель, до этого считавшаяся сорной породой (приводится по [7]), на которую появился спрос на внутреннем рынке благодаря строительству железных дорог в стране и открытию паровозного движения по водным путям. В сосново-еловых лесах преобладавшие приисковые, а позднее подневольные-выборочные рубки приводили к смене сосновых древостоев на еловые, так как более требовательная к условиям сосна не может возобновляться под тенью ели. К началу XX в. лесистость в области снизилась примерно до 80 % [8].

С 1929 г. начинают преобладать сплошнолесосечные рубки, при которых на отведенном участке вырубается все деревья. В условиях спроса на качественную хвойную древесину в рубку поступали наиболее ценные и доступные в транспортном отношении лесные массивы. После Великой Отечественной войны лесозаготовки приняли круглогодичный интенсивный характер и осуществлялись крупными механизированными предприятиями. На вырубках уничтожалась лесная подстилка, уплотнялась почва, нарушался водный режим, не всегда оставались семенные куртины. Площади таких вырубок заселялись преимущественно лиственными породами, в результате чего началась смена хвойных пород менее ценными лиственными – березой, осиной, ольхой [7].

В настоящее время преобладают узколесосечные сплошные рубки с использованием агрегатной лесозаготовительной техники. При правильной организации такие способы рубки в большей степени способствуют лесовозобновлению.

Многовековая эксплуатация лесных ресурсов к концу 1980-х гг. привела к снижению лесистости в области примерно до 70 %, которая с тех пор меняется незначительно. Более заметные изменения отмечаются в возрастном и породном составе лесов. Так в начале XX в. доля хвойных древостоев в лесах области составляла примерно 90 % [8]. В середине 1950-х гг. уже фиксируется снижение доли хвойных до 65 % с преобладающим участием ели [2]. В начале XXI в. доля хвойных снижается до 50–55 %, особенно заметно снижается доля ели. В настоящее время доля мелколиственных вплотную приблизилась к 50 %, а преобладающей породой в древостоях уже является береза, доля которой превышает 37 %⁶.

Произошли изменения и в возрастной структуре лесов. Еще в середине XX в. преобладали спелые и перестойные леса. В конце XX в. доля спелых и

⁶ Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Комплексный территориальный кадастр природных ресурсов Вологодской области. Вып. 27. Вологда, 2022. 391 с.

перестойных уже составляла около 45 % [8]. В настоящее время доля спелых лесов составляет около 50 %, при этом доля спелых хвойных (22,4 %) ниже, чем доля спелых лиственных (27,7 %) ⁷.

Интенсивное использование лесных ресурсов продолжается и в наступившем столетии. Общая площадь лесного фонда области на начало 2022 г. составила 11 472,4 тыс. га, средняя лесистость по области – 69 %. В территориальном разрезе показатель лесистости заметно различается (рис. 1).

Максимальные показатели лесистости характерны для юго-востока области и превышают 80 % (Никольский и Бабушкинский округа). Достаточно высокая лесистость характерна для северной и северо-восточной частей области. Минимальная лесистость – от 43 до 48 % – наблюдается в центральных и юго-западных, максимально освоенных в сельскохозяйственном отношении и обладающих лучшей транспортной доступностью районах.

Максимальные показатели площади лесного фонда характерны для Вытегорского района (1218,5 тыс. га), Бабаевского (835,5 тыс. га) и Тотемского (736,2 тыс. га) округов. Доля лесных земель в лесном фонде в большинстве районов и округов составляет более 75 %. В западных, сильно заболоченных, округах значительна доля необлесенных площадей (35–39 %).

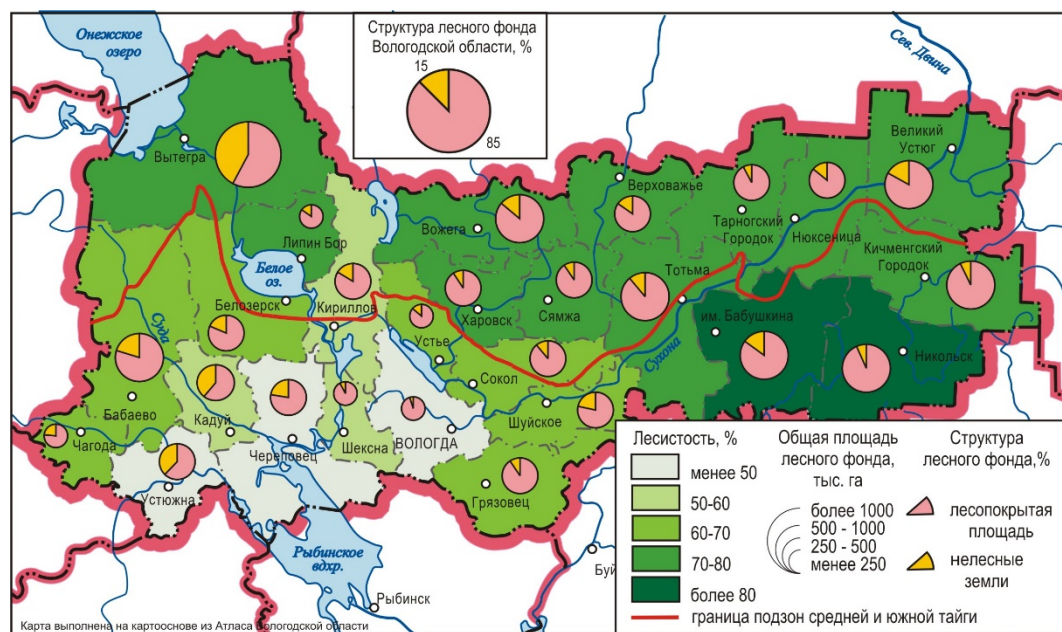


Рис. 1. Лесной фонд Вологодской области по районам и округам в 2021 г.

Источник: составлено авторами по: Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Комплексный территориальный кадастр природных ресурсов Вологодской области. Вып. 27. Вологда, 2022. 391 с.; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Комплексный территориальный кадастр природных ресурсов Вологодской области. Вып. 6. Вологда, 2001. С. 32–33.

⁷ Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Комплексный территориальный кадастр природных ресурсов Вологодской области. Вып. 27. Вологда, 2022. 391 с.

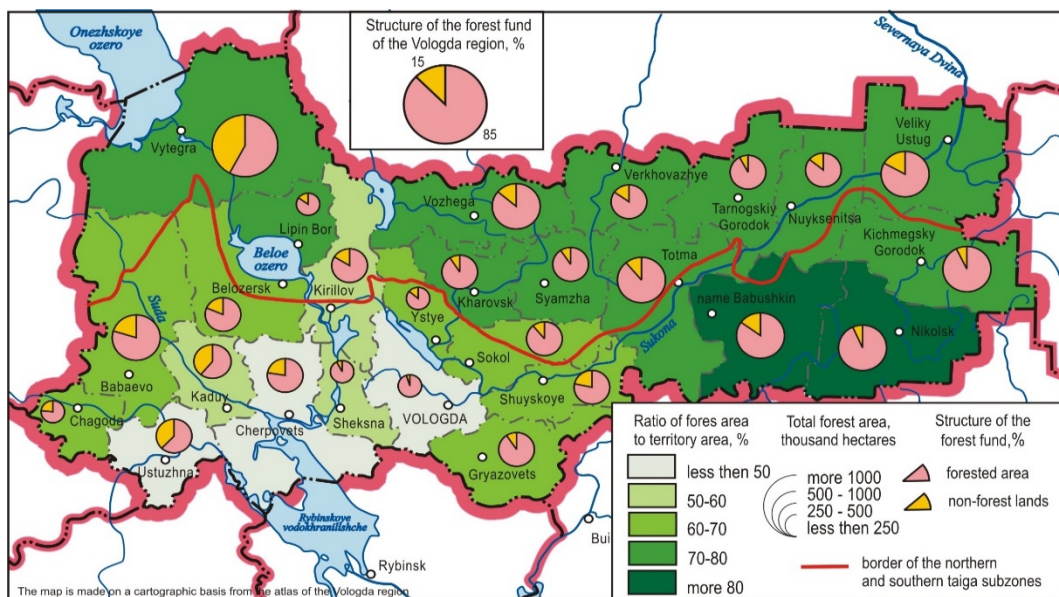


Figure 1. Forest fund of the Vologda region by districts and areas in 2021

Source: made by the authors as per: Department of natural resources and environmental protection of the Vologda region. *Integrated territorial cadastre of natural resources of the Vologda region*. Issue 27. Vologda; 2022. 391 p. (In Russ.); Department of natural resources and environmental protection of the Vologda region. *Integrated territorial cadastre of natural resources of the Vologda region*. Issue 6. Vologda; 2001. p. 32–33. (In Russ.).

Общие запасы древесины в области составляют 1544,8 млн м³. Максимальные запасы сосредоточены в Вытегорском районе, Тотемском, Бабушкинском, Никольском округах (130,1 млн м³, 109,4 млн м³, 108,7 млн м³, 101,6 млн м³ соответственно). В остальных районах и округах показатель запаса варьирует от 23 млн м³ до 100 млн м³ (рис. 2). Доля спелых и перестойных древостоев в большинстве округов составляет 65–70 %. Но доля хвойных почти нигде не превышает 25 %.

Значительна доля хвойных только в лесах Вытегорского района, Вашкинского, Вожегодского, Великоустюгского, Бабаевского, Белозерского, Чагодощенского округов (35,8–45,3 %), но нигде не достигает 50 %.

В структуре спелых древостоев доля березы в среднем по области составляет 30 % (от 19,6 % в Устюженском до 61,6 % в Вологодском и Грязовецком округах). В целом доля спелых лиственных выше в подзоне южной тайги.

С начала XXI в. запас древесины по области практически не изменился, но в пространственном аспекте разнится существенно, динамика его варьирует от 78 % (от запаса 2001 года) в Грязовецком округе до 172 % – в Чагодощенском. Столь значительный ход положительной динамики в некоторых округах объясняется перераспределением высокобонитетных насаждений по группам возраста в результате изменения возрастов рубки, таксационными мероприятиями в целом ряде округов и мерами по воспроизводству лесов и ухода за ними⁸.

⁸ Распоряжение Губернатора Вологодской области № 979-р от 27 февраля 2023 года «О внесении изменений в распоряжение Губернатора Вологодской области от 30 ноября 2018 года № 4807-р» URL: <https://vologda-oblast.ru/dokumenty/4763323/> (дата обращения 20.11.2023).

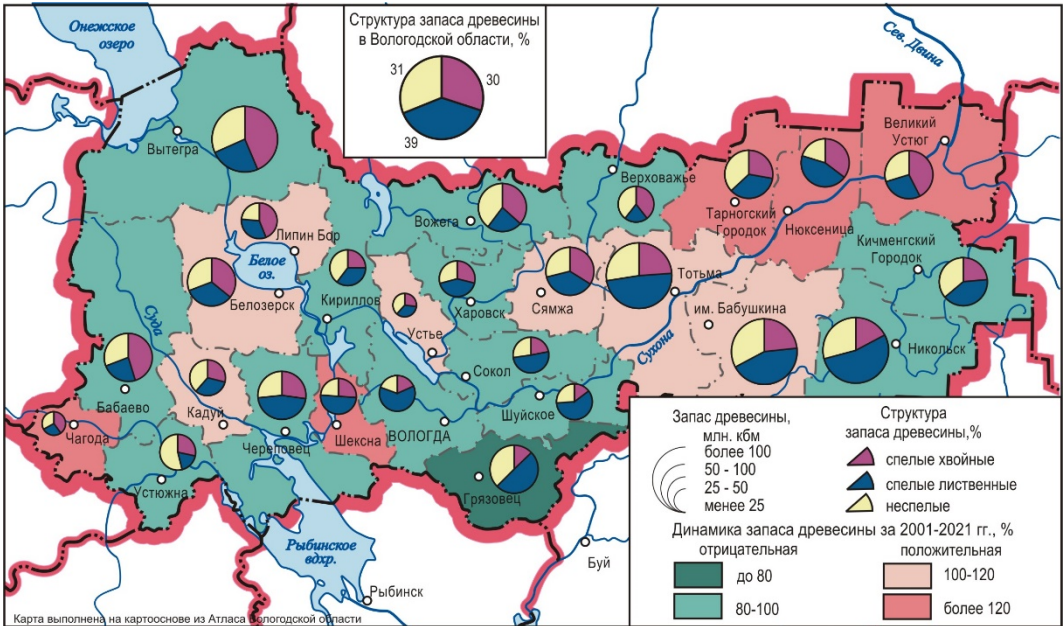


Рис. 2. Запас древесины в Вологодской области по районам и округам в 2021 г.

Источник: составлено авторами по: Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Комплексный территориальный кадастр природных ресурсов Вологодской области. Вып. 27. Вологда, 2022. 391 с.; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Комплексный территориальный кадастр природных ресурсов Вологодской области. Вып. 6. Вологда, 2001. С. 32–33.)

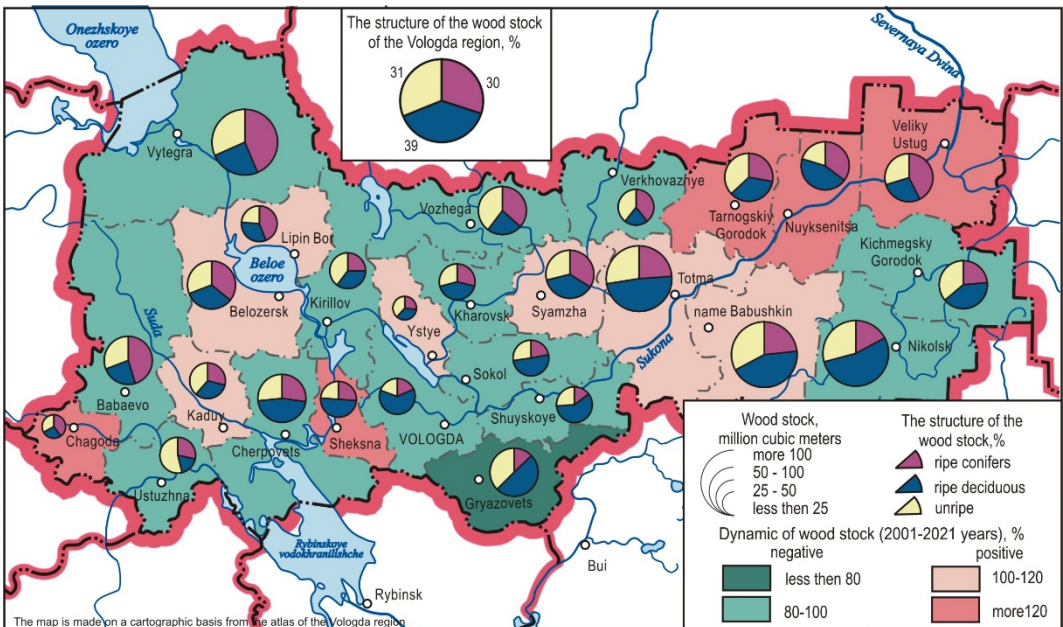


Figure 2. Timber resources in the Vologda region by districts and areas in 2021

Source: made by the authors as per: Department of natural resources and environmental protection of the Vologda region. *Integrated territorial cadastre of natural resources of the Vologda region*. Issue 27. Vologda; 2022. 391 p. (In Russ.); Department of natural resources and environmental protection of the Vologda region. *Integrated territorial cadastre of natural resources of the Vologda region*. Issue 6. Vologda; 2001. p. 32–33. (In Russ.).

Объемы вырубki в области за 20 лет изменились существенно (табл.).

Динамика вырубki древесины по лесничествам Вологодской области в 2000–2021 гг., %

Лесничество	Фактически вырублено, тыс. м ³		Динамика вырубki, %	Лесничество	Фактически вырублено, тыс. м ³		Динамика вырубki, %
	2000 г.	2021 г.			2000 г.	2021 г.	
Бабаевское	690,0	1114,4	161,5	Междуреченское	104,4	540,8	518,0
Бабушкинское	257,5	1292,0	501,7	Никольское	326,3	1088,2	333,5
Белозерское	538,8	758,5	140,8	Нюксенское	227,8	526,9	231,3
Вашкинское	272,1	325,4	119,6	Сокольское	318,5	559,4	175,6
Великоустюгское	710,0	1189,4	167,5	Сямженское	297,7	722,1	242,6
Верховажское	384,6	758,0	197,1	Тарногское	324,9	707,0	217,6
Вожегодское	446,2	609,9	136,7	Тотемское	604,2	1406,5	232,8
Вологодское	141,3	327,6	231,8	Усть-Кубинское	76,0	154,0	202,6
Вытегорское	1235,6	1816,6	147,0	Устюженское	72,8	118,0	162,1
Грязовецкое	291,4	979,7	336,2	Харовское	236,8	592,7	250,3
Кадуйское	91,5	377,0	412,0	Чагодощенское	90,4	190,5	210,7
Кирилловское	127,9	263,8	206,3	Череповецкое	163,2	594,8	364,5
Кич.-Городецкое	263,9	1023,9	388,0	Шекснинское	71,7	103,2	143,9
Итого					8365,5	18140,3	216,8

Источник: составлено авторами по: Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Комплексный территориальный кадастр природных ресурсов Вологодской области. Вып. 27. Вологда, 2022. 391 с.; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Комплексный территориальный кадастр природных ресурсов Вологодской области. Вып. 6. Вологда, 2001. С. 32–33.

Dynamics of timber felling per forestry departments of the Vologda region in 2000–2021, %

Forestry	Actually felled, thousand m ³		Felling dynamics, %	Forestry	Actually felled, thousand m ³		Felling dynamics, %
	2000	2021			2000	2021	
Babaevskoye	690.0	1114.4	161.5	Mezhdurechenskoye	104.4	540.8	518.0
Babushkinskoye	257.5	1292.0	501.7	Nikolskoye	326.3	1088.2	333.5
Belozerskoye	538.8	758.5	140.8	Nyuksenskoye	227.8	526.9	231.3
Vashkinskoye	272.1	325.4	119.6	Sokolskoye	318.5	559.4	175.6
Velikoustyugskoye	710.0	1189.4	167.5	Syamzhenskoye	297.7	722.1	242.6
Verkhovazhskoye	384.6	758.0	197.1	Tarnogskoye	324.9	707.0	217.6
Vozhegodskoye	446.2	609.9	136.7	Totemskoye	604.2	1406.5	232.8
Vologodskoye	141.3	327.6	231.8	Ust-Kubinskoye	76.0	154.0	202.6
Vytegorskoye	1235.6	1816.6	147.0	Ustyuzhenskoye	72.8	118.0	162.1
Gryazovetskoye	291.4	979.7	336.2	Kharovskoye	236.8	592.7	250.3
Kaduyskoye	91.5	377.0	412.0	Chagodoshchenskoye	90.4	190.5	210.7
Kirillovskoye	127.9	263.8	206.3	Cherepovetskoye	163.2	594.8	364.5
Kich.-Gorodetskoye	263.9	1023.9	388.0	Sheksninskoye	71.7	103.2	143.9
Total					8365.5	18140.3	216.8

Source: made by the authors as per: Department of natural resources and environmental protection of the Vologda region. *Integrated territorial cadastre of natural resources of the Vologda region*. Issue 27. Vologda; 2022. 391 p. (In Russ.); Department of natural resources and environmental protection of the Vologda region. *Integrated territorial cadastre of natural resources of the Vologda region*. Issue 6. Vologda; 2001. p. 32–33. (In Russ.).

По области объемы вырубki составили около 220 %, но в пространственном аспекте этот показатель варьирует от 119 % в Вашкинском до более 500 % в Бабушкинском и Междуреченском округах. Больше 1 млн м³ вырубается в Бабаевском, Бабушкинском, Великоустюгском, Кичменгско-

Городецком, Никольском, Тотемском округах, Вытегорском районе (рис. 3). В ряде округов (Кич.-Городецкий, Никольский, Междуреченский, Грязовецкий) вырубка выросла существенно – в 3-5 раза даже при минимально положительной или отрицательной динамике запаса.

В структуре вырубленной древесины почти повсеместно преобладают лиственные породы, что соответствует структуре запасов. По области в целом лиственные составляют почти 66 % в структуре вырубок. На этом фоне значительна доля хвойных в вырубках Устюженского (почти 70 %), Бабаевского, Вашкинского, Верховажского, Чагодощенского округов (50 % и более).

Интенсивность вырубки, рассчитанная как соотношение фактически вырубленной древесины к лесопокрытой площади, в области в целом составляет более 1,8 м³/га. По этому показателю область лидирует в стране⁹.

Более чем в половине округов показатель интенсивности вырубки превышает среднеобластной. Особенно значителен этот показатель (более 2,2 м³/га) в Верховажском, Грязовецком, Междуреченском, Сямженском, Харовском и Кадуйском округах.

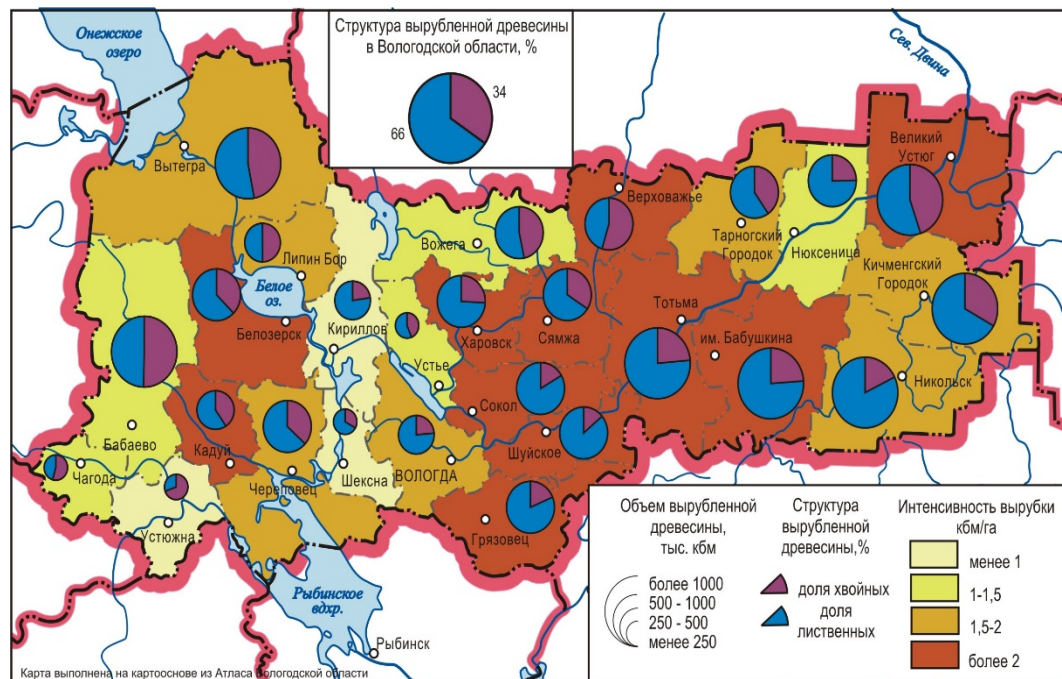


Рис. 3. Вырубка древесины в Вологодской области по районам и округам в 2021 г.

Источник: составлено авторами по: Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Комплексный территориальный кадастр природных ресурсов Вологодской области. Вып. 27. Вологда, 2022. 391 с.; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Комплексный территориальный кадастр природных ресурсов Вологодской области. Вып. 6. Вологда, 2001. С. 32–33.

⁹ Моделирование динамики бореальных лесов России в условиях глобального изменения климата для экологического, геохимического и экономического анализа. Лаборатория мониторинга лесных экосистем ЦЭПЛ РАН. URL: <http://www.ifi.rssi.ru/fareast/default.htm> (дата обращения: 19.11.2023).

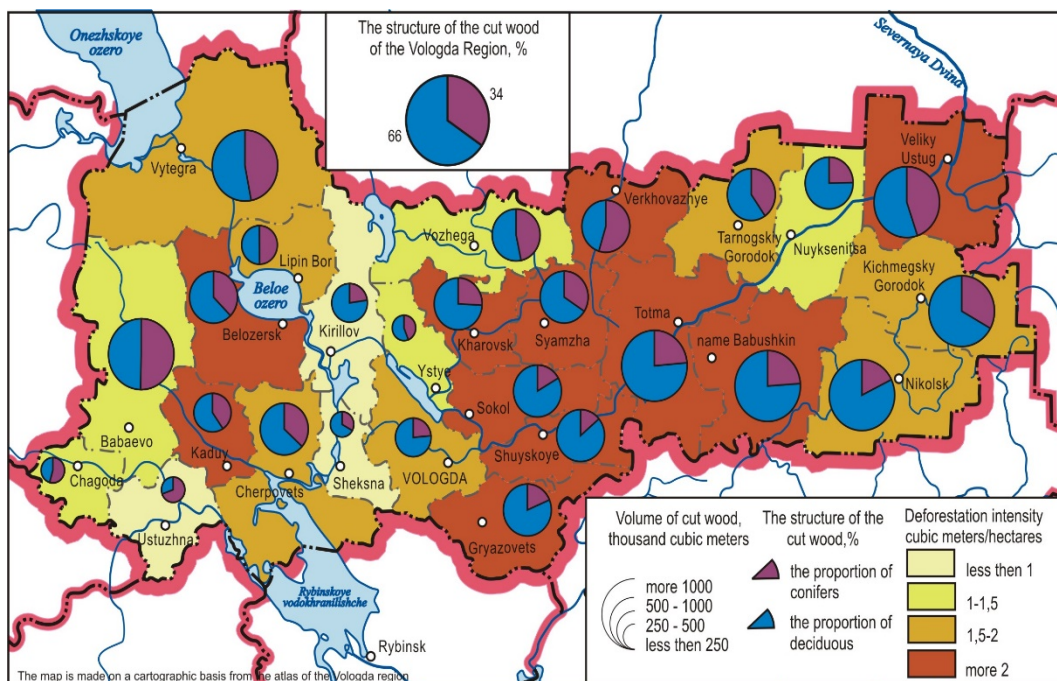


Figure 3. Felling forest in the Vologda region by districts and areas in 2021

Source: made by the authors as per: Department of natural resources and environmental protection of the Vologda region. *Integrated territorial cadastre of natural resources of the Vologda region*. Issue 27. Vologda; 2022. 391 p. (In Russ.); Department of natural resources and environmental protection of the Vologda region. *Integrated territorial cadastre of natural resources of the Vologda region*. Issue 6. Vologda; 2001. p. 32–33. (In Russ.).

Выводы

В Вологодской области эксплуатация лесных ресурсов от начала славянского освоения территории и вплоть до конца XX в. способствовала снижению лесистости, доли спелых древостоев и смене хвойных на лиственные. Преобладающей лесообразующей породой на сегодняшний день является береза, она же преобладает в структуре спелых лесов, особенно в лесах южно-таежной подзоны.

На протяжении двух десятилетий XXI в. наблюдается активная эксплуатация лесных ресурсов, которая характеризуется значительным ростом вырубки, преобладанием в структуре вырубки лиственных пород и отставанием динамики прироста запасов от динамики фактической вырубки.

По показателям объемов вырубки, интенсивности вырубки и производства пиломатериалов Вологодская область входит в тройку лидеров по стране. В пределах области по показателям объемов и интенсивности вырубок лидируют Тотемский, Бабушкинский, Великоустюгский округа, существенно превышают средние показатели по вырубкам Никольский, Кичменгско-Городецкий, Бабаевский округа и Вытегорский район.

С учетом сложившихся на сегодняшний день качественно-количественных характеристик лесных ресурсов и практики лесопользования в Вологодской области проблема устойчивого лесопользования и дальнейшего

развития лесопромышленного комплекса, как одного из основных направлений хозяйственной специализации региона, может стать остро актуальной уже в ближайшее время. Это приведет не только к утрате лидирующих позиций в лесопромышленном комплексе страны, но и усугубит проблему восстановления коренных таежных лесов, которые уже сейчас в основном сохраняются только в пределах особо охраняемых природных территорий.

Список литературы

- [1] Воробьева Г.А., Белова Ю.Н., Болотова Н.Л., Борисов М.Я., Буслевич А.Л., Воробьев Г.А., Дружинин Н.А. Природа Вологодской области / под ред. Вологда: Вологжанин, 2007. 434 с.
- [2] Бобровский Р.В. Растительный покров // Природа Вологодской области: сборник статей. Вологда: Областная типография, 1957. С. 210–300.
- [3] Скупинова Е.А., Золотова О.А., Бондаренко Д.А. Особо охраняемые природные территории Вологодской области (уникальные ландшафты). Череповец: Порт-Апрель, 2022. 240 с.
- [4] Zolotova O., Ivanishcheva E., Bazhenova O., Osolodkina A., Sokolova E. Conservation of forest ecosystems in regional complex nature reserves // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 411. P. 02057. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341102057>
- [5] Кобякова К.Н. Сохранение ценных природных территорий Северо-Запада России: анализ репрезентативности сети ООПТ Архангельской, Вологодской, Ленинградской и Мурманской областей, Республики Карелии, Санкт-Петербурга. Санкт-Петербург, 2011. 506 с.
- [6] Шевелев Н.Н. Природопользование и экологические проблемы Вологодской области. Вологда: Русь, 1994. 94 с.
- [7] Анишин П.А. Лесопользование и качество лесного фонда Европейского Севера // Антропогенное преобразование ландшафтов Севера Европейской части СССР. Вологда, 1990. С. 3–9.
- [8] Корякина В.В., Антонова В.И., Беляев Л.Н., Воробьев Г.А., Дерман Н.В., Зелененко А.П., Кожевникова И.А., Корякин В.В., Паланов А.В., Савчук Г.С., Серый А.А., Скалина В.И., Сулова Т.А., Филатов А.А., Чхобадзе А.Б., Шленкин Н.П., Юричев Е.Н. Леса земли Вологодской. Вологда: Легия, 1999. 294 с.

References

- [1] Vorobyova GA, Belova YuN, Bolotova NL, Borisov MYa, Buslovich AL, Vorobyov GA, Druzhinin NA. *Nature of the Vologda region*. Vorob'ev GA, editor. Vologda: Vologzhanin; 2007. 434 p. (In Russ.).
- [2] Bobrovskii RV. Vegetation cover of the Vologda region. In: *Nature of the Vologda region*. Vologda: Oblastnaya tipografiya; 1957. p. 210–300. (In Russ.).
- [3] Skupinova EA, Zolotova OA, Bondarenko DA. *Specially protected natural areas of the Vologda region (unique landscapes)*. Cherepovets: Port-Aprel'; 2022. 240 p. (In Russ.).
- [4] Zolotova O, Ivanishcheva E, Bazhenova O, Osolodkina A, Sokolova E. Conservation of forest ecosystems in regional complex nature reserves. *E3S Web of Conferences*. 2023;411:02057. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341102057> .
- [5] Kobayakov KN. *Mapping high conservation value areas in the Russian North-West: gap-analysis of the protected areas network in Murmansk, Leningrad, Arkhangelsk, Vologda regions, Republic of Karelia, and the city of Saint-Peterburg*. Saint Petersburg; 2011. 506 p. (In Russ.).
- [6] Shevelev NN. *Environmental management and environmental problems of the Vologda region*. Vologda: Rus'; 1994. 94 p. (In Russ.).

- [7] Anishin PA. Forest management and quality of the forest fund of the European North. *Anthropogenic transformation of the landscapes of the North of the European part of the USSR*. Vologda; 1990. p. 3–9. (In Russ.).
- [8] Koryakina VV, Antonova VI, Belyaev LN, Vorobyov GA, Derman NV, Zeleenko AP, Kozhevnikova IA, Koryakin VV, Palanov AV, Savchuk GS, Sery AA, Skalina VI, Suslova TA, Filatov AA, Chkhobadze AB, Shlenkin NP, Yurichev EN. *Forests of Vologda land*. Vologda: Legiya; 1999. 294 p. (In Russ.).

Сведения об авторах:

Баженова Оксана Владимировна, кандидат географических наук, доцент кафедры географии и рационального природопользования, институт математики, естественных и компьютерных наук, Вологодский государственный университет, Российская Федерация, 160000, Вологда, ул. Ленина, д. 15. eLIBRARY SPIN-код 7220-8381. E-mail: bazhenovaov@vogu35.ru

Золотова Ольга Акиндиновна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географии и рационального природопользования, институт математики, естественных и компьютерных наук, Вологодский государственный университет, Российская Федерация, 160000, Вологда, ул. Ленина, д. 15. eLIBRARY SPIN-код 2154-9058. E-mail: zolga_vologda@mail.ru

Иванищева Елизавета Александровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры географии и рационального природопользования, институт математики, естественных и компьютерных наук, Вологодский государственный университет, Российская Федерация, 160000, Вологда, ул. Ленина, д. 15. ORCID: 0000-0001-6216-4287; eLIBRARY SPIN-код 8485-6001. E-mail: lizaivanischeva@rambler.ru

Осолодкина Алена Федоровна, старший преподаватель кафедры географии и рационального природопользования, институт математики, естественных и компьютерных наук, Вологодский государственный университет, Российская Федерация, 160000, Вологда, ул. Ленина, д. 15. eLIBRARY SPIN-код 5077-2693. E-mail: gorodishenina.al@mail.ru

Bio notes:

Oksana V. Bazhenova, Cand. Geogr. Sci., Associate Professor of the Department of Geography and Environmental Management, Institute of Mathematics, Natural and Computer Sciences, Vologda State University, 15 Lenin St, Vologda, 160000, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code 7220-8381. E-mail: bazhenovaov@vogu35.ru

Olga A. Zolotova, Cand. Geogr. Sci., Associate Professor of the Department of Geography and Environmental Management, Institute of Mathematics, Natural and Computer Sciences, Vologda State University, 15 Lenin St, Vologda, 160000, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code 2154-9058. E-mail: zolga_vologda@mail.ru

Elizaveta A. Ivanishcheva, Cand. Biol. Sci., Associate Professor of the Department of Geography and Environmental Management, Institute of Mathematics, Natural and Computer Sciences, Vologda State University, 15 Lenin St, Vologda, 160000, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6216-4287, eLIBRARY SPIN-code 8485-6001. E-mail: lizaivanischeva@rambler.ru

Alena F. Osolodkina, Senior Lecturer of the Department of Geography and Environmental Management, Institute of Mathematics, Natural and Computer Sciences, Vologda State University, 15 Lenin St, Vologda, 160000, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code 5077-2693. E-mail: gorodishenina.al@mail.ru