



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

2022 Том 30 № 4

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4

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

**Научный журнал
Издается с 1993 г.**

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

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

Харченко Сергей Григорьевич, доктор физико-математических наук, действительный член Российской академии естественных наук, Академии военных наук, Российской экологической академии, Нью-Йоркской академии наук, Международного общества по анализу риска, главный научный сотрудник Института экологии, профессор кафедры математических методов в экономике, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
Редина Маргарита Михайловна, доктор экономических наук, профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Ответственный секретарь редколлегии

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Периодичность: ежеквартально

Языки публикаций: русский, английский.

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

Цели и тематика

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

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

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

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

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

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

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

Адрес редакции:

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

Адрес редакционной коллегии журнала:

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

Подписано в печать 14.11.2022. Выход в свет 20.12.2022. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 16,45. Тираж 500 экз. Заказ № 1228. Цена свободная.

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

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



RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY

2022 VOLUME 30 No. 4

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4

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

Founded in 1993

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

Editor-in-Chief

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

Deputy Editors-in-Chief

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

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

Executive Secretary

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Frequency: Quarterly

Publication languages: Russian, English

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

Aims and Scope

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

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

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

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

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

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

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

Address of the editorial office:

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

Address of the editorial board of the journal:

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

Printing run 500 copies. Open price.

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

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

© Peoples' Friendship University of Russia, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ

- Шергина О.В., Миронова А.С., Тупицына Ю.С.** Оценка экосистемных функций городских лесов по показателям почв и древесных растений..... 447
- Arias Ordonez P.J., Suasnavas Lagos C.V., Kharlamova M.D., Arias Ordonez W.R.** Water budget of a Ramsar site in Ecuador (Ариас Ордоньес П.Х., Суаснавас Лагос К.В., Харламова М.Д., Ариас Ордоньес В.Р. Водный баланс Рамсарского объекта в Эквадоре)... 459
- Parakhina E.A., Rudneva M.A.** Assessment of the ecological status of street plantings in Balashikha city, Moscow region (Парахина Е.А., Руднева М.А. Оценка экологического состояния зеленых насаждений в г. Балашиха, Московская область) 475
- Розанов В.Б., Березкин В.Ю., Черешенко А.В.** Возможные причины колебания уровня природных вод в Косинских озерах в XX–XXI веках – природные и антропогенные..... 486
- Глубокая А.С., Атаманова О.В., Тихомирова Е.И., Подоксенов А.А., Симонова З.А.** Разработка и обоснование новых технологий очистки водных сред от загрязнений тяжелыми металлами..... 498
- Андреев Т.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю.** Отходы зерновых Краснодарского края как местный ресурс тепловой энергии..... 511

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Валов М.В., Бармин А.Н., Беляев Д.Ю., Синцов А.В., Липезина Е.В.** Влияние природных факторов на первичное засоление краткочерных почв дельты реки Волги..... 524
- Алейникова А.М.** Деятельность студенческого объединения как вклад в развитие профессиональных навыков у студентов и начало научных исследований 537

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

- Проценко Д.Ю., Букин И.О.** Разработка метода лазерной спектроскопии и аппаратно-программного комплекса для экологического мониторинга подводных акваторий с использованием телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов..... 544
- Борисова Е.А., Красноперова С.А.** Подбор сорбента при аварийных разливах нефтепромысловых жидкостей на территории Камбарского нефтяного месторождения..... 561
- Плотникова О.А., Тихомирова Е.И., Мельников Г.В.** Сравнительный анализ избирательности флуоресцентных методов для экологического мониторинга экотоксикантов 574

БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

- Прокофьева А.С.** Статистическая модель магнитного поля промышленной частоты, созданного воздушными линиями электропередачи с классом напряжения 220 и 500 кВ, находящимися на территории России..... 584
- Пинаев С.К., Чижов А.Я., Пинаева О.Г.** Связь солнечной активности и дыма с гемобластозами детского возраста..... 597

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

- Торцев А.М.** Система факторов антропогенного воздействия на ихтиофауну бассейна реки Северная Двина..... 606
- Якимов А.В.** Состояние проблемы нерационального использования водных биологических ресурсов в 2022 году на примере промысла минтая..... 620

CONTENTS

ECOLOGY

- Shergina O.V., Mironova A.S., Tupitsyna Yu.S.** Assessment of ecosystem functions of urban forests in terms of soil and trees 447
- Arias Ordonez P.J., Suasnavas Lagos C.V., Kharlamova M.D., Arias Ordonez W.R.** Water budget of a Ramsar site in Ecuador..... 459
- Parakhina E.A., Rudneva M.A.** Assessment of the ecological status of street plantings in Balashikha city, Moscow region 475
- Rozanov V.B., Berezkin V.Yu., Chereshenko A.V.** Possible causes of natural water level variations in the Kosin Lakes in the 20th–21st century – natural and anthropogenic 486
- Glubokaya A.S., Atamanova O.V., Tikhomirova E.I., Podoksenov A.A., Simonova Z.A.** Development and justification of new technologies purification of water environments from pollution by heavy metals 498
- Andreenko T.I., Kiseleva S.V., Rafikova Yu.Yu.** Cereals waste in the Krasnodar region as a local heat energy resource..... 511

GEOECOLOGY

- Valov M.V., Barmin A.N., Belyaev D.Yu., Sintsov A.V., Lipezina E.V.** Natural factors influence on first rarely flooded soil salination of the river Volga delta 524
- Aleinikova A.M.** Activities of the student association as a contribution to the development of professional skills of students and the beginning of scientific research 537

ENVIRONMENTAL MONITORING

- Proschenko D.Yu., Bukin I.O.** Development of a laser spectroscopy method and a hard-software framework for ecological monitoring of underwater areas by remote operated vehicles 544
- Borisova E.A., Krasnoperova S.A.** Selection of sorbent in case emergency spills of oilfield liquids on the territory of the Kambarsky oil field 561
- Plotnikova O.A., Tikhomirova E.I., Melnikov G.V.** Comparative analysis of fluorescent methods selectivity for ecotoxicants environmental monitoring 574

SAFETY OF HUMAN ACTIVITY

- Prokofyeva A.S.** Magnetic field of the industrial frequency polluting statistical model near overhead power lines with voltage class 220 and 500 kV located in Russia 584
- Pinaev S.K., Chizhov A.Ya., Pinaeva O.G.** A link between solar activity and smoke with hemoblastosis in children..... 597

BIOLOGICAL RESOURCES

- Tortsev A.M.** The system of factors of anthropogenic impact on the fish fauna of the Northern Dvina river basin..... 606
- Iakinov A.V.** The state of the problem of irrational use of aquatic biological resources in 2022 on the example of Pollock fishing 620

ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-447-458

УДК 504.06:502.11

Научная статья / Research article

Оценка экосистемных функций городских лесов по показателям почв и древесных растений

О.В. Шергина¹, А.С. Миронова¹, Ю.С. Тупицына²

¹*Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН,
Иркутск, Российская Федерация*

²*Педагогический институт Иркутского государственного университета,
Иркутск, Российская Федерация*
sherolga80@mail.ru

Аннотация. Обследованы леса в крупных промышленных городах Иркутской области (Иркутск, Ангарск, Усолье-Сибирское), подвергающиеся аэротехногенному загрязнению и рекреационной нагрузке разной степени интенсивности. Современное состояние городской среды оценивалось по комплексу морфоструктурных, физико-химических и токсикологических показателей древесных насаждений (сосна, лиственница, береза) и серых лесных почв – основных средообразующих компонентов. Изучение биогеохимического перераспределения потоков аэротехногенных загрязнителей в городских лесах позволило выявить степень проявления важнейшей экосистемной функции почвенного покрова – способности к аккумуляции и детоксикации техногенных поллютантов и функции древесных растений – способности очищения атмосферного воздуха путем аккумуляции токсикантов в хвое и листьях. Полученные результаты позволили судить об устойчивости древесных растений и почв городских лесов, о возможности очищения и восстановления городской среды.

Ключевые слова: экосистемные функции, зеленые насаждения, естественные почвы, техногенное загрязнение, биогеохимическая миграция элементов

Благодарности и финансирование. Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Иркутской области (проект № 20-44-380016).

© Шергина О.В., Миронова А.С., Тупицына Ю.С., 2022



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

Вклад авторов: *О.В. Шергина* – концептуализация исследований, выполнение лабораторных опытов и сбор данных; *А.С. Миронова* – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация; *Ю.С. Тупицына* – выполнение лабораторных опытов, анализ и интерпретация данных.

История статьи: поступила в редакцию 15.08.2022; доработана после рецензирования 26.08.2022; принята к публикации 12.10.2022.

Для цитирования: Шергина О.В., Миронова А.С., Тупицына Ю.С. Оценка экосистемных функций городских лесов по показателям почв и древесных растений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 447–458. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-447-458>

Assessment of ecosystem functions of urban forests in terms of soil and trees

Olga V. Shergina¹, Anastasiya S. Mironova¹, Yulia S. Tupitsyna²

¹Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

²Pedagogical Institute of Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

sherolga80@mail.ru

Abstract. Forests in the cities of the Angara region (Irkutsk, Angarsk, Usolye-Sibirskoye), exposed to aerotechnogenic pollution and recreational load of varying degrees of intensity, were surveyed. In pine and pine-birch forests on natural gray forest soils, 27 sample plots were studied. The current state of the urban environment was assessed by a set of morphostructural, physico-chemical and toxicological indicators of tree plantations (pine, larch, birch) and gray forest soils – the main habitat-forming components. For the first time on the basis of the obtained data and assessment of ecosystem functions of soil cover and tree plantations the results of studies on purification of atmospheric air and preservation of phytocenoses in the urban environment are presented. The study of biogeochemical redistribution of flows of aerotechnogenic pollutants in urban forests revealed the degree of manifestation of the most important ecosystem function of the soil cover – the ability to accumulate and detoxify man-made pollutants and the function of woody plants – the ability to clean atmospheric air by accumulating toxicants in the needles and leaves. The results obtained made it possible to judge about the sustainability of woody plants and soils of urban forests, about the possibility of purification and restoration of the urban environment.

Keywords: ecosystem functions, green spaces, natural soils, anthropogenic pollution, biogeochemical migration of elements

Acknowledgements and Funding. The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Irkutsk Region (project No. 20-44-380016).

Authors' contributions: *O.V. Shergina* – conceptualization of research, performance of laboratory experiments and data collection; *A.S. Mironova* – conceptualization of research, data analysis and interpretation; *Yu.S. Tupitsyna* – performance of laboratory experiments, data analysis and interpretation.

Article history: received 15.08.2022; revised 26.08.2022; accepted 12.10.2022.

For citation: Shergina OV, Mironova AS, Tupitsyna YuS. Assessment of ecosystem functions of urban forests in terms of soil and trees. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):447–458. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-447-458>

Введение

Изучение городов как своеобразных экологических систем остается актуальной проблемой современной науки. В настоящее время все большее число городских лесов получают статус городских особо охраняемых территорий, что свидетельствует о признании важности природных комплексов для урбанизированных территорий [1]. По нашему мнению, изучение структурной организации городских лесов как естественно сохранившихся зеленых каркасов, а также механизмов взаимообусловленного функционирования древесных растений и почв позволяет адекватно определять устойчивость урбоэкосистемы к антропогенному воздействию (техногенное загрязнение и рекреационная нагрузка). При этом необходимым и важным направлением городской экологии должно быть обеспечение сохранности этих уникальных экологических систем. Одним из перспективных направлений природоохранной деятельности на глобальном, региональном и местном уровнях является оценка экосистемных функций/услуг природных комплексов, которая становится в последнее время неотъемлемой частью зеленой политики и устойчивого развития общества [2].

До настоящего момента на урбанизированных территориях Приангарья не проводились комплексные экологические исследования естественно сохранившихся лесов, образующих зеленый каркас городов. В регионе основными негативными факторами, оказывающими воздействия на городские леса, служат высокая рекреационная нагрузка и техногенное загрязнение [3; 4]. Для улучшения экологической ситуации крайне необходимо помимо сокращения объемов техногенных выбросов и снижения уровня рекреационной нагрузки разрабатывать научно обоснованные подходы улучшения состояния древесных насаждений и почв – средообразующих компонентов городских лесов, играющих важнейшую роль в оздоровлении окружающей среды. Концепция сохранения городских лесов, как естественных экосистем урбанизированных территорий, должна служить основой устойчивого природопользования в регионе. В этом плане важным является получение информативных данных об экосистемных функциях городских лесов Приангарья в условиях техногенного загрязнения и рекреационной нагрузки, поскольку они позволяют оценить, в какой мере реализуема возможность оптимизации городской среды. Этим определяется основная цель исследования – по полученным данным очищения воздушной среды городов путем накопления и детоксикации техногенных загрязнителей почвенным покровом, поглощения и накопления токсикантов в хвое и листьях деревьев, выявить особенности трансформации природной среды в изучаемых урбоэкосистемах и оценить экосистемные функции зеленых насаждений и почв.

Методы и материалы

Обследованы городские леса на урбанизированных территориях Иркутской области, Восточная Сибирь (города Иркутск, Ангарск, Усолье-Сибирское) в условиях разного уровня воздействия негативных факторов окружающей среды – рекреационной нагрузки и атмосферного загрязнения, приводящих к экологическому нарушению природных процессов. Полевой этап работ выполнен в июле-августе 2019–2021 гг.

В сосново-березовых лесах, которые располагались в черте застроек и на окраинах городов, проводилась закладка пробных площадей (ПП). Всего было заложено 27 ПП на естественных серых лесных почвах с ненарушенной морфологией почвенного профиля, которые приурочены к одному почвенному округу Иркутско-Черемховской равнины. При описании растений и почв на ПП руководствовались Международной методикой ICP Forests. Фоновые ПП закладывались в сосновых лесах на расстоянии 80 км и более от городов, эти территории характеризуются относительно здоровым состоянием древостоев и ненарушенным почвенным покровом, всего было заложено три фоновых ПП.

На каждой ПП были проводили исследования состояния воздушной среды, подвергающейся воздействию комплекса загрязнителей. С помощью мониторов качества атмосферного воздуха (Air Master 2 AM7; Wintact WT8811; DM126-NH3) определялась общая концентрация летучих органических соединений, диоксида серы, аммиака, содержание углекислого газа и кислорода.

При исследовании древостоев (сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, березы повислой) фиксировались основные их лесотаксационные характеристики (тип леса, состав древостоя, полнота древостоя, сомкнутость крон), проводились геоботанические описания, определялся уровень деструкции лесной подстилки. На всех ПП с 5–6 деревьев отбирались пробы хвои сосны и лиственницы, листьев березы. В лабораторных условиях проводилось определение содержания в ассимиляционных органах элементов-биогенов и накопление элементов-поллютантов [5; 6].

Для отбора образцов серых лесных почв на каждой ПП закладывали разрезы до глубины подстилающей породы. Название типа почв и индексов горизонтов устанавливалось в соответствии с единым государственным реестром почвенных ресурсов России [7]. Почвенный профиль представлен совокупностью горизонтов: АО – А1 – А2 – А2В – В1 – В2 – ВС – С, в нем выделяются зоны органической (лесная подстилка), гумусовой и элювиально-иллювиальной аккумуляции веществ. Показатели почв, свидетельствующие о детоксицирующей способности, определялись по комплексу кислотно-основных, катионообменных, гумификационных свойств почв [8]. Активность миграции поллютантов и элементов-биогенов в системе почвенного профиля оценивали с помощью лизиметров (AQUAMETER ECO, модель E), которые помещались на разную глубину (рис. 1).



Рис. 1. Вид расположения лизиметров в глубине почвенного профиля /
Figure 1. View of the location of lysimeters in the depth of the soil profile

Элементный химический состав растений и почв определялся методами пламенной фотометрии, атомно-абсорбционной спектрофотометрии, фотоколориметрирования с использованием приборного парка Байкальского аналитического центра (ЦКП) ИНЦ СО РАН по сертифицированным методикам, в частности AAS Vario 6 (Analytik Jena AG, Германия), спектрофотометр Spectrum One FT-IR, (PerkinElmer Life and Analytical Sciences, США), Agilent 6890/5973 GC/MSD System (Agilent Technologies, США). Полученный массив данных подвергался статистическому и корреляционному анализу («Среда статистических вычислений R» и ее использование в Data Mining).

Результаты исследования и их обсуждение

При натурном обследовании установлено, что наибольшее распространение в городских лесах Приангарья имеют сосняки разнотравные с примесью березы, а также березняки разнотравные и папоротниковые. Дрестостой

сосны чаще всего одноярусные, средневозрастные (50–70 лет), средние по высоте (16–25 м), не густые (полнота 0,3–0,4). В комлевой части стволов деревьев представлены единичные группировки лишайников и мхов. Подрост образован мелколиственными породами. Кустарниковый ярус редкий, его образуют *Crataegus sanguinea* Pallas, *Rhododendron dauricum* L., *Rosa acicularis* Lindley, *Sambucus* sp. Обнаружено, что в городских лесах часто встречаются ослабленные деревья со всевозможными механическими повреждениями, которые способствуют увеличению распространения фитопатогенов. Натурные обследования показали, что у деревьев березы листья поражаются возбудителями *Gloeosporium betulae*, *Microsphaera betulae*, а на деревьях сосны часто наблюдается пожелтение хвои, вызванное различными видами микромицетов (например, *Lophodermium pinastri*). В травостое видами-доминантами являются *Carex* sp., *Poa pratensis*, *Trifolium pretense*, *Ranunculus sceleratus*, *Polygonum aviculare*, *Achillea millefolium*, *Plantago depressa*, *Carum carvi*, *Phleum pretense*.

Отличительной особенностью городских лесов является сохранение естественных почв, антропогенные нарушения в которых затрагивают только верхние гумусовые горизонты до глубины 10 см. При этом на всех ПП для почвенных разрезов характерны общие генетические особенности. Так, верхний гумусово-элювиальный горизонт А2 светло-серого цвета, комковато-зернистой структуры, плотноватый с обильным включением корней растений и постепенной границей перехода по окраске и плотности в нижележащий горизонт. Под гумусовым слоем в профиле присутствует переходный горизонт А2В серого цвета, комковатой структуры со специфичной по минералогическому составу белесо-палевой присыпкой. Далее располагается среднесуглинистый текстурный горизонт В2 ржаво-бурого цвета, что свидетельствует о наличии элювиально-иллювиального процесса, нижние почвообразующие горизонты ВС и С более светлой окраски, слабо структурированные, на глубине их залегания обнаруживаются карбонаты.

Способность почвы выполнять экосистемную функцию в первую очередь связана с процессами перераспределения биогеохимических потоков элементов и их соединений в экосистеме. При этом универсальными критериями экологической оценки природной среды, отвечающими за миграцию веществ, служат кислотно-щелочные условия среды и емкость почвенно-поглощающего комплекса (ППК) [9]. В частности, эти показатели играют важнейшую роль в поглощении атмосферных загрязнителей, регулировании их потока в почвенном профиле и формировании устойчивости к антропогенному воздействию экосистемы в целом. В городских лесах Приангарья изучались изменения уровня кислотно-щелочного баланса среды параллельно в нескольких компонентах лесной экосистемы: травяном покрове (надземная и подземная биомасса), лесной подстилке, горизонтах почвенного профиля, ассимиляционных органах деревьев: хвое сосны, лиственницы, листьях березы. Показано, что в городских лесах, подверженных высокой рекреационной

нагрузке и загрязнению атмосферного воздуха, обнаруживается сдвиг реакции среды почвенных растворов и гомогенатов растений в сторону щелочных значений. Ранее нами также было зарегистрировано увеличение щелочности почв и лесной подстилки на урбанизированных территориях [10]. Так, в городских лесах увеличение актуальной кислотности органической подстилки может достигать значений $pH_{(водн)}$ 8,25 при фоновых значениях $pH_{(водн)}$ 5,70, для гумусовых горизонтов $pH_{(водн)}$ изменяется от 5,20 до 8,10, для гомогенатов хвои и листьев деревьев – от 4,10 до 5,50. Такие результаты могут свидетельствовать о поступлении щелочных аэровыбросов на поверхность почвы, травяной покров и в кроновое пространство деревьев, а также о негативном воздействии их химического состава на биогеохимические процессы. Установленные корреляционные связи ($r = 0,85–0,98$, $n = 78$) между показателями актуальной кислотности почвенных растворов и гомогенатов лесной подстилки, травяного покрова, хвои (листьев) деревьев свидетельствуют о взаимосвязанном нарушении кислотно-щелочного баланса под действием урбозкислоты.

Нарушение кислотно-щелочных условий в почвах приводит к изменению содержания обменных катионов (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) в ППК. Изучение подвижных форм элементов-биогенов в ППК свидетельствует об изменении их соотношений [$K^+ : Na^+ : Ca^{2+} : Mg^{2+}$] и увеличении общей суммы – $\Sigma[K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}]$ в сравнении с фоном. При этом содержание органического вещества в почвах городских лесов не является определяющим фактором ($r \leq 0,35$) катионообменной активности почв, как это установлено для фоновых территорий. В городских условиях одним из определяющих факторов загрязнения почв выступает увеличение доли щелочных катионов. Так, исследования показали, что в городских лесах с высокой рекреационной нагрузкой дисбаланс в составе ППК определяется значительным увеличением обменного натрия, содержание которого может достигать более $6 \text{ мг/кг} \times 10^2$. При этом в составе обменных катионов происходит химическое замещение кальция и магния на натрий в обменно-поглощенном состоянии. Увеличение обменного натрия в почвенном растворе приводит к выраженным морфологическим изменениям в профиле серых лесных почв. На поверхности почв под лесной подстилкой наблюдается образование плотного белесо-серого слоя, а в нижележащих горизонтах отмечаются солевые потеки и линзы.

Проведенные исследования показали, что в условиях минерализации гумуса наблюдается активная миграция лабильных гумусовых кислот вниз по профилю, выщелачивание органического вещества и усиление соленакопления при протекании элювиального почвообразовательного процесса. Установлено, что в почвах городских лесов наблюдается значительное увеличение содержания кальция и серы, которые образуют в почвах гипс и изменяют морфологический облик почвенных разрезов. Этот факт свидетельствует о том, что поступающие с техногенными выбросами на поверхность почвы сульфаты вступают в активное химическое взаимодействие с обменными ионами

кальция, входящими в ППК. При этом наибольшая сорбционная способность кальция и серы наблюдается в условиях подщелачивания почвенного раствора. Для фоновых почв достоверная сопряженность связи между содержанием подвижной серы и обменных катионов не выявлена.

Полученные результаты установили, что изменение состава обменных катионов ППК и нарушение кислотно-щелочного баланса определяют накопление и миграцию тяжелых металлов (ТМ) и элементов-токсикантов (серы, хлора, фтора) в почвах. На городских территориях Приангарья в серых лесных почвах обнаружено активное перемещение и накопление подвижных форм загрязняющих элементов во всех генетических горизонтах: А0 – А1 – А2 – А2В – В1 – В2 – ВС – С (рис. 2).

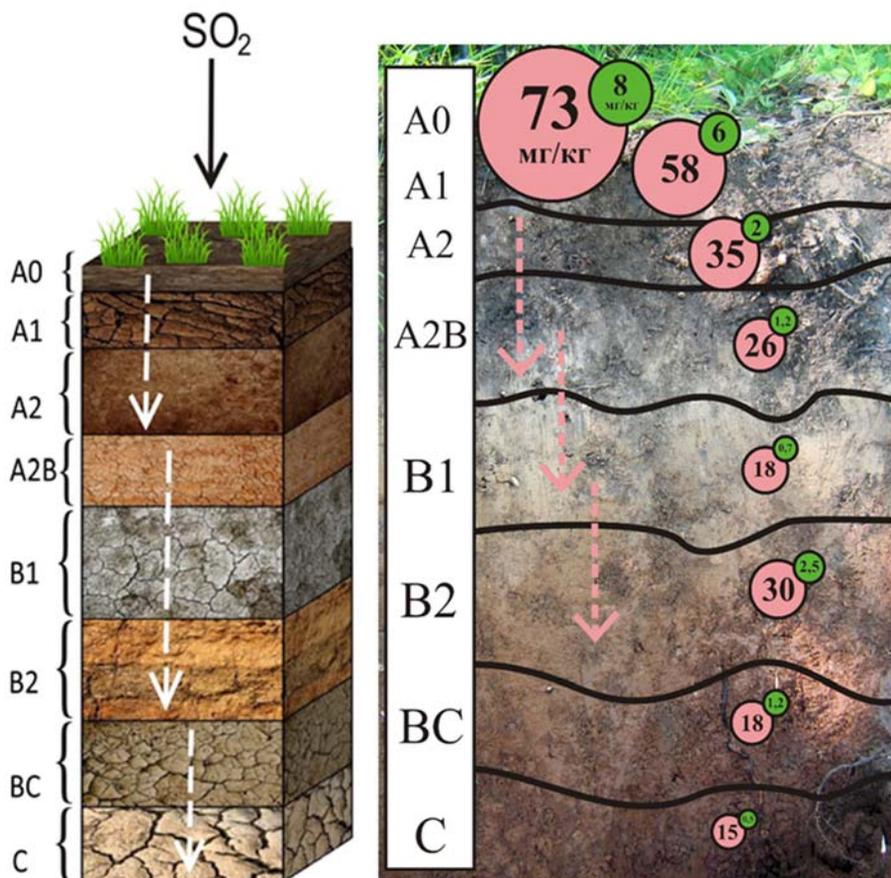


Рис. 2. Миграция сульфатов в профиле серых лесных почв (розовыми кружками показана концентрация серы в городских почвах, зелеными – в фоновых почвах) / Figure 2. Sulfate migration in the profile of gray forest soils (pink circles show sulfur concentration in urban soils, green circles – in background soils)

Полученные результаты свидетельствуют, что уровень загрязнения городских почв ТМ определяется двумя основными педохимическими процессами – аккумуляцией в гумусовых горизонтах и вертикальной миграцией по

почвенному профилю. Обнаружено, что содержание ТМ в лесной подстилке и гумусовых горизонтах почв Иркутска может максимально превышать фоновые значения свинца – до 34 раз, меди – до 23, цинка – до 18, кадмия – до 14 раз. В лесных почвах городов Ангарска и Усолья-Сибирского превышения фоновых концентраций примерно одинаковы и составляют для вышеперечисленных ТМ 28, 17, 14 и 8 раз соответственно. На примере проведенных лизиметрических исследований миграции свинца и кадмия в почвенной толще серых лесных почв Усолья-Сибирского показано их высокое накопление в гумусово-аккумулятивных горизонтах и интенсивное иллювиальное перераспределение с глубиной. Так, в верхних горизонтах А1, А2, А2В городских лесов на окраине города содержание свинца и кадмия превышает фоновый уровень в 7–10 раз. В нижележащем иллювиальном горизонте В1 почвенного профиля концентрация элементов уже снижается до 4–6 раз относительно накопления в верхних гумусовых горизонтах, а в текстурном горизонте В2 концентрация ТМ снова возрастает в сравнении с вышележащим органоминеральным А2В и минеральным В1 горизонтами. Этот процесс объясняется фиксацией ионов ТМ иллювиальными коллоидами нижних горизонтов почв. Специфика аккумулятивной способности генетических горизонтов почвенного профиля характерна также и для других аэротехногенных поллютантов городской среды. Так, на территории Иркутска промывной тип почвенного режима и фиксация химических элементов гумусом и минеральными коллоидами обуславливают направленность миграционных потоков сульфатов и фторидов в почвенном профиле.

Исследования показывают, что из загрязненных почв подвижные формы элементов-токсикантов способны активно поступать в корневые системы растений. Наряду с фолиарным загрязнением древесных растений немаловажную роль в городских лесах играет почвенное поглощение элементов-загрязнителей. Учитывая полученные результаты, свидетельствующие о высокой миграционной активности токсикантов в системе почвенного профиля серых лесных почв, можно говорить о наличии значительного их поступления в ассимиляционные органы растений из всех горизонтов загрязненных почв. Так, на примере данных о содержании в хвое сосны и горизонтах почвенного профиля приоритетных токсикантов – серы и хлора было установлено, что это связи высокого уровня значимости ($r = 0,79–0,88$, $P = 0,05$, $n = 64$).

Исследованиями установлено, что суммарная аккумуляция токсикантов (сумма фолиарного и почвенного поступления) в ассимиляционных органах деревьев городских лесов Иркутска в хвое сосны и лиственницы и листьях березы превышает фоновые значения серы в 1,5–3 раза, фтора – в 3–6 раз, хлора – в 2–7 раз, свинца – в 8–20 раз, кадмия – в 5–8 раз, ртути – в 1,5–4 раза, меди – в 3–8 раз, цинка – в 2–7 раз, железа – в 2–8 раз. В Ангарске содержание элементов-поллютантов в хвое и листьях деревьев также высокое. В городских лесах содержание серы превышает фоновые концентрации в 2–3 раза,

свинца – в 7–15 раз, кадмия – в 4–7 раз, ртути – в 1,5–2 раза, меди – в 2–7 раз, цинка – в 2–6 раз, железа – в 2–5 раз, мышьяка – в 1,5–3 раза. В Усолье-Сибирском загрязнение древесных растений обусловлено близостью техногенной зоны и нарушением почвенного покрова на больших площадях, прилегающих к городским лесам. В хвое сосны, лиственницы и листьях березы содержание серы превышает фоновое в 1,3–2,5 раза, хлора – в 2–9 раз, свинца – в 4–12 раз, кадмия – в 3–7 раз, ртути – в 1,5–9 раз, меди – в 2–5 раз.

Изучение перераспределения потоков аэротехногенных поллютантов в городских лесах позволило выявить степень проявления важнейшей экосистемной функции почвенного покрова – способности к аккумуляции и детоксикации техногенных поллютантов и древесных растений – способности очищения атмосферного воздуха путем аккумуляции токсикантов в хвое и листьях. Установлено, что наименьший уровень загрязнения городских лесов отмечается на окраине городов, не подпадающих под перенос промышленных эмиссий и выбросов автотранспорта. Повышенный уровень загрязнения почв и растений обнаружен для большинства лесов в городской черте. При сильном уровне загрязнения городских лесов экосистемная функция почв заключается в иммобилизации токсичных ионов почвенного раствора в составе труднорастворимых комплексных соединений в условиях щелочной реакции среды, что существенно уменьшает их доступность для растений. Необходимо отметить, что накопление поллютантов в ассимиляционных органах растений подтверждают также данные о загрязнении атмосферного воздуха в городах, согласно которым значения ПДК загрязняющих веществ значительно превышены.

Заключение

Проведена оценка экосистемных функций городских лесов Приангарья по комплексу морфоструктурных, физико-химических и токсикологических показателей почв и древесных растений. Установлено, что выбранные показатели отличаются высоким уровнем взаимных корреляций, что отражает их индикационный характер в условиях негативного антропогенного воздействия (аэротехногенное загрязнение и рекреационная нагрузка) на растения и почвы городских территорий. Показано, что наиболее информативными являются параметры лесной подстилки, верхних почвенных горизонтов, ассимиляционных органов древесных растений. Исследованные биогеохимические процессы – изменение кислотно-щелочных условий в лесной экосистеме, нарушение соотношений биогенных элементов в почвах и растениях, миграция и аккумуляция элементов-поллютантов в почвенном профиле, хвое и листьях древесных растений – характеризуются взаимообусловленными изменениями в фито- и педоценозе. Установлено, что в городских лесах в условиях высокого уровня рекреационной нагрузки большую информативность приобретают морфоструктурные показатели верхних горизонтов почв. Для этих территорий выявлены повышенный уровень деструкции органического

вещества, снижение минерализации элементов питания растений. При высоком воздействии атмосферного загрязнения обнаружены интенсивная аккумуляция и миграция поллютантов в почвенных горизонтах, нарушение соотношений калия, натрия, кальция, магния в ППК и ассимиляционных органах растений. В целом полученные результаты дают информацию о проявлении экосистемных функций почвы и древесных растений, рассматриваемых как основные средообразующие и средозащитные компоненты городской среды.

Список литературы

- [1] Беднова О.В. Технология нормирования и индикации состояния лесных экосистем в условиях городских особо охраняемых территорий // *Лесной вестник*. 2014. Т. 16, № 6. С. 36–52.
- [2] Пузаченко Ю.Г. Общие основания концепции устойчивого развития и экосистемных услуг // *Известия РАН. Серия географическая*. 2012. № 3. С. 22–39.
- [3] Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2018 году». Иркутск: ООО «Мегапринт», 2019. 307 с.
- [4] Михайлова Т.А., Калугина О.В., Шергина О.В. Динамика состояния сосновых лесов Предбайкалья в условиях воздействия антропогенных факторов // *Сибирский лесной журнал*. 2017. № 1. С. 44–55. <http://doi.org/10.15372/SJFS20170105>
- [5] Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
- [6] Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеиздат, 1981. 108 с.
- [7] Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2014. 768 с.
- [8] Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
- [9] Орлов Д.С. Химия и охрана почв // *Соросовский образовательный журнал*. 1996. № 3. С. 65–74.
- [10] Шергина О.В., Михайлова Т.А., Миронова А.С. Оценка регулирующих и поддерживающих экосистемных услуг городских лесов по биогеохимическим показателям почв и древесных растений // *Научные основы устойчивого управления лесами: материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием (Москва, 27–30 октября 2020 г.)*. М.: ЦЭПЛ РАН, 2020. С. 140–145.

References

- [1] Bednova OV. The technology of rationing and indication of the state of forest ecosystems in urban specially protected areas. *Flattery Newsletter*. 2014;16(6):36–52. (In Russ.)
- [2] Puzachenko YG. General foundations of the concept of sustainable development and ecosystem services. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographic Series*. 2012;(3):22–39. (In Russ.)
- [3] *State report «On the condition and protection of the environment of the Irkutsk region in 2018»*. Irkutsk: ООО «Megaprint»; 2019. (In Russ.)
- [4] Mikhailova TA, Kalugina OV, Shergina OV. Dynamics of the state of pine forests of Predbaikalye under the influence of anthropogenic factors. *Siberian Forest Journal*. 2017;(1):44–55. (In Russ.) <http://doi.org/10.15372/SJFS20170105>
- [5] *Methods of biochemical study of plants*. Leningrad: Agropromizdat Publ.; 1987. (In Russ.)

- [6] *Methodical recommendations for field and laboratory studies of soils and plants in the control of environmental pollution by metals*. Moscow: Gidrometeoizdat Publ.; 1981. (In Russ.)
- [7] *Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0*. Moscow: Soil Institute. VV. Dokuchaev Rosselkhoz academy; 2014. (In Russ.)
- [8] Vorobyeva LA. Chemical analysis of soils. Moscow: Moscow State University Press Publ.; 1998. (In Russ.)
- [9] Orlov DS. Chemistry and protection of soils. *Soros Educational Journal*. 1996;(3):65–74. (In Russ.)
- [10] Shergina OV, Mikhailova TA, Mironova AS. Assessment of regulating and supporting ecosystem services of urban forests by biogeochemical indicators of soils and trees. *Scientific basis of sustainable forest management: Proceedings of the IV All-Russian Scientific Conference with international participation (Moscow, October 27-30, 2020)*. Moscow: CEPF RAS; 2020. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Шергина Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Российская Федерация, 664017, Иркутск, ул. Лермонтова, 132/1. ORCID: 0000-0002-6333-8821, eLIBRARY SPIN-код: 8646-5549. E-mail: sherolga80@mail.ru

Миронова Анастасия Сергеевна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Российская Федерация, 664017, Иркутск, ул. Лермонтова, 132/1. eLIBRARY SPIN-код: 1575-4552. E-mail: nkaverzina1986@rambler.ru

Тупицына Юлия Сергеевна, магистрант, Педагогический институт Иркутского государственного университета, Российская Федерация, 664011, Иркутск, улица Нижняя Набережная, 6. ORCID: 0000-0001-7744-9488. E-mail: yulya56138@mail.ru

Bio notes:

Olga V. Shergina, PhD of Biological Science, Senior Researcher, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, 132/1 Lermontov St, Irkutsk, 664017, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6333-8821, eLIBRARY SPIN: 8646-5549. E-mail: sherolga80@mail.ru

Anastasiya S. Mironova, PhD of Biological Science, Junior Researcher, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, 132/1 Lermontov St, Irkutsk, 664017, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-код: 1575-4552. E-mail: nkaverzina1986@rambler.ru

Yulia S. Tupitsyna, Graduate student, Pedagogical Institute of Irkutsk State University, 6 Nizhnyaya Embankment St, Irkutsk, 664011, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-7744-9488. E-mail: yulya56138@mail.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-459-474

UDC 504.4.062.2

Research article / Научная статья

Water budget of a Ramsar site in Ecuador

Priscila Jackeline Arias Ordonez¹, Carlos Vladimir Suasnavas Lagos^{1,2},
Marianna D. Kharlamova¹, Winston Rodolfo Arias Ordonez¹

¹Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

²Moscow University named after A.S. Griboedov, Moscow, Russian Federation

arias-op@rudn.ru

Abstract. Wetlands have been degrading and disappearing due to several anthropogenic impacts, such as pollution by discharge of domestic and industrial wastewater, agricultural runoff, land conversion, etc. The assessment and forecast of hydrological processes in wetlands, namely inflows and outflows, is essential for developing and implementing plans aimed at managing and protecting wetlands areas. We estimated the water budget of a Ramsar site, La Tembladera wetland, for a two-year period (2018–2019) by using the water balance method. The evapotranspiration was calculated using the Thornthwaite method and the runoff was estimated using the Curve Number method. The proposed water balance model showed that the major inflows to the wetland were the San Agustín and Bellavista canals, and Estero Pinto, about 92.9% (2018) and 90.5% (2019) of the total inflows. The runoff and wastewater flows represented the minor inflows. The runoff was 0.003% in 2018 and 0.004% in 2019, whereas the wastewater volume accounted for 0.05% of all inflows in both years. The actual evapotranspiration was the major outflow in both years, being 67.1% (2018) and 73.6% (2019) of the total outflows. On the other hand, the irrigation canal was the minor outflow, 32.9% in 2018 and 26.4% in 2019. Therefore, La Tembladera wetland hydrology is mostly linked to the canals system and climate conditions, precipitation and actual evapotranspiration. Our findings could be the basis for further research and developing plans in order to rationally manage and protect this wetland of international importance.

Keywords: water balance, wetland hydrology, wetland management, tropical wetland, La Tembladera

Authors' contributions: *P.J. Arias Ordonez* – conceptualization, methodology, investigation and writing – original draft preparation; *P.J. Arias Ordonez* and *C.V. Suasnavas Lagos* – formal analysis and writing – review and editing; *M.D. Kharlamova* – critical review; *W.R. Arias Ordonez* – data visualization.

Article history: received 15.04.2022; revised 10.09.2022; accepted 16.09.2022.

© Arias Ordonez P.J., Suasnavas Lagos C.V., Kharlamova M.D., Arias Ordonez W.R., 2022



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

For citation: Arias Ordonez PJ, Suasnavas Lagos CV, Kharlamova MD, Arias Ordonez WR. Water budget of a Ramsar site in Ecuador. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):459–474. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-459-474>

Водный баланс Рамсарского объекта в Эквадоре

П.Х. Ариас Ордоньес¹  , К.В. Суаснава Ллагос^{1,2} ,
М.Д. Харламова¹ , В.Р. Ариас Ордоньес¹ 

¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

²Московский университет имени А.С. Грибоедова, Москва, Российская Федерация

arias-op@rudn.ru

Аннотация. Водно-болотные угодья подвергаются деградации и исчезновению в результате антропогенного воздействия, такого как загрязнение бытовыми и промышленными сточными водами, загрязнение сельскохозяйственными стоками, преобразование земель и т. д. Оценка и прогноз гидрологических процессов водно-болотных угодий, а именно притоков и оттоков, необходимы для разработки и внедрения проектов, направленных на управление и охрану водно-болотных угодий. Был проведен расчет водного баланса водно-болотного угодья La Tembladera за двухлетний период (2018 и 2019 гг.) с использованием метода водного баланса. Эвапотранспирация была оценена по методу Thornthwaite, а ливневые стоки по методике «Число кривых стока». Предложенная модель водного баланса показала, что основные притоки в водно-болотное угодье приходятся на каналы San Agustín и Bellavista, а также на Estero Pinto, около 92,9 % (2018 г.) и 90,5 % (2019 г.) от общего объема притоков. Наименьшими притоками являлись ливневой сток и сточные воды. Ливневые стоки составили 0,003 % в 2018 г. и 0,004 % в 2019 г. Объем сточных вод составил 0,05 % от всех притоков в оба года. Выявлено, что фактическая эвапотранспирация является основным оттоком, составляя 67,1 % (2018 г.) и 73,6 % (2019 г.) от общего объема оттоков. Вместе с тем наименьший отток принадлежит каналу для орошения, он составил 32,9 % в 2018 г. и 26,4 % в 2019 г. Таким образом, гидрология водно-болотного угодья La Tembladera в основном связана с системой каналов и климатическими условиями, осадками и фактической эвапотранспирацией. Полученные результаты могут стать основой для дальнейших исследований и разработки проектов по рациональному природопользованию и охране данного объекта международного значения.

Ключевые слова: водный баланс, гидрология водно-болотных угодий, управление водно-болотными угодьями, тропическое водно-болотное угодье, La Tembladera

Вклад авторов: П.Х. Ариас Ордоньес – концепция, методология, исследование и написание текста статьи; К.В. Суаснава Ллагос и П.Х. Ариас Ордоньес – обработка данных и их интерпретация, критический анализ и редактирование текста статьи; М.Д. Харламова – критический анализ; В.Р. Ариас Ордоньес – визуализация данных.

История статьи: поступила в редакцию 15.04.2022; доработана после рецензирования 10.09.2022; принята к публикации 16.09.2022.

Для цитирования: *Arias Ordonez P.J., Suasnavas Lagos C.V., Kharlamova M.D., Arias Ordonez W.R.* Water budget of a Ramsar site in Ecuador // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 459–474. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-459-474>

Introduction

Wetlands play an important role in water quality enhancement, wildlife habitat, water retention during storms, shoreline protection, carbon storage, and providing cultural and recreational resources [1-4]. Unfortunately, wetland areas have been degrading and disappearing rapidly. They are often subjected to several anthropogenic impacts, such as direct discharge of domestic and industrial wastewater, agricultural runoff and sewage, land conversion, pollution, overgrazing, and future degradation is expected to continue [5-9].

Analyzing wetland water inflows and outflows components (i.e. water budget) is essential for understanding how wetlands respond to variations in flows and environmental conditions and how these changes influence the biota, nutrients concentration and distribution, organic matter, soil biochemistry, sediments and physicochemical parameters of the water [10–12]. This analysis allows to assess and forecast wetlands behavior in terms of quantity in order to develop and implement plans for managing and protecting wetlands [13] by the governments, decision-makers and ecologists.

Ecuador has 19 wetlands that belong to the Ramsar convention, they possess international status for protection and rational use of their resources [14]. La Tembladera wetland is one of these Ramsar sites since 2011 [15]. This unique ecosystem is located in the coast region of Ecuador and is mainly used for cattle grazing, short-cycle crops, pasture grasses and recreational activities [15; 16]. Besides, La Tembladera is the habitat for 43 plants species, 80 waterfowl birds, 14 fish species, 8 reptiles and 20 mammals. It harbors vulnerable and endangered species and 24 waterfowl endemic species [15]. However, this ecosystem is also facing pressure from anthropogenic activities, specifically, domestic wastewater discharge, agricultural runoff, discharge of urine and faeces produced by Brahman and Brownsuiz cattle, and water control structures (i.e. dams and canals) [16]. These factors influence the quality and quantity of the hydrologic variables as well as the ecological functioning of the wetland [17]. Despite the recognition of La Tembladera as a Ramsar site, studies aimed at the assessment of hydrologic variables are scarce. In general, hydrology research is a complex task due to the various processes involved [18; 19] and the lack of financial support for investigating and estimating all processes that control wetland hydrologic behavior. Low scientific productivity is a crucial issue that affects most of the developing countries in Latin America, including Ecuador because of the economy instability and other factors [20].

The empirical water balance method can be a feasible tool for assessing wetlands hydrologic balance because requires available input data, such as hydro-

meteorological data and parameters representing the soil and vegetation characteristics of aquatic ecosystems catchments. This method is simple and widely applied [6; 18; 21-23]. Thus, the present study proposes a water budget estimation during a two-year period in La Tembladera wetland by using the water balance method.

Materials and methods

Study site

La Tembladera wetland is a continental-type freshwater wetland located in the southwestern coast of Ecuador, canton Santa Rosa, province El Oro ($3^{\circ} 29' 26''$ S, $79^{\circ} 59' 43''$ W; 12-18 m a.s.l) (Figure 1). The region has a tropical climate, which is characterized by a wet season (winter) and a dry season (summer). The average annual precipitation is 250-500 mm. The air temperature ranges between 24°C and 26°C [15].

The water body area occupies 1,471.19 ha, its permanent water area is 104 ha. The flooded area depends on the season, the water surface may reach 188 ha during the wet season, and the land surface 1,199 ha. The wetland monthly average water temperature is 25.82°C . During the wet season, the wetland annual average flow rate is $14.50 \text{ m}^3/\text{s}$, the monthly maximum is $61.0 \text{ m}^3/\text{s}$ and the minimum $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$. The flow rate is usually $0 \text{ m}^3/\text{s}$ during the dry season [15].

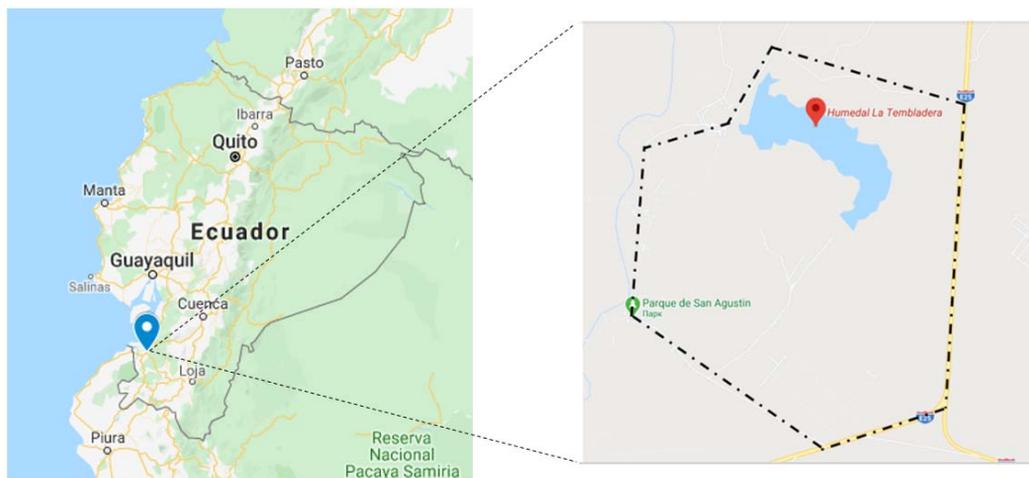


Figure 1. The location of La Tembladera wetland in Ecuador (*left*) and the wetland area boundaries (*right*)

La Tembladera wetland (Figure 2) belongs to the life zone Tropical Spiny Mountain (Monte Espinoso Tropical). For much of the year the wetland water table is near the land surface, hence the vegetation is adapted to moisture conditions, for instance, water lettuce (*Pistia stratiotes*), water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), common cattail (*Typha latifolia*) and white lotus (*Nymphaea lotus*) [25].



Figure 2. North side of La Tembladera wetland in April 2019

Water budget

The water balance of wetlands depends on interactions among inflows and outflows, showing the changes in the surface-water volume for a given period time. Hence, the basic mass balance equation, is used to express the hydrologic processes in a wetland and it is often referred to as a water budget. The water balance was estimated for two years (2018 and 2019) using the general water mass balance equation [26]:

$$\Delta dV/\Delta t = P + Q_{in} + GW_i - ET - Q_o - GW_o$$

where $\Delta dV/\Delta t$ is the volume of water storage per unit of time; P the precipitation; Q_{in} the surface inflows from rivers, streams, marine sources, etc.; GW_i the groundwater inflows; ET the evapotranspiration; Q_o the surface outflows; and GW_o the groundwater outflows.

Concerning the surface inflows, La Tembladera wetland receives freshwater from the Santa Rosa and Arenillas rivers, which are connected with the wetland through a system of canals and gates: the Bellavista canal, San Agustín canal and the Estero Pinto [27]. Regarding the surface outflows, the wetland supplies water for agricultural purposes through several canals of irrigation, and the excess of water is drained through the Negrito and Huásimo canals [24]. The inflows data from the Bellavista canal, San Agustín canal, Estero Pinto, and the outflow data from one of the irrigation canals were taken from [24] and the average monthly values are presented in Table 1. The San Agustín and the irrigation canals have irregular flows due to the gates manipulation by the farmers [24]. The canals were considered as partially open. The outflows from the Negrito and Huásimo canals and all the irrigation canals were not included due to the lack of data.

Table 1. Canals inflows and outflows

Bellavista canal, m ³ /month	San Agustín canal, m ³ /month		Estero Pinto, m ³ /month	Irrigation canal, m ³ /month	
	Open	Partially open		Open	Partially open
9.6×10 ⁶	61.57×10 ⁶	3.6×10 ⁶	1.06×10 ⁵	34.27×10 ⁶	3.1×10 ⁶

Temperature and Precipitation (P)

Temperature and precipitation data from January 2018 to December 2019 were obtained from the National Institute for Meteorology and Hydrology of Ecuador (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI). These data were collected from La Cuca Meteorological station (6 km from La Tembladera wetland) and were used to estimate the potential evapotranspiration, actual evapotranspiration, runoff from rainfall and infiltration.

Estimation of potential evapotranspiration (PET)

The Thornthwaite method is a temperature-based method and was used for the PET calculation since depends on air temperature records that are, commonly, available data [28]:

1. To calculate Potential Evapotranspiration (PET), the Monthly Thornthwaite Heat Index (*i*) estimation is obtained using the following formula:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

where *t* is mean monthly temperature.

2. Annual Heat Index (*I*) was calculated as the sum of the Monthly Heat Indices (*i*):

$$I = \sum_{i=1}^{12} i.$$

3. Potential Evapotranspiration (PET) estimation was obtained for each month applying the equation:

$$PET_{(non\ corrected)} = 16 \left(\frac{10 \times t}{I}\right)^\alpha$$

where *PET non corrected* is the monthly potential evapotranspiration, considering a month is 30 days long and there are 12 theoretical sunshine hours per day, mm/month; *t* is the average monthly air temperature, °C; *I* the Annual Heat Index; α the cubic function of *I* and was calculated with the following equation:

$$\alpha = (675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3) - (771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2) + (1792 \cdot 10^{-5} \cdot I) + 0.49239.$$

The α value ranges from 0 to 4.25 and the Annual Heat Index *I* varies from 0 to 160.

4. Finally, the average monthly potential evapotranspiration was corrected using the formula:

$$PET_{(corrected)} = PET_{(non\ corrected)} \times \frac{N}{12} \times \frac{d}{30}$$

where N is the theoretical sunshine hours for each month and d the number of days for each month.

Estimation of actual evapotranspiration (AET)

The Thornthwaite method [29] was used to determine the AET. Monthly temperature, monthly precipitation and water holding capacity of the soil were required. Since La Tembladera wetland is characterized by sandy clay loam soils [30], then the water holding capacity of 160 mm was considered [24]. Furthermore, the following parameters were calculated:

- Soil water storage (R), whose calculation begins with the first humid month and the previous month receives null reserve (0). The soil storage for the next months was estimated using the equation [31]:

$$R_i = R_{i-1} + (P - PET)$$

where R_i is the soil storage of the current month and R_{i-1} is the soil storage of the previous month. If the result is more than 160 mm, then $R_i = 160$ mm and the rest is transferred to the water surplus. If R_i varies between 0 and 160 mm, it takes that result; and if the result is less than 0, $R_i = 0$ and the result goes to water deficit.

- Change in soil water storage (ΔR) for each month was calculated according to:

$$\Delta R = R_i - R_{i-1}$$

Finally, the AET was established for each month considering the following: The estimation began with the first month of the hydrological year, i.e. the first month in which $P > ETP$. This is after the period in which $ETP > P$. When $P > ETP$, then $AET = ETP$, indicating that there is no water deficiency and if $P < ETP$, then $AET = P + \Delta R$, demonstrating thus water deficiency.

Runoff from rainfall

The Curve Number method (CN), developed by the Soil Conservation Service (SCS), U.S. Department of Agriculture, was used to estimate the volume of runoff [32]. This method is commonly applied [19; 33–35] because it's easy to understand and considers all the important factors, which influence runoff volume: soil type, land use, hydrologic condition, and antecedent moisture condition [36].

The SCS runoff equation is:

$$Q = \frac{(P + Ia)^2}{(P - Ia) + S} \quad (1)$$

where Q is the runoff (mm), P is the rainfall (mm), S the potential maximum retention after runoff begins (mm) and Ia the initial abstraction (mm). Ia is determined by the following formula:

$$Ia = 0,2 \times S. \quad (2)$$

By removing Ia as an independent parameter, this approximation allows use of a combination of S and P to produce a unique runoff amount. Substituting equation 2 into equation 1 gives:

$$Q = \frac{(0,2 + S)^2}{P + 0,8S}.$$

S is related to the soil and cover conditions of the watershed through the CN . CN has a range of 0 to 100, and S is related to CN by:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10.$$

The hydrologic soil group and land cover type of the study area were determined in order to calculate the CN . According to [30; 37] La Tembladera wetland soils belong to the group C, sandy clay loam, and the mainly land cover types in the area are pasture, grassland, row crops, woods and urban area. The appropriate CN value was estimated using the corresponding tables [32] and weighted CN value of the whole catchment was computed manually using the equation:

$$CN_w = \sum CN_i \times A_i / A$$

where CN_w is the weighted curve number; CN_i the curve number from 1 to any number N ; A_i the area with curve number CN_i ; and A the total area of the watershed (km^2).

Infiltration

The infiltration was determined considering precipitation (P), actual evapotranspiration (AET) and runoff (R) [22]:

$$Q_{IN} = P - (AET + R).$$

Domestic wastewater flow

The average domestic wastewater flow was calculated using the equation [38]:

$$Q_{dw} = \frac{Pop \times L \times R}{1}$$

where Pop is the population, L is the per capita water consumption ($\text{L/inhab} \cdot \text{day}$) and R the sewage flow/water flow return coefficient. Typical return coefficient

values range between 60 and 100%, a value of 80% ($R = 0.8$) is usually adopted. The water consumption data was provided by The National Water Secretariat of Ecuador (Secretaría Nacional del Agua, SENAGUA) [39].

Microsoft Excel for Windows 10 was used for statistical data processing and graphing.

Results and discussion

Meteorological conditions

The average annual air temperature during the two-year period was 24.7 and 25.2 °C, respectively (Figure 3). The total precipitation was 430.5 mm and 587.7 mm, respectively. The second year was warmer and wetter than the previous year. Most of the precipitation fell during the wet season (222.6 mm in 2018 and 549.8 mm in 2019) and the summer was the driest period (207.9 mm in 2018 and 37.9 mm in 2019) (Figure 3). The distribution of precipitation displays the dry–wet annual cycle typical of the region, showing abrupt low precipitation at the end of the wet season during 2018 and high precipitation at the beginning of the dry season (Figure 3, *a*).

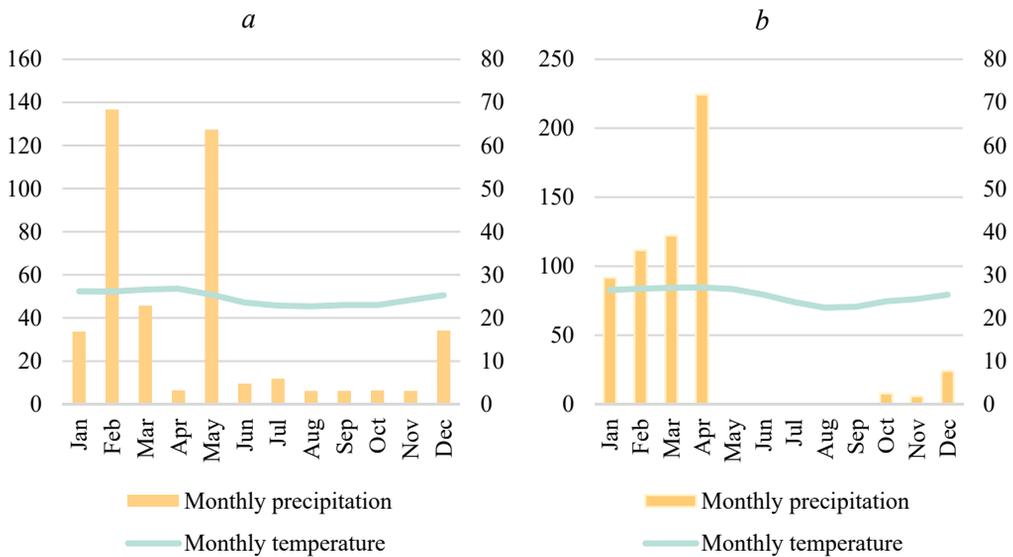


Figure 3. Precipitation (mm/month) and temperature (°C) at La Tembladera wetland region during the two-year period: 2018 (*a*) – 2019 (*b*)

Potential and actual evapotranspiration

The total *PET* estimated was of 1339.3 mm and 1417.5 mm in 2018 and 2019, respectively. During 2018, the highest and lowest *PET* occurred in March (143.3 mm) and August (87.2 mm), respectively (Figure 4, *a*). During 2019 (Figure 4, *b*), the highest and lowest *PET* occurred in March (149.9 mm) and September (80.6 mm).



Figure 4. Monthly precipitation P (mm), potential evapotranspiration PET and actual evapotranspiration AET (mm) at La Tembladera wetland during the study period: 2018 (*a*) – 2019 (*b*)

The calculated AET was 430.5 mm and 587.7 mm for each year or 100% of measured precipitation in both years. That is, the actual evapotranspiration equals precipitation, evidencing dry conditions. This is in line with the bioclimate map of the Ministry of Environment, Water and Ecological Transition of Ecuador [40] that determined the bioclimate of La Tembladera wetland region as xeric. Since the

actual evapotranspiration is based on the precipitation rate, the low precipitation values during the dry season thus influenced the obtained results. In 2018, the months of the lowest *AET* were August, September, October and November (less than 6.4 mm for each month), whereas the month of the highest *AET* was May with 123.4 mm (Figure 4, *a*). During 2019, June, July, August and September are characterized by an *AET* of 0 mm, while the month of the highest *AET* was April with 146.7 mm (Figure 4, *b*). However, for better understanding the moisture factor or whether a climate is moist or dry, it should be analyzed whether precipitation is greater or less than the evapotranspiration [28]. The Figure 4 reveals that most of the months during the two years of study are under conditions $PET > AET$, showing water deficit or demand regardless of the season, specially in 2019. During this year the water deficit was found to be major during the dry season compared to the wet season. The area of the graphic (Figure 4), where the precipitation is above the *PET*, demonstrates storage in reserve plus excess and this is observed only during February and April in 2018 and 2019, respectively. The area under the conditions $AET > P$ (i.e. soil moisture utilization) is not significant and it is observed only in the beginning of the dry season in 2019. Based on the *AET* analysis it can be suggested that the region is subjected to water deficit. These results are essential when developing sustainable water management practices since La Tembladera wetland is an important ecosystem for crop production, pasture grasses and the habitat of unique flora and fauna.

Wastewater

According to SENAGUA, one inhabitant consumed in average 259.05 liters of water per day in 2018 and 252.58 liters of water per day in 2019. Along the western zone of the wetland are situated four coastal communes (San José, La Florida, Las Crucitas, San Agustín) with an approximately population of 635 people [36] and considering a return coefficient of 80%, the volume of domestic discharge into the wetland was about 131.6 m³ per day (48,033 m³ per year) in 2018 and 128.3 m³ per day (46,833 m³ per year) in 2019.

Water balance model

The conceptual water balance model of La Tembladera is shown in Figure 5. During the wet season the inflows were precipitation (*P*), San Agustín canal (Q_{SA}), Bellavista canal (Q_B), Estero Pinto (Q_{EP}) and runoff from rainfall (Q_R). We have also considered the wastewater flow (Q_{WW}) from the coastal communes along the wetland as an inflow into La Tembladera. The lack of a sewerage system among these communes leads population to discharge the wastewater into the wetland [16]. The outflows were evapotranspiration (*AET*), the canal for irrigation (Q_{IR}) and infiltration (Q_{IN}). During the dry season the water balance model is almost the same except for the Bellavista canal that is closed during this season. The proposed water budget for La Tembladera wetland for the two-year study is presented in Table 2.

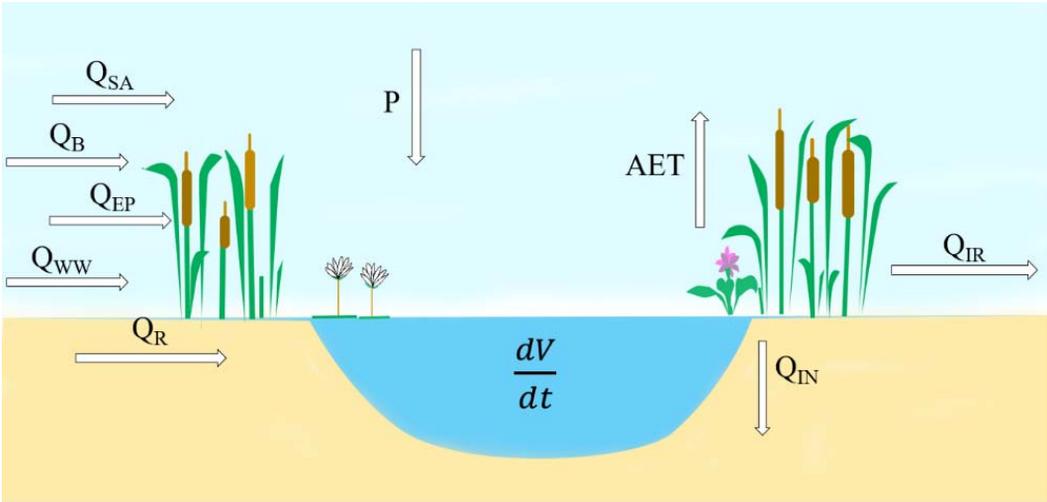


Figure 5. Conceptual water balance model of La Tembladera wetland, Ecuador

Table 2. Water budget (in m³) of La Tembladera wetland

Year	<i>P</i>	<i>Q_R</i>	<i>Q_(SA+B+EP)</i>	<i>Q_{WW}</i>	<i>AET</i>	<i>Q_{IR}</i>	<i>Q_{IN}</i>
2018	6.33×10 ⁶	2.2×10 ³	83.15×10 ⁶	48×10 ³	6.33×10 ⁶	3.1×10 ⁶	-2.2×10 ³
2019	8.64×10 ⁶	4×10 ³	83.15×10 ⁶	46.8×10 ³	8.64×10 ⁶	3.1×10 ⁶	-4×10 ³

The estimated runoff was 2,244.51 m³ (224.45 mm) representing 0.04% of the precipitation in 2018 and 4,003.77 m³ (400.37 mm) or 0.05% of the precipitation in 2019.

The water budget revealed that the change in storage was 80.1×10⁶ m³ per year. The San Agustín and Bellavista canals, and the Estero Pinto were the major inflows to La Tembladera wetland, representing 92.9% and 90.5% of the total inflows in 2018 and 2019, respectively. The precipitation was in second place with 7% (2018) and 9.4% (2019) of the total inflows. The runoff and wastewater were the minor inflows. The runoff was 0.003% in 2018 and 0.004% in 2019. The wastewater volume was 0.05% of the total inflows in both years. These findings highlighted that the flows from the Arenillas and Santa Rosa rivers, and the Estero Pinto, influence the most the change in water levels, nutrients concentration and distribution as well as organic matter, pollutants and biota distribution, which in turn affect the trophic status of La Tembladera wetland.

The AET represented the major wetland outflows, 67.1% in 2018 and 73.6% in 2019. The canal for irrigation constituted 32.8% (2018) and 26.4% (2019) of the total outflows. The infiltration in 2018 was -2.2×10³ m³ and in 2019 was -4×10³ m³. This may mean that the ground of this area exudes water, or the opposite of infiltration occurs, therefore, it can be assumed that the infiltration in the wetland area is minor or zero. It is important to mention that the expression used for estimating infiltration considers precipitation, runoff and AET. Nevertheless, factors such as soil characteristics, chemical properties of the water and soil, and hydraulic conductivity of soil are omitted; consequently, this may have led to obtain less accurate infiltration values.

These results prove that the water budget of La Tembladera wetland is primarily driven by the canals systems, while the meteorological components (precipitation and evapotranspiration) play an important, but minor role.

Conclusion

This paper proposes a water budget model for La Tembladera wetland under tropical dry climatic conditions. Our findings of two-year study demonstrate that the empirical water balance method is a useful, simple and economic tool for assessing hydrological dynamics. The main outcomes can be summarized:

- The major inflows to the water budget of La Tembladera were the San Agustín and Bellavista canals, and Estero Pinto, about 92.9% (2018) and 90.5% (2019) of the total inflows. The runoff and wastewater flows represented the minor inflows. The runoff was 0.003% in 2018 and 0.004% in 2019, whereas the wastewater volume was 0.05% of the total inflows in both years.
- The AET was the major outflow in both years, being 67.1% (2018) and 73.6% (2019) of the total outflows. On the other hand, the irrigation canal was the minor outflow of the water budget, 32.9% (2018) and 26.4% (2019).
- The negative results of infiltration suggest that this component did not play an essential role in the water budget of La Tembladera.

Thus, it can be concluded that La Tembladera wetland hydrology is mostly linked to the canals system operations and climate conditions, namely precipitation and actual evapotranspiration. This study was limited by the lack of some data. Further hydrological long-term studies and data collection are therefore needed to assess and forecast more precise water budget of La Tembladera wetland. Despite this, our work could be the basis for developing plans. This is a decisive issue because this Ramsar site is not only the habitat for many species of flora and fauna or a natural water filter, but also a key ecosystem for agricultural purposes since agriculture is the principal economic activity for the local population in the Ecuadorian coast region.

References

- [1] Mitsch WJ, Bernal B, Hernandez ME. Ecosystem services of wetlands. *International Journal of Biodiversity Science Ecosystem Services & Management*. 2015;11(1):1–4. <http://doi.org/10.1080/21513732.2015.1006250>
- [2] Long X, Lin H, An X, Chen S, Qi S, Zhang M. Evaluation and analysis of ecosystem service value based on land use/cover change in Dongting Lake wetland. *Ecological Indicators*. 2022;136:108619. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108619>
- [3] Zhou L, Guan D, Huang X, Yuan X, Zhang M. Evaluation of the cultural ecosystem services of wetland park. *Ecological Indicators*. 2020;114:106286. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106286>
- [4] Villa JA, Tobón C. Modeling hydrologic dynamics of a created wetland, Colombia. *Ecological Engineering*. 2012;40:173–182. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.12.005>
- [5] Ondiek RA, Hayes DS, Kinyua DN, Kitaka N, Lautsch E, Mutuo P, Hein T. Influence of land-use change and season on soil greenhouse gas emissions from a tropical wetland: A

- stepwise explorative assessment. *Science of The Total Environment*. 2021;787:147701. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147701>
- [6] Zhao X, Zhang Q, He G, Zhang L, Lu Y. Delineating pollution threat intensity from onshore industries to coastal wetlands in the Bohai Rim, the Yangtze River Delta, and the Pearl River Delta, China. *Journal of cleaner production*. 2021;320:128880. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128880>
- [7] Canning AD, Jarvis D, Costanza R, Syezlin H, Smart JCR, Finisdore J, Lovelock CE, Greenhalgh S, Marr HM, Beck MW, Gillies CL, Waltham NJ. Financial incentives for large-scale wetland restoration: Beyond markets to common asset trusts. *One Earth*. 2021;4(7):937–950. <http://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.06.006>
- [8] Shi F, Weaver D, Zhao Y, Huang M, Tang C, Liu Y. Toward an ecological civilization: Mass comprehensive ecotourism indications among domestic visitors to a Chinese wetland protected area. *Tourism Management*. 2019;70:59–68. <http://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.07.011>
- [9] Xu T, Weng B, Yan D, Kun W. Wetlands of International Importance: Status, Threats, and Future Protection. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019;16(10). <http://doi.org/10.3390/ijerph16101818>
- [10] Di Vittorio CA, Georgakakos AP. Hydrologic Modeling of the Sudd Wetland using Satellite-based Data. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2021;37:100922. <http://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100922>
- [11] Shih SS, Hsu YW. Unit hydrographs for estimating surface runoff and refining the water budget model of a mountain wetland. *Ecological Engineering*. 2021;173:106435. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106435>
- [12] Chen S, Johnson F, Drummond C, Glamore W. A new method to improve the accuracy of remotely sensed data for wetland water balance estimates. *Journal of Hydrology Regional Studies*. 2020;29:100689. <http://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100689>
- [13] U.S. EPA. Methods for Evaluating Wetland Condition: Wetland Hydrology. Washington, DC: Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency; 2008. 37 p.
- [14] Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat [Internet]. Ramsar; 1971. Available from: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_text_e.pdf
- [15] Ramsar. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) – Versión 2009–2012. Available from: <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/EC1991RIS.pdf>
- [16] Arias Ordóñez PJ. Water quality assessment of La Tembladera wetland in Ecuador using Water Quality Index. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(2):172–182. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-2-172-182>
- [17] López-Blanco C, Kenney WF, Varas A. Recent flood management efforts obscure the climate signal in a sediment record from a tropical lake. *Journal of Paleolimnology*. 2017;58(4):467–478. <http://doi.org/10.1007/s10933-017-0004-x>
- [18] Lopes TR, Zolin CA, Mingoti R, Vendrusculo LG. Hydrological regime, water availability and land use/land cover change impact on the water balance in a large agriculture basin in the Southern Brazilian Amazon. *Journal of South American Earth Sciences*. 2021;108:103224. <http://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103224>
- [19] Chen H, Zhao YW. Evaluating the environmental flows of China’s Wolonghu wetland and land use changes using a hydrological model, a water balance model, and remote sensing. *Ecological Modelling*. 2011;222(2):253–260. <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.12.020>
- [20] Ciocca DR, Delgado G. The reality of scientific research in Latin America; an insider’s perspective. *Cell Stress Chaperones*. 2017;22(6):847–852. <http://doi.org/10.1007/s12192-017-0815-8>

- [21] Casila JC, Azhikodan G, Yokoyama K. Quantifying water quality and flow in multi-branched urban estuaries for a rainfall event with mass balance method. *Water Science and Engineering*. 2020;13(4):317–328. <http://doi.org/10.1016/j.wse.2020.12.002>
- [22] Kalédjé PSK, Ndam Ngoupayou JR, Rakotondrabe F, Ondo JM. Quantitative assessment of water resources by the method of the hydrological balance in the Kadey catchment area (East-Cameroon). *Groundwater Sustainable Development*. 2020;10:100278. <http://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100278>
- [23] Lee O, Kim HS, Kim S. Hydrological simple water balance modeling for increasing geographically isolated doline wetland functions and its application to climate change. *Ecological Engineering*. 2020;149:105812. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105812>
- [24] Reyes Quevedo PE. *Evaluación de la calidad de agua en el humedal La Tembladera utilizando índices de contaminación* [dissertation]. Quito: Universidad Internacional SEK; 2017.
- [25] United Nations Development Programme (UNDP). Informe de Valoración de Servicios Ambientales Y La Estimación Del Costo de Oportunidad Del Uso Del Suelo. UNDP; 2012. Available from: https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ECU/Valoracion%20Servicios%20Ambientales_Humedal%20La%20Tembladera.pdf
- [26] Mitsch WJ, Gosselink JG. *Wetlands*. 5th ed. Wiley; 2015.
- [27] López-Blanco C, Kenney WF, Varas A. Multiple stressors trigger ecological changes in tropical Lake La Tembladera (Ecuador). *Aquatic Ecology*. 2018;52(2-3):211–224. <http://doi.org/10.1007/s10452-018-9656-5>
- [28] Thornthwaite CW. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*. 1948;38(1):55–94. <http://doi.org/10.2307/210739>
- [29] Thornthwaite CW, Mather JR. *Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance*. New Jersey; 1957.
- [30] Villaseñor-Ortiz D, Luna-Romero E, Jaramillo-Aguilar E. Characterization of morphological, physical and chemical properties of the soils of the “La Tembladera” wetland, El Oro province, Ecuador. *Revista La Técnica*. 2017;17:84–95.
- [31] Ospina Noreña JE, Domínguez-Ramírez CA, Vega-Rodríguez EE, Darghan-Contreras AE, Rodríguez-Molano LE. Analysis of the water balance under regional scenarios of climate change for arid zones of Colombia. *Atmosfera*. 2017;30(1):63–76. <http://doi.org/10.20937/atm.2017.30.01.06>
- [32] The U.S. Department of Agriculture (USDA). Urban Hydrology for Small Watersheds. Washington, DC; 1986. Technical Release No. 55 (TR-55). Available from: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf
- [33] Munna GM, Alam MJB, Uddin MM, Islam N, Orthee AA, Hasan K. Runoff prediction of Surma basin by curve number (CN) method using ARC-GIS and HEC-RAS. *Environmental and Sustainability Indicators*. 2021;11:100129. <http://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100129>
- [34] Lian H, Yen H, Huang JC, Feng Q, Qin L, Bashir MA, Wu S, Zhu A, Luo J, Di H, Lei Q, Liu H. CN-China: Revised runoff curve number by using rainfall-runoff events data in China. *Water Resources*. 2020;177:115767. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115767>
- [35] Uwizeyimana D, Mureithi SM, Mvuyekure SM, Karuku G, Kironchi G. Modelling surface runoff using the soil conservation service-curve number method in a drought prone agro-ecological zone in Rwanda. *International Soil and Water Conservation Research*. 2019;7(1):9–17. <http://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.12.001>
- [36] Mishra SK, Singh VP. SCS-CN Method. In: Singh VP, editor. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Dordrecht: Springer; 2003. p. 84–146. http://doi.org/10.1007/978-94-017-0147-1_2

- [37] Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Bellavista (GADP Bellavista). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquial Rural de Bellavista 2015–2019. Bellavista; 2015. Available from: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0760030840001_0760030840001_DIAGNOSTICO_BELLAVISTA_29-10-2015_11-16-55.pdf
- [38] Sperling MV. Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal. Iwa Pub; 2007.
- [39] ARCA-AME-INEC-BDE. Registro de Gestión de Agua Potable y Alcantarillado 2018–2020.
- [40] Mapa interactivo [Internet]. Ecuador: Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica; 2020. Available from: <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>

Bio notes:

Priscila Jackeline Arias Ordonez, PhD in Earth Sciences (Ecology), Senior lecturer, Department of Environmental Safety and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-2204-0516. E-mail: arias-op@rudn.ru

Carlos Vladimir Suasnavas Lagos, MSc, assistant, Department of Foreign Languages, Academy of Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; Lecturer, Institute of Linguistics, Moscow University named after A.S. Griboedov, 21 Shosse Enthusiastov, Moscow, 111024, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-8799-4276. E-mail: suasnavas-lagos-k@rudn.ru

Marianna D. Kharlamova, PhD in Chemistry, Associate Professor, Department of Environmental Safety and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1032-4186. E-mail: kharlamova-md@rudn.ru

Winston Rodolfo Arias Ordonez, bachelor student, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6832-1706. E-mail: 1032195477@rudn.ru

Сведения об авторах:

Ариас Ордоньес Присцила Хакелине, исследователь; преподаватель-исследователь, старший преподаватель департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0003-2204-0516. E-mail: arias-op@rudn.ru

Суаснаvas Лагос Карлос Владимир, магистр, ассистент кафедры иностранных языков, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; преподаватель института лингвистики, Московский университет имени А.С. Грибоедова, Российская Федерация, 111024, Москва, ш. Энтузиастов, д. 21. ORCID: 0000-0002-8799-4276. E-mail: suasnavas-lagos-k@rudn.ru

Харламова Марианна Дмитриевна, к.х.н., доцент департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-1032-4186. E-mail: kharlamova-md@rudn.ru

Ариас Ордоньес Винстон Родольфо, студент бакалавриата, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0001-6832-1706. E-mail: 1032195477@rudn.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-475-485

UDC 574.2:581.5

Research article / Научная статья

Assessment of the ecological status of street plantings in Balashikha city, Moscow region

Elena A. Parakhina  , Maria A. Rudneva *Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation*parakhina-ea@rudn.ru

Abstract. The level of urbanization in the world is increasing by the year. In Russia, it amounts to about 75%. Green spaces play a leading role in the process of maintaining the ecological balance of urbanized territories. One of the main sources of environmental pollution in cities are cars. Monitoring the condition of woody plants in outdoor plantings is an important part of assessing the condition of urban systems. The purpose of the work is to conduct a comprehensive assessment of the ecological state of tree plantations in the street plantings of Balashikha, a city, which is a part of Moscow agglomeration. The study was carried out in 2019–2021 in 20 streets of Balashikha. The species composition, the vital state of tree and shrub vegetation in street plantings according to Alekseev's methodology and winter hardiness according to Lapin and Sidneva's methodology were revealed. The following results were obtained: in the street plantings of Balashikha there are 21 species of trees and shrubs, the average age of tree plantations is 30–40 years, the most common ones are *Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Tilia cordata* Mill., single – *Acer tataricum* L., *Pinus sylvestris* L., *Sorbus aucuparia* (L.) Gaertn., *Ulmus laevis* Pall. In order to maintain sustainable development, it is necessary to change the strategy of urban greening (implement a more diverse species composition, conduct monitoring studies involving not only utilities, but also researchers dealing with urban ecology problems, apply modern maintenance technologies. Recommendations are given on the introduction of new types of woody plants for outdoor plantings to improve the ecological situation in Balashikha.

Keywords: Green spaces, urban ecosystems, species richness, vital condition, winter hardiness, occurrence

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

© Parakhina E.A., Rudneva M.A., 2022

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

Article history: received 15.03.2022; revised 14.09.2022; accepted 16.09.2022.

For citation: Parakhina EA, Rudneva MA. Assessment of the ecological status of street plantings in Balashikha city, Moscow region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):475–485. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-475-485>

Оценка экологического состояния зеленых насаждений в г. Балашиха, Московская область

Е.А. Парахина  , М.А. Руднева 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация
parakhina-ea@rudn.ru

Аннотация. Уровень урбанизации в мире растет с каждым годом. В России он составляет около 75 %. Зеленые насаждения играют ведущую роль в процессе поддержания экологического баланса урбанизированных территорий. Одним из основных источников загрязнения окружающей среды в городах являются автомобили. Мониторинг состояния древесных растений в уличных посадках является важной частью оценки состояния урбоэкосистем. Цель работы – провести комплексную оценку экологического состояния древесных насаждений в уличных посадках г. Балашиха как города, входящего в Московскую агломерацию. Исследование осуществлялось в 2019–2021 гг. на 20 улицах г. Балашиха. Был выявлен видовой состав, жизненное состояние древесно-кустарниковой растительности в уличных посадках по методикам Алексеева и зимостойкость по методике Лапина и Сидневой. В результате полученных исследований получились следующие результаты: в уличных посадках г. Балашиха используется 21 вид деревьев и кустарников, средний возраст древесных насаждений 30–40 лет, наиболее часто встречаются *Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Tilia cordata* Mill., единично – *Acer tataricum* L., *Pinus sylvestris* L., *Sorbus aucuparia* (L.) Gaertn., *Ulmus laevis* Pall. Для поддержания устойчивого развития необходимо изменить стратегию озеленения города (использовать более разнообразный видовой состав, проводить мониторинговые исследования с привлечением не только коммунальных служб, но и ученых, занимающихся проблемами экологии городов, применять современные технологии в работах по уходу. Даны рекомендации по введению новых видов древесных растений для уличных посадок в целях улучшения экологической ситуации в г. Балашиха.

Ключевые слова: зеленые насаждения, урбоэкосистемы, видовое разнообразие, жизненное состояние, зимостойкость, встречаемость

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

История статьи: поступила в редакцию 15.03.2022; доработана после рецензирования 14.09.2022; принята к публикации 16.09.2022.

Для цитирования: *Parakhina E.A., Rudneva M.A.* Assessment of the ecological status of street plantings in Balashikha city, Moscow region // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 475–485. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-475-485>

Introduction

Urbanization is a complex and constantly increasing process. It is one of the key issues nowadays, not only from an environmental point of view, but also from an economic, social, etc. perspective. “In 1900, 14% of the total population lived in the cities of the world, 12 of which were million-plus”. On the eve of the 21st century. 45% of the world population became urban, there were approximately 2.4 thousand large cities (over 100 thousand inhabitants each) and over 200 million-plus cities” [1].

Urbanization leads not only to the growth of cities, but also to a change in the entire environment. An urban heat island appears with a change in climatic parameters: the temperature in the city is 1–4 °C higher than in suburban areas, the number of sunny days decreases, the transparency of the atmosphere decreases, an “urban breeze” appears, precipitation increases, etc. The soil structure changes, instead of natural ecosystems, natural-anthropogenic or anthropogenic ones appear [2–6].

To maintain the ecological balance in urban areas, a system of green spaces is being created. They perform various functions: sanitary and hygienic, recreational, aesthetic, architectural and artistic, ecosystem. At the same time, woody plants are the main component of green spaces [7–10].

Tree plantations used in street plantings have a special role. They protect cities from harmful substances, dust, noise, etc. Therefore, the identification of the ecological state of this group of green spaces is relevant.

Under the influence of unfavorable environmental factors, plants form a response, which is expressed in a change in growth, the death of shoots, a decrease in immunity, the spread of various pests and diseases. This is expressed in a change in the state of life, which characterizes the degree of resistance of plants in an urbanized environment.

Monitoring studies of the vital state of plants, especially trees and shrubs, are carried out in many large cities and megapolises [5, 11–19]. Whereas in the satellite cities, such studies are practically not carried out. But they are also important and relevant.

Balashikha is the largest city in the Moscow Region and is a part of the Moscow agglomeration. Balashikha was founded in 1830, received the city status in 1939. At the moment, it is part of the Balashikha urban district with a population of more than 500 thousand inhabitants. The climate is temperate continental with frosty, snowy winters and humid, relatively warm summers and well-defined transitional seasons. It is due to the position of the region in the center of the Russian Plain [20].

Balashikha is a significantly transformed natural-technogenic system. This is a large industrial center with a significant number of enterprises (more than

100 large and medium ones). “The main environmental problems are associated with the presence of large foci of technogenic pollution of the natural environment, which spread in a radial direction from Moscow along the main transport routes” [20–21].

“In the urban district of Balashikha, there are 22.4 kg/year of pollutants per 1 city dweller, while the regional average is 33.2 kg/year. It should be noted that in the urban district of Balashikha, there is an extremely low use of dust and gas cleaning equipment by industrial enterprises (the share of pollutants captured is only 1.3%), which indicates significant air pollution by emissions of harmful substances. The main emitted pollutants are: carbon monoxide, nitrogen dioxide, nitrogen oxide. These 3 substances account for about 70% of all emissions from stationary sources. The remaining emissions (about 30%) include the following substances: soot, sulfur dioxide, hydrogen sulfide, kerosene, petroleum gasoline and other substances. 3259.65 tons/year of harmful substances (100%) come from all recorded sources of air pollution in the municipality, including: from stationary sources of pollution (industrial enterprises and boiler houses) – 2513.6 tons/year (77%); from mobile sources of pollution (road transport) 746.057 tons/year (23%). In general, the environmental situation in the urban district of Balashikha in terms of air pollution can be described as threatening. The main sources of atmospheric air pollution are large industrial enterprises in the city of Balashikha. Also, a significant contribution to air pollution is made by the main roads of the urban district” [20].

The purpose of this work is to assess the species diversity and vital status of woody plants in street plantings in the city of Balashikha.

To achieve this goal, the following tasks were set: a comprehensive assessment of the ecological state of woody plants in street plantings in Balashikha, the study of species diversity and the development of recommendations for optimizing the species composition of tree plantations.

Materials and Methodology

The species affiliation of trees and shrubs was determined according to the standard method [22–23]. The assessment of the vital state of tree plantations was carried out in 2019–2021 according to the method of diagnosing the condition of trees and forest stands [24]. The state scores of individual trees of each species were determined according to the scale proposed in this method. Next, we calculated the average state score for each type of tree (K_i) and the overall coefficient (K_{total}) of the state of street plantings in the city of Balashikha.

When assessing the distribution of species in the researched area, the following categories of occurrence were identified: “very often” – the number of individuals of this species is more than 10% of the total number of individuals; “often” – from 1 to 10%; “rarely” – from 0.1 to 0.9%; “very rarely” – from 0.01 to 0.09%. Species encountered in a single specimen are referred by us to the category “single” [25].

One of the important indicators of the state of plantings is winter hardiness. This parameter is also relevant for the Moscow region. The assessment of winter

hardiness was carried out on the basis of a scale developed in the Main Botanical Garden of the Academy of Sciences (GBS AN) [26]: I – plants do not freeze over; II – no more than 50% of the length of annual shoots freezes over; III – freezes from 50 to 100% of the length of annual shoots; IV – not only annual, but also older shoots are frosted over; V – the above-ground part freezes up to the snow cover; VI – the entire above-ground part is frosted over; VII – the plant freezes out entirely.

The study of street tree plantations in Balashikha was carried out in 2019–2021 along the Lenin Avenue and the streets of 40 years of Victory, Bykovsky, Zarechnaya, Zvezdnaya, Kalinin, Karbyshev, Karl Marx, Krupeshina, Krupskaya, Nekrasov, Association, Pobeda, Pushkinskaya, Soviet, Sportivnaya, Tekstilshchikov, Tereshkova, Chekhov, Julius Fuchik.

Results

As a result of the study of tree plantations in ordinary plantings in the city of Balashikha, 21 taxa were identified. 12 species and hybrids (57.14%) are introduced, and 9 (42.86%) are wild.

The identified taxa belong to 10 families: *Salicaceae* – 5 species (23.83%), *Aceraceae* – 3 (14.29%), *Fabaceae* – 2 (9.52%), *Oleaceae* – 2 (9.52%), *Rosaceae* – 2 (9.52%), *Tiliaceae* – 2 (9.52%), *Ulmaceae* – 2 (9.52%), *Betulaceae* – 1 (4.76%), *Hippocastanaceae* – 1 (4.76%), *Pinaceae* – 1 (4.76%).

The category “very often” includes – *Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Tilia cordata* Mill.; “often” – *Populus balsamifera* L., *Tilia platyphyllos* Scop.; “rarely” *Aesculus hippocastanum* L., *Betula pendula* Roth., *Populus × berolinensis* (C. Koch) Dipp., *Populus tremula* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Ulmus pumila* L.; “very rare” – *Caragana arborescens* Lam., *Fraxinus excelsior* L., *Fraxinus pennsylvanica* March., *Malus domestica* Bork, *Populus alba* L., *Salix fragilis* L.; “single” – *Acer tataricum* L., *Pinus sylvestris* L., *Sorbus aucuparia* (L.) Gaertn., *Ulmus laevis* Pall. (Figure 1).

The age of most tree plantations is about 30–40 years. Although in recent years, new plants have been planted in the city, including along the streets.

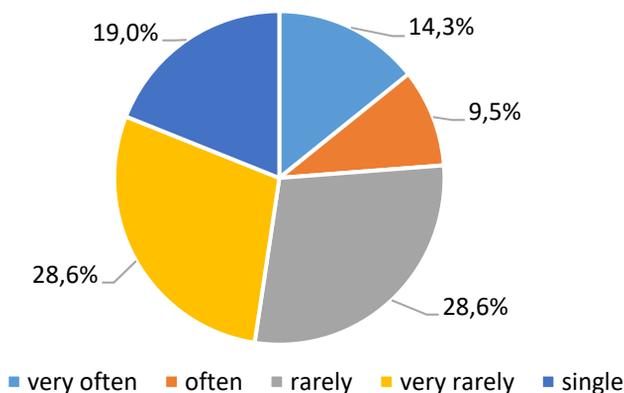


Figure 1. Occurrence of species in street plantings in Balashikha

An assessment of the vitality of 4128 trees on 19 streets and 1 avenue was carried out. 872 (21.12%) of the examined trees are classified as “healthy” (Figure 1). 1251 (30.31%) belong to the “weakened” category and have minor damage (drying of branches, thinning of the crown). The share of “very weakened” trees accounts for the majority – 1460 (35.37%). In such specimens, a significant drying of the branches, dry top, marginal and central chlorosis were noted, and in some places the bark died off. This is especially true for *Acer negundo* L. 523 (12.67%) trees belong to the category of “drying out”. Such plants have drying of branches throughout the crown, lack of growth, the presence of marginal and central chlorosis, insect damage, sometimes on the trunks – the fruiting bodies of marsupial and basidiomycetes. 22 trees (0.53%) of woody plants with no leaves, with peeling bark or no bark, were classified as “completely dry”. Among this group are trees belonging to *Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Fraxinus excelsior* L., *Tilia cordata* Mill.

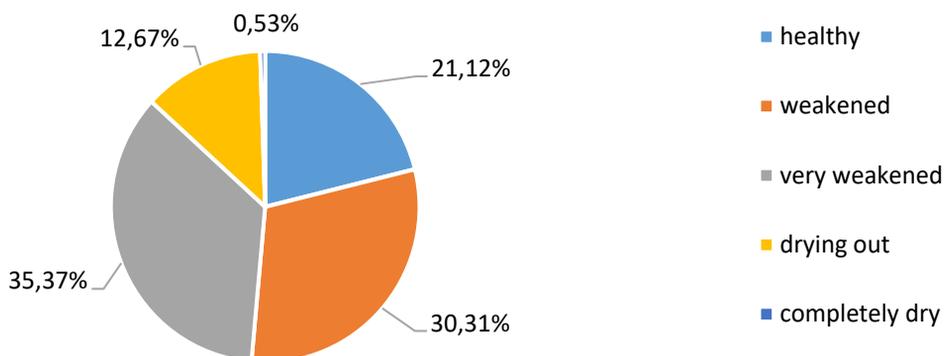


Figure 2. Percentage of vital state groups of woody plants in Balashikha street plantings

Table 1. Average scores (K_i) of the condition of tree species and the overall condition coefficient (K_{total}) of the studied green spaces in Balashikha

№	Species	K_i	K_{total}
1	Common birch (<i>Betula pendula</i> Roth.)	1.26	2.29
2	European white elm (<i>Ulmus laevis</i> Pall.)	1.73	
3	Chinese elm (<i>Ulmus pumila</i> L.)	1.56	
4	Brittle willow (<i>Salix fragilis</i> L.)	1.38	
5	Siberian pea shrub (<i>Caragana arborescens</i> Lam.)	2.69	
6	Scarlet chestnut (<i>Aesculus hippocastanum</i> L.)	2.54	
7	Norway maple (<i>Acer platanoides</i> L.)	3.68	
8	Tatarian maple (<i>Acer tataricum</i> L.)	1.3	
9	Maple ash (<i>Acer negundo</i> L.)	3.32	
10	Large-leaved linden (<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.)	2.74	
11	Little-leaved linden (<i>Tilia cordata</i> Mill.)	2.38	
12	Black locust (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	1.73	
13	Rowanberries (<i>Sorbus aucuparia</i> (L.) Gaertn.)	2.37	
14	Balsam poplar (<i>Populus balsamifera</i> L.)	2.61	
15	White poplar (<i>Populus alba</i> L.)	3.76	
16	Berlin poplar (<i>Populus x berolinensis</i> (C. Koch) Dipp.)	1.47	
17	Trembling poplar (<i>Populus tremula</i> L.)	1.21	
18	Common pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	1.17	
19	Domesticated apple (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	2.85	
20	Common ash (<i>Fraxinus excelsior</i> L.)	3.48	
21	Black ash (<i>Fraxinus pennsylvanica</i> March.)	2.86	

Table 1 shows the average state scores for each type of tree (K_i) and the overall coefficient (K_{total}) of the state of the studied green spaces in Balashikha. It was revealed that the trees along the roads of Balashikha are weakened ($K_{total} = 2.29$), requiring preventive measures, pruning and sanitization. Although, it should be noted that in recent years, work has begun on the replacement of shrunken and drying tree plantations along the roads.

When assessing winter hardiness, it was found that all species represented in the street plantations of Balashikha belong to group I – the plants do not freeze, except for *Robinia pseudoacacia* L., in which freezing of annual shoots was observed by approximately 40%. Accordingly, this species can be attributed to group II in terms of winter hardiness.

Discussion

Tree plantations of street plantings in the city of Balashikha suffer from vehicle pollution, deterioration of the agronomic and geochemical properties of the soil. At the same time, there is often no care for these plantations, with the exception of heavy pruning at the places where electric lines pass, which, in turn, weakens the plants and further leads to the drying of these specimens. Due to the drying of plants, the planting structure is disturbed, therefore, the sanitary and hygienic function of green spaces is reduced.

It is possible to improve the condition of tree plantations along the roads of Balashikha due to several factors: change the strategy of planting greenery in the city (use a more diverse species composition, conduct monitoring studies involving not only utilities, but also scientists involved in urban ecology, apply modern technologies in the work care, etc).

In the street plantings of Balashikha, it is necessary, if possible, to plant shrubs. It is recommended to use a more diverse assortment of trees and shrubs in terms of species composition. It is proposed to use the following species of trees and shrubs: *Larix decidua* Mill., *L. sibirica* Ledeb., *Picea pungens* Engelm., *Juniperus sabina* L., *Acer rubrum* L., *A. saccharinum* L., *Berberis thunbergii* DC., *B. vulgaris* L., *Cotoneaster lucidus* Schlecht., *Crataegus monogyna* Jacq., *C. pentagyna* Waldst. et Kit., *C. pinnatifida* Bunge, *C. submollis* Sarg., *Juglans mandshurica* Maxim., *Ligustrum vulgare* L., *Padus maackii* (Rupr.) Kom., *Syringa reticulata* subsp. *amurensis* (Rupr.) P.S. Green & M.C. Chang, different species and hybrids of *Malus* Hill. and *Spiraea* L. These species have successfully acclimatized and tolerate urban conditions well [27–28].

Conclusions

As a result of the analysis of the conducted studies, the following conclusions can be drawn:

1. The species composition of woody plants used in street plantings in Balashikha is limited and consists of 21 species from 10 families. The uniformity of the presented taxa reduces the stability of ecosystems. The vital state of plants is deteriorating.

2. In the street plantings of Balashikha, 3 species of woody plants are most widely distributed: *Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Tilia cordata* Mill., which is only 14.3% of the total number of identified species.

3. It was revealed that most of the presented plants are weakened, despite their young age (30–40 years), therefore they cannot fully perform the sanitary-protective function, and, therefore, maintain the ecological balance of the urban ecosystem.

4. Most species are winter-hardy in the conditions of Balashikha. Only in *Robinia pseudoacacia* L. frosting of one-year-old shoots is observed – 40%.

5. It is proposed to expand the range of woody plants used. 17 species of trees and shrubs that have successfully passed acclimatization and tolerate urban conditions well are recommended for urban plantations.

References

- [1] Agashirina VYu. Urbanization as a difficult and complex phenomenon. *Innovative economy: prospects for development and improvement*. 2019;8(42):178–191 (In Russ.)
- [2] Smolyar IM, Mikulina EM, Blagovidova NG. Ecological foundations of architectural design. Textbook for students of institutions of higher professional education. Moscow: Academy Publ.; 2010. (In Russ.)
- [3] Yakubov XG. Ecological monitoring of green spaces in a large city (by the example of Moscow): abstract of Doctor of Biological Sciences. Moscow; 2006. (In Russ.)
- [4] Istomina II, Pavlova ME, Terechin AA. Ontogenic spectrum of coenopopulations as indicator of species strategy under anthropogenic stress (on the example rare and protected plants of the natural and historical park “Bitsevsky forest”). *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2017;12(1):66–75. <http://doi.org/10.22363/2312-797X-2017-12-1-66-75> (In Russ.)
- [5] Buxarina IL, Zhuravleva AN, Boly`shova OG. Urban plantations: the ecological aspect: a monograph. Izhevsk: Udmurtian University; 2012. (In Russ.)
- [6] Grimmond S. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *Geographical Journal*. 2007;173:83–88.
- [7] Pupyrev EI, editor. *State of green spaces in Moscow (according to monitoring data for 2001): Analytical report*. Moscow: Prima-Press Publ.; 2002. (In Russ.)
- [8] Morozova GYu. Viability of plant populations in an urbanized environment. *Bulletin of the Pacific State University. Vladivostok*. 2015;2(37):35–44 (In Russ.)
- [9] Maxonin EV. Ecological role of green spaces in the protection of the environment from the stress factors of the city: the example of Orel: abstract of Candidate of Biological Sciences. Bryansk; 2006. (In Russ.)
- [10] Paraxina EA. Tree plants used in landscaping in the city of Orel. In: *Flora and vegetation of the Central Black Earth Region (Materials of the scientific conference)*. Kursk; 2006. p. 112–114. (In Russ.)
- [11] Erzin IV. Assessment of the condition of urban parks in connection with their reconstruction (by the example of Moscow): abstract of Candidate of Biological Sciences. Moscow; 2011. (In Russ.)
- [12] Larionov MV, Agafonov VI. Features of spatial planning and ecological infrastructure of a megacity (on the example of Moscow). Biodiversity and anthropogenic

- transformation of natural ecosystems (Proceedings of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference). M.A. Zanina editor. Saratov; 2021. (In Russ.)
- [13] Proxorenko NB, Demina GV. Species diversity and vitality of trees and shrubs in the plantations of the city of Kazan. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2016;18,2:177–181. (In Russ.)
- [14] Proxorenko NB, Demina GV, Mingazova DN. Assessment of the vital state of trees in urbanized conditions of Kazan. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017;19,2(3):507–512. (In Russ.)
- [15] Razinkova AK, Perelygina EN. Species diversity and pathological condition of street roadside plantings in Voronezh. *Forest Engineering Journal*. 2016;6,2(22):36–46. (In Russ.)
- [16] Adon`eva TB, Ivanova EM, Kalyuzhnaya LA. Green spaces in the city of Voronezh: current status, problems. *Bulletin of Voronezh State University. Series Geography. Geoecology*. 2001;1:136–139 (In Russ.)
- [17] Avdeev YuM, Kostin AE, Titov DV, Popov YuP. Ecological condition of green spaces. *Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2017;7:114–118 (In Russ.)
- [18] Kiseleva LL, Paraxina EA, Silaeva ZhG. Species composition and sustainability of tree plantations as the basis of the ecological well-being of the urban environment (the example of the city of Orel). *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2016;18,2(3):702–706. (In Russ.)
- [19] Serebryakova NE, Gavriczkova NN, Granicza YuV, Medvedkova EA. Sanitary condition and ornamental value of tree plantations in Nizhnekamsk. *Russian Journal of Applied Ecology*. 2015;3:18–24. (In Russ.)
- [20] *General Plan of the urban district of Balashikha, Moscow region Materials to justify the general plan. Volume 2. "Environmental Protection". Territorial Planning Workshop N 3. Department of Environmental Protection; 2017. (In Russ.)*
- [21] Information release on the state of natural resources and the environment of the Moscow region in 2020. Krasnogorsk; 2021. (In Russ.)
- [22] *Trees and Shrubs of the USSR. Editor: Prof. S.Y. Sokolov, Doctor of Biology, Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences. Corresponding member of the USSR academy of sciences. M., L.: Shishkin BK; 1949–1962. Vol. 1–6. (In Russ.)*
- [23] Valyagina-Malyutina ET. *Trees and shrubs of the middle belt of the European part of Russia: an identifier. St. Petersburg: Special literature Publ.; 1998. (In Russ.)*
- [24] Alekseev VA. Diagnostics of the vital state of trees and stands. *Forest Science*. 1989;4:51–57. (In Russ.)
- [25] Speranskaya NYu. *Composition and vitality of woody plants in Barnaul: Author's abstract of Candidate of Biological Sciences. Barnaul; 2007. (In Russ.)*
- [26] Lapin PI, Sidneva SV. *Assessment of the prospects of tree plant introduction based on visual observation data. Experience in the introduction of woody plants. Moscow; 1973. (In Russ.)*
- [27] Kocharyan KS. *Main species of woody plants of the dendroflora of Moscow and Moscow region and their application in green building. Moscow: Nauka Publ.; 2002. Vol. 1, 2. (In Russ.)*
- [28] Yakushina EI. *Tree plants in the landscaping of Moscow. Moscow: Nauka Publ.; 1982. (In Russ.)*

Список литературы

- [1] Агаширинова В.Ю. Урбанизация как сложное комплексное явление // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2019. № 8 (42). С. 178–191
- [2] Смоляр И.М., Микулина Е. М., Благовидова Н.Г. Экологические основы архитектурного проектирования: учебное пособие для студентов учреждений высшего профессионального образования. М.: Академия, 2010. 178 с.
- [3] Якубов Х.Г. Экологический мониторинг зеленых насаждений в крупном городе (на примере г. Москвы): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2006. 56 с.
- [4] Истомина И.И., Павлова М.Е., Терехин А.А. Возрастной спектр ценопопуляций как показатель стратегии вида в условиях антропогенного стресса (на примере редких и охраняемых видов природно-исторического парка «Битцевский лес») // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство. 2017. Т. 12. № 1. С. 66–75.
- [5] Бухарина И.Л., Журавлева А.Н., Большова О.Г. Городские насаждения: экологический аспект: монография. Ижевск: Удмуртский университет, 2012. 206 с.
- [6] Grimmond S. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming // Geographical Journal. 2007. № 173. P. 83–88.
- [7] Состояние зеленых насаждений в Москве (по данным мониторинга за 2001 г.): аналитический доклад / отв. ред. Е. И. Пупырев. М.: Прима-Пресс, 2002. 335 с.
- [8] Морозова Г.Ю. Жизнеспособность популяций растений в урбанизированной среде // Вестник Тихоокеанского государственного университета. Владивосток, 2015. № 2(37). С. 35–44
- [9] Махонин Е.В. Экологическая роль зеленых насаждений в защите окружающей среды от воздействия стрессовых факторов города: на примере г. Орла: автореф. дис. ... к.б.н. Брянск, 2006. 28 с.
- [10] Парахина Е.А. Древесные растения, используемые в озеленении города Орла // Флора и растительность Центрального Черноземья: материалы научной конференции. Курск, 2006. С.112–114.
- [11] Ерзин И.В. Оценка состояния насаждений городских парков в связи с их реконструкцией (на примере г. Москвы): автореф. дис. ... к.б.н. Москва, 2011. 20 с.
- [12] Ларионов М.В., Агафонов В.И. Особенности территориального планирования и экологической инфраструктуры мегаполиса (на примере г. Москвы) // Биоразнообразие и антропогенная трансформация природных экосистем: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции / под ред. М.А. Заниной. Саратов, 2021. С. 180–186.
- [13] Прохоренко Н.Б., Демина Г.В. Видовое разнообразие и жизненное состояние деревьев и кустарников в насаждениях города Казани // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18. № 2. С. 177–181.
- [14] Прохоренко Н.Б., Демина Г.В., Мингазова Д.Н. Оценка жизненного состояния деревьев в урбанизированных условиях Казани // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19. № 2 (3). С. 507–512.
- [15] Разинкова А.К., Перельгина Е.Н. Видовое разнообразие и патологическое состояние уличных придорожных посадок г. Воронежа // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 2 (22). С. 36–46.
- [16] Адоньева Т.Б., Иванова Е.М., Калужная Л.А. Зеленые насаждения города Воронежа: современное состояние, проблемы // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология. 2001. № 1. С. 136–139.
- [17] Авдеев Ю.М., Костин А.Е., Титов Д.В., Попов Ю.П. Экологическое состояние зеленых насаждений. Вестник КрасГАУ. 2017. № 7. С. 114–118.

- [18] *Киселева Л.Л., Парахина Е.А., Силаева Ж.Г.* Видовой состав и устойчивость древесных насаждений как основа экологического благополучия урбанизированной среды (на примере города Орла) // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2016. Т. 18. № 2 (3). С. 702–706.
- [19] *Серебрякова Н.Е., Гаврицкова Н.Н., Граница Ю.В., Медведкова Е.А.* Санитарное состояние и декоративность древесных насаждений г. Нижнекамска // *Российский журнал прикладной экологии*. 2015. № 3. С. 18–24.
- [20] Генеральный план городского округа Балашиха Московской области: материалы по обоснованию генерального плана. Том 2: Охрана окружающей среды. Мастерская территориального планирования № 3. Отдел охраны окружающей среды. 2017 г. 112 с.
- [21] Информационный выпуск о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2020 году. Красногорск, 2021. 170 с.
- [22] *Деревья и кустарники СССР / ред. д-р биол. наук проф. С. Я. Соколов. чл.-кор. АН СССР Б.К. Шишкин. М.; Л., 1949–1962. Т. 1–6.*
- [23] *Валягина-Малютина Е.Т.* Деревья и кустарники Средней полосы Европейской части России: определитель. СПб.: Специальная литература, 1998. 112 с., ил.
- [24] *Алексеев В.А.* Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // *Лесоведение*. 1989. № 4. С. 51–57.
- [25] *Сперанская Н.Ю.* Состав и жизненное состояние древесных растений г. Барнаула: автореф. дис. ... к.б.н. Барнаул, 2007. 15 с.
- [26] *Лапин П.И., Сиднева С.В.* Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений. Опыт интродукции древесных растений. М., 1973. С. 7–63.
- [27] *Кочарян К.С.* Основные виды древесных растений дендрофлоры Москвы и Московской области и их применение в зеленом строительстве. М.: Наука, 2002. Т. 1. 80 с. 2003; Т. 2. 80 с.
- [28] *Якушина Э.И.* Древесные растения в озеленении Москвы. М.: Наука, 1982. 158 с.

Bio notes:

Elena A. Parakhina – Candidate of Biology, Ass. Professor Department of Environmental Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2865-0780, eLIBRARY SPIN-code: 4045-3378. E-mail: parakhina-ea@rudn.ru

Maria A. Rudneva – Candidate of Philology, Ass. Professor Departments of Foreign Languages, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-1161-9100, eLIBRARY SPIN-code: 8720-6885. E-mail: rudneva-ma@rudn.ru

Сведения об авторах:

Парахина Елена Александровна – кандидат биологических наук, доцент, доцент департамента рационального природопользования института экологии Российского университета дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. ORCID: 0000-0002-2865-0780. E-mail: parakhina-ea@rudn.ru

Руднева Мария Андреевна – кандидат филологических наук, доцент кафедры иностранных языков института экологии Российского университета дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. ORCID: 0000-0003-1161-9100. E-mail: rudneva-ma@rudn.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-486-497

УДК 502:504

Научная статья / Research article

Возможные причины колебания уровня природных вод в Косинских озерах в XX–XXI веках – природные и антропогенные

В.Б. Розанов¹✉, В.Ю. Березкин², А.В. Черешенко³

¹Министерство энергетики Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

³Департамент жилищно-коммунального хозяйства г. Москвы, Российская Федерация

✉victor76@list.ru

Аннотация. Колебание уровня природных водоемов ООПТ «Косинский» г. Москвы имеет большое значение не только для комфортного обитания местных жителей и функционирования одной из популярных рекреационных зон города, но и сохранения самой уникальной экосистемы охраняемой территории. Снижение уровня озер на протяжении XX в. в сочетании с их загрязнением неоднократно приводило к их эвтрофикации и замору рыбы. Цель работы – установление взаимосвязи между уровнем вод в Косинских озерах за период наблюдений, количеством выпавших осадков и хозяйственными работами, связанными с водоотведением. Проверяться нулевая гипотеза: причинами современного обмеления Святого озера являются не столько климатические изменения, сколько антропогенная деятельность. Приведены данные колебания уровня водоемов озерного типа Косино-Ухтомского района г. Москвы за период 1924–2021 гг. и оценка влияния современных антропогенных процессов на обмеление озер. В основу работы положены результаты как собственных полевых исследований авторов (геодезическая съемка в районе Косинского Трехозерья 2006–2021 гг.), так и архивные данные Косинской биостанции и других организаций. Показано, что обмеление Святого озера в последнее десятилетие не может быть объяснено лишь метеорологическими явлениями (количеством осадков). Подтверждена значительная роль гидротехнических мероприятий в регулировании уровня вод озер Белое и Черное.

Ключевые слова: Косинские озера, обмеление, водоотведение, грунтовые воды, уровни водоемов, изменение климата

Благодарности и финансирование. Работа выполнена как частное инициативное исследование, без финансовой поддержки частных или государственных организаций. Авторы благодарят за поддержку сотрудников группы «Трехозерье-ЧС».

© Розанов В.Б., Березкин В.Ю., Черешенко А.В., 2022



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

Вклад авторов: *В.Б. Розанов* – общая организация работы, геодезическая съемка, работа с архивными данными Косинской биостанции; *В.Ю. Березкин* – работа с метеоданными и результатами геодезической съемки разных лет, подготовка графиков и таблиц для статьи; *А.В. Черешенко* – геодезическая съемка и расчеты.

История статьи: поступила в редакцию 15.07.2022; доработана после рецензирования 06.08.2022; принята к публикации 10.10.2022.

Для цитирования: *Розанов В.Б., Березкин В.Ю., Черешенко А.В.* Возможные причины колебания уровня природных вод в Косинских озерах в XX–XXI веках – природные и антропогенные // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 486–497. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-486-497>

Possible causes of natural water level variations in the Kosin Lakes in the 20th–21st century – natural and anthropogenic

Vasily B. Rozanov¹✉, Victor Yu. Berezkin² , Alexey V. Chereshenko³

¹*Ministry of Energy of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation*

²*Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation*

³*Department of Housing and Communal Services of Moscow, Russian Federation*

✉victor76@list.ru

Abstract. Fluctuations level of Kosinsky lakes in Moscow are of great importance not only for the comfortable living of peoples and for the functioning of one of the city's popular recreational areas. In addition, it is important for the preservation of all unique ecosystem of the protected area. The decrease in the level of lakes during the 20th century, combined with their pollution, repeatedly led to their eutrophication and fish kill. The aim of the work was to establish the relationship the water level in the Kosinsky lakes (during the observation period) the amount of precipitation and economic activities related to drainage. The null hypothesis: the reason for the modern swallowing of the Svyatoye Lake is not so much climate change as anthropogenic activity. The article presents data on fluctuations in the level of lake-type water bodies in the Kosino-Ukhtomsky district of Moscow, for the period 1924–2021, and an assessment of the impact of them modern anthropogenic processes. The work is based on the results of both the authors' own field research (geodetic survey in the Kosinsky Three Lakes area in 2006–2021) and archival data from the Kosinskaya biological station and other organizations. It shown that the changing level of the Holy Lake in the last decade cannot explained only by meteorological phenomena (precipitation). The significant role of hydrotechnical measures in regulating the level of lakes Beloe and Chernoye has confirmed.

Keywords: Kosinskies lakes, swallowing, drainage, groundwater, water levels, climate change.

Acknowledgements and Funding. The study was carried out as a private initiative study, without financial support from private or public organizations. The authors are grateful for the support of the employees of the «Trekhozerye-CHS» group.

Authors' contributions: *V.B. Rozanov* – general organization of work, geodetic survey, work with archival data of the Kosinskaya biological station, *V.Yu. Berezkin* – work with meteorological data and the results of geodetic surveys of different years, preparation of graphs and tables for the article; *A.V. Chereshenko* – geodetic survey and calculations.

Article history: received 15.07.2022; revised 06.08.2022; accepted 10.10.2022.

For citation: Rozanov VB, Berezkin VYu, Chereshenko AV. Possible causes of natural water level variations in the Kosin Lakes in the 20th–21st century – natural and anthropogenic. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):486–497. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-486-497>

Введение

Массовая застройка береговых полос водоемов, вырубка лесов, осушение болот в Москве и Московской области, начиная со второй половины XX в. и по наши дни, в сочетании с изменениями климата, неизбежно должны были привести к обмелению озер и рек. Для отдельных водоемов города и области ситуация в XXI в. могла усугубиться вследствие строительства метрополитена, шоссейных дорог и других коммуникаций, связанных с интенсивным водоотведением в период строительных работ.

Вышеуказанная проблема остается весьма актуальной для Косинских озер (так называемой системы Трехозерья), являющихся в настоящее время ключевой частью ООПТ «Косинский» – Косино-Ухтомского района г. Москвы. Эти озера широко известны в научных кругах нашей страны и за рубежом, так как на них с конца прошлого столетия стали проводить физико-географические и биологические исследования, особенно интенсивные и уникальные в период с 1910 по 1940 г. (Труды Косинской биологической станции и Косинской лимнологической станции) [1; 2].

Косино-Ухтомский район находится в пределах Восточного административного округа (ВАО) столицы и ограничен: с запада – МКАД, с севера – микрорайоном Новокосино и Носовихинским шоссе, с востока – лесным массивом, микрорайоном Кожухово, рекой Чечерой и городом Люберцы, с юга – железной дорогой Рязанского направления. Ядром данной территории, как в природном, так и в историческом аспекте, является село Косино и лежащие в его пределах озера [3].

В период систематического исследования Косинских озер окружающая их территория неоднократно меняла свой статус. Был создан в 1923 г. и ликвидирован в 1942 г. заповедник «Косинский», между озерами Черное и Белое в послевоенные годы добывался торф, что привело к увеличению площади Черного озера в несколько раз за счет затопления торфяного карьера, в 1987 г. создан Косино-Ухтомский район ВАО г. Москвы. В 1990-е гг. Косинские озера имели официальный статус объекта, охраняемого ЮНЕСКО, впоследствии утраченный, а в 2006 г. был создан ООПТ регионального значения «Природно-исторический парк „Косинский“» площадью 335 га (озера Черное, Белое и Святое, долина р. Рудневки и часть правобережной долины р. Чечеры). В последующие годы район Косинских озер и сами озера изучались сотрудниками биологического, географического и геологического факультетов МГУ [4; 5].

В Косинских озерах ловят рыбу, озеро Белое и Святое используются как рекреационные объекты, в XX в. воды озер использовались для мелиорации совхозных полей. Обмеление озера Святое в начале XXI в. вызывает

неподдельную тревогу местных жителей и является реальной угрозой гибели его уникальной биосистемы, превращения этой «Жемчужины Подмосковья» в болото. В качестве одной из причин обмеления озера городские власти называют климатические изменения [6–8].

Целью работы являлось установление взаимосвязи или ее отсутствия между уровнем воды в Косинских озерах за период наблюдений, количеством выпавших осадков и хозяйственными работами, связанными с водоотведением, как непосредственно из озер, так и в зоне связанных с ними грунтовых вод. Проверялась нулевая гипотеза – причиной обмеления Святого озера являются не столько климатические изменения, сколько антропогенная деятельность.

Работа выполнена как частное инициативное исследование сотрудников группы «Трехозерье-ЧС», без финансовой поддержки какой-либо организации или частных лиц.

Физико-географические особенности территории

Территория Косино уникальна не только для Москвы, но и Московской области благодаря наличию системы Трехозерья (озера Белое, Черное и Святое) – озер ледникового происхождения, сформировавшихся в древней долине Прамосквы. Различны морфология озер, состав их вод, фауна их как ныне живущая, так и ископаемая, погребенная в толще отложений [9].

Рельеф района типичен для Подмосковья: песчаные и глинистые холмы и суходолы, местами покрытые лесом. В прошлом широкое распространение имели заболоченные низины, к настоящему времени они почти полностью осушены.

Из четвертичных отложений здесь распространены водно-ледниковые пески с прослоями глин и суглинков конца московского оледенения. Ниже, как и для большей части Подмосковья, залегают темные глины и пески с фосфоритами, юрской системы, перекрывающие известняки и доломиты верхнего отдела каменноугольной системы [10].

Методика и материалы

В работе использовались архивные данные Косинской биостанции и другие документы, накопленные за пятнадцатилетний период Розановым В.Б., а также данные собственных исследований (2006 [3; 11] и 2021 гг.) проводимых под эгидой названной нами группы – «Трехозерье»-ЧС. Были обобщены все открытые данные по уровню вод в озерах Черное, Белое и Святое, включая антропогенное продолжение озера Черного – бывший торфяной карьер, за период с 1924 по 2001 г. (табл. 1).

Летом 2021 г. был проложен тахеометрический ход с привязкой к геодезическим знакам (реперам Мосгоргеотреста): 1) марка ОГЗ-385 – ул. Большая Косинская, д. 42, 2) МГГТ № 32037 – ул. Оранжевая, д. 12, 3) МГГТ № 19355 – ул. Оранжевая, д. 18.

Таблица 1. Урезы воды Косинских озер за весь период наблюдений 1924–2021 гг. (метр над у.м.)

Год измерения	Белое озеро	Черное озеро	Святое озеро	Организация, по инициативе которой проводились измерения
1924	139.70 (при наибл. уровне воды)	140.10 (при низком уровне воды)	141.00 (при наименьш. уровне воды)	Труды Косинской биостанции (Кожевников, Россолимо)
1934	140.40		141.45	Моссельводстрой (подоснова)
1936	140.50			
1958	140.18	139.72 (лед)	140.80 (лед)	Гипроводхоз (подоснова)
		139.98	140.43	
1987 (февр.)	140.00		140.43	Институт Мосводоканал НИИпроект
1992	140.10	140.40	139.80	Институт Мосводоканал НИИпроект
1996	140.20			
2001		140.90	140.55 (болото)	Московский земельный комитет (подоснова)
2006 (авг.)	140.62	140.61	141.01	«Трехозерье»-ЧС
		140.84 (болото)		
2020			139.58	ГПБУ «Мосэкомониторинг»
2021	140.80	140.79	139.81	«Трехозерье»-ЧС

Table 1. The water level of the Kosinsky lakes for the entire observation period 1924–2021 (meter above sea level)

Year of measurement	Beloye (white) lake	Chernoye (black) lake	Svyatoye (holy) lake	The organization on whose initiative the measurements were carried out
1924	139.70 (at the highest water level)	140.10 (at the low water level)	141.00 (at the lowest water level)	Archival data of the Kosinskaya biological station (Kozhevnikov, Rossolimo)
1934	140.40		141.45	Moscow SelVodStroy (underlying)
1936	140.50			
1958	140.18	139.72 (ice)	140.80 (ice)	State Institute for the Design of Water Management and Ameliorative Construction (underlying)
		139.98	140.43	
1987 (February)	140.00		140.43	Mosvodokanal Institute, Scientific research project
1992	140.10	140.40	139.80	Mosvodokanal Institute, Scientific research project
1996	140.20			
2001		140.90	140.55 (swamp)	Moscow Land Committee (underlying)
2006 (August)	140.62	140.61	141.01	"Trekhozerye"-CHEES
		140.84 (swamp)		
2020			139.58	State environmental budgetary institution "Mosecomonitoring"
2021	140.80	140.79	139.81	"Trekhozerye"-CHEES

При проведении инструментальных измерений в полевых условиях нами было использовано следующее оборудование: роботизированный тахеометр LeicaTS 16P, как с применением отражателя (призма LeicaGRZ4, вежа), так и в безотражательном режиме; лупа; фотоаппарат; карта исследуемого района; журналы наблюдений; чертежные принадлежности.

Для определения высот урезов воды озер отметки вышеперечисленных реперов были перенесены к урезам трех водоемов (Белое озеро – 1) 55.719715 с.ш., 37.857173 в.д., 2) 55.723282 с.ш., 37.851942 в.д.; Святое озеро – 55.715128 с.ш., 37.872676 в.д.; Черное озеро – 55.724944 с.ш., 37.846533 в.д.). Для Черного озера, ввиду труднодоступных его береговой линии (болото), репер установлен на его новой границе (бывший карьер).

Также в связи с заменой старого моста на новый между Белым озером и затопленным карьером (современным продолжением Черного озера) был зафиксирован свой временный репер в районе одной из металлических опор (координаты: 55.723101 с.ш., 37.848534 в.д.), что в дальнейшем позволит производить постоянный мониторинг колебаний воды между этими водоемами, а также позволит избегать возможных погрешностей в последующих геодезических исследованиях.

Для проверки климатической гипотезы обмеления озер использовались открытые данные (Москва, Метеостанция Ботанического сада) по количеству осадков в Москве и области за период 1949–2009 гг. (рис. 1). Использовались также все найденные документы по строительным работам в районе озер, связанным с интенсивным водоотведением грунтовых вод.

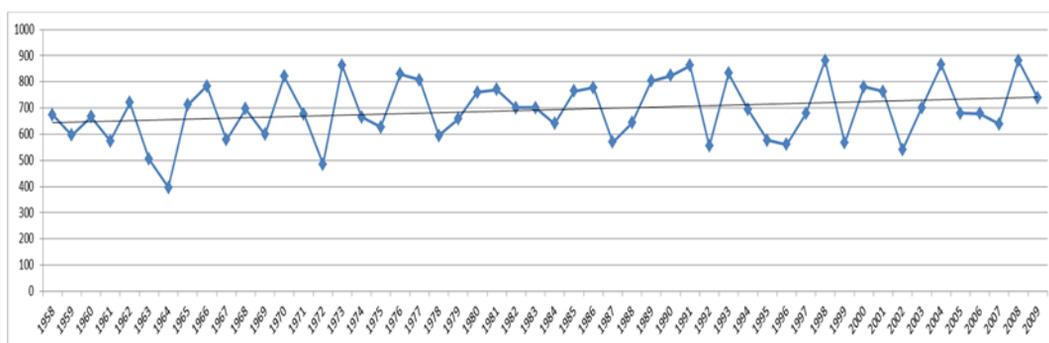


Рис. 1. Среднегодовое количество осадков в Подмоскowie (мм/год) за период 1958–2009 гг. по данным метеостанции Ботанического сада г. Москвы /

Figure 1. Average annual precipitation in Moscow region (mm/year), for the period 1958–2009 years

Результаты

Анализ данных об изменении уровня вод в Косинских озерах показал (рис. 2), что в настоящий момент угрозе обмеления подвержено только одно из них – Святое.

Уровень Черного и Белого озера заметно превышает высотные отметки на период начала наблюдений (1924 г.). Как видно из графика, с 1987 г. по 2020 г. высотный уровень торфяного искусственного карьера заметно повысился, по нашему мнению, вследствие осуществления течения вод из озера Черное в этот карьер и далее в озеро Белое, что способствовало его эвтрофикации [12]. В настоящий момент (2021 г.) озера Белое и Черное составляют единую водную систему вместе с затопленным торфяным карьером, ставшим продолжением Черного озера и соединенным с Белым озером перемычкой – как сообщающиеся сосуды.

Для озера Святое, напротив, наблюдается на период 2020–2021 гг. минимум уровня вод за весь период наблюдений с 1924 г. При этом анализ среднего количества осадков в Москве и Подмоскowie за период 1949–2009 гг. обнаруживает тенденцию к росту ежегодно выпадающего количества осадков за каждые десять лет: 619 мм/г (1949–1958 гг.) – 729 мм/год (2000–2009 гг.).

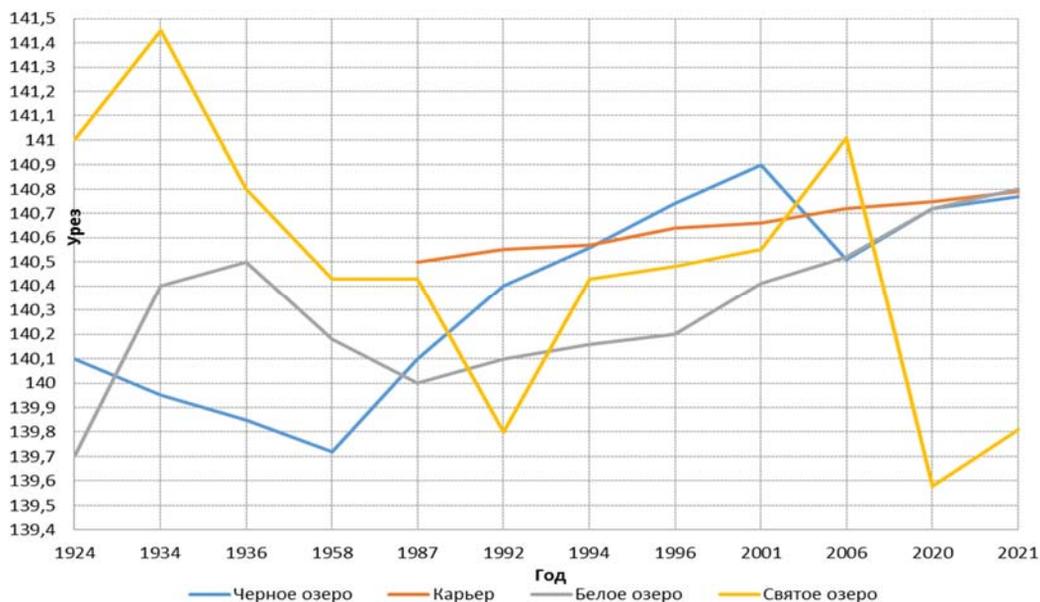


Рис. 2. Колебание уровня Косинских озер за период наблюдений (1924–2021) / Figure 2. Fluctuations level of Kosinsky lakes for the observation period (1924–2021)

Ни одно из максимальных и минимальных значений уровня воды в озерах не совпадает с соответствующими колебаниями уровня ежегодных осадков, что позволяет предполагать значительную роль антропогенных процессов.

Косвенно это подтверждают архивные и литературные данные. Так, причиной резких колебаний уровня вод Белого и Черного озер в середине прошлого века были, скорее всего, непродуманные мелиоративные работы [13] и торфоразработки (В.А. Жидков). До разработки карьера между этими водоемами (до 1960-х гг.) вода, поступающая из Черного озера, уходила по промытому перешейку (торфяному) в пос. Кузьминки – Голицинские пруды – в Москва-реку – это русло реки Голедянки, переходящее в реку Чурилиха.

Создание искусственного водоема (карьера) на месте выработанного торфа между Белым и Черным озером в русле реки Голедянки, а в дальнейшем соединении этих водоемов между собой позволило выровнять уровень, и в настоящее время они находятся на одном уровне, как сообщающиеся сосуды, что отмечалось нами также ранее – в 2006 г. [3; 11].

Белое и Черное озера раньше питала реку Чурилиха, которая брала начало в Перовском пруду, потом проходила через Кусково, Косино и Вешняки и в конечном итоге попадала в Верхний Кузьминский пруд. Во избежание выхода Белого озера из берегов Косинским мелиоратором и защитником природы В.А. Жидковым (1920–2009 гг.) в 1970–1980-е гг. было разработано целое гидросооружение, с помощью которого при поднятии уровня Белого озера вода поступала по сделанному им каналу, который брал свое начало на южном берегу Белого озера и, проходя под Новоухтомским шоссе, попадал в

специальные пруды-регуляторы (рядом с МКАД), принимающие все дренажные и поверхностные воды.

На момент исследований эта единая гидросистема полностью нарушена [14]. Остается невыясненным тот факт, что некогда соединение водоносной артерии, проходящей через Белое и Черное озера, происходило за счет озера Радуга, о чем свидетельствует А.Х. Туренко в письме к Верховному Совету РСФСР от 1970 г. [15]. Ни на одной из общедоступных и имеющихся в распоряжении авторов архивных карт района прошлых лет – такового озера не значится. Об этом косвенно свидетельствует ныне существующий в Вешняках парк с одноименным названием Радуга. Однако местоположение давшего ему названия озера в настоящий момент не установлено и требует дальнейших топонимических, картографических и гидрогеологических исследований.

Колебания уровня воды в озере Святое могут быть объяснены ввиду создания дренажной системы в 30-е гг. XX в. [9]. После этого уровень этого водоема стал с годами понижаться, что можно наблюдать на графике после 1934 г. (рис. 2).

В 1989 г. при прокладке канализационного коллектора вдоль железной дороги Казанского направления Московской геолого-гидрологической экспедицией была произведена прогнозная оценка о влиянии данных работ на гидрологические условия прилегающей территории и водный режим Косинских озер. Эти результаты моделирования прогноза изменения гидрологической обстановки в связи с застройкой района Ухтомский–Жулебино и Ново-Косино показали, что приток подземных вод к системе Косинских озер увеличится на величину порядка 400 м³/сут и составит 600–650 м³/сут. Таким образом, восстановление уровня после завершения строительства коллектора должно было произойти достаточно быстро. Из полученных в 2006 г. нашей общественной организацией «Трехозерье-ЧС» данных следует, что оз. Святое находится на том же уровне, что и в 1925 г. Это, в свою очередь, свидетельствует о самовосстановлении водного пространства за счет грунтовых вод.

Однако в настоящее время уровень озера находится на довольно критической отметке. Причиной тому, по нашему мнению, может служить лавинообразное строительство последнего десятилетия, в особенности строительство домов по программе Реновации в непосредственной близости от водоемов и их водоразделов без должных научных изысканий и учета прогнозной оценки. Также прокладка подземных коммуникаций и строительство метрополитена, которое в ежесуточном режиме перекачивает грунтовые воды в канализацию с целью непопадания воды в тоннели и во избежание затоплений, что может нанести непоправимые потери.

В качестве примера можно привести положительное заключение экспертизы¹ возводимого многоквартирного многоэтажного жилого дома по

¹ Богушевская Е.М. Положительное заключение экспертизы на проектную документацию и результаты инженерных изысканий на жилой дом с инженерными сетями и благоустройством территории по адресу: Оренбургская улица, вл. 3, р-н Косино-Ухтомский, ВАО г. Москвы от 28.12.2018 № МГЭ/20259-1/5 (№ 77-1-1-3-009541-2018).

программе реновации жилого фонда г. Москвы, по адресу: ул. Черное Озеро, владение 4, в проектной документации. В экспертном заключении указано, что устройство трубчатого дренажа в основании фундаментной плиты, а также дренажная насосная станция и отвод дренажных вод осуществляется в проектируемую наружную сеть. Таким образом, проектная документация исключает прямое воздействие на водные объекты ООПТ в части забора воды, а организованный дренаж перехватывает грунтовые воды, питающие озера, и сбрасывает их в канализационный коллектор.

Однако, по нашим подсчетам, объемы сброса грунтовых вод в канализацию являются довольно существенными. Мощность насоса позволяет качать 16 л в секунду. Таким образом, за месяц непрерывной работы один насос откачивает до 41 472 м³. Во время строительства на территории стройплощадки было установлено 8 насосов, подключенных в единую сеть. Водопонижение на период «нулевого» цикла строительства выполняется с помощью установок вакуумного водопонижения УВВ3-6КМ и насосов открытого водотока, с максимальным расходом одной установки и составляет 40 м³/ч (по данным ООО «ПСП „СТРУКТУРА“»). URL: <http://www.psp-geo.ru/vodoponizhenie-iglofiltry-nasos-YVB-3A-6KM.html>).

Таким образом, именно водопонижение на строительной площадке (перехват грунтовых вод в канализацию) предположительно привело к существенному понижению уровня воды Святого озера, осушению окружающего этот водоем сфагнового болота и пожарам торфяной подушки этого болота (биотопа с растениями, занесенными в Красную книгу, а также животными в целом), а впоследствии к утрате уникального памятника природы. Ожидаемое количество паводковой воды в весенние периоды 2020–2021 гг. оказалось крайне малым и не смогло компенсировать потерянный объем водных ресурсов озера, в связи с чем стремительный процесс осушения сфагновой подушки становится необратимым.

Как уже упоминалось выше, анализ среднегодового количества осадков в городе Москве за последние десятилетия показал, что фон осадков остается довольно стабильным, а в последние годы отмечается небольшое увеличение.

Следует также отметить, что проведенные нами ранее, на протяжении нескольких лет, наблюдения за видовым составом фито- и зоопланктона показали, что видовой состав планктонных организмов Косинских озер, за несколько лет в незначительной степени подвергся изменениям. Возможной причиной этого является увеличение антропогенной нагрузки на изучаемую территорию, вследствие которой происходят процессы эвтрофикации озер [5].

Заключение

В результате анализа фондовых данных, данных из открытых источников и собственных измерений в период лета 2021 г. был впервые построен сводный график колебания уровня естественных озер и созданного в результате торфоразработок карьера, в период с 1924 г. по настоящее время.

Анализ графика показал, что колебание уровня воды в озерах во многом обусловлено гидротехническими мероприятиями, от мелиорации и дренажа в начале XX в., до водоотвода при строительных работах (жилых сооружений и метрополитена) в начале XXI в.

Анализ графика осадков в исследуемом районе показал незначительный, но устойчивый тренд к их увеличению на протяжении минувшего века 619 мм/г (1949–1958 гг.) – 729 мм/год (2000–2009 гг.), что позволяет исключить климатический фактор из числа актуальных.

Установлено, что угрозе обмеления в настоящее время подвержено только Святое озеро, расположенное в зоне наиболее интенсивного строительства жилых кварталов (5-й Кожуховский микрорайон и метрополитен).

В соответствии с полученными данными необходимо более тщательное экспертное исследование инженерно-геологического состояния водоносных грунтов в районе оз. Святое и прекращение любых строительных работ в его окрестностях до получения необходимого заключения.

Список литературы

- [1] *Пашковский И.С.* Оценка и прогноз изменения гидрогеологических и гидрологических условий в р-не Косинских озер в связи с проектируемой застройкой // Отчет ЗАО «Геолинг Консалтинг». М., 2000. С. 5–6.
- [2] *Трифиленкова О.И.* Косино – маленький уголок моей родины. М.: Б/и, 1992. С. 10–84.
- [3] *Розанов В.Б., Шилькрот Г.С., Резниченко М.А.* Колебательные процессы уровня вод Косинских озер // Доклады МОИП. Т. 47. М.: Издательство МГУ, 2010. С. 32–36.
- [4] *Серебровская К.Б.* Природа Косинского региона, Косинское Трехозерье один из колодцев пресной воды на планете. Клуб ЮНЕСКО «Экополис-Косино». М., 2004. С. 25.
- [5] *Шехматова Е.И., Розанов В.Б.* Пресноводный фитопланктон в изучении биологических процессов Косинских озер // Материалы II Международной, VII Всероссийской научно-практической конференции «Состояние природной среды обитания и фауна охотничьих животных России и сопредельных территорий». Балашиха: Издательство РГАЗУ, 2016. С. 523–529.
- [6] *Гаранько А.В.* О понижении уровня воды Святого озера, связанного с аномально-жаркими погодными условиями. Ответное письмо И.о. прокурора межрайонной природоохранной прокуратуры, исх. № 103 ис-2012/2139 (бланк АА* 0005046) от 05.09.2012 г. С. 1.
- [7] *Лукашина Л.С., Гапоненко А.В., Розанов В.Б.* Изучение пресноводного зоопланктона Косинского Трехозерья // Материалы научно-практической конференции «Интегрированные технологии аквакультуры в фермерских хозяйствах. М.: Перо, 2016. С. 75–79.
- [8] *Чернышев Р.М.* О понижении уровня воды Святого озера, связанного с климатическими изменениями. Письмо заместителя главы управы района Косино-Ухтомский г. Москвы, ВАО, Правительство Москвы, исх. № Д1743/1 от 25.08.11 г. С. 1.
- [9] *Россолимо Л.Л.* Заключение о возможности и целесообразности использования и сохранения района расположения Косинских озер как территории особого режима, ИГ РАН, Исх. письмо 136-09 от 22.09.1970 г. в НИИПИ Генплана Москвы. С. 1–3.
- [10] *Мельникова И.Д.* Отчет по инженерно-экологическим изысканиям, Актуализация проекта «Разработка проектно-сметной документации по комплексному

- благоустройству, реабилитации и развитию ООПТ регионального значения ПИП «Косинский» (прилегающая часть к оз. Белое), проектная документация, Раздел 1, ООО «Парки города». М., 2016. С. 9–11.
- [11] Розанов В.Б., Скарятин В.Д. Результаты экологического мониторинга Косинских озер ВАО г. Москвы // Инновационный потенциал молодежи – социальному обновлению России: материалы VI Всероссийской недели студенческой науки. М.: Издательство РГСУ, 2009. С. 225–229.
- [12] Березкин В.Ю., Ивановский Г., Розанов В.Б. Эколого-геохимическая оценка территории района Косино-Ухтомский (г. Москва) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. № 2. С. 54–64.
- [13] Туренко А.Х. Памятная записка депутату верховного совета СССР А.Н. Туполеву, от 12.05.1962 г. С. 9–16.
- [14] Белоусов В. Человек, который спасал озера или кому нужна лимнология // Экономическая и философская газета. 2011. № 29 (869). С. 8.
- [15] Туренко А.Х. Письмо Комитета по Охране и Воспроизводству Природных Богатств Селения – села Косина, – он же Комитет по Организации Здравницы Трудящихся города Москвы и Московской области «Косино» – Верховному Совету РСФСР, б/н от 10.11.1970 г. С. 2.

References

- [1] Pashkovsky IS. Assessment and forecast of changes in hydrogeological and hydrological conditions in the Kosinsky Lakes region in connection with the planned development. *Report of Closed joint-stock company Geoling Consulting*. Moscow; 2000 (In Russ.)
- [2] Trifilenkova OI. *KOSINO – A small corner of my homeland*. Moscow; 1992 (In Russ.)
- [3] Rozanov VB, Shilkrot GS, Reznichenko MA. Oscillatory processes of the water level of Kosinskie lakes. *Papers of the Moscow Society of Nature Testers*. Publishing House of Moscow State University. 2010;(47):32–36 (In Russ.)
- [4] Serebrovskaya KB. *The nature of the Kosinsky region, Kosinsky Trekhozerye is one of the freshwater wells on the planet*. UNESCO Club "Ecopolis-Kosino". Moscow; 2004 (In Russ.)
- [5] Shekhatova EI, Rozanov VB. Freshwater phytoplankton in the study of the biological processes of the Kosinsky lakes. *Proceedings of the II International, VII All-Russian scientific and practical conference: "The state of the natural habitat and the fauna of game animals in Russia and adjacent territories."* Publishing house Russian State Agrarian Correspondence University. Balashikha; 2016 (In Russ.)
- [6] Garanko AV. *On the decrease in the water level of the Holy Lake associated with abnormally hot weather conditions, a response letter from Acting Prosecutor of the Interdistrict Environmental Prosecutor's Office, ref. No. 103 is-2012/2139 (form AA* 0005046) dated 05.09.2012*. p. 1 (In Russ.)
- [7] Lukashina LS, Gaponenko AV, Rozanov VB. Study of freshwater zooplankton of the Kosinsky Trekhozerye. *Proceedings of the scientific-practical conference "Integrated aquaculture technologies in farms"*. Pero Publishing House. Moscow city; 2016. p. 75–79 (In Russ.)
- [8] Chernyshev RM. *On the decrease in the water level of the Holy Lake associated with climate change, letter from the deputy head of the council of the Kosino-Ukhtomsky district of Moscow, East Coast, Government of Moscow, ref. No. D1743/1 dated 25.08.11*. p. 1 (In Russ.)
- [9] Rossolimo LL. *Conclusion on the possibility and expediency of using and preserving the area of the Kosinsky lakes as a territory of a special regime*, Institute of Geography,

- Russian Academy of Sciences, Ref. letter 136-09 dated September 22, 1970, in the Research Institute of the General Plan of Moscow*. p. 1–3 (In Russ.)
- [10] Melnikova ID. *Report on engineering and environmental surveys, Updating the project "Development of design estimates for the integrated improvement, rehabilitation and development of specially protected natural areas of regional significance Kosinski Nature and History Park (adjacent to Lake Beloe), project documentation, Section 1, Limited Liability Company "City Parks"*. Moscow; 2016. p. 9–11 (In Russ.)
- [11] Rozanov VB, Skaryatin VD. Results of ecological monitoring of the Kosinsky lakes of the Eastern Administrative District of Moscow. *Innovative potential of youth for the social renewal of Russia. Materials of the VI All-Russian Week of Student Science*. Publishing House of Russian State Social University. Moscow; 2009. p. 225–229 (In Russ.)
- [12] Berezkin VYu, Ivanovsky G, Rozanov VB. Ecological and geochemical assessment of the territory of the Kosino-Ukhtomsky district (Moscow). *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2015;(2):54–64. (In Russ.)
- [13] Turenko AKh. *Memorandum to the Deputy of the Supreme Soviet of the USSR AN Tupolev, dated May 12, 1962*. p. 9–16 (In Russ.)
- [14] Belousov VV. The man who saved the lakes or who needs limnology. *Economic and Philosophical Newspaper*. Moscow. 2011;29(869). (In Russ.)
- [15] Turenko AKh. *Letter of the Committee for the Protection and Reproduction of Natural Resources of the Village-village of Kosina, – also known as the Committee for the Organization of the Health Resort of the Workers of the City of Moscow and the Moscow Region "Kosino" – to the Supreme Council of the Russian Soviet Federative Socialist Republic, no number, dated 10.11.1970*. p. 2. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Розанов Василий Борисович, советник отдела промышленной безопасности и экологии департамента угольной промышленности, Министерство энергетики Российской Федерации (Минэнерго России), Российская Федерация, 107996, Москва, ул. Щепкина, д. 42, стр. 1, eLIBRARY SPIN-код: 5491-7304. E-mail: vasya19863@mail.ru

Березкин Виктор Юрьевич, доцент департамента экологии человека и биоэлементологии, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, Россия, Москва, ш. Подольское, д. 8/5. ORCID: 0000-0002-1025-638X, eLIBRARY SPIN-код: 7074-9478. E-mail: victor76@list.ru

Черешенко Алексей Викторович, геодезист, департамент жилищно-коммунального хозяйства города Москвы, Российская Федерация, 109012, Москва, Богоявленский пер., д. 6, стр. 2. E-mail: dbkinder@mail.ru

Bio notes:

Vasily B. Rozanov, adviser of the Industrial Safety and Ecology Department of the Coal Industry Department, Ministry of Energy of the Russian Federation (Ministry of Energy of Russia), 42, p. 1, Shchepkina St, Moscow, 107996, Russian Federation. eLibrary SPIN code: 5491-7304. E-mail: vasya19863@mail.ru

Victor Yu. Berezkin, Associate Professor of the Department of Human Ecology and Bioelementology, Institute of Ecology, Peoples' Friendship University of Russia, 8/5 Podolskoe Shosse, Moscow, 115093, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1025-638X, eLibrary SPIN code: 7074-9478. E-mail: victor76@list.ru

Alexey V. Chereshenko, geodesist of the Department of Housing and Communal Services of the Moscow, 6, p. 2, Bogoyavlensky lane, Moscow, 109012, Russian Federation. E-mail: dbkinder@mail.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-498-510

УДК 574.6

Научная статья / Research article

Разработка и обоснование новых технологий очистки водных сред от загрязнений тяжелыми металлами

А.С. Глубокая , О.В. Атаманова ✉, Е.И. Тихомирова ,
А.А. Подоксенов , З.А. Симонова 

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
г. Саратов, Российская Федерация*

✉ O_V_Atamanova@mail.ru

Аннотация. Актуальным направлением в прикладной экологии являются разработка и внедрение инновационных технологий защиты окружающей среды и минимизации воздействия промышленных предприятий. Современные методы извлечения ионов тяжелых металлов из производственных сточных вод достаточно разнообразны, однако загрязнение тяжелыми металлами природных водных объектов достаточно интенсивное до настоящего времени. Цель исследования заключалась в разработке и обосновании новых технологий очистки водных сред, включая адсорбционную очистку от ионов тяжелых металлов (на примере ионов Ni^{2+} и Cd^{2+}). Лабораторными исследованиями установлена эффективность адсорбционного извлечения из модельных растворов ионов Ni^{2+} и Cd^{2+} сорбционным материалом на основе бентонита, модифицированного углеродными нанотрубками при температурной обработке 550 °С. Благодаря активации сорбционного материала 18 % раствором HCl и 38 % раствором $CaCl_2$ степень адсорбционного извлечения ионов Ni^{2+} возрастает на 13–14%, а ионов Cd^{2+} – на 16–17 %. Предложена технологическая схема станции водоочистки, в составе которой используются высокоэффективные адсорбционные фильтры с сорбционным материалом из бентонита указанной модификации и кислотно-солевой активации.

Ключевые слова: сточные воды, водная среда, очистка, тяжелые металлы, ионы кадмия, ионы никеля, адсорбция, сорбент, бентонит

Благодарности и финансирование. Авторы выражают благодарность руководству ООО НПП «ЛИССКОН» за помощь в изготовлении сорбционных материалов и консультировании отдельных практических вопросов. Финансовая поддержка оказана Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере «У.М.Н.И.К.–2020» в рамках проекта «Разработка технологического комплекса для очистки производственных сточных вод текстильного предприятия».

© Глубокая А.С., Атаманова О.В., Тихомирова Е.И., Подоксенов А.А., Симонова З.А., 2022



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

Вклад авторов: аспиранты *А.С. Глубокая* и *А.А. Подоксенев* выполняли лабораторные эксперименты по определению характеристик адсорбции ионов Ni^{2+} и Cd^{2+} сорбционными материалами на основе бентонита; *З.А. Симонова* проводила статистическую обработку результатов исследований; *О.В. Атаманова* руководила проведением лабораторных экспериментов и обработкой полученных результатов, а также выполняла написание основной части статьи; *Е.И. Тихомирова* обобщала результаты исследований, выполняла написание заключительной части статьи и ее общую научную редакцию.

История статьи: поступила в редакцию 15.07.2022; доработана после рецензирования 26.08.2022; принята к публикации 12.10.2022.

Для цитирования: *Глубокая А.С., Атаманова О.В., Тихомирова Е.И., Подоксенев А.А., Симонова З.А.* Разработка и обоснование новых технологий очистки водных сред от загрязнений тяжелыми металлами // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 498–510. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-498-510>

Development and justification of new technologies purification of water environments from pollution by heavy metals

Aleksandra S. Glubokaya , **Olga V. Atamanova** ✉,
Elena I. Tikhomirova , **Artem A. Podoksenov** , **Zoya A. Simonova** 

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation

✉ O_V_Atamanova@mail.ru

Abstract. An actual trend in applied ecology is the development and implementation of innovative environmental protection technologies. Modern methods for extracting heavy metal ions from industrial wastewater are quite diverse. The purpose of the study was to develop and justify new technologies for purification of aqueous media, including adsorption purification, from heavy metal ions (by the example of Ni^{2+} and Cd^{2+} ions). Laboratory studies have established that the degree of adsorption extraction of Ni^{2+} ions by the sorption material from bentonite modified with carbon nanotubes and fired at a temperature of 550 °C increases by 13–14% due to its activation with 18% HCl solution and 38% CaCl_2 solution, and the degree of adsorption extraction of Cd^{2+} ions with this activation of the sorbent, it increases by 16–17%. A technological scheme of a water purification station is proposed, which includes highly efficient adsorption filters with sorption material from bentonite of the specified modification and acid-salt activation.

Keywords: wastewater, aquatic environment, purification, heavy metals, cadmium ions, nickel ions, adsorption, sorbent, bentonite

Acknowledgements and Funding. The authors express their gratitude to the management of the Research and Production Enterprise “LISSCON” for their help in the manufacture of sorption materials and advice on certain practical issues. Financial support was provided by the U.M.N.I.K.–2020 Foundation for Assistance to the Development of Small Forms of Enterprises in the Scientific and Technical Sphere within the framework of the project “Development of a technological complex for the treatment of industrial wastewater of a textile enterprise”.

Authors’ contributions: Graduate students *A.S. Glubokaya* and *A.A. Podoksenov* performed laboratory experiments to determine the characteristics of the adsorption of Ni^{2+} and

Cd^{2+} ions by sorption materials based on bentonite; *Z.A. Simonova* performed statistical processing of research results; *O.V. Atamanova* supervised the laboratory experiments and the processing of the results, and also wrote the main part of the article; *E.I. Tikhomirova* summarized the research results, wrote the final part of the article and its general scientific editorial.

Article history: received 15.07.2022; revised 26.08.2022; accepted 12.10.2022.

For citation: Glubokaya AS, Atamanova OV, Tikhomirova EI, Podoksenov AA, Simonova ZA. Development and justification of new technologies purification of water environments from pollution by heavy metals. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):498–510. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-498-510>

Введение

Интенсивное развитие современных видов производств во всем мире способствует образованию значительных количеств сточных вод, загрязненных разными поллютантами, включая соединения тяжелых металлов. Проблема очистки производственных сточных вод приобретает особую актуальность ввиду поступления в природные водоемы недостаточно очищенных стоков, приводящего порой к необратимому загрязнению природных водных объектов. Особо опасными являются сточные воды гальванического и электрохимического производства. Их кислотно-щелочные стоки представляют собой на 80–90 % смесь промывных вод, получаемую после химического и электрохимического травления, обезжиривания металлических покрытий. Даже при достаточно качественной очистке таких сточных вод в природные водоемы поступает до 500 тыс. разных загрязняющих веществ [1]. Ионы тяжелых металлов, загрязняющие при этом природную водную среду, являются особо опасными по отношению ко всем экологическим системам. Поступая в водоемы, они способны накапливаться в водной флоре и фауне, а также в донных отложениях, оказывая токсическое воздействие на гидробионты.

Целый ряд производств (химическое и электрохимическое, гальваническое, фармацевтическое и др.) часто являются «поставщиками» избыточных количеств ионов Ni^{2+} и Cd^{2+} в природные водоемы. Далеко не всегда люди осведомлены о наличии этих ионов в воде природных водных объектов. Никель, как и кадмий, входят в приоритетную группу металлов-токсикантов, наиболее опасных для здоровья человека и животных. Токсичность никеля связана с попаданием в организм с водой, главным образом, его свободных ионов, которые обеспечивают прочные связи с тканями организма, проявляя значительно большую токсичность и канцерогенность, чем молекулярные и комплексные соединения никеля. Кадмий оказывает канцерогенное (группа 2A) и выраженное мутагенное воздействие на живой организм. Известно, что ионы Cd^{2+} обладают также тератогенным действием, вызывая возникновение морфологических аномалий и пороков развития у рождающихся детей. В целом же ионы Ni^{2+} и Cd^{2+} в значительной степени тормозят процессы самоочищения природных водных объектов, в которых имеется их избыточное присутствие [1].

Современные методы извлечения ионов тяжелых металлов из производственных сточных вод достаточно разнообразны. Наиболее широко известны для очистки воды методы реализации ионообменных технологий. Одним из наиболее востребованных в системе очистки сточных вод является метод адсорбционного извлечения из водных сред ионов тяжелых металлов [2]. Существует достаточное количество разновидностей сорбционных материалов, наиболее распространенным из которых считается активированный уголь. В последнее время особой популярностью пользуются глинистые материалы на основе монтмориллонита, модифицированные разными способами и сформованные до вида сыпучих гранулированных консистенций. Ранее [3] нами были изучены адсорбционные свойства нескольких модификаций бентонитов по отношению к нитро-, amino- и гидроксипроизводным бензола. Полученные результаты позволили предположить, что сорбционная активность модифицированных бентонитов позволит обеспечить извлечение из воды не только ароматических соединений, но и других загрязняющих веществ на 80–92 %. Поэтому были намечены пути дальнейшего изучения свойств модифицированных бентонитов для еще большего повышения их адсорбционной активности, а также пути создания новых технологических комплексов, обеспечивающих качественную очистку сточных вод от ионов тяжелых металлов, в том числе ионов Ni^{2+} и Cd^{2+} .

Цель нашего исследования заключалась в разработке и обосновании новых технологий очистки водных сред, включая адсорбционную очистку, от ионов тяжелых металлов (на примере ионов Ni^{2+} и Cd^{2+}).

Материалы и методы

Основные объекты исследований представляли собой модельные растворы гептагидрата сульфата никеля $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и октогидрата сульфата кадмия $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, содержащие ионы Ni^{2+} и Cd^{2+} в концентрациях 0–50 мг/дм³. Адсорбция изучалась в статических условиях. Исследования проводились на сорбционном материале, представляющем собой бентонит (Саригюхское месторождение в Республике Армения), модифицированный углеродными нанотрубками (УНТ), высокотемпературной обработкой (550 °С) и активированный кислотой (HCl) и солью (CaCl₂) в определенных концентрациях. К исследованиям приняты модификации бентонита, прошедшие следующие варианты активации:

- № 1 – активация 9 % раствором HCl и 30 % раствором хлористого кальция CaCl₂;
- № 2 – активация 18 % раствором HCl и 38 % раствором хлористого кальция CaCl₂.

Исследования проводились методом фотометрии, реализованным на спектрофотометре ПЭ-6100УФ (производитель Shanghai Mapada Instruments Co., Ltd, Китай). Содержание ионов Ni^{2+} было определено в соответствии с

ПНД Ф 14.1:2.46-96¹. Метод определения основывался на взаимодействии ионов Ni^{2+} с диметилглиоксимом в слабоаммиачной среде и присутствии сильного окислителя. Это приводило к окрашиванию раствора в красный цвет. Длина волны, при которой измерялась оптическая плотность раствора, составляла 445 нм. Содержание ионов Cd^{2+} устанавливалось в соответствии с ПНД Ф 14.1:2.45-96². В основу метода определения содержания ионов Cd^{2+} положен метод взаимодействия кадмия с дитизином. При этом образуется комплекс, экстрагируемый четыреххлористым углеродом. При этом раствор окрашивается в малиново-розовый цвет. Длина волны, при которой измерялась оптическая плотность раствора, составляла 515 нм.

Величина адсорбции Γ_i , мг/г, определялась по зависимости [4]:

$$\Gamma_i = \frac{(C_{0i} - C_{pi})V}{m}, \quad (1)$$

где C_{0i} – исходная концентрация ионов изучаемого металла в растворе, мг/дм³; C_{pi} – равновесная концентрация ионов изучаемого металла в растворе, мг/дм³; V – объем раствора, дм³; m – масса навески сорбента, г.

Определение статической обменной емкости COE (мг-экв/г) сорбционных материалов проводилось в соответствии с [4], поскольку $COE = \Gamma_\infty$, где Γ_∞ – предельная величина адсорбции.

Для определения коэффициента межфазного распределения K_d , дм³/г, ионов металла между бентонитом и водной фазой использовали формулу [4; 5]:

$$K_d = \frac{\Gamma_\infty}{C_p}, \quad (2)$$

где Γ_∞ – предельное значение величины адсорбции, мг/г.

Степень адсорбционного извлечения S , %, на изучаемом бентоните определялась по формуле [4; 5]

$$S = \frac{C_0 - C_p}{C_0} \cdot 100 \%. \quad (3)$$

Работа выполнена на базе Научно-образовательного центра «Промышленная экология» кафедры «Экология и техносферная безопасность» СГТУ имени Гагарина Ю.А. в рамках госбюджетной НИР и гранта Фонда Бортника,

¹ ПНД Ф 14.1:2.46-96 Методика измерения массовой концентрации никеля в природных и сточных водах фотометрическим методом с диметилглиоксимом. М.: Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, 2013. 10 с.

² ПНД Ф 14.1:2.45-96 Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов кадмия в природных и сточных водах фотометрическим методом с дитизином. М.: Минприроды РФ, 2004. 11 с.

а также в Испытательном аккредитованном лабораторном центре «ЭкоОС» СГТУ имени Гагарина Ю.А.

Результаты и обсуждение

Исследования адсорбционных характеристик проводились на адсорбенте, представляющем собой бентонит, модифицированный УНТ, прошедший обжиг при 550 °С и кислотно-солевою активацию. Результаты двух вариантов активации модифицированного бентонита анализировались в сравнении с результатами, полученными на адсорбенте, представляющем собой бентонит, модифицированный УНТ, прошедший обжиг при 550 °С, но без кислотно-солевой активации.

Для реализации исследований необходимо было построить изотермы адсорбции ионов Ni^{2+} и Cd^{2+} от их равновесной концентрации C_p в растворе.

Изотермы адсорбции ионов Ni^{2+} и Cd^{2+} от равновесных концентраций C_p для бентонита, модифицированного УНТ и обжигом при температуре 550 °С, показаны на рис. 1 и 2.

Статическая обменная емкость СОЕ (мг-экв/г) определялась по формуле (2). Коэффициент межфазного распределения K_d (дм³/г) ионов Ni^{2+} и Cd^{2+} между фазой сорбционного материала и водной фазой определялся по формуле (3). Степень адсорбционного извлечения S (%) ионов Ni^{2+} и Cd^{2+} исследуемым сорбционным материалом определялась по формуле (4). Таким образом, установленные характеристики эффективности адсорбции бентонита, модифицированного УНТ и обжигом при температуре 550 °С, а также активированные кислотой HCl и солью CaCl₂ по отношению к ионам Ni^{2+} и Cd^{2+} приведены в табл. 1.

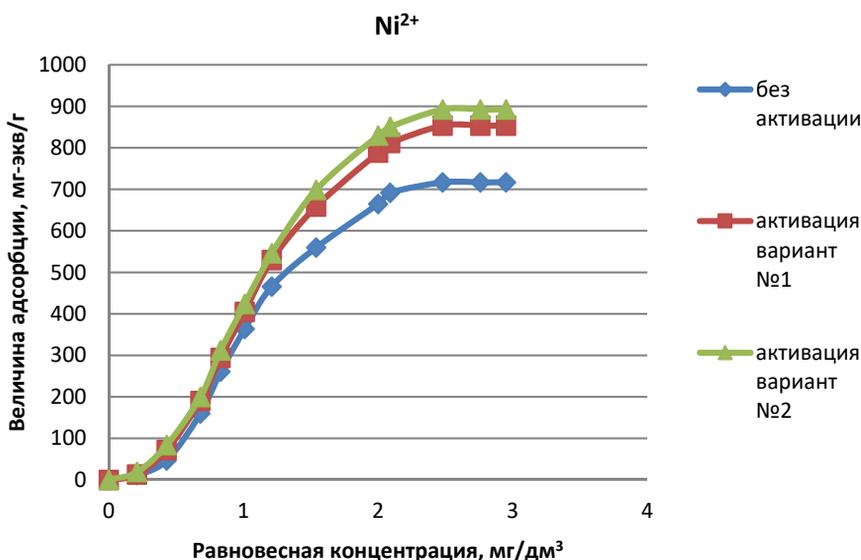


Рис. 1. Изотермы адсорбции ионов Ni^{2+} в зависимости от равновесных концентраций C_p на бентоните, модифицированном УНТ, обжигом при 550 °С, после кислотно-солевой активации в статических условиях

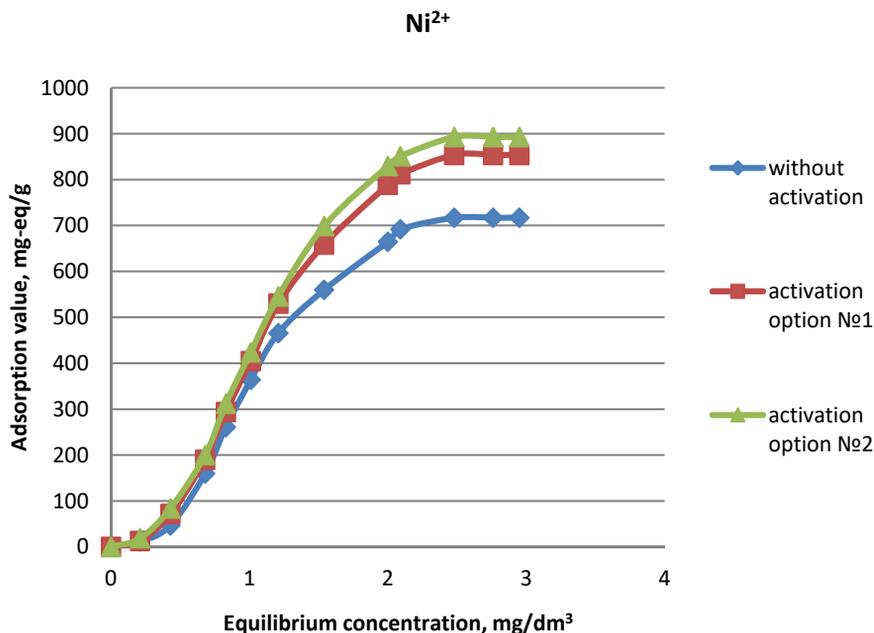


Figure 1. Adsorption isotherms of Ni²⁺ ions as a function of equilibrium concentrations of C_p on bentonite modified with carbon nanotubes fired at 550°C after activation with acid and salt under static conditions

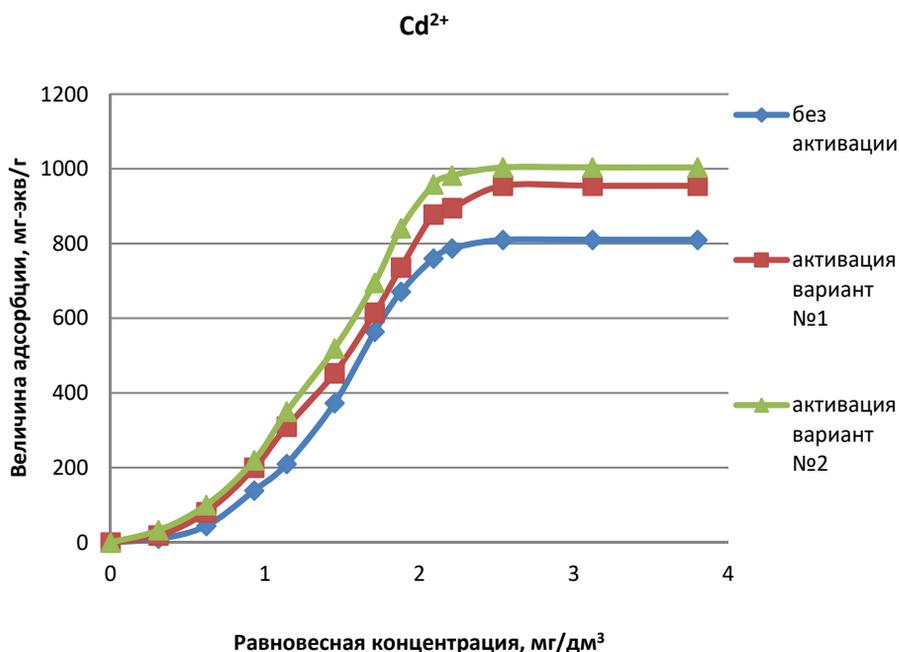


Рис. 2. Изотермы адсорбции ионов Cd²⁺ в зависимости от равновесных концентраций C_p на бентоните, модифицированном УНТ, обжигом при 550 °С, после кислотно-солевой активации в статических условиях

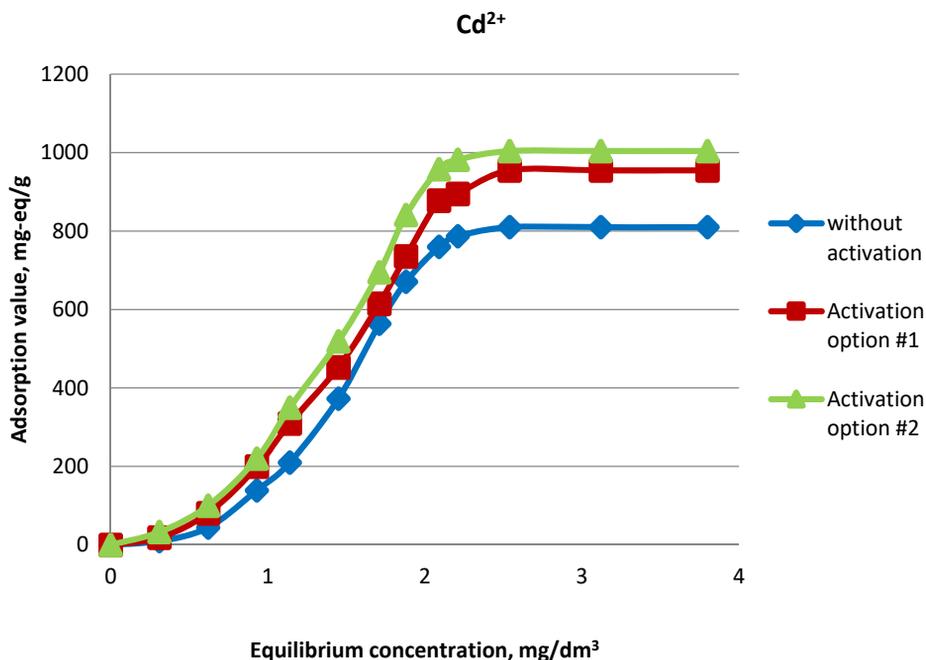


Figure 2. Adsorption isotherms of Cd^{2+} ions as a function of equilibrium concentrations of C_p on bentonite modified with carbon nanotubes fired at $550^{\circ}C$ after activation with acid and salt under static conditions

Результаты лабораторных исследований позволили рекомендовать бентонит, модифицированный УНТ, обожженный при $550^{\circ}C$ и подвергшийся кислотно-солевой активации в качестве сорбционного материала для очистки водных сред от ионов Ni^{2+} и Cd^{2+} .

Таблица 1. Параметры, характеризующие эффективность адсорбции ионов Ni^{2+} и Cd^{2+} на бентоните, модифицированном УНТ и обжигом при $550^{\circ}C$

Адсорбируемый ион	Наличие у адсорбента кислотной активации	COE , мг-экв/г	K_d , dm^3/g	S , %
Ni^{2+}	Адсорбент без активации	$717,00 \pm 1,37$	$243,05 \pm 0,65$	$83,9 \pm 2,53$
	Вариант активации №1	$854 \pm 1,14$	$289,49 \pm 0,75$	$95,8 \pm 2,66$
	Вариант активации №2	$893 \pm 2,33$	$302,71 \pm 1,44$	$97,1 \pm 2,46$
Cd^{2+}	Адсорбент без активации	$810,00 \pm 1,57$	$213,16 \pm 1,14$	$80,0 \pm 2,39$
	Вариант активации №1	$955 \pm 2,51$	$251,31 \pm 0,70$	$93,1 \pm 1,44$
	Вариант активации №2	$1004 \pm 3,53$	$264,21 \pm 1,19$	$95,3 \pm 2,63$

Table 1. Parameters characterizing the efficiency of adsorption of Ni^{2+} and Cd^{2+} ions by bentonite modified with carbon nanotubes and roasting at a temperature of $550^{\circ}C$

Adsorbed ion	The presence of acid activation in the adsorbent	SEC, mg-eq/g	K_d , dm^3/g	S , %
Ni^{2+}	Adsorbent without activation	717.00 ± 1.37	243.05 ± 0.65	83.9 ± 2.53
	Activation option # 1	854 ± 1.14	289.49 ± 0.75	95.8 ± 2.66
	Activation option # 2	893 ± 2.33	302.71 ± 1.44	97.1 ± 2.46
Cd^{2+}	Adsorbent without activation	810.00 ± 1.57	213.16 ± 1.14	80.0 ± 2.39
	Activation option # 1	955 ± 2.51	251.31 ± 0.70	93.1 ± 1.44
	Activation option # 2	1004 ± 3.53	264.21 ± 1.19	95.3 ± 2.63

Однако на средних и крупных производствах недостаточно реализации только адсорбционной очистки воды. Традиционно используются механический, физико-химический и другие методы очистки стоков [6]. Поэтому изученные сорбционные материалы предлагаются в качестве фильтрующей загрузки в адсорбционные фильтры, размещаемые в составе станции очистки воды. Предлагаемая схема станции очистки сточных вод, загрязненных тяжелыми металлами, приведена на рис. 3.

За основу разработанной технологической схемы станции очистки сточных вод нами принята схема очистных сооружений, разработанная и внедренная нашими партнерами – ООО НПП «ЛИССКОН» на предприятии ООО НПП «Инжент» (г. Саратов) для очистки стоков электрохимического и гальванического производства. Внедрение в производство технологической схемы очистки сточных вод с применением фильтрующих загрузок из предлагаемых сорбционных материалов позволит обеспечить высокую эффективность (95–98 %) очистки сточных вод гальванического и электрохимического производства практически от всех тяжелых металлов, включая ионы Ni^{2+} и Cd^{2+} .

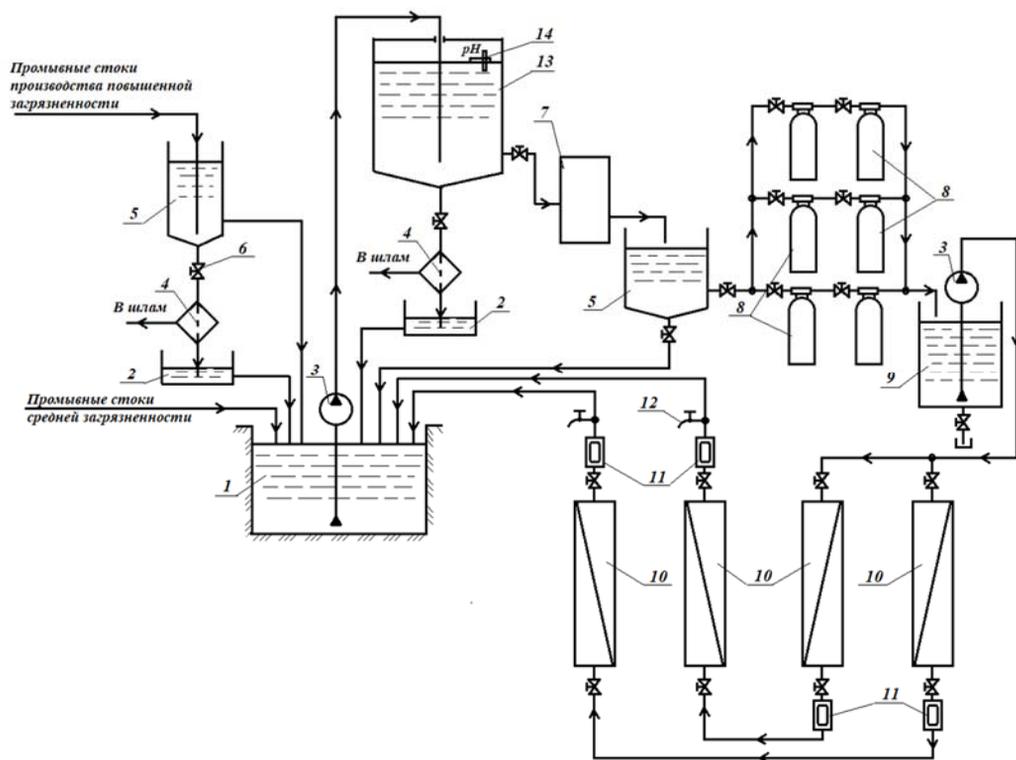


Рис. 3. Схема станции очистки сточных вод:

- 1 – Емкость накопительная; 2 – емкость шламовая; 3 – насос мембранный пневматический;
- 4 – фильтр мешочный; 5, 9 – емкость накопительная; 6 – кран шаровый; 7 – электрофлотатор;
- 8 – адсорбционный фильтр; 10 – модуль мембранный обратноосмотический;
- 11 – расходомерз-4001 in-line; 12 – вентиль отбора воды; 13 – реактор;
- 14 – датчик pH Etatron D.S. GLASS (стекло)

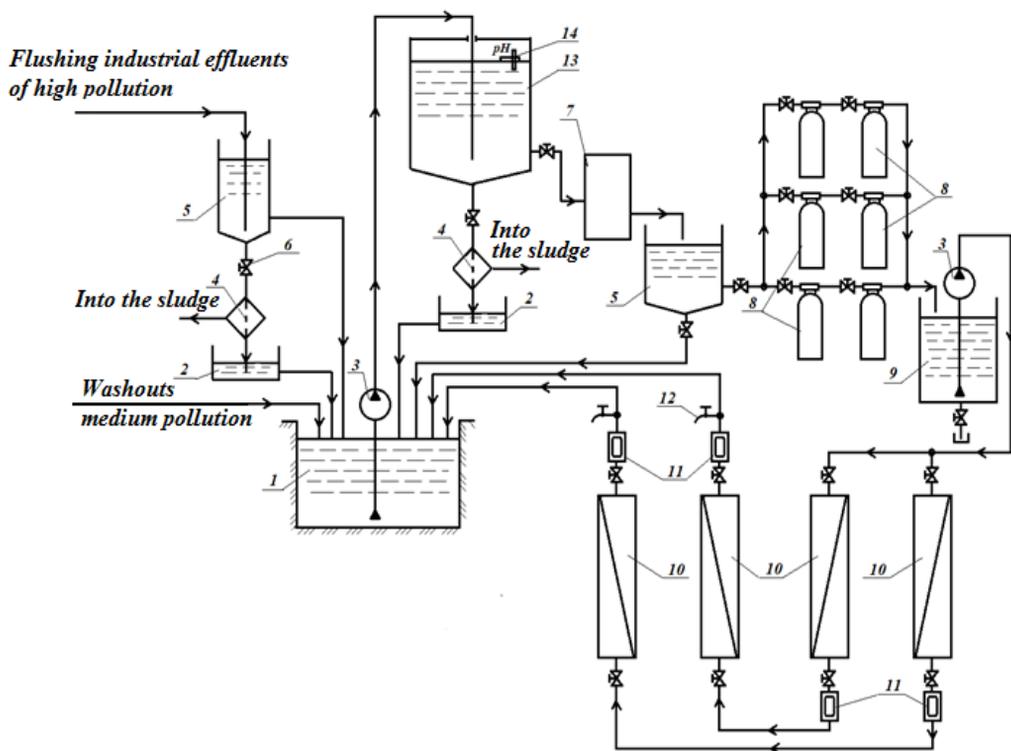


Figure 3. Scheme of a wastewater treatment plant:

- 1 – Storage tank; 2 – Slurry tank; 3 – Diaphragm pneumatic pump; 4 – Bag filter; 5, 9 – Storage tank; 6 – Ball valve; 7 – Electroflotation machine; 8 – Adsorption filter; 10 – Reverse osmosis membrane module; 11 – Flow meter z-4001 in-line; 12 – Water selection valve; 13 – Reactor; 14 – Etatron D.S pH sensor. GLASS (glass)

Заклучение

Проведенные исследования позволили прийти к следующим выводам.

1. Активация 9 % раствором хлористого водорода HCl и 30 % раствором хлористого кальция CaCl₂ бентонита, модифицированного УНТ и обожженного при 550 °С, способствует улучшению его адсорбционных свойств по отношению к ионам Ni²⁺ и Cd²⁺. Степень адсорбционного извлечения ионов Ni²⁺ после активации указанного адсорбента 9 % раствором HCl и 30 % раствором хлористого кальция CaCl₂ возрастает на 12–13%, а степень адсорбционного извлечения ионов Cd²⁺ после аналогичной активации увеличивается на 14–15%.

2. Активация 18 % раствором хлористого водорода HCl и 38 % раствором хлористого кальция CaCl₂ бентонита, модифицированного УНТ и обожженного при 550 °С, способствует еще большему улучшению его адсорбционных свойств по отношению к ионам Ni²⁺ и Cd²⁺. Степень адсорбционного извлечения ионов Ni²⁺ после активации указанного адсорбента 18 % раствором HCl и 38 % раствором хлористого кальция CaCl₂ возрастает на 13–14%, а

степень адсорбционного извлечения ионов Cd^{2+} после аналогичной активации увеличивается на 16–17 %.

3. Наибольший адсорбционный эффект по отношению к ионам указанных металлов проявил бентонит, модифицированный УНТ, обожженный при 550 °С и активированный 18 % раствором хлористого водорода HCl и 38 % раствором хлористого кальция CaCl_2 . Его параметры: по отношению к ионам Ni^{2+} : $\text{COE} = 893,0$ мг-экв/г, $\text{Kd} = 302,71$ $\text{дм}^3/\text{г}$, $\text{S} = 97,1\%$; к ионам Cd^{2+} : $\text{COE} = 1004$ мг-экв/г, $\text{Kd} = 264,21$ $\text{дм}^3/\text{г}$, $\text{S} = 95,3\%$.

4. Результаты проведенных лабораторных исследований позволяют рекомендовать бентонит, модифицированный УНТ, обожженный при 550 °С и подвергшийся кислотно-солевой активации в качестве сорбционного материала для очистки водных сред от ионов Ni^{2+} и Cd^{2+} .

5. Для реализации в производственных условиях предлагается технологическая схема станции водоочистки, в составе которой используются высокоэффективные адсорбционные фильтры с сорбционным материалом из бентонита, модифицированного УНТ, обожженного при температуре 550 °С и активированного 18 % раствором хлористого водорода HCl и 38 % раствором хлористого кальция CaCl_2 .

Список литературы

- [1] Пимнева Л.А. Селективное извлечение и концентрирование цинка и кадмия из сточных вод // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 10 (часть 1). С. 103–104.
- [2] Помазкина О.И., Филатова Е.Г., Пожидяев Ю.Н., Лебедева О.В. Адсорбция ионов никеля (II) алюмосиликатами, модифицированными поли-1-винилимидазолом и поли-4-винилпиридином // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2018. № 4. С. 393–397. <https://doi.org/10.7868/S0044185618040101>
- [3] Kosarev A.V., Atamanova O.V., Tikhomirova E.I., Istrashkina M.V. Kinetics of adsorption of 2-methylalinine by modified bentonite at sewage treatment // Water and Ecology. 2018. № 3. P. 24–31. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2018.20.3.24-31>
- [4] Зеленцов В.И., Дацко Т.Я. Применение адсорбционных моделей для описания равновесия в системе оксигидроксидалюминия-фтор // Электронная обработка материалов. 2012. № 48 (6). С. 65–73.
- [5] Физическая химия: в 2 кн. Кн. 1: Строение вещества. Термодинамика / К.С. Краснов, Н.К. Воробьев, И.Н. Годнев и др.; под ред. К.С. Краснова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1995. 512 с.
- [6] YaqubM., Lee W. Zero-liquid discharge (ZLD) technology for resource recovery from wastewater: A review. Science of The Total Environment. Vol. 681. 1 September 2019. P. 551–563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.062>

References

- [1] Pimneva LA. Selective extraction and concentration of zinc and cadmium from wastewater. *International Journal of Applied and Basic Research*. 2013;10(1):103–104. (In Russ.).

- [2] Pomazkina OI, Filatova EG, Pozhidayev YuN, Lebedeva OV. Adsorption of nickel (II) ions by aluminosilicates modified by poly-1-vinylimidazole and poly-4-vinylpyridine. *Surface physicochemistry and protection of materials*. 2018;(4):393–397. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0044185618040101>
- [3] Kosarev AV, Atamanova OV, Tikhomirova EI, Istrashkina MV. Kinetics of adsorption of 2-methylalinine by modified bentonite at sewage treatment. *Water and Ecology*. 2018(3):24–31. <https://doi.org/10.23968/2305–3488.2018.20.3.24–31>
- [4] Zelentsov VI, Datsko TYa. Application of adsorption models to describe the equilibrium in the oxyhydroxydaluminium-fluorine system. *Electronic material processing*. 2012;48(6):65–73. (In Russ.).
- [5] *Physical Chemistry. In two books. Book 1. The Structure of Matter. Thermodynamics: textbook for universities* M.: Vysshayashkola Publ.; 1995. (In Russ.).
- [6] Yaqub M, Lee W. Zero-liquid discharge (ZLD) technology for resource recovery from wastewater: A review. *Science of The Total Environment*. Vol. 681. 1 September 2019. p. 551–563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.062>

Сведения об авторах:

Глубокая Александра Сергеевна, аспирант кафедры «Экология и техносферная безопасность» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., Российская Федерация, 410054, Саратов, ул. Политехническая, д. 77. ORCID: 0000-0001-9646-179X, eLIBRARY SPIN-код: 1514-7670. E-mail: aleksagl20@gmail.com

Атаманова Ольга Викторовна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Экология и техносферная безопасность» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., Российская Федерация, 410054, Саратов, ул. Политехническая, д. 77. ORCID: 0000-0002-3220-031X, eLIBRARY SPIN-код: 5784-9118. E-mail: O_V_Atamanova@mail.ru

Тихомирова Едена Ивановна, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Экология и техносферная безопасность» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., Российская Федерация, 410054, Саратов, ул. Политехническая, д. 77. ORCID: 0000-0001-6030-7344, eLIBRARY SPIN-код: 7673-8480. E-mail: tichomirova_ei@mail.ru

Подоксенов Артем Андреевич, аспирант кафедры «Экология и техносферная безопасность» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., Российская Федерация, 410054, Саратов, ул. Политехническая, д. 77. ORCID: 0000-0002-2792-7936, eLIBRARY SPIN-код: 6143-2829. E-mail: hosting-speech@yandex.ru

Симонова Зоя Александровна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры «Экология и техносферная безопасность» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., Российская Федерация, 410054, Саратов, ул. Политехническая, д. 77. ORCID: 0000-0002-2353-1547, eLIBRARY SPIN-код: 9210-2864. E-mail: simonovaza@yandex.ru

Bio notes:

Aleksandra S. Glubokaya, post-graduate student of the Department “Ecology and technosphere safety”, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politekhnikheskaya St, Saratov, 410054, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9646-179X, eLIBRARY SPIN: 1514-7670. E-mail: aleksagl20@gmail.com

Olga V. Atamanova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department “Ecology and technosphere safety”, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politekhnikeskaya St, Saratov, 410054, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-3220-031X, eLIBRARY SPIN-код: 5784-9118. E-mail: O_V_Atamanova@mail.ru

Elena I. Tikhomirova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of Department “Ecology and technosphere safety”, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politekhnikeskaya St, Saratov, 410054, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6030-7344, eLIBRARY SPIN-код: 7673-8480. E-mail: tichomirova_ei@mail.ru

Artem A. Podoksenov, post-graduate student of the Department “Ecology and technosphere safety”, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politekhnikeskaya St, Saratov, 410054, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2792-7936, eLIBRARY SPIN-код: 6143-2829. E-mail: hosting-speech@yandex.ru

Zoya A. Simonova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Ecology and technosphere safety”, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politekhnikeskaya St, Saratov, 410054, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2353-1547, eLIBRARY SPIN-код: 9210-2864. E-mail: simonovaza@yandex.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-511-523

УДК 621.311:631.371

Научная статья / Research article

Отходы зерновых Краснодарского края как местный ресурс тепловой энергии

Т.И. Андреевко  , С.В. Киселева , Ю.Ю. Рафикова 

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

 tanyandr00@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты оценки энергopotенциала отходов зерновых в границах муниципальных образований Краснодарского края. Валовой и технический потенциал отходов зерновых (соломы), рассчитанные по авторским методам, соотнесены с потребностями населения исследуемого региона в тепловой энергии. Полученные результаты показывают значительную величину технического теплотенциала для многих муниципальных образований края. Пространственное распределение, полученное при помощи геоинформационных технологий, позволяет определить наиболее перспективные районы для использования отходов зерновых в целях производства тепловой энергии. Также проведена оценка перспектив замещения энергией из соломы таких видов традиционного топлива, как каменный уголь, дизельное топливо, природный газ и топливный мазут. Рассчитан возможный экологический эффект от замещения углеводородного топлива для муниципальных округов Краснодарского края.

Ключевые слова: биоэнергетика, ресурсы, энергетический потенциал, органические отходы, зерновые

Вклад авторов: *Т.И. Андреевко, С.В. Киселева* – концепция исследований, расчеты, анализ данных и их интерпретация; *Ю.Ю. Рафикова* – анализ данных, создание картографического и графического материала.

История статьи: поступила в редакцию 15.06.2022; доработана после рецензирования 26.08.2022; принята к публикации 12.09.2022.

© Андреевко Т.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю., 2022



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

Для цитирования: Андреевко Т.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю. Отходы зерновых Краснодарского края как местный ресурс тепловой энергии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 511–523. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-511-523>

Cereals waste in the Krasnodar region as a local heat energy resource

Tatyana I. Andreenko  , Sophia V. Kiseleva , Yulia Yu. Rafikova 

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

 tanyandr00@mail.ru

Abstract. Presents the results of the cereals waste energy potential assessment for the municipalities of the Krasnodar region. The gross and technical potential of cereals waste (straw), calculated according to the author's methodology and correlated with the needs in thermal energy for the population of the studied region. The obtained results show a significant amount of technical heat potential for many municipalities of the region. The spatial distribution obtained with the help of geoinformation technologies makes it possible to determine the most promising areas for the use of cereals waste for the thermal energy production. Also assessed the prospects for replacing traditional fuels such as coal, diesel fuel, natural gas and heating oil with straw energy. The possible environmental effect from the replacement of hydrocarbon fuel for the municipal districts of the Krasnodar region was calculated.

Keywords: bioenergy, resources, energy potential, organic waste, grain

Authors' contributions: *T.I. Andreenko, S.V. Kiseleva* – research concept, calculations, data analysis and interpretation; *Yu.Yu. Rafikova* – data analysis, creation of cartographic and graphic material.

Article history: received 15.06.2022; revised 26.08.2022; accepted 12.09.2022.

For citation: Andreenko TI, Kiseleva SV, Rafikova YuYu. Cereals waste in the Krasnodar region as a local heat energy resource. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):511–523. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-511-523>

Введение

В агропромышленном секторе Краснодарского края ведущей отраслью является растениеводство, огромные масштабы которого связаны с образованием значительного количества отходов. Утилизация послеуборочных остатков на полях представляет для сельхозпроизводителей давнюю проблему, требующую дополнительных материальных и трудовых затрат.

Согласно [1], сохраняется традиционное ежегодное сжигание стерни и пожнивных растительных остатков на полях, особенно в Центральном и Южном федеральных округах РФ, которые являются причиной порядка 30% лесных пожаров и источником выбросов черного углерода. Так же поступают во многих случаях с древесными отходами садов и виноградников, возникающими в результате необходимой технологической операции выращивания плодов и винограда – формирующих и санитарных обрезок деревьев и лозы.

Альтернативным способом утилизации растительных отходов является использование их в качестве топлива. Биоэнергетическая отрасль успешно развивается во многих странах мира, и в частности в Европейском Союзе. При этом для производства энергии масштабно используются отходы растениеводства, особенно соломы. Признанным лидером здесь является Дания. На ее территории функционируют более десяти тысяч фермерских котлов на соломе (мощностью 0,1–1,0 МВт) и 55 котельных в системе централизованного теплоснабжения (0,5–12 МВт). Кроме того, 8 теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) (2–28 МВт) и 4 электростанции в качестве топлива совместно с соломой используют древесную щепу, твердые коммунальные отходы (ТКО) или ископаемые топлива (уголь, природный газ) [2]. Среди этих объектов – крупнейшая и одна из самых эффективных ТЭЦ на биотопливе (щепы, пеллеты, солома) в мире – Avedøre – общей мощностью 801 МВт электроэнергии и 915 МВт тепла [3]. В Великобритании эксплуатируется более 80 электростанций на биомассе общей мощностью более 4000 МВт [4]. В стране успешно эксплуатируются самые большие в мире ТЭЦ на соломе: Sleaford Renewable Energy Plant мощностью 38 МВт (с 2014 г.), Brigg Renewable Energy Plant и Snetterton Renewable Energy Plant – мощностью 40 МВт (с 2016 г.) и 44 МВт (с 2017 г.) соответственно. Практически во всех странах Европы производится и используется твердое биотопливо из растительных остатков в виде гранул и брикетов: в фермерских котлах малой мощности (~100кВт), в средних котельных в системе централизованного теплоснабжения (0,5–7 МВт) и на крупных теплоэлектростанциях (ТЭС/ТЭЦ).

Во всем мире энергетическое использование отходов биомассы рассматривается как оптимальная альтернатива традиционным видам топлива. Это связано с тем, что растительные отходы (такие как древесные и солома) являются CO₂-нейтральными, имеют низкое содержание серы, относятся к возобновляемым источникам энергии. Высокая теплотворная способность соломы определяет возможность использования ее для получения тепловой энергии, необходимой предприятиям, в виде горячей воды и воздуха, а также высокотехнологичного пара для производства электроэнергии. Однако для реализации энергетического потенциала соломы необходимо применение специальных топочных устройств, конструкции и технологические регламенты которых способны преодолеть ряд недостатков соломы как топлива, обусловленных ее химическим составом (наличие в соломе высоких концентраций натрия, калия и хлора):

- 1) низкая температура плавления золы, вызывающая шлакование стенок топки и нарушение процессов горения в топке, неполное сгорание топлива, определяющее значительное содержание оксидов азота и соединений хлора в продуктах сгорания;

- 2) высокое содержание летучих веществ обуславливает необходимость специальных требований к распределению и смешиванию воздуха, поступающего в зону горения топки, многоступенчатой очистки выхлопов сажи;

3) коррозия стальных элементов установок.

Конструктивные и технологические решения современных котлов для сжигания соломы преодолевают все недостатки соломы как теплоносителя, но эти усовершенствования приводят к удорожанию теплогенерирующих устройств. Соломенные котлы пока стоят дороже традиционных жидкотопливных или газовых [5].

Краснодарский край, который характеризуется высоким уровнем агропромышленного производства, сопровождающегося образованием значительных объемов органических отходов, является одним из наиболее перспективных регионов для внедрения технологий биоэнергетики в России. Большая плотность населения и значительный рекреационный потенциал его территорий определяют актуальность задачи эффективной утилизации отходов для решения как экологических, так и энергетических проблем. Прежде всего для определения перспектив развития биоэнергетики необходима оценка ее сырьевой базы – объемов и энергосодержания агробиомассы, которой располагает регион для производства энергии и тепла. Помимо этого, важным и актуальным является соотношение размеров потенциала биоэнергетики с реальными региональными потребностями населения, а также расчет экологического эффекта от использования данного вида биотоплива вместо традиционных видов топлив.

Материалы и методы исследования

Использованные в данном исследовании подходы к проведению оценок были ранее изложены в [6] и развиты в работах авторов [7; 8]. Расчеты валового и технического энергетического потенциала биомассы проведены с детализацией отходов от выращивания отдельных видов сельскохозяйственных культур. Это связано с тем, что различные виды отходов отличаются нормами образования и удельным энергосодержанием.

Для определения энергии, заключенной в биомассе отходов, используются значения массы отходов и их удельного энергосодержания (низшей теплоты сгорания) в соответствии с видом биомассы. Масса ежегодно образующихся органических отходов растениеводства вида i (M_i) рассчитывалась с использованием статистических данных о годовом урожае N_i и коэффициентов соотношения отходов и полезной части растения L_i (для отходов зерновых этот коэффициент был принят равным 1):

$$M_i = N_i L_i . \quad (1)$$

На основе определенной таким образом массы отходов энергетический потенциал рассчитывался как произведение массы отходов каждого вида на их удельное энергосодержание (K_i) (для сухой соломы коэффициент составляет 3500):

$$Q_i^{\text{вал}} = M_i K_i . \quad (2)$$

Тогда суммарный валовой биоэнергетический потенциал рассматриваемой территории, учитывающий все виды органических отходов растениеводства (обозначены индексом i), определяется как

$$Q^{\text{вал}} = \sum_{i=1}^n M_i K_i . \quad (3)$$

В расчетах были использованы официальные данные Федеральной службы государственной статистики (Росстата), а именно ежегодные данные по валовому сбору урожая зерновых культур.

При расчете технического энергетического потенциала отходов, т.е. годового количества тепловой или электрической энергии, которая может быть получена с использованием современных доступных технологий, принимались следующие допущения: для получения тепловой энергии на биомассе отходов используется Мини-ТЭС с прямым сжиганием, для которой коэффициент преобразования энергии равен $KП_T = 0,80$, доля энергии на собственные нужды – $CH_T = 0,14$. При этом учитывались – помимо энергетических – другие направления использования отходов растениеводства, т.е. соломы: животноводство (подстилка для скота), запахивание в почву для повышения плодородия пашни и т.п. Предполагалось, что только 50% валового энергетического потенциала может быть преобразовано в технический тепловой потенциал. Тогда технический потенциал получения тепловой энергии из биомассы отходов зерновых выражается как

$$Q_{\text{зерновые}}^{\text{тех-тепло}} = Q_{\text{зерновые}}^{\text{вал}} KП_T (1 - CH_T) . \quad (4)$$

Для оценки потенциала замещения при использовании отходов сельского хозяйства в производстве тепловой энергии необходимы данные о потреблении тепловой энергии в регионе. Однако статистические данные на уровне субъектов и муниципалитетов по затратам тепловой энергии на теплообеспечение и горячее водоснабжение зачастую недоступны. В связи с этим в данной работе нами были проведены обобщенные оценки потребления тепловой энергии жилыми зданиями. При этом учитывались затраты тепла в помещениях на компенсацию трансмиссионных потерь, потерь на вентиляцию и горячее водоснабжение и принималось, что трансмиссионные потери составляют 35% от общих тепловых потерь.

Для оценки трансмиссионных потерь были использованы данные по удельным трансмиссионным потерям (УТП) для региона исследования (УТП для Краснодара составляют 165–190 кДж/м²·ГСОП) [9]. Для оценки градусо-суток за отопительный период (ГСОП) каждого региона были использованы данные ресурса РП5¹ и длительность отопительного периода по данным администраций или министерств энергетики регионов. Для оценки площади ограждающих поверхностей в жилищном фонде регионов были

¹ Расписание погоды РП5.ru. URL: <https://rp5.ru/> (дата обращения: 10.02.2022).

использованы данные о численности сельского и городского населения, нормах жилой площади в городе, на селе и доле жилой площади, обеспеченной отоплением и горячим водоснабжением².

При расчете энергии различных видов топлива, выраженной в тоннах условного топлива по угольному эквиваленту, использовались коэффициенты, представленные в работе [10].

Результаты и их обсуждение

Возрастающее потребление энергии в промышленности, отсутствие достаточных энергетических мощностей в сельском хозяйстве и потребность в экологически чистой энергии в рекреационной сфере обуславливают необходимость использования возобновляемых источников энергии в Краснодарском крае. По данным экспертов «РИА Рейтинг», Краснодарский край является одним из наиболее энергодефицитных регионов, Российской Федерации. В рейтинге субъектов РФ по уровню энергодостаточности в 2017 г. Краснодарский край совместно с Республикой Адыгея вошел в тройку самых энергодефицитных регионов страны.

Краснодарский край — крупнейший регион России по производству зерна. В 2021 г. сбор урожая зерновых в крае составил более 15,5 млн т (в 2020 году – 12,5 млн т). При этом урожай озимой пшеницы – основной культуры, выращиваемой на Кубани, оказался максимально высоким (10,6 млн т) за всю историю региона³.

Территориальное распределение энергопотенциала зерновых отходов в Краснодарском крае представлено на рис. 1. Видно, что в соответствии с агроклиматическими условиями и типом почв наибольшим энергетическим потенциалом соломы обладают районы, расположенные на севере и в центральной части края (рис. 1а).

Около половины районов Краснодарского края имеют урожаи зерновых более 4 млн центнеров в год, что соответствует энергосодержанию отходов (соломы) свыше 170 тыс. т у.т./год для каждого из этих районов (табл. 1). Из них 7 районов собирают более 5 млн центнеров в год и 2 района – более 6 млн, что обеспечивает валовой энергопотенциал отходов более 213 и 298 тыс. т у.т./год соответственно.

Результаты расчетов, представленные в табл. 1, показывают, что отношение технического энергетического потенциала соломы (по тепловой энергии), получаемой ежегодно в Краснодарском крае, с учетом расходования ее и на другие хозяйственные нужды, к теплу, потребляемому населением края,

² Жилищное хозяйство России 2019. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13234> (дата обращения: 13.02.2022).

³ ФГБУ «Центр агроаналитики». URL: <https://specagro.ru/news/202111/v-krasnodarskom-kraye-namolocheno-bolee-15-mln-t-zernovykh-kolosovykh-i-zernobobovykh> (дата обращения: 20.03.2022).

составляет в среднем около 57 %. В 21 муниципальном районе Краснодарского края это отношение больше 100 %, что обеспечивает возможность полного покрытия потребности в теплоснабжении и горячем водообеспечении населения этих районов.

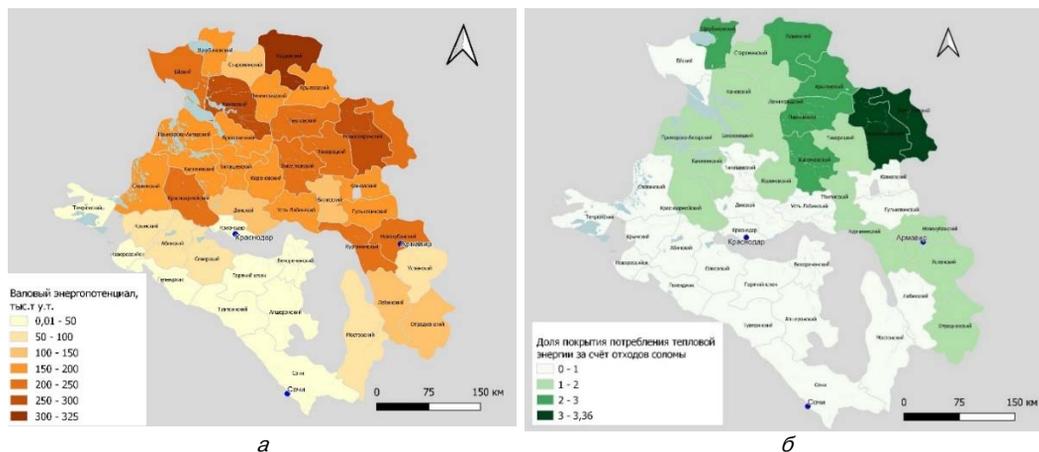


Рис. 1. Пространственное распределение энергопотенциала из отходов зерновых для Краснодарского края:
а – валовой энергопотенциал; *б* – отношение технического потенциала тепловой энергии из соломы к потреблению тепловой энергии населением

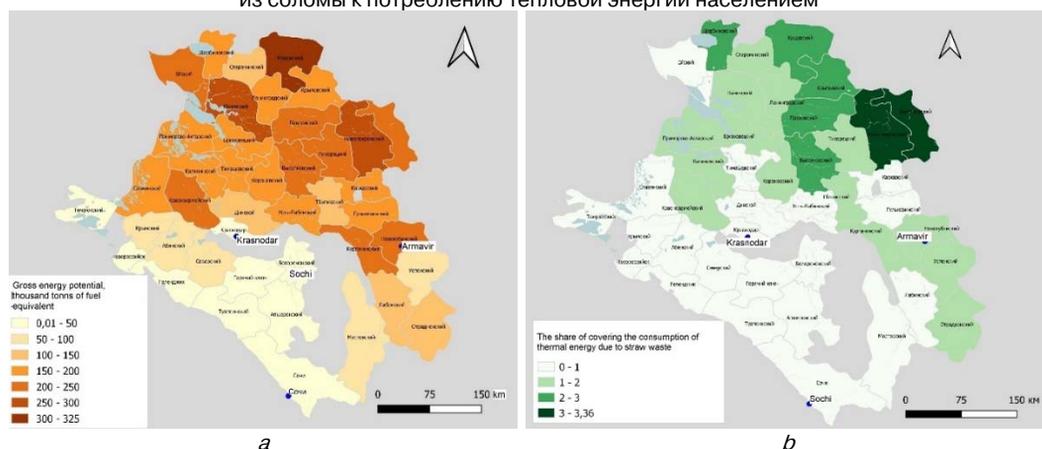


Figure 1. Spatial distribution of energy potential from cereals waste for the Krasnodar region:
a – gross energy potential; *b* – the ratio of the technical potential of thermal energy from straw to the consumption of thermal energy by the population.

Таблица 1. Теплоэнергопотенциал отходов соломы и его соотношение с потребностями тепла населения муниципальных образований Краснодарского края (по данным 2019 г.)

№	Муниципальные районы (рейтинг районов по величине потенциала производства тепла из соломы)	Сбор соломы, тыс. т/год	Валовой энергопотенциал соломы, тыс. т у.т./год	Технический потенциал тепловой энергии соломы, млн Гкал/год	Затраты тепла населением, млн Гкал/год	Доля тепла из соломы от затрат тепла в жилых помещениях
1	Каневской	689	293	0,70	0,42	1,67
2	Куцёвский	688	292	0,70	0,27	2,61
3	Новопокровский	573	243	0,59	0,17	3,36
4	Тихорецкий	571	243	0,58	0,52	1,13

Окончание табл. 1

№	Муниципальные районы (рейтинг районов по величине потенциала производства тепла из соломы)	Сбор соломы, тыс. т/год	Валовой энергопотенциал соломы, тыс. т у.т./год	Технический потенциал тепловой энергии соломы, млн Гкал/год	Затраты тепла населением, млн Гкал/год	Доля тепла из соломы от затрат тепла в жилых помещениях
5	Новокубанский	570	242	0,58	0,38	1,54
6	Ейский	551	234	0,56	0,61	0,93
7	Павловский	550	234	0,56	0,27	2,09
8	Красноармейский	542	230	0,55	0,43	1,29
9	Выселковский	527	224	0,54	0,24	2,25
10	Славянский	479	204	0,49	0,59	0,83
11	Курганинский	474	202	0,49	0,46	1,06
12	Тимашёвский	431	183	0,44	0,48	0,91
13	Кореновский	422	179	0,43	0,38	1,13
14	Крыловский	412	175	0,42	0,15	2,90
15	Ленинградский	408	173	0,42	0,26	1,61
16	Белоглинский	407	173	0,42	0,13	3,33
17	Гулькевичский	402	171	0,41	0,44	0,94
18	Отрадененский	400	170	0,41	0,26	1,56
19	Калининский	398	169	0,41	0,21	1,94
20	Усть-Лабинский	387	165	0,40	0,47	0,85
21	Кавказский	383	163	0,39	0,55	0,71
22	Брюховецкий	380	162	0,39	0,21	1,89
23	Приморско-Ахтарский	380	162	0,39	0,27	1,46
24	Щербиновский	366	156	0,37	0,15	2,58
25	Лабинский	336	143	0,34	0,44	0,79
26	Тбилисский	326	139	0,33	0,20	1,67
27	Староминский	297	126	0,30	0,17	1,82
28	Динской	287	122	0,29	0,17	0,49
29	Успенский	187	80	0,19	0,16	1,17
30	Мостовский	176	75	0,18	0,31	0,58
31	Северский	172	73	0,18	0,54	0,33
32	Абинский	156	66	0,16	0,44	0,36
33	Крымский	139	59	0,14	0,59	0,24
34	Белореченский	107	46	0,11	0,48	0,23
35	Темрюкский	93	40	0,10	0,55	0,17

Table 1. Heat and energy potential of straw waste and its correlation with the heat needs of the population of the Krasnodar region municipalities (according to 2019 data)

№	Municipal areas (ranking of districts by the largest potential for heat production from straw)	Amount of straw collection, thousand tons/year	Gross energy potential of straw, thousand tons of fuel equivalent/year	Thermal energy technical potential from straw, million Gcal/year	Heat consumption by the population, million Gcal/year	Share of heat from straw in heat consumption in residential houses
1	Kanevskaya	689	293	0.70	0.42	1.67
2	Kushchevsky	688	292	0.70	0.27	2.61
3	Novopokrovsky	573	243	0.59	0.17	3.36
4	Tikhoretsky	571	243	0.58	0.52	1.13
5	Novokubansky	570	242	0.58	0.38	1.54
6	Yeisk	551	234	0.56	0.61	0.93
7	Pavlovsky	550	234	0.56	0.27	2.09
8	Krasnoarmeisky	542	230	0.55	0.43	1.29
9	Vyselkovsky	527	224	0.54	0.24	2.25
10	Slavyanskiy	479	204	0.49	0.59	0.83
11	Kurganinsky	474	202	0.49	0.46	1.06
12	Timashevsky	431	183	0.44	0.48	0.91
13	Korenovsky	422	179	0.43	0.38	1.13
14	Krylovsky	412	175	0.42	0.15	2.90
15	Leningradsky	408	173	0.42	0.26	1.61
16	Belogliinsky	407	173	0.42	0.13	3.33

Table 1, ending

№	Municipal areas (ranking of districts by the largest potential for heat production from straw)	Amount of straw collection, thousand tons/year	Gross energy potential of straw, thousand tons of fuel equivalent/year	Thermal energy technical potential from straw, million Gcal/year	Heat consumption by the population, million Gcal/year	Share of heat from straw in heat consumption in residential houses
17	Gulkevichsky	402	171	0.41	0.44	0.94
18	Otradnensky	400	170	0.41	0.26	1.56
19	Kalininsky	398	169	0.41	0.21	1.94
20	Ust-Labinsky	387	165	0.40	0.47	0.85
21	Caucasian	383	163	0.39	0.55	0.71
22	Bryukhovetsky	380	162	0.39	0.21	1.89
23	Primorsko-Akhtarsky	380	162	0.39	0.27	1.46
24	Shcherbinovsky	366	156	0.37	0.15	2.58
25	Labinsky	336	143	0.34	0.44	0.79
26	Tbilisskiy	326	139	0.33	0.20	1.67
27	Starominskiy	297	126	0.30	0.17	1.82
28	Dinskoy	287	122	0.29	0.17	0.49
29	Uspensky	187	80	0.19	0.16	1.17
30	Mostovsky	176	75	0.18	0.31	0.58
31	Seversky	172	73	0.18	0.54	0.33
32	Abinskiy	156	66	0.16	0.44	0.36
33	Krymskiy	139	59	0.14	0.59	0.24
34	Belorechensky	107	46	0.11	0.48	0.23
35	Temryuksky	93	40	0.10	0.55	0.17

Сопоставление карт общего валового энергопотенциала соломы и доли покрытия потребностей в тепловой энергии за счет соломы (см. рис. 1) позволяет заключить, что в Краснодарском крае есть районы с высоким энергопотенциалом отходов зерновых культур, который тем не менее не покрывает потребности населения в тепле (Ейский, Славянский, Тимашевский, Кавказский, Гулькевичский). Это объясняется большой плотностью и численностью населения и, соответственно, высокими потребностями в энергии.

Расчеты потенциала замещения традиционных видов топлива топливом из соломы (рис. 2) показали, что теплоэнергетический потенциал соломы, ежегодно получаемой как побочный продукт производства зерна в Краснодарском крае, даже с учетом использования 50% ее на другие хозяйственные нужды, способен заменить порядка 7680 тыс. т каменного угля, 4070 тыс. т дизельного топлива, 4300 тыс. т топочного мазута, 5110 тыс. м³ природного газа в год. Необходимость замены возобновляемыми источниками энергии традиционного углеводородного топлива диктуется не только негативным воздействием продуктов его сгорания на окружающую среду, но и потребностью сохранения сырьевой базы для производства самых разнообразных видов продукции. Ресурсосбережение в энергетической отрасли позволяет обеспечить развитие секторов нефте- и газопереработки, нефтегазохимии и производства на этой основе широкого ассортимента химической продукции самого разного назначения [11].

При замене традиционного топлива соломой происходит предотвращение выделения углекислого газа в атмосферу, так как при сжигании растительной биомассы образуется такое же количество CO₂, какое было усвоено

в ходе ее роста – отходы растительного происхождения считаются нейтральными по отношению к балансу углекислого газа в атмосфере. По расчетам, проведенным согласно [12], в Краснодарском крае при замещении соломой дизельного топлива ежегодно может происходить предотвращение выделения более 12 700 тыс. т CO₂; при замене соломой каменного угля – 12 400 тыс. т CO₂, топочного мазута – 13 400 тыс. т CO₂ в год.

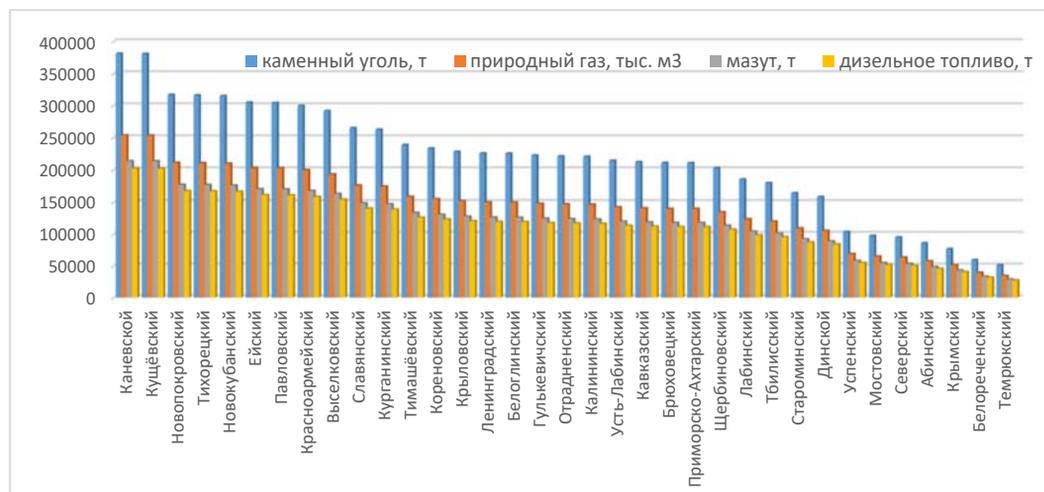


Рис. 2. Потенциал замещения традиционных видов топлива биотопливом из соломы для муниципальных образований Краснодарского края

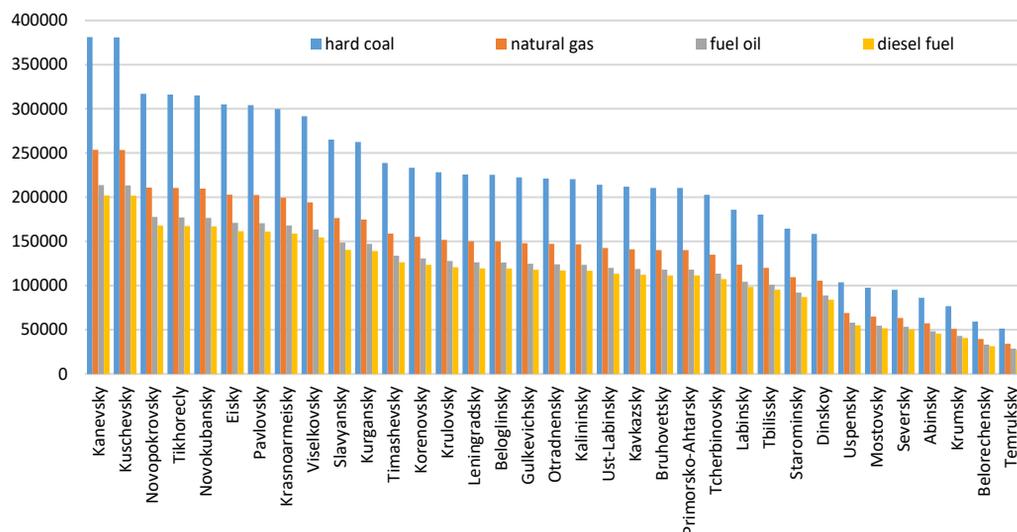


Figure 2. Potential for replacing traditional fuels with straw-based biofuels for the municipalities of the Krasnodar region

Выводы

1. Для регионов России со значительным развитием отрасли растениеводства актуальным является внедрение методов утилизации отходов с получением полезных продуктов, в том числе энергии.

2. За рубежом, особенно в Европейском Союзе, в первую очередь в связи с той же проблемой утилизации отходов, а также в связи с необходимостью расширения сырьевой базы энергетики, успешно и масштабно используются технологии конверсии отходов сельскохозяйственного производства в тепловую и электрическую энергию.

3. Краснодарский край является ведущим регионом России по сельскохозяйственному производству, в том числе по зерноводству, что обеспечивает ежегодное образование отходов (соломы), энергосодержание которых, по данным 2019 г., составило 5899 тыс т у.т.

4. Потенциальное производство тепловой энергии из отходов зерноводства может покрыть более половины (57 %) потребления тепловой энергии на горячее водоснабжение и отопление в жилом секторе Краснодарского края.

5. Использование отходов производства зерна в Краснодарском крае может привести к экономии значительного объема углеводородного топлива (7680 тыс. т каменного угля, 4070 – дизельного топлива, 4300 – топочного мазута, 5110 тыс. м³ природного газа в год) и предотвращению выбросов CO₂ (более 12 700 тыс. т CO₂ при замене соломой дизельного топлива, 12 400 – каменного угля; 13 400 – топочного мазута в год).

Список литературы

- [1] Сокращение сельскохозяйственных сжиганий в России через развитие альтернативных технологий управления растительными остатками в растениеводстве. СПб.: Bellona, 2017. URL: https://network.bellona.org/content/uploads/sites/4/2017/03/S_X_FIRE_SITE-fin.pdf (дата обращения: 07.03.2022).
- [2] *Гелетуха Г.Г., Железная Т.А.* Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине // Аналитическая записка Биоэнергетической ассоциации Украины. 2014. № 7. С. 21–27.
- [3] From coal to biomass – CHP retrofitting is possible and necessary. URL: <https://uabio.org/news/uabio-news/11168/> (дата обращения: 20.03.2022).
- [4] Биоэнергетика: опыт Соединенного Королевства, Биотопливная энергетика. Информационное агентство «ЭСКО», 2020. URL: <http://energy.esco.agency/rubriki-zhurnala/biotoplivnaja-jenergetika/7320/biojenergetika-opyt-soedinennogo-korolevstva> (дата обращения: 20.03.2022).
- [5] *Пузырев М.Е., Лихачева Г.Н., Жуков Е.Б.* Использование соломы в качестве топлива в промышленной теплоэнергетике // Знание. 2016. № 11–1(40). С. 83–87.
- [6] Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям) / под ред. П.П. Безруких. М.: ИАЦ Энергия, 2007. 272 с.
- [7] Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России: науч. издание. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. 160 с.
- [8] *Андреев Т.И., Киселёва С.В., Шакун В.П.* К оценке энергетического потенциала отходов растениеводства: зерновое хозяйство // Альтернативная энергетика и экология. 2014. № 12. С. 84–95.
- [9] *Гашио Е.Г.* Выявление и реализации резервов повышения эффективности систем теплоэнергоснабжения городов и регионов. URL: <https://mpei.ru/Structure/Universe/>

peep/structure/hamapai/enmie/Documents/konferense_2016/Gasho.pdf (дата обращения: 10.02.2022).

- [10] Тарасова Н.П., Ермоленко Б.В., Зайцев В.А., Макаров С.В. Оценка воздействия промышленных предприятий на окружающую среду. 2-е изд. М.: Лаборатория знаний (ранее «БИНОМ. Лаборатория знаний»), 2015. 233 с.
- [11] Егорова Д.А., Ермоленко Б.В. Возобновляемая энергетика как инструмент сбережения ценного химического сырья // Успехи в химии и химической технологии. 2016. Т. 30. № 9.
- [12] Методика расчета выбросов парниковых газов (CO₂-эквивалента). URL: <https://sro150.ru/index.php/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-panikovykh-gazov> (дата обращения: 20.03.2022).

References

- [1] *Reducing agricultural burning in Russia through the development of alternative crop residue management technologies in crop production*. St. Petersburg: Bellona; 2017. (In Russ.) Available from: https://network.bellona.org/content/uploads/sites/4/2017/03/S_X_FIRE_SITE-fin.pdf (accessed: 03.07.2022).
- [2] Geletukha GG, Zheleznyaya TA. Prospects for the use of agricultural waste for energy production in Ukraine. *Analytical note of Biofuel association of Ukraine*. 2014;(7). (In Russ.). p. 21–27.
- [3] From coal to biomass – CHP retrofitting is possible and necessary. Available from: <https://uabio.org/news/uabio-news/11168/> (accessed: 20.03.2022)
- [4] *Bioenergy: experience of the United Kingdom, Biofuel energy*. ESCO News Agency; 2020. (In Russ.) Available from: <http://energy.esco.agency/rubriki-zhurnala/biotoplivnaja-jenergetika/7320/biojenergetika-opyt-connected-korolevstva>. (accessed: 20.03.2022).
- [5] Puzyrev ME, Likhacheva GN, Zhukov EB. The use of straw as a fuel in industrial thermal power engineering. *Knowledge*. 2016;(11–1(40)):83–87. (In Russ.)
- [6] Bezrukikh PP, editor. *Handbook of Russia's Renewable energy Resources and Local Fuels (indicators by area)*. Moscow: IAC Energy Publ.; 2007 (In Russ.)
- [7] *Atlas of Renewable Energy Resources in Russia: scientific edition*. Moscow: Russian University of Chemical Technology named after D.I. Mendeleeva; 2015. (In Russ.)
- [8] Andreenko TI, Kiseleva SV, Shakun VP. On the assessment of the energy potential of crop waste: grain economy. *Alternative Energy and Ecology*. 2014;(12):84–95. (In Russ.)
- [9] Gasho EG. *Identification and implementation of reserves to improve the efficiency of heat and power supply systems of cities and regions*. (In Russ.) Available from: https://mpei.ru/Structure/Universe/peep/structure/hamapai/enmie/Documents/konferense_2016/Gasho.pdf (accessed: 10.02.2022).
- [10] Tarasova NP, Ermolenko BV, Zaitsev VA, Makarov SV. *Assessment of the impact of industrial enterprises on the environment*. 2nd ed. Publishing House “Knowledge Laboratory” (formerly “BINOM. Knowledge Laboratory”); 2015. (In Russ.)
- [11] Egorova DA, Ermolenko BV. Renewable energy as a tool for saving valuable chemical raw materials. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*. 2016;30(9) (In Russ.)
- [12] *Methodology for calculating greenhouse gas emissions (CO₂ equivalent)*. (In Russ.) Available from: <https://sro150.ru/index.php/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-panikovykh-gazov> (accessed: 20.03.2022).

Сведения об авторах:

Андреевко Татьяна Ивановна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник НИЛ возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119234, г. Москва, Ленинские Горы, д. 1. ORCID: 0000-0001-8678-3568, e-Library SPIN-код: 9851-2408. E-mail: tanyandr00@mail.ru

Киселева Софья Валентиновна – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая НИЛ возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119234, г. Москва, Ленинские Горы, д. 1. ORCID 0000-0001-5836-8615, e-Library SPIN-код: 9597-0055. E-mail: k_sophia_v@mail.ru

Рафикова Юлия Юрьевна – кандидат географических наук, старший научный сотру НИЛ возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119234, г. Москва, Ленинские Горы, д. 1. ORCID 0000-0003-3204-9135, e-Library SPIN-код: 6001-7680. E-mail: ju.rafikova@gmail.com

Bio notes:

Tatyana I. Andreenko, PhD in Biology, Senior Researcher, Scientific Laboratory of Renewable Energy Sources, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8678-3568, e-Library SPIN-код: 9851-2408. E-mail: tanyandr00@mail.ru

Sophia V. Kiseleva, PhD in Fysics, Leading Researcher, Scientific Laboratory of Renewable Energy Sources, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5836-8615, e-Library SPIN-код: 9597-0055. E-mail: k_sophia_v@mail.ru

Yulia Yu. Rafikova, PhD in Geography, Senior Researcher, Scientific Laboratory of Renewable Energy Sources, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-3204-9135, e-Library SPIN-код: 6001-7680. E-mail: ju.rafikova@gmail.com

ГЕОЭКОЛОГИЯ

GEOECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-524-536

УДК 631.42

Научная статья / Research article

Влияние природных факторов на первичное засоление краткочерных почв дельты реки Волги

М.В. Валов  , А.Н. Бармин , Д.Ю. Беляев ,
А.В. Синцов, Е.В. Липезина

*Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева,
Астрахань, Российская Федерация*
 m.v.valov@mail.ru

Аннотация. Деградация почв, одним из распространенных видов которой является почвенное засоление, представляет собой серьезный лимитирующий фактор продовольственной безопасности и устойчивого развития территорий. Особое внимание при этом необходимо обратить на первичное засоление почв аридных регионов, так как засушливый климат приводит к активному соленакоплению в верхних корнеобитаемых почвенных горизонтах и провоцирует вывод из сельскохозяйственного оборота значительных земельных площадей. Целью исследования является определение особенностей динамики водорастворимых солей в почвах урочищ верхнего уровня дельты реки Волги под влиянием природных факторов. В качестве объекта исследования выбран ботанический памятник природы «Свиной луг (Мешковский)», приуроченный к новокаспийской морской равнине в пределах распространения бэровских бугров ландшафта дельты р. Волги. Анализ ионов водной вытяжки и расчет токсичности почвенного раствора на участке проводились с 1979 по 2020 г. Выявлено, что направления динамики типов засоления определяются преобладанием на участке восходящих токов воды над нисходящими в условиях выпотного водного режима территории. Увеличение засоления в большей мере зависит от высоких объемов весенне-летних половодий и соответствующего подъема уровня грунтовых вод, рассоление участка в большей степени определяется количеством атмосферных осадков.

© Валов М.В., Бармин А.Н., Беляев Д.Ю., Синцов А.В., Липезина Е.В., 2022



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

Ключевые слова: дельта реки Волги, почвенное засоление, изменение климата, гидрологический режим

Вклад авторов: *М.В. Валов, А.Н. Бармин* – концептуализация исследований, сбор и аналитическая обработка данных, критический анализ текста; *Д.Ю. Беляев, А.В. Синцов* – сбор полевых материалов; *Е.В. Липезина* – критический анализ текста. Все авторы участвовали в подведении итогов и подготовке заключения.

История статьи: поступила в редакцию 15.05.2022; доработана после рецензирования 20.06.2022; принята к публикации 14.07.2022.

Для цитирования: *Валов М.В., Бармин А.Н., Беляев Д.Ю., Синцов А.В., Липезина Е.В.* Влияние природных факторов на первичное засоление краткочасовых почв дельты реки Волги // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 524–536. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-524-536>

Natural factors influence on first rarely flooded soil salination of the river Volga delta

Mikhail V. Valov  , **Alexandr N. Barmin** , **Daniil Yu. Belyaev** ,
Alexandr V. Sintsov, Ekaterina V. Lipezina

Astrakhan State University name of V.N. Tatishchev, Astrakhan, Russian Federation

 m.v.valov@mail.ru

Abstract. Soil degradation is one of the common types of which is soil salination, is a serious limited factor of food security and sustainable territory development. It is necessary to pay a special attention on the first soil salination of arid regions, as arid climate leads to the active salt accumulation in the upper rooting soil horizons and gives rise to withdrawal of large land areas from economic turnover. The purpose of the this work is defining of the watersoluble salts specific features in soils of the river Volga delta upper level natural boundaries under the influence of natural factors. Botanic natural sanctuary “Svinoroiny meadow (Meshkovsky)” was chosen as a research object, associated with the new Caspian coastal plain within distribution of the river Volga delta Baer knoll landscape. Water extract ions analysis and soil solution toxicity calculation on the area were carried out from 1979 till 2020. It was revealed that dynamics direction of salination types are defined by the ascent of water predominance on over descending on the area in the conditions of the territory exudative water regime. Salination increase to a great extent depends on the great volumes of spring-summer floods and appropriate ground water level rise, area desalination is defined by atmospheric precipitations quantity.

Keywords: the river Volga delta, soil salination, climate change, hydrological regime.

Authors’ contributions: *M.V. Valov, A.N. Barmin* – conceptualization of research, collection and analytical processing of data, critical analysis of the text; *D.Yu. Belyaev, A.V. Sintsov* – collection of field materials; *E.V. Lipezina* – Critical analysis of the text. All authors participated in the summing up and preparation of the conclusion.

Article history: received 15.05.2022; revised 20.06.2022; accepted 14.07.2022.

For citation: Valov MV, Barmin AN, Belyaev DYU, Sintsov AV, Lipezina EV. Natural factors influence on first rarely flooded soil salination of the river Volga delta. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):524–536. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-524-536>

Введение

Почвенное засоление, в особенности в аридных регионах, является важнейшим фактором, ограничивающим плодородие почв, ухудшающим рост и развитие растений, снижающим общее качество земель и приводящим к сокращению площадей почв, пригодных для ведения сельскохозяйственной деятельности. Деградация почв, помимо засоления и солонцеватости включающая процессы эрозии, дефляции и др., наносит серьезный удар по продовольственной безопасности территорий [1]. В почвенном покрове южных регионов России деграционные почвенные процессы, включая засоление и осолонцевание, охватывают от 20 до 66,9 % от общих земельных площадей регионов. На территории Астраханской области, в частности, засоленные и засоленно-солонцовые почвы (включая площади почвенных комплексов с засоленными почвами) составляют 44,2 %, или 21,66 тыс. км² от общей площади [2].

Засоление почвенного покрова дельты р. Волги в большинстве своем носит природный характер, что обусловлено формированием их на засоленных морских породах, близостью залегания грунтовых вод, аридным климатом с преобладанием испарения над количеством осадков, выпотным режимом и, соответственно, интенсивным подтягиванием легкорастворимых солей к поверхности [3].

В связи с ведением на территории дельтового ландшафта активной сельскохозяйственной деятельности получение своевременной и достоверной информации о процессах почвенной деградации является необходимым аспектом информационного обеспечения землепользователей и органов государственной власти для последующего принятия ими своевременных решений по рационализации использования земельных ресурсов.

Целью исследования является определение особенностей динамики водорастворимых солей в почвах урочищ верхнего уровня дельты реки Волги под влиянием природных факторов.

Материалы и методы

Аналитические исследования динамики ионов водорастворимых солей в почвенном покрове дельты реки Волги проводились на стационарных участках, которые были заложены под руководством В.Б. Голуба в восточной части дельты Волги, где антропогенные изменения гидрологического режима и растительного покрова выражены в меньшей степени, чем в ее западной части (рис. 1) [6].

Участки расположены в центральной части островов, каждый из них охватывает относительно однородную по флористическому составу площадь

не менее 300–400 м². В геоморфологическом отношении участки №№ 1, 2 и 3 расположены в пределах новокаспийской цокольной дельтовой равнины, №№ 5 и 6 – молодой поймы, №№ 7, 9, 10, 13 и 14 – новокаспийской морской равнины в пределах распространения бэровских бугров. С помощью GPS-навигатора были зафиксированы точные географические координаты стационарных участков мониторинговых наблюдений.

По решению Исполнительного комитета Астраханского областного Совета народных депутатов № 616 от 04.10.1985 г. стационарные участки наблюдений переведены в ранг памятников природы. Характер памятников – ботанический, значение – охрана генофонда, охрана ценофонда, научное (ботаническое, ландшафтоведческое), ресурсоохранное, эстетическое (живописный ландшафт).

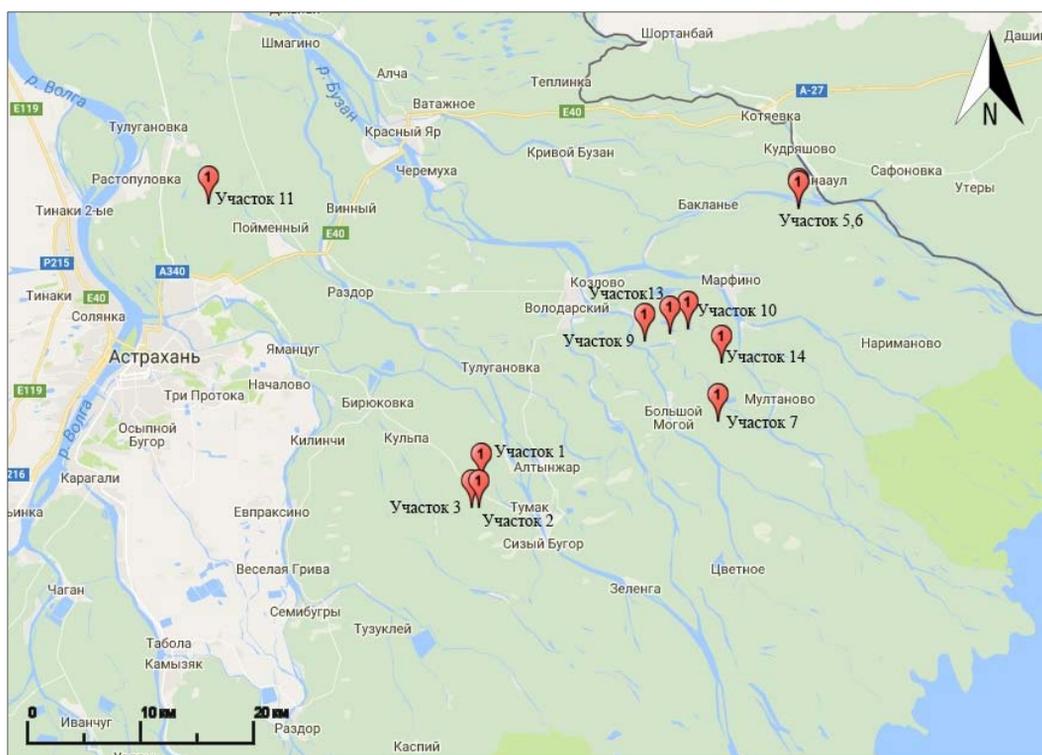


Рис. 1. Схематическое расположение стационарных участков в дельте р. Волги /
Figure 1. Schematic layout of the river Volga delta stationary areas

Высотные отметки участков были привязаны с помощью нивелира к рейкам ближайших водомерных постов, что позволило судить о режиме затопления каждого из них. За меженный уровень воды в водотоках был принят уровень в них при устойчивых расходах воды в створе Волжской ГЭС 4000 м³/с.

Для характеристики почв стационарных участков было проведено изучение почвенных разрезов с подробным их описанием и лабораторным

физико-химическим анализом почвенных образцов. В образцах определялись содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия, азота, ионов водорастворимых солей, механический состав. С 1980 г. проводился только ионный анализ водной вытяжки. Почвенные образцы отбирались в четырехкратной повторности по слоям 0–25 см, 25–50 см, 50–75 см, 75–100 см.

Определение ионного состава водной вытяжки осуществлялось испытательным центром Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный центр агрохимической службы “Астраханский”». Характеристика засоления почвы, кроме данных о составе водной вытяжки, в нашем случае дополняется расчетом «суммарного эффекта токсичных ионов» в эквивалентах хлора (T), вычисленного по алгоритму Н.И. Базилевич и Е.И. Панковой [7]. Использование этого показателя в определенной мере снимает артефакты, возникающие за счет растворения в лабораторных условиях гипса и гидрокарбоната кальция в почвенных образцах. Кроме того, этот показатель учитывает неодинаковую для растений токсичность разных ионов.

В первые годы наблюдений учеты на участках проводились несколько раз в течение вегетационного сезона. Затем, когда закономерности сезонной динамики содержания солей в почве были установлены, учеты стали проводиться однократно: в период, когда надземная масса травостоя была максимальна (август) [4]. Из-за финансовых и организационных трудностей в отдельные годы наблюдения на участках не велись.

Результаты и обсуждение

Объект настоящего исследования – стационарный участок № 10 – находится в 2 км северо-восточнее с. Мешково на южном склоне урочища бэровского бугра (ботанический памятник природы «Свиной луг (Мешковский)»), географические координаты участка 46°22'43.7" с.ш. и 48°40'13.5" в.д. Почва аллювиально-делювиальная дерново-опустынивающаяся легкосуглинистая (почвенный разрез представлен на рис. 2). Высота над меженью составляет 2,5 м, грунтовые воды залегают на глубине порядка 3 м. Растительный покров относится к *subass.* (*Lepidio-Cynodontetum juncetosum*, Golub et Mirkin, 1986) [6]. За период наблюдений указанный ботанический памятник природы затоплялся в период половодий три раза: в 1979, 1991 и 1995 гг. на 27, 31 и 2 дня соответственно.

Территория стационарного участка характеризуется малым антропогенным воздействием, выраженным преимущественно в выпасе скота.

Проведенный анализ метеорологических и гидрологических факторов указывает на существование в дельте р. Волги устойчивого тренда на увеличение среднегодовой температуры воздуха и суммы активных температур за вегетационный период, который усиливается в последние десятилетия. Количество атмосферных осадков отличается высокой многолетней и внутригодовой вариативностью, в связи с чем в паре «температура – осадки» именно количество осадков является ведущим фактором атмосферного увлажнения

ландшафта дельты. Наивысшая степень засушливости отмечается в летние месяцы, величина испаряемости при этом может до десяти раз превышать количество выпавших осадков. Некоторые метеорологические и гидрологические показатели в годы исследований представлены в табл. 1.

Крупные антропогенные преобразования речного стока на р. Волге выразились в изменении водного режима, процессов поемности и аллювиальности, а также качества водных ресурсов.



Рис. 2. Почвенный разрез участка (фото авторов, август 2020 г.) /
Figure 2. The area soil crossover (authors' photo, August 2020)

За рассматриваемый период почвенного мониторинга наблюдается тренд на снижение уровней попусков воды во втором квартале года при отсутствии направленных изменений среднегодового стока и максимальных уровней подъема воды в период половодья. В совокупности с перечисленными метеорологическими характеристиками данные процессы послужили пусковым механизмом изменения направлений динамики дельтового

ландшафта, что ярко отражается на увлажнении территории, уровне грунтовых вод, почвенном засолении, видовом составе растительного покрова и др. [3; 6; 8; 9].

Таблица 1. Метеорологические и гидрологические показатели в 1979–2020 гг. исследований

Год	Объём водного стока в створе Волжской ГЭС, км ³	Объём водного стока в створе Волжской ГЭС за второй квартал, км ³	Среднегодовая температура воздуха, °С	Средняя сумма температур за период с температурой > 10°C	Среднегодовая сумма осадков	Сумма осадков за период с температурой > 10°C
1979	320	146	10,8	3864	204	129
1980	247	83	9,5	3738	199	146
1982	225	78	9,4	3717	274	224
1983	237	90	11,2	3943	245	151
1984	226	71	9,9	3948	117	95
1985	290	117	9,3	3759	233	138
1987	277	108	8,5	3549	251	126
1991	307	159	10,5	3945	247	163
1992	251	118	9,6	3551	358	256
1996	177	62	9,9	4263	259	176
2013	271	125	11,7	4032	230	157
2016	265	127	11,3	4074	392	280
2020	242	160	12,2	4161	161	69

Table 1. Meteorological and hydrological indicators during the 1979–2020 years of research

Year	The volume of water flow in the alignment of the Volzhskaya hydroelectric power station, km ³	The volume of water flow in the alignment of the Volzhskaya hydroelectric power station for the second quarter, km ³	Average annual air temperature, °C	Active temperature amounts for the period with temperature higher 10°C	Average annual precipitation	The amount of precipitation for a period with temperature higher 10°C
1979	320	146	10.8	3864	204	129
1980	247	83	9.5	3738	199	146
1982	225	78	9.4	3717	274	224
1983	237	90	11.2	3943	245	151
1984	226	71	9.9	3948	117	95
1985	290	117	9.3	3759	233	138
1987	277	108	8.5	3549	251	126
1991	307	159	10.5	3945	247	163
1992	251	118	9.6	3551	358	256
1996	177	62	9.9	4263	259	176
2013	271	125	11.7	4032	230	157
2016	265	127	11.3	4074	392	280
2020	242	160	12.2	4161	161	69

За период почвенного мониторинга на участке можно выделить три периода направленных изменений содержания легкорастворимых солей (рис. 3).

С 1979 по 1985 г. отмечен период возрастания количества водорастворимых солей и токсичности почвенного раствора: суммарное содержание солей возросло в 2,5 раза, а токсичность увеличилась в 4,5 раза по сравнению с первоначальными значениями.

После 1985 г. и до начала 2000-х гг. происходило направленное снижение содержания легкорастворимых солей. От 1985 к 2004 г. общее

содержание солей снизилось в 4,5 раза. Увеличение засоленности в 1991 и 1992 гг. возможно связать с высокими объемами как среднегодового стока, так и весенне-летних половодий в 1990 и 1991 гг., что сказалось на подъеме уровня грунтовых вод.

Токсичность почвенного раствора изменялась несколько иначе. Снижение степени токсичности происходило от 1985 до 1996 г. (в 7,8 раза). В 1998 г. токсичность почвенного раствора резко возросла (по сравнению с минимальными значениями 1996 г. в 12,6 раза), после чего постепенно снижалась, вплоть до 2020 г.

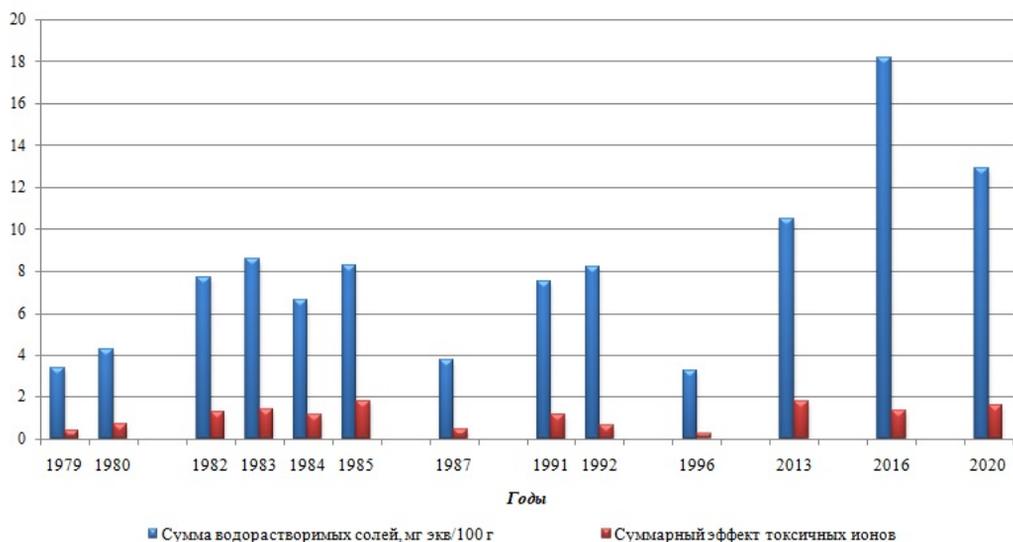


Рис. 3. Динамика суммы легкорастворимых солей и токсичности почвенного раствора на стационарном участке № 10 в 1979–2020 гг.

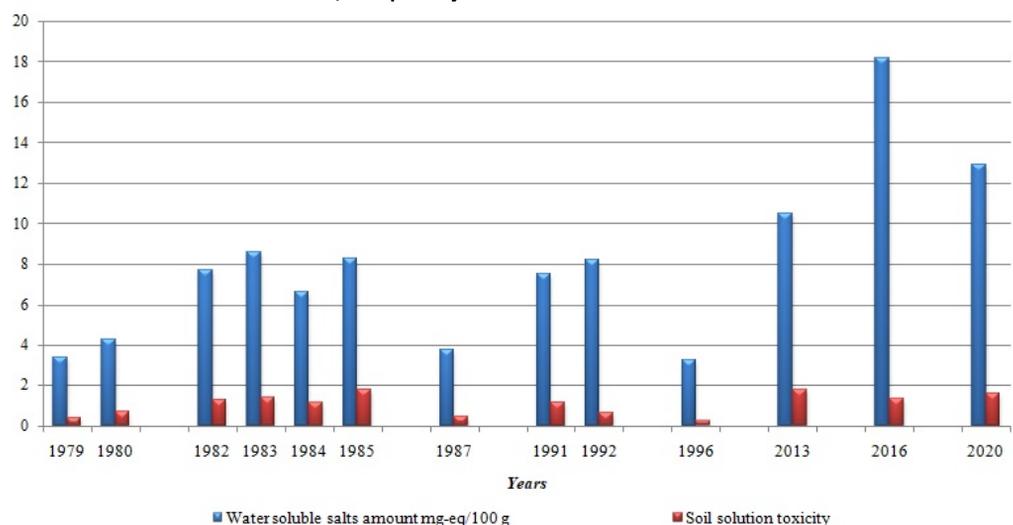


Figure 3. Highly soluble salts amount dynamics and soil solution toxicity on the stationary area №10, 1979–2020

С 2006 по 2020 г. отмечается резкое устойчивое возрастание содержания водорастворимых солей в почвенном покрове участка. В 2016 г. по сравнению со значениями 1979 г. (начало мониторинга) количество легкорастворимых солей увеличилось в 5,4 раза и было наибольшим за все годы наблюдений, что, помимо высокого объема половодья, связано с крайне малым количеством атмосферных осадков в предшествующем отбору почвенных проб месяце – августе (6 мм).

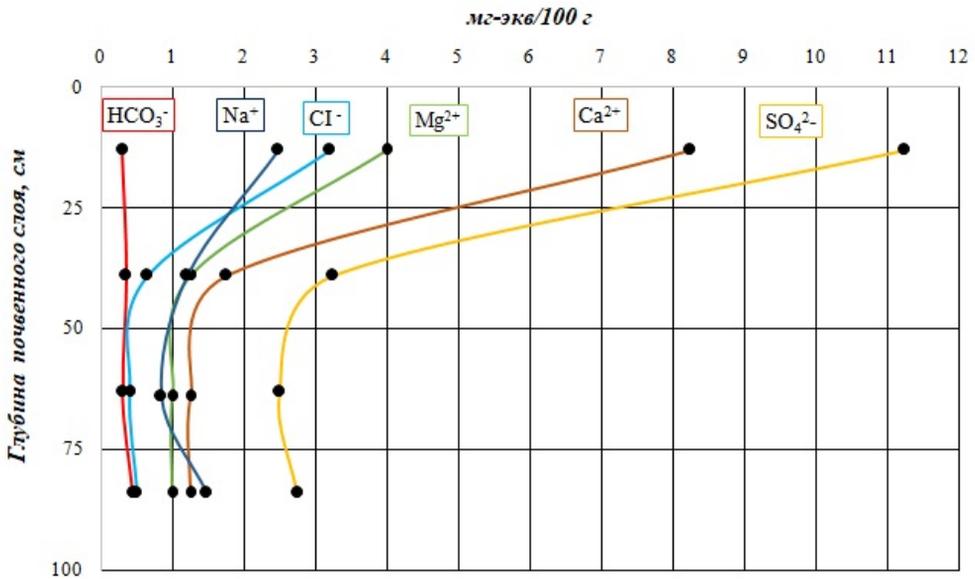


Рис. 4. Распределение ионов водорастворимых солей в почвенном слое стационарного участка № 10 в 2020 г.

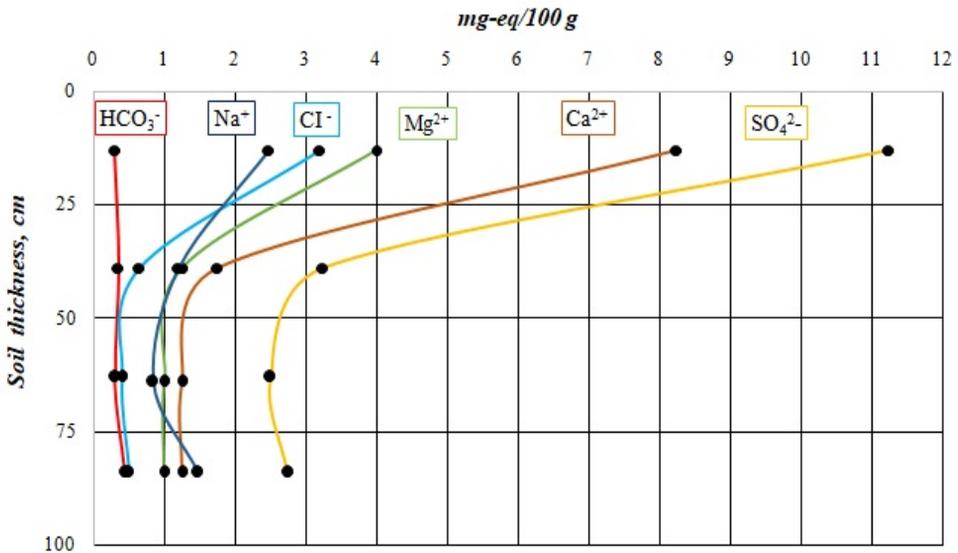


Figure 4. Distribution of ions of water-soluble salts in the soil layer of the stationary area № 10 in 2020

Помимо определения общего количества водорастворимых солей важно учитывать глубину и мощность солевых горизонтов, а также катионно-анионный состав солей и динамику отдельных ионов (рис. 4).

Однонаправленная динамика наблюдается у Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и аниона Cl^- . С 1987 по 2016 г. отмечены противофазы в динамике SO_4^{2-} и Cl^- : снижение хлоридов и рост сульфатов до 1996 г. и последующее снижение сульфатов и рост хлоридов в 2013 и 2016 гг. В 2020 г. содержание ионов SO_4^{2-} в четыре раза превысило содержание Cl^- .

Практически во все годы на участке преобладает хлоридно-сульфатный тип засоления, исключение отмечено в маловодном 1996 г. (смена на менее токсичный сульфатный тип) и многоводном 2016 г. (смена на наиболее токсичный хлоридный тип засоления). Данные направления динамики токсичности типов засоления объясняются преобладанием на участке восходящих токов воды над нисходящими в условиях выпотного водного режима территории [3; 8; 9]. Тип засоления грунтовых вод на участке – сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный [6].

При рассмотрении характера распределения катионов и анионов водорастворимых солей в метровом почвенном слое наиболее высокое их содержание отмечено в верхнем горизонте 0–25 см (за исключением гидрокарбонат-иона), при заглублении ниже данного горизонта концентрация резко снижается и изменяется незначительно. Абсолютно преобладающими являются ионы SO_4^{2-} и Ca^{2+} .

Заключение

Как показывают многолетние исследования, при очевидной связи высоты территорий дельты р. Волги над меженью и длительности их затопления в период половодья, зачастую краткопоемные участки имеют меньшую степень засоления и токсичности почвенного раствора, чем долгопоемные; также нет выраженной связи между высотным положением участков и минерализацией грунтовых вод [3; 6].

Ведущими природными факторами, как прямо, так и опосредованно определяющими динамику почвенного засоления краткопоемных территорий дельты р. Волги и особенности миграции водорастворимых солей, являются объемы и длительность весенне-летних половодий, максимальные уровни подъема воды и количество атмосферных осадков. На редко затапливаемых и незатапливаемых участках (с высотой над меженью от 2,4 м и более), при стабильно высокой степени испаряемости, рост засоления верхнего почвенного слоя в большей степени зависит от высоких объемов весенне-летних половодий и соответствующего подъема уровня грунтовых вод; рассоление участка в большей степени определяется высоким количеством атмосферных осадков, что способствует вымыванию легкорастворимых солей в глубь почвенного профиля.

Одной из отличительных особенностей незатапливаемых и редко затапливаемых в период половодья территорий дельты р. Волги является их интенсивное использование в качестве пастбищ в весенне-летний период, когда более низкие участки находятся под водой, что зачастую приводит к уплотнению верхнего почвенного слоя и деградации растительного покрова. При отсутствии растительности наблюдается увеличение температуры поверхности почвенного покрова и усиление капиллярного подтягивания грунтовых вод к поверхности, что усиливает мобилизацию и аккумуляцию водорастворимых солей в корнеобитаемом слое почв.

Список литературы

- [1] Панкова Е.И., Горохова И.Н. Анализ сведений о площади засоленных почв России на конец XX и начало XXI веков // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 103. С. 5–33. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-103-5-33>
- [2] Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2014. 768 с.
- [3] Валов М.В., Бармин А.Н., Иолин М.М. Дельта реки Волги: влияние ведущих факторов ландшафтной трансформации на почвенно-растительный покров. Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2018. 140 с.
- [4] Засоленные почвы России. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 854 с.
- [5] Руководство по управлению засоленными почвами. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. Рим, 2017. 153 с.
- [6] Голуб В.Б., Пилипенко В.Н., Лосев Г.А., Бармин А.Н. Характеристика абиотических факторов на территории ботанических памятников природы в низовьях Волги // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. Серия «Экология». 2011. Вып. 11. С. 19–43.
- [7] Базилевич Н.И., Панкова Е.И. Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. 1968. № 11. С. 3–15.
- [8] Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления. М.: ГЕОС, 2013. 703 с.
- [9] Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Шинкаренко С.С. Влияние зарегулирования речного стока и изменений климата на динамику наземных экосистем Нижней Волги // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. № 4. С. 3–18.

References

- [1] Pankova YeI, Gorokhova IN. Analysis of data on the area of saline soils in Russia at the end of the 20th and beginning of the 21st centuries. *Bulletin of the VV. Dokuchaev Soil Institute*. 2020;103:5–33. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-103-5-33> (In Russ.)
- [2] *Unified State Register of Soil Resources of Russia*. Moscow: Soil Institute. V.V. Dokuchaev Publ.; 2014. (In Russ.)
- [3] Valov MV, Barmin AN, Iolin MM. *Delta of the Volga River: the influence of the leading factors of landscape transformation on the soil and vegetation cover*. Astrakhan' Publisher: Sorokin Roman Vasilievich; 2018. (In Russ.)

- [4] *Saline soils of Russia*. Moscow: «Akademkniga» Publ.; 2006. (In Russ.)
- [5] *Guidelines for the management of saline soils. Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Rim Publ.; 2017. (In Russ.)
- [6] Golub VB, Pilipenko VN, Losev GA, Barmin AN. Characteristics of abiotic factors on the territory of botanical natural monuments in the lower reaches of the Volga. *Bulletin of Volga Region University named after V.N. Tatishchev. Ecology Series*. 2011;(11):19–43. (In Russ.)
- [7] Bazilevich NI, Pankova YeI. Experience in classifying soils by salinity. *Soil Science*. 1968;(11):3–15. (In Russ.)
- [8] *Mouths of the rivers of the Caspian region: the history of formation, modern hydrological and morphological processes and dangerous hydrological phenomena*. Moskva: GEOS Publ.; 2013. (In Russ.)
- [9] Kuz'mina ZhV, Treshkin SYe, Shinkarenko SS. Influence of river flow regulation and climate change on the dynamics of terrestrial ecosystems in the Lower Volga. *Arid ecosystems*. 2018;24(4):3–18. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Валов Михаил Викторович, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой экологии, природопользования, землеустройства и безопасности жизнедеятельности, Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева, Российская Федерация, 414000, Астрахань, пл. Шаумяна, д. 1, ауд. 203. ORCID: 0000-0002-1126-6467, eLIBRARY SPIN-код: 1040-4205. E-mail: m.v.valov@mail.ru

Бармин Александр Николаевич, доктор географических наук, профессор, декан геолого-географического факультета, Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева, Российская Федерация, 414000, Астрахань, пл. Шаумяна, д. 1, ауд. 203, ORCID: 0000-0002-6705-1553, eLIBRARY SPIN-код: 4110-3342. E-mail: abarmin60@mail.ru,

Беляев Даниил Юрьевич, студент третьего курса по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование» кафедры экологии, природопользования, землеустройства и безопасности жизнедеятельности, Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева, Российская Федерация, 414000, Астрахань, пл. Шаумяна, д. 1, ауд. 203. ORCID: 0000-0001-8281-0450, eLIBRARY SPIN-код: 8473-7332. E-mail: belaevdaniil2013@mail.ru

Синцов Александр Владимирович, кандидат географических наук, доцент кафедры экологии, природопользования, землеустройства и безопасности жизнедеятельности, Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева, Российская Федерация, 414000, Астрахань, пл. Шаумяна, д. 1, ауд. 203. eLIBRARY SPIN-код: 9322-8817. e-mail: m.v.valov@mail.ru

Лупезина Екатерина Васильевна, магистрант первого года обучения по направлению 05.04.06 «Экология и природопользование» кафедры экологии, природопользования, землеустройства и безопасности жизнедеятельности, Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева, Российская Федерация, 414000, Астрахань, пл. Шаумяна, д. 1, ауд. 203. E-mail: m.v.valov@mail.ru

Bio notes:

Mikhail V. Valov, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Ecology, Nature Management, Land Management and Life Safety, V.N. Tatishchev Astrakhan State University, aud. 203, 1 Shahumyan Sq., Astrakhan, 414000,

Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1126-6467, eLIBRARY SPIN: 1040-4205. E-mail: m.v.valov@mail.ru

Alexandr N. Barmin, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Dean of Geology and Geography Faculty, V.N. Tatishchev Astrakhan State University, aud. 203, 1 Shahumyan Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6705-1553, eLIBRARY SPIN-код: 4110-3342. E-mail: abarmin60@mail.ru

Daniil Yu. Belyaev, third-year student of the direction of training 05.03.06 “Ecology and nature management” of the Department of Ecology, Nature Management, Land Management and Life Safety, V.N. Tatishchev Astrakhan State University, aud. 203, 1 Shahumyan Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8281-0450, eLIBRARY SPIN-код: 8473-7332. E-mail: belaevdaniil2013@mail.ru

Alexandr V. Sintsov, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology, Nature Management, Land Management and Life Safety, V.N. Tatishchev Astrakhan State University, aud. 203, 1 Shahumyan Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation. eLIBRARY SPIN code: 9322-8817. E-mail: m.v.valov@mail.ru

Ekaterina V. Lipezina, master’s student of the first year of study in the field of 05.04.06 “Ecology and nature management” of the Department of Ecology, Nature Management, Land Management and Life Safety, V.N. Tatishchev Astrakhan State University, aud. 203, 1 Shahumyan Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation. E-mail: m.v.valov@mail.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-537-543
УДК 574

Сообщение / Message

Деятельность студенческого объединения как вклад в развитие профессиональных навыков у студентов и начало научных исследований

А.М. Алейникова✉

Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация
✉aleynikova-am@rudn.ru

Аннотация. В 2022 году Профессиональному студенческому обществу института экологии РУДН исполнилось 10 лет. Общество внесло весомый вклад в экологическое образование многих поколений студентов-экологов. Было организовано множество интересных экспедиций, волонтерских работ, квестов, круглых столов, докладов. По результатам полевых работ написаны научные статьи, выпускные работы, подписаны соглашения с национальными парками.

Ключевые слова: студенческое объединение, экспедиции, волонтерство, полевые исследования

История статьи: поступила в редакцию 15.12.2021; доработана после рецензирования 26.02.2022; принята к публикации 12.10.2022.

Для цитирования: Алейникова А.М. Деятельность студенческого объединения как вклад в развитие профессиональных навыков у студентов и начало научных исследований // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 537–543. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-537-543>

Activities of the student association as a contribution to the development of professional skills of students and the beginning of scientific research

Anna M. Aleinikova✉

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation
✉aleynikova-am@rudn.ru

Abstract. In 2022, the Professional Student Society of the RUDN University Ecology Institute turned 10 years old. The Society has made a significant contribution to the

© Алейникова А.М., 2022



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

environmental education of many generations of environmental students. Many interesting expeditions, volunteer work, quests, round tables, reports were organized. Based on the results of field work, scientific articles and graduation papers were written, agreements were signed with national parks.

Keywords: student society, expeditions, volunteering, field research

Article history: received 15.12.2021; revised 26.02.2022; accepted 12.10.2022

For citation: Aleinikova AM. Activities of the student association as a contribution to the development of professional skills of students and the beginning of scientific research. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):537–543. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-537-543>

Профессиональное студенческое объединения (ПСО) «Клуб экологического познания» было создано в 2012 г. на базе кафедры геоэкологии экологического факультета. Клуб способствует формированию профессиональных навыков полевых экологов, пропаганде экологического воспитания, защите природы. В основу этого студенческого объединения легли экспедиции в уникальные природные комплексы России.

Целью экспедиций было изучение физико-географических особенностей, развития экологического туризма этих комплексов, анализ экологических проблем, участие в волонтерских работах ООПТ. В **задачи** зимних экспедиций также входило изучение строения и мощности снежного покрова, климата данной территории, животного мира исследуемого района.

Основными **методами** полевого исследования явились:

- комплексное физико-географическое описание и ландшафтное профилирование;
- GPS и фотосъемка, дешифрирование космических снимков;
- метеонаблюдения;
- зимний учет животного населения;
- снегомерная съемка в различных ПТК, профилирование структуры снежного покрова, измерение плотности снега.

В течение работы кружка состоялись экспедиции в Хибин, на Урал, на Байкал, в Карелию, в Приэльбрусье, на Алтай, Камчатку, в Белогорье, Крым, Самарскую Луку, Армению, Кипр, Сочи и Абхазию, Теберду.

В течение учебного года в клубе проходят методические семинары, встречи с научными специалистами, экологические экскурсии по паркам Москвы, круглые столы на научных фестивалях.

История ПСО началась в 2012 г., когда состоялась первая экспедиция в Хибин (рис. 1). Пройденный пеший маршрут составил около 100 км с подъемом на три перевала и вершину Ферсмана. Во время маршрутов участники экспедиции познакомились с физико-географическими и экологическими особенностями природы Хибин. Отобраны интересные геологические образцы. По результатам экспедиции написана статья [3] и защищена выпускная работа.

С 2012 г. начинаются ежегодные экспедиции общества на стационарную гляциологическую станцию МГУ в Приэльбрусье, где с 1960-х гг. ведется непрерывный научный мониторинг ледника Джанкуат (ученые не только России, но и других стран). Наши студенты активно участвуют в гляциологических, гидрологических, метеорологических, экологических наблюдениях. По их результатам написано 5 выпускных работ, научные статьи [8], сделаны доклады на конференциях.



Рис. 1. Экспедиция в Хибины / Figure 1. Expedition to Khibiny

В 2013 г. состоялась экспедиция на Байкал. В ее задачи входило посещение экологических маршрутов национальных парков Прибайкальский и Тункинский, изучение их современного состояния и анализ экологических проблем, волонтерская помощь паркам. По результатам написана статья «Географические особенности и экологические проблемы юго-западной части Байкала» [7].

В Башкирский заповедник на Урале зимние экспедиции ПСО устраивались 3 раза. Это были лыжные и конные маршруты, проходимые с поддержкой сотрудников турфирмы «Тенгри». Научные работы касались изучения снежной толщи, метеопараметров, зимнего учёта животного населения заповедника. По результатам написаны научные статьи [1; 2; 4; 5].

В Катунском заповеднике на Алтае летом 2015 г. были проведены научные волонтерские работы: анкетирование местного населения, учет различных видов млекопитающих, анализ экологического загрязнения воздуха, проектирование экологической тропы (рис. 2). Результатом явилась выпускная студенческая работа по заказу заповедника и научные статьи [6].

Также масштабные волонтерские работы, но другого характера были проведены в ООПТ Вулканы Камчатки в 2017 году: строительные работы по

обустройству туристической базы, уборка мусора, обустройство и чистка экологических троп. Заповедник выдал каждому студенту грамоту о волонтерстве.

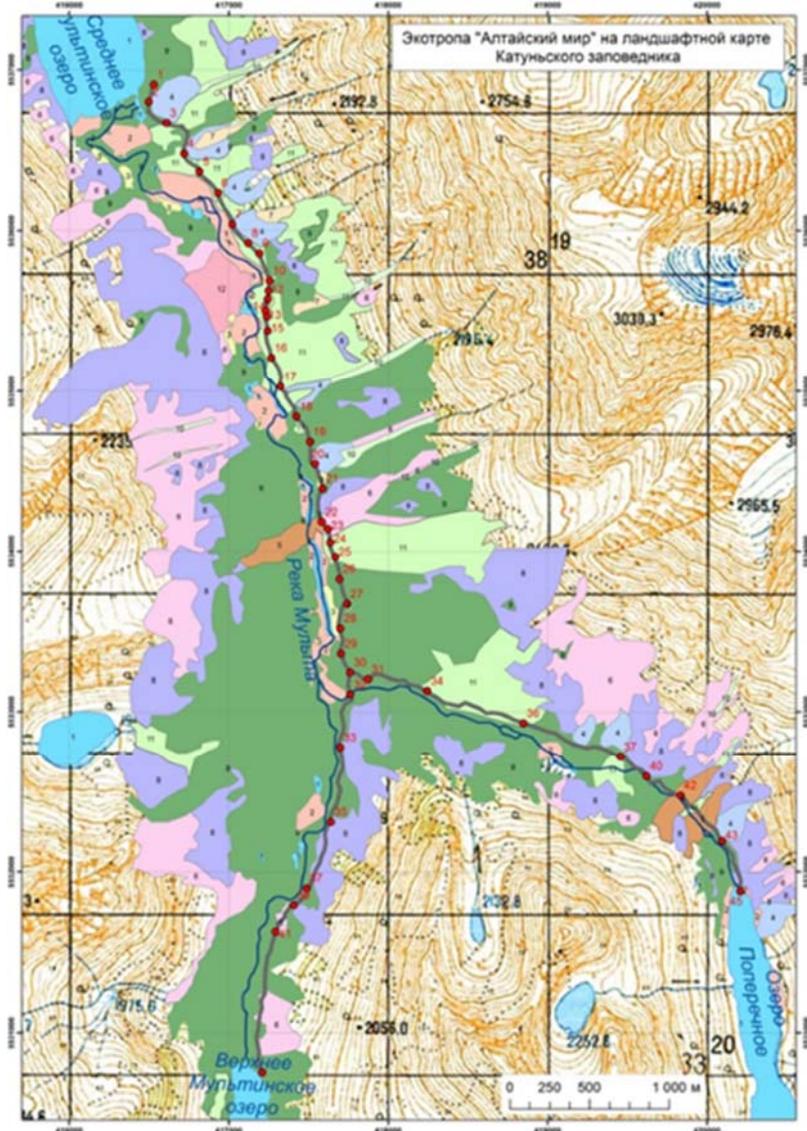


Рис. 2. Проектируемая экотропа на ландшафтной карте /
Figure 2. Projected ecotrail on the landscape map

Целью зимней экспедиции в Крым в 2017 г. был отбор проб из различных водных сред для изучения трансформации в них полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Всего было взято 28 проб на 19 точках. Анализ проб показал интересные научные результаты для озера Чокрак и грязевых вулканов Керченского полуострова.

Состоялось две международные зимние экспедиции ПСО на Кипр и в Армению. Основными задачами на Кипре было формирование навыков самостоятельной разработки туристических маршрутов, выполнение двух ландшафтных профилей, сбор фотогербария растений; в Армении были исследованы особенности геологического строения и рельефа территории, отобраны геологические образцы.

Обо всех экспедициях трудно рассказать. Последние зимние экспедиции были на Кавказ. В 2021 г. в Тебердинском заповеднике было заложено 6 ботанических площадок для экологической оценки состояния поврежденной хвойной растительности и спроектирован новый двухдневный летний экологический маршрут «Азгекские озера». По результатам экспедиции написаны статьи, сделаны научные доклады на конференциях.

Совсем недавно студенты вернулись из зимней экспедиции в Сочинский национальный парк. Были пройдены радиальные маршруты по долинам Мацесты, Хосты, Мзымты с описанием склоновых оползневых процессов и проектированием экологических троп (рис. 3). Особое внимание уделялось характеристике сильно поврежденной набережной города Адлера. На данный момент студентами отправлены заявки на три научные конференции.



Рис. 3. Полевые записи в Мацесте / Figure 3. Field notes in Matsesta

Результаты проделанной работы оформлены в отчеты, представлены на факультете, доложены на конференциях. По результатам экспедиций написано 25 тезисов, 15 статей, защищены выпускные работы. Во время ПСО подписаны соглашения на проведение научных работ с Жигулевским заповедником, Тебердинским и Сочинским национальными парками.

6 февраля 2022 г. отмечалось 10-летие ПСО. Собралось более 40 человек. Происходил обмен опытом между старшими и младшими членами общества, просмотр фото и фильмов разных лет. Многие выпускники ПСО работают в крупных экологических структурах и до сих пор принимают активное участие в деятельности общества.

Список литературы

- [1] Алейникова А.М., Ануфриева А.А., Енчилик П.Р., Зайцева А.А. Животный мир Карелии в окрестностях Сямозера (пос. Эссоила) // Актуальные проблемы экологии и природопользования. М.: РУДН, 2014. С. 61–65.
- [2] Алейникова А.М., Кириллова А., Щербина Ю. Результаты метеорологических измерений на берегу о. Сямозеро Пряжинского района республики Карелия // Актуальные проблемы экологии и природопользования. М.: РУДН, 2014. С. 57–61.
- [3] Алейникова А.М., Сорокина Е.А. Результаты хибинской экспедиции НСО экологического факультета РУДН (1–11 августа 2012 г.) // Успехи современного естествознания. 2013. № 8. С. 46–47.
- [4] Алейникова А.М., Чертенкова А. Результаты зимней экспедиции НСО экологического факультета РУДН. // II Всероссийская научная конференция «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов». Казанский (Приволжский) федеральный университет. 2013. С. 198–200.
- [5] Анацкая Е., Алейникова А.М. Результаты снегомерной съемки в долине р. Маглуша // Актуальные проблемы экологии и природопользования. М.: РУДН, 2015. С. 61–65.
- [6] Алейникова А.М., Маршева Н.В., Никитин А.А. Проект экологической тропы в Катунском заповеднике на Алтае. Естественные и гуманитарные науки в современном мире // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Орёл: Издательство: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2019. С. 199–202.
- [7] Астахова Ю., Сорокина Е., Пономарев Ф., Кашин Д., Никитин П., Гуриков Е., Алейникова А. Географические особенности и экологические проблемы юго-западной части Байкала (по результатам летней экспедиции ПСО РУДН) // Успехи современного естествознания. 2013. № 8. С. 39–40.
- [8] Alejnikova A., Alejnikova E., Marsheva N. Mudflow danger of periglacial lakes in the Elbrus region // Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of Environment. 18–21 March. 2019.

References

- [1] Alejnikova AM, Anufrieva AA, Enchilik PR, Zajceva AA. Wildlife of Karelia in the vicinity of Syamozero (Essoila settlement). Moscow: Peoples' Friendship University of Russia Publ.; 2014. (In Russ.)
- [2] Alejnikova AM, Kirillova A, Shcherbina YU. The results of meteorological measurements on the coast of the island. Syamozero in the Pryazhinsky district of the Republic of Karelia. *Current problems of ecology and nature management*. Moscow: Peoples' Friendship University of Russia Publ.; 2014. (In Russ.)
- [3] Alejnikova AM, Sorokina EA. Results of the Khibin Expedition of the NSO of the Faculty of Ecology of the PFUR (August 1-11, 2012). *Advances of Modern Natural Science*. Moscow. 2013;(8):46–47 (In Russ.)
- [4] Alejnikova AM. Results of the winter expedition of the NSO of the Faculty of Ecology of the PFUR. *II All-Russian Scientific Conference "Environment and Sustainable Development of Regions"*. Kazan (Volga) Federal University. Kazan; 2013. (In Russ.)
- [5] Anackaya E, Alejnikova AM. Results of snow survey in the Maglusha river valley. *Actual problems of ecology and nature management*. Moscow: PFUR; 2015. (In Russ.)
- [6] Alejnikova AM, Marsheva NV, Nikitin AA. Geographical peculiarities and ecological problems of the southwestern part of Baikal (based on the results of the RUDN summer

- expedition). *Advances of modern natural science*. Vol. 8. Orel: Publisher: I.S. Turgenev Oryol State University; 2013. p. 39–40. (In Russ.)
- [7] Astahova YU, Sorokina E, Ponomarev F, Kashin D, Nikitin P, Gurikov E, Aleinikova A. Geographical peculiarities and ecological problems of the southwestern part of Baikal (based on the results of the RUDN summer expedition). *Advances of modern natural science*. Moscow. 2013;(8):39–40 (In Russ.)
- [8] Aleinikova A, Aleinikova E, Marsheva N. Mudflow danger of periglacial lakes in the Elbrus region. *Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of Environment*. 18–21 March. 2019.

Сведения об авторе:

Алейникова Анна Михайловна, доцент, доцент департамента рационального природопользования института экологии Российского университета дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. E-mail: anshur@mail.ru

Bio note:

Anna M. Aleinikova, Ass. Professor Department of Environmental Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: anshur@mail.ru



ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-544-560

УДК 535.372

Научная статья / Research article

Разработка метода лазерной спектроскопии и аппаратно-программного комплекса для экологического мониторинга подводных акваторий с использованием телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов

Д.Ю. Прошенко , И.О. Букин  

*Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского,
Владивосток, Российская Федерация*
 il_bukin@mai.ru

Аннотация. Представлены результаты экспериментальной разработки метода и аппаратно-программного комплекса для телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА). Метод лазерной индуцированной флуоресценции (ЛИФ) и малогабаритный лазерный спектрометр предназначены для проведения мониторинга загрязнения подводных акваторий растворенными нефтепродуктами и для оценки воздействия загрязнений на состояние фитопланктонного сообщества. Предложена методика возбуждения спектров ЛИФ морской воды, которая позволяет одновременно измерять концентрацию хлорофилла А, удельного воспроизводства растворенного органического вещества клетками фитопланктона и концентрацию растворенных в морской воде нефтепродуктов. Экспериментально показано, что для реализации данной методики необходимо проводить двухчастотное возбуждение ЛИФ. Для измерения концентрации хлорофилла А и удельного воспроизводства растворенного органического вещества (РОВ) необходимо использовать возбуждение излучением в зеленой области спектра (532 нм в данной работе). Для измерения концентрации растворенных нефтепродуктов необходимо использовать УФ-излучение (278 нм в данной работе). Приведено описание результатов

© Прошенко Д.Ю., Букин И.О., 2022



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

испытаний спектрометра в лабораторных условиях на пробах морской воды, содержащей клетки фитопланктона и растворы судового топлива. Результаты работы создают методическую и аппаратную основу для выполнения миссии экологического мониторинга подводных акваторий с одновременным решением задачи детектирования нефтяных загрязнений и оценки его воздействия на фитопланктонное сообщество.

Ключевые слова: загрязнение нефтепродуктами, лазерная индуцированная флуоресценция, ЛИФ, спектрометр, фитопланктон, хлорофилл А, растворенное органическое вещество, РОВ, телеуправляемый необитаемый подводный аппарат

Благодарности и финансирование. Работа финансируется госзаказом Федерального агентства морского и речного транспорта РФ НИОКР № 1022040800003-2-2.11.2.

Вклад авторов: Д.Ю. Проценко – обзор литературы, анализ данных, интерпретация результатов; И.О. Букин – проведение лабораторных экспериментов, обработка полученных данных, анализ данных, интерпретация результатов, изготовление лабораторного макета.

История статьи: поступила в редакцию 15.05.2022; доработана после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 15.09.2022.

Для цитирования: Проценко Д.Ю., Букин И.О. Разработка метода лазерной спектроскопии и аппаратно-программного комплекса для экологического мониторинга подводных акваторий с использованием телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 544–560. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-544-560>

Development of a laser spectroscopy method and a hard-software framework for ecological monitoring of underwater areas by remote operated vehicles

Dmitry Yu. Proshenko , Ilya O. Bukin  

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy

 il_bukin@mai.ru

Abstract. The results of the experimental development of the method and the hard-software framework for a remote-operated underwater vehicle are presented in this work. The method of laser induced fluorescence (LIF) and a small-sized laser spectrometer are designed to monitor of the dissolved oil products pollution of underwater areas and to assess the impact of pollution on the phytoplankton community state. The excitation technique of the sea water LIF was experimentally tested to simultaneously measure the concentration of chlorophyll A, the specific reproduction of dissolved organic matter by phytoplankton cells, and the concentration of oil products dissolved in sea water. It has been experimentally shown that to implement this technique, it is necessary to carry out the excitation of the LIF by two wavelength radiation. To measure the concentration of chlorophyll A and the specific reproduction of dissolved organic matter (DOM), it is necessary to use excitation by radiation in the green region of the spectrum (532 nm in this work). To measure the concentration of dissolved petroleum products in sea water, it is necessary to use UV radiation (278 nm in this work). The results of tests of the spectrometer under laboratory conditions on sea water samples containing phytoplankton cells and solutions of petroleum products are described.

The results of the work create a methodological and software-hardware basis for carrying out the mission of ecological monitoring of underwater areas with the simultaneous solution of the problem of detecting oil pollution and assessing its impact on the phytoplankton community.

Keywords: Oil product pollution, laser induced fluorescence, LIF, spectrometer, phytoplankton, chlorophyll A, dissolved organic matter, DOM, remote operated vehicle

Acknowledgements and Funding. The work is financed by the state task of the Federal Agency for Sea and River Transport of the Russian Federation № 1022040800003-2-2.11.2.

Authors' contributions: *D.Yu. Proshchenko* – literature review, data analysis, results interpretation; *I.O. Bukin* – conducting laboratory experiments, processing the data obtained, analyzing the data, interpreting the results, making a laboratory model.

Article history: received 15.05.2022; revised 25.07.2022; accepted 15.09.2022.

For citation: Proshchenko DYu, Bukin IO. Development of a laser spectroscopy method and a hard-software framework for ecological monitoring of underwater areas by remote operated vehicles. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):544–560. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-544-560>

Введение

Миссия экологического мониторинга морских акваторий, в случае загрязнения нефтепродуктами, включает в себя не только исследование непосредственно самого процесса загрязнения нефтепродуктами, но и оценку результатов воздействия процессов загрязнения на фитопланктонное сообщество.

Мониторинг непосредственно самого процесса загрязнения нефтепродуктами состоит из последовательного решения несколько задач: детектирование загрязнений, исследование динамики загрязнения, определение объемов загрязнения, определение сортов нефтепродуктов на загрязненной акватории и выявление источников загрязнения. В работе рассматривается загрязнение подводных морских акваторий, когда нефтепродукты находятся в морской воде в растворенном состоянии. В этом случае задача определения объемов загрязнения сводится к измерению концентрации растворенных нефтепродуктов. Такие ситуации возникают в случае сброса льяльных вод судами, в случае аварий на подводных нефтепроводах, при наличии на морской поверхности пленок нефтепродуктов, также происходит их растворение и поступление в более глубокие слои.

Процесс определения ущерба, который наносится морской экосистеме, является сложным, включает в себя много направлений и, в каждом конкретном случае, эти задачи решаются по уже отработанным методикам [1–2]¹. Летальное воздействие загрязнений на подводную морскую флору и фауну можно оценить путем подсчета погибшей рыбы, птиц, моллюсков, подводных

¹ Практические рекомендации для персонала, отвечающего за управление и ликвидацию чрезвычайных ситуаций. URL: https://www.ospri.online/site/assets/files/1130/marine-ecology_ru.pdf (дата обращения: 14.05.2022).

растений и т.д. Воздействие нефтяных загрязнений на фитопланктонные сообщества является предметом исследований. В работах [3; 4] представлены обзоры, наиболее полно описывающие результаты в этой области. В случае загрязнения больших масштабов используются спутниковые данные, которые позволяют при усреднении по большим площадям морской поверхности оценить изменения, которые происходят с фитопланктонными сообществами в самом приповерхностном слое океана².

Однако в настоящее время отсутствуют оперативные методы, которые позволяют делать оценки воздействия загрязнений на фитопланктонные сообщества *insitu* под водой в локальных масштабах.

В работе описывается новый подход к разработке метода и технических средств, позволяющих решать задачи, связанные как с мониторингом непосредственно самого процесса загрязнения подводных акваторий нефтепродуктами, так и с оценкой изменения состояния фитопланктонных сообществ под воздействием этих загрязнений. Подход основан на использовании метода лазерной индуцированной флуоресценции (ЛИФ). Он развивается и используется для измерения концентрации растворенных в морской воде углеводородов нефти, концентрации хлорофилла А в морской воде и удельного воспроизводства растворенного органического вещества клетками фитопланктона [5–8]. Две последние характеристики могут использоваться для описания состояния фитопланктонных сообществ.

Спектр ЛИФ содержит информацию о концентрации растворенного органического вещества (РОВ) (включая растворенные нефтепродукты) и концентрации хлорофилла. Проведенные ранее исследования показали, что измерение концентрации растворенных в морской воде нефтепродуктов возможно при использовании лазерного излучения с длиной волны в УФ-области спектра (менее 300 нм), так как наиболее интенсивная область ЛИФ от растворов нефтепродуктов находится в спектральном диапазоне от 300 до 450 нм [9; 10].

Вместе с тем в [7; 8; 11] было показано, что наиболее подходящий диапазон лазерного излучения для измерения концентрации хлорофилла А и РОВ, воспроизводимого клетками фитопланктона, лежит в «зеленой» области спектра. Кроме того, при облучении УФ-излучением часть клеток фитопланктона может погибать.

Таким образом, для того чтобы осуществлять одновременный мониторинг состояния фитопланктонных сообществ и загрязнения морских вод в виде растворенных нефтепродуктов, необходимо использовать возбуждение спектров ЛИФ двумя длинами волн, одна из которых лежит в УФ-области, а другая – в зеленой области длин волн.

Ранее были разработаны спектрометры, которые позволяли решать по отдельности задачи мониторинга состояния фитопланктонных сообществ

² Coastal Nonpoint Pollution Control Program. URL: <https://coast.noaa.gov/czm/pollutioncontrol/> (дата обращения: 13.05.2022).

и процессы загрязнения акваторий нефтепродуктами. В [10; 11] проведена разработка метода и спектрометра для измерения концентрации растворенных нефтепродуктов в морской воде, определения сортов нефтепродуктов с использованием УФ-излучения³.

В [12–13] приведены результаты разработки погружаемого лазерного спектрометра, предназначенного для использования на телеуправляемом необитаемом подводном аппарате (ТНПА) для исследования распределения хлорофилла А и процессов воспроизводства РОВ клетками фитопланктона. В этом спектрометре использовалась вторая гармоника Nd:YAG лазера с длиной волны излучения 532 нм.

В настоящей работе описываются результаты разработки малогабаритного лазерного спектрометра для ТНПА, который предназначен одновременно как для мониторинга загрязнения подводных акваторий растворами нефтепродуктов, так и для исследования состояния фитопланктонных сообществ на акваториях, подверженных загрязнению.

Описание методики мониторинга

Методика мониторинга состояния фитопланктонных сообществ основана на исследовании спектров ЛИФ от морской воды.

На рис. 1 приведены спектры ЛИФ от морской воды, в которой содержатся клетки фитопланктона и не содержатся растворы нефтепродуктов.

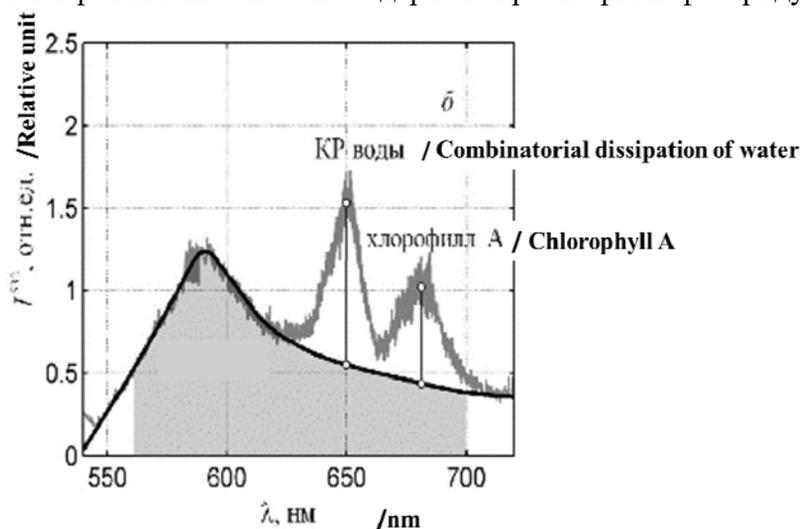


Рис. 1. Спектр ЛИФ морской воды при возбуждении лазерным излучением с длиной волны 532 нм / Figure 1. LIF spectrum of sea water upon excitation by laser radiation with a wavelength of 532 nm

По вертикальной оси – интенсивность спектра ЛИФ, по горизонтальной оси – длины волн в нанометрах. Максимум с центром на длине волны 648 нм соответствует комбинационному рассеянию (КР) морской воды, линия

³ Патент РФ на изобретение № RU 157814 U1/10.12.2015. Майор А.Ю., Букин И.О., Салюк П.А. Лазерный флуориметр для исследования подводной среды.

флуоресценции хлорофилла А наблюдается на длине волны 680 нм. Спектральное распределение, представленное на рис. 1 сплошной черной кривой, соответствует спектру ЛИФ от РОВ, которое воспроизведено клетками фитопланктона. Спектр ЛИФ был получен в лабораторных условиях на пробах морской воды из Амурского залива.

Для измерения концентрации хлорофилла А определяется интенсивность линии флуоресценции на длине волны 680 нм (за вычетом величины интенсивности РОВ на этой длине волны). Затем проводится нормировка интенсивности линии хлорофилла А на интенсивность линии КР.

Концентрация хлорофилла А (C_{chlA}) определяется по нормированной величине интенсивности линии флуоресценции хлорофилла А:

$$C_{chlA} = k (I_{chlA}/I_{кр}), \quad (1)$$

где k – калибровочная константа, которая определяется в процессе калибровки метода на стандартный метод измерения [14; 15].

На рис. 2 приведен один из примеров калибровки метода ЛИФ на стандартный фотометрический метод измерения концентрации хлорофилла А, которая проводилась на пробах морской воды с различной концентрацией хлорофилла А в лабораторных условиях. Измерения выполнены на пробах морской воды, которые были отобраны в период цветения водорослей в различных точках Амурского залива.

По вертикальной оси – значение концентрации хлорофилла А, которое получено в пробах воды стандартным фотометрическим методом. По горизонтальной оси – значение нормированной интенсивности ЛИФ. Подобные калибровки проточных и погружаемых спектрометров ЛИФ использовались для измерения концентрации хлорофилла А на спектрометрах ЛИФ в натуральных условиях [16; 17]. В верхней части приведено уравнение линейной регрессии и коэффициент детерминации R^2 .

Состояние фотосинтезирующего аппарата клеток фитопланктона можно анализировать не только по общему количеству хлорофилла А в морской воде, но и по темпам воспроизводства РОВ клетками фитопланктона [7; 8]. Чтобы оценить скорость воспроизводства РОВ клетками фитопланктона, необходимо проводить измерение не общего объема РОВ, содержащегося на момент измерения в морской воде, а только «молодого» РОВ (или «лабильной части» РОВ), т. е. той части РОВ, которая воспроизводится живыми клетками фитопланктона за период активной жизнедеятельности клеток (например, за период цветения водорослей) и не успела пройти процессы деградации. В периоды цветения водорослей такой подход к оценке состояния клеток наиболее нагляден. Объем РОВ, воспроизводимого клетками фитопланктона, описывается параметром Q , который определяется как площадь под кривой спектрального распределения ЛИФ от РОВ, в диапазоне от 560 до 740 нм (заштрихованная часть спектра на рис. 1).

$$Q = \int_{560}^{740} \frac{I(\lambda)}{I_{кр}} d\lambda. \quad (2)$$

Параметр Q пропорционален количеству РОВ и при соответствующей калибровке на стандартные методы измерения можно проводить измерения концентрации РОВ в абсолютных единицах.

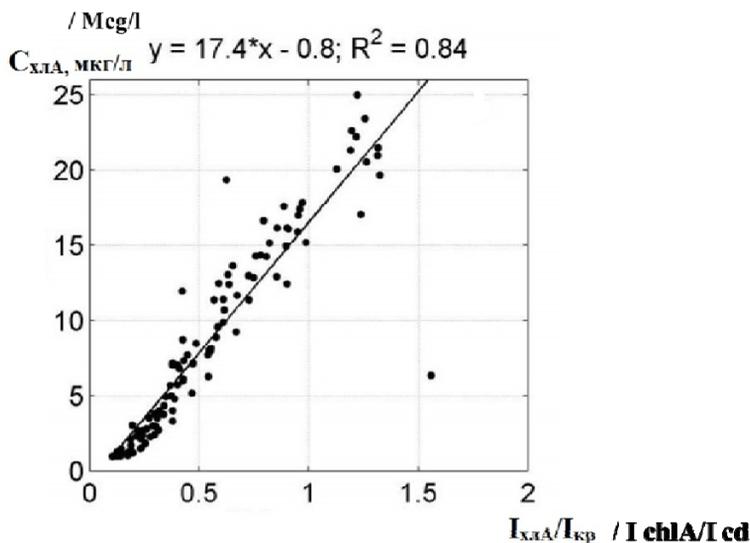


Рис. 2. Пример калибровочной зависимости для измерения концентрации хлорофилла А по интенсивности спектра ЛИФ /
 Figure 2. An example of a calibration dependence for measuring the concentration of chlorophyll A by the intensity of the LIF spectrum

Измеряя в различных местах выбранной водной акватории (или на различных глубинах) значения концентрации хлорофилла А (C_{chlA}) и значения параметра Q , можно восстанавливать диаграммы рассеяния $Q - C$, которые показывают функциональную связь между этими величинами, т.е. можно восстановить соотношения между конкретной концентрацией хлорофилла А и тем значением величины РОВ, которое клетки воспроизводят в результате своей жизнедеятельности. На рис. 3 приведены виды функциональных $Q - C$ зависимостей в различных биопродуктивных районах Мирового океана в период цветения водорослей на рассматриваемых акваториях. Измерения проведены в периоды цветения водорослей, т.е. в периоды, когда клетки фитопланктона имеют максимальные концентрации хлорофилла А и воспроизводят максимальное количество РОВ. Диаграммы рассеяния $Q - C$ хорошо аппроксимируются линейными функциями, что дает возможность определить темпы воспроизводства РОВ ($v = dQ/dC$) в процессе цветения водорослей [7; 8; 18].

Для анализа удельного воспроизводства РОВ клетками фитопланктона (величины v) достаточно определять величину РОВ в относительных единицах (Q). Сравнение величины v в различные периоды жизнедеятельности клеток фитопланктона на данной акватории позволяет определять периоды

цветения водорослей, стадии активного воспроизводства РОВ или состояния, в котором процессы жизнедеятельности клеток подавляются наличием растворенных нефтепродуктов.

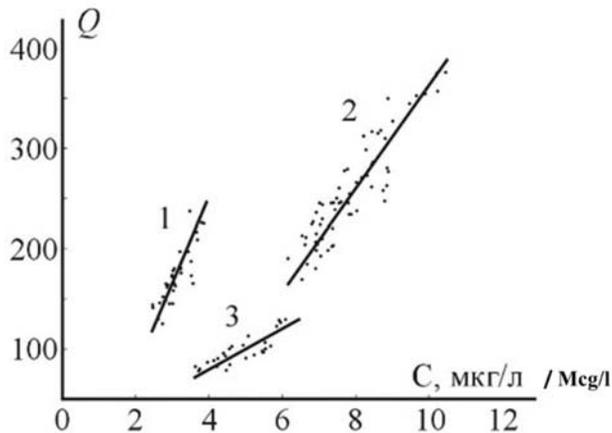


Рис. 3. Примеры $Q - C$ диаграмм для различных биопродуктивных районов Мирового океана в периоды цветения водорослей или близкие к ним:

1 – Охотское море; 2 – Северное море; 3 – Юго-западная часть Атлантического океана /

Figure 3. Examples of $Q - C$ diagrams for various bio productive regions of the world's oceans or close to algal blooms: 1 – Sea of Okhotsk; 2 – North Sea; 3 – Southwestern part of the Atlantic Ocean

Таким образом, для оценки состояния фитопланктонного сообщества на данной акватории, в рамках данного метода, используются две характеристики: концентрация хлорофилла А – C_{chlA} и величина v , которая характеризует удельное воспроизводства РОВ на анализируемой акватории.

При наличии растворенных углеводов нефтепродуктов величины C_{chlA} и v будут меняться в результате воздействия загрязнения на аппарат фотосинтеза клеток фитопланктона. Задача оценки изменения состояния фитопланктонных сообществ сводится в этом случае к сравнению средних концентраций и темпов воспроизводства РОВ, которые имели место непосредственно перед загрязнением на данных акваториях, и тех значений, которые определяются в период загрязнения. В процессе мониторинга необходимо проводить измерение концентраций растворенных нефтепродуктов на исследуемой акватории.

В [8; 9] описаны методика определения концентраций растворенных нефтепродуктов, определение сорта нефтепродуктов с использованием методики ЛИФ. На рис. 4 продемонстрированы спектры ЛИФ растворов судового топлива DMA в морской воде с различными концентрациями. Для возбуждения ЛИФ использовалось излучение лазера с длиной волны 278 нм. По вертикальной оси – интенсивность спектра ЛИФ в относительных единицах, по горизонтальной оси – длины волн в нанометрах. Справа приведены значения концентраций растворенного DMA и их соответствие цветам на графиках.

На рис. 5 приведена калибровка метода измерения концентрации раствора DMA по спектрам ЛИФ на стандартный метод измерения концентрации растворенных нефтепродуктов в морской воде с использованием ИК Фурье-спектроскопии. По вертикальной оси отложено значение интегрального параметра Q (см. формулу 2), где интегрирование производится в диапазоне длин волн от 300 до 525 нм, по горизонтальной оси отложена концентрация DMA, определенная стандартным методом ИК Фурье-спектроскопии. Аналогичные калибровочные линейные регрессии были построены и для других видов судового топлива, включительно и сырой нефти. Для каждого вида топлива спектры ЛИФ имеют характерный вид, что позволяет идентифицировать типы нефтепродуктов. Создание библиотеки спектров ЛИФ и разработка процедуры компьютерного обучения позволили создать элементы искусственного интеллекта, которые в автономном режиме способны определять концентрацию растворенных нефтепродуктов и их типы [10].

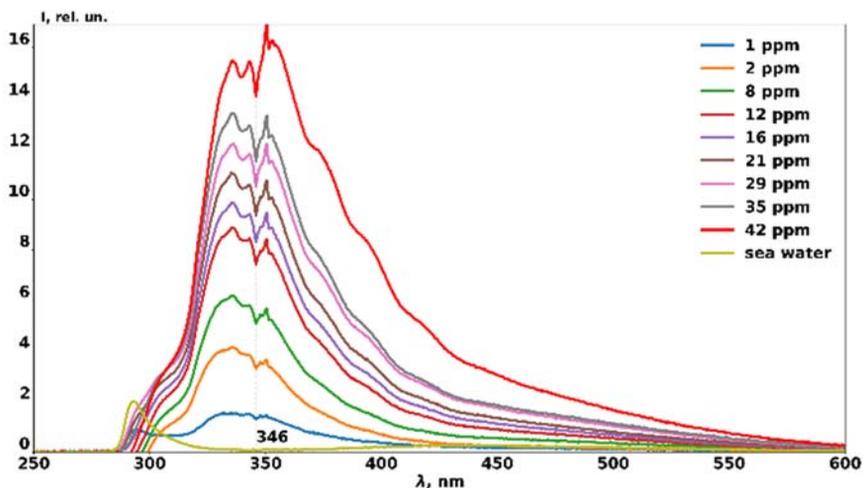


Рис. 4. Спектры ЛИФ растворов судового топлива DMA в морской воде / Figure 4. LIF spectra of DMA marine fuel solutions in sea water

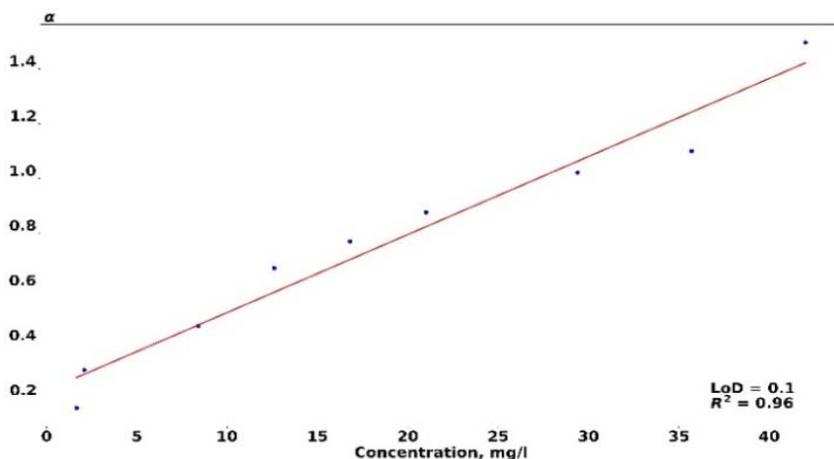


Рис. 5. Калибровочная зависимость при определении концентрации растворенного DMA в морской воде / Figure 5. Calibration dependence for determining the concentration of dissolved DMA in sea water

Разработка двухчастотного спектрометра ЛИФ для ТНПА

На рис. 6а, б приведена функциональная схема малогабаритного спектрометра ЛИФ, разработанного для ТНПА.

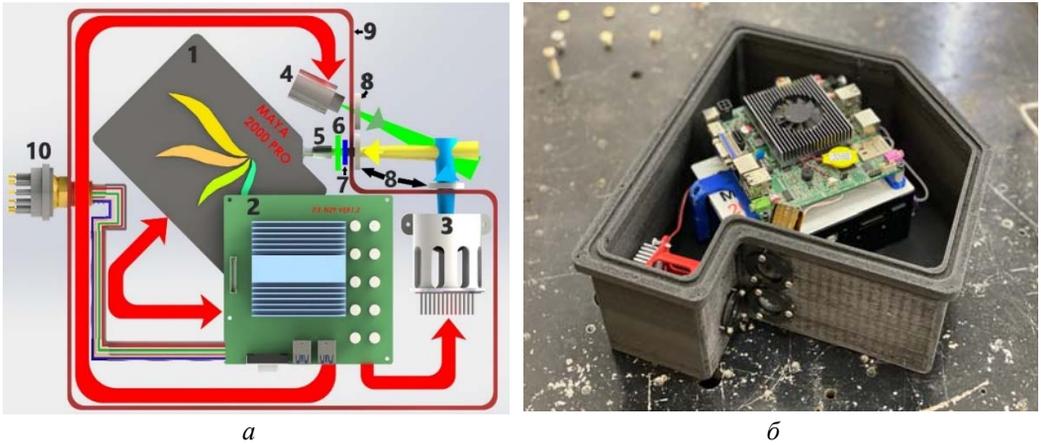


Рис. 6. Схема малогабаритного, двухчастотного спектрометра ЛИФ (а) и фото спектрометра в герметичном корпусе (б):

1 – спектрометр Ocean Optics Maya 2000Pro; 2 – процессорная плата ITX-N29; 3 – светодиод LED – LEUVA66H70HF00 (LG); 4 – светодиод LED KSK-304; 5 – объектив 74-ud (Ocean Optics); 6, 7 – фильтры Fgl550 Thor labs; 8 – кварцевые иллюминаторы; 9 – герметичный корпус /
Figure 6. Schematic diagram of a small-sized, dual-frequency spectrometer LIF (a) and photo spectrometer in a sealed case (b):

1 – Ocean Optics Maya 2000Pro spectrometer; 2 – ITXN29 processor board; 3 – LED – LEUVA66H70HF00 (LG); 4 – LED KSK304; 5 – lens 74ud (Ocean Optics); 6, 7 – Thor labs Fgl550 filters; 8 – quartz portholes; 9 – sealed housing

При использовании спектрометра ЛИФ на ТНПА существенным являются массогабаритные параметры аппаратуры и энергопотребление. Для их уменьшения, в качестве излучателей для возбуждения ЛИФ, использовались светодиоды (LED). Для мониторинга растворов нефтепродуктов – LED типа LEUVA66H70HF00 с длиной волны излучения 278 нм (3 на рис. 6). Для возбуждения спектров ЛИФ от клеток фитопланктона и «молодого» РОВ использовался LED типа KSK– 340 (4 на рис. 6) с длиной волны излучения 532 нм. Излучение светодиодов (3, 4) через кварцевые иллюминаторы (8), направлялись в воду, флюоресценция регистрировалась объективом (5). Фильтры 6, 7 использовались для подавления упругого рассеяния в каждом случае. При измерении спектра ЛИФ, возбуждаемого длиной волны 278 нм, излучал только светодиод (3), перед объективом 5, располагался фильтр для подавления длины волны упругого рассеяния на 278 нм. В случае измерения спектра на 532 нм в канал регистрации вводился фильтр, подавляющий эту длину волны. Фильтры размещались перед объективом автоматически. Излучение, собранное объективом 5, направлялось на входную щель спектрометра 1. Управление работой всего спектрометра и обработка спектров осуществлялось процессором 2. Спектрометр размещался в герметичном корпусе 9. Подключение спектрометра осуществляется к бортовому питанию и линии связи ТНПА.

Передача данных и управление осуществляется при помощи Ethernet-канала ТНПА. Подводное соединение спектрометра выполнено в виде герморазъема (10), позволяющего в любой момент отсоединить спектрометр от ТНПА и демонтировать устройство.

Лабораторные эксперименты

Разработка двухчастотного спектрометра ЛИФ позволила проводить эксперименты по детектированию растворенных нефтепродуктов в морской воде, определять их тип и концентрацию и одновременно исследовать их воздействие на состояние фотосинтезирующего аппарата клеток фитопланктона. На рис. 7 и 8 продемонстрированы результаты измерения спектров ЛИФ в пробах чистой морской воды и в пробах, где присутствовал раствор судового топлива DMS.

Данные спектры были получены в лабораторных условиях. Кювета, содержащая пробы морской воды, располагалась непосредственно перед выходными иллюминаторами спектрометра (иллюминаторы 8 на рис. 6а). После измерения спектров в кювету добавлялся раствор судового топлива MGO в таком количестве, чтобы итоговая концентрация топлива в кювете составляла порядка 50 ppm. В зеленом цвете на обоих графиках представлены спектры ЛИФ при возбуждении излучением в зеленой области спектра (длина волны 532 нм), в фиолетовом цвете – спектры, возбуждаемые в ультрафиолете (278 нм). Для наглядности сравнения величины сигналов, вертикальные шкалы слева показывают величины сигналов ЛИФ для УФ-излучения, шкала справа демонстрирует величину для возбуждения 532 нм. Сигнал флуоресценции хлорофилла А, при возбуждении длиной волны 523 нм, значительно превышал флуоресценцию при возбуждении длиной волны 278 нм, при одинаковой концентрации хлорофилла А в пробе. Поэтому показания относительной интенсивности по правой шкале приведены к значениям интенсивности на левой шкале, но масштаб шкалы необходимо умножить на 10.

Для случая чистой морской воды (рис. 7) сравнение интенсивностей спектра ЛИФ на центральной длине волны линии флуоресценции хлорофилла А (680 нм) показывает, что флуоресценция наиболее эффективно возбуждается излучением в зеленой области спектра, т. е. длиной волны 532 нм.

Это относится также и к интенсивности флуоресценции лабильной части РОВ. Наблюдается значительное превышение интенсивности широкополосной флуоресценции, возбуждаемой излучением 532 нм, в интервале от 620 до 660 нм над интенсивностью этого интервала при возбуждении излучением 278 нм. В то время как в коротковолновой области спектра, где флуоресцирует РОВ, прошедшее стадию разложения, в диапазоне длин волн от 350 до 500 нм наблюдается только интенсивность флуоресценции, которая возбуждается УФ-излучением.

На рис. 8 приведены спектры ЛИФ в случае, когда в пробу морской воды добавлялся раствор судового топлива MGO. Концентрация раствора в кювете

равнялась 50 ppm. В этом случае наблюдается значительное снижение линии флуоресценции хлорофилла А. Уменьшение интенсивности линии флуоресценции можно оценить по графику на рис. 9.

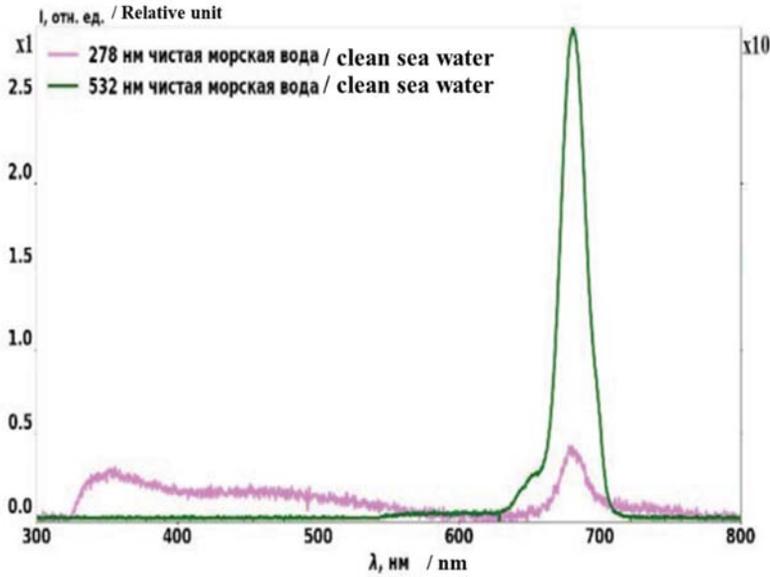


Рис. 7. Спектры ЛИФ, возбуждаемые УФ и зеленым излучением в чистой морской воде с фитопланктоном /

Figure 7. LIF spectra excited by UV and green radiation in pure sea water with phytoplankton

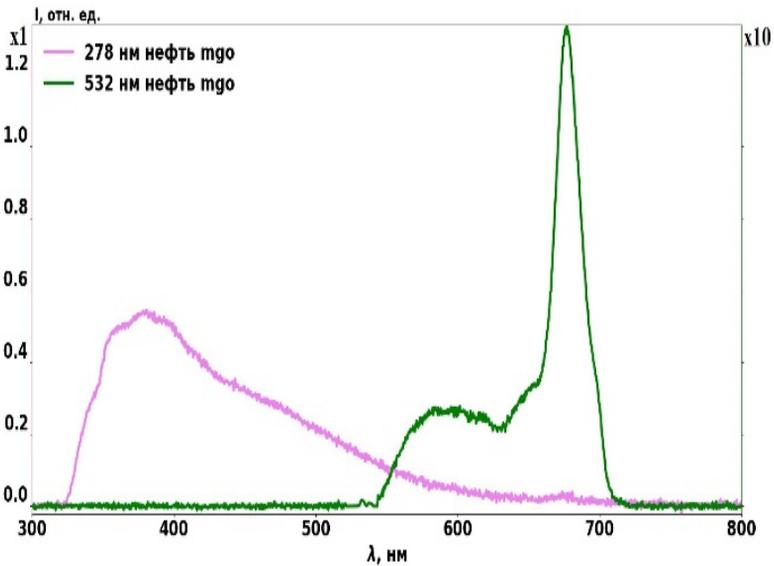


Рис. 8. Спектры ЛИФ возбуждаемые, УФ и зеленым излучением в морской воде, содержащей раствор судового топлива /

Figure 8. LIF spectra excited by UV and green radiation in sea water containing a marine fuel solution

В этом эксперименте раствор добавлялся в кювету сразу после измерения спектра ЛИФ от чистой воды. Затем, после 10 минут, было проведено измерение спектра ЛИФ. Интенсивность линии флуоресценции уменьшилась более чем на порядок.

Это может быть вызвано двумя причинами. Первая – это гибель клеток фитопланктона и разрушения молекул хлорофилльных комплексов. Вторая – это уменьшение квантового выхода флуоресценции за счет воздействия на хлорофилл загрязнения нефтепродуктами. В любом случае, наблюдается прямое воздействие загрязнения на клетки фитопланктона. Нам представляется более вероятным первый механизм воздействия, который приводит к прямой гибели клеток. Об этом свидетельствует и тот факт, что в области флуоресценции «молодого» РОВ наблюдается увеличение интенсивности спектральных линий. То есть происходит увеличение РОВ за счет гибели клеток фитопланктона. Подобное поведение интенсивностей линий хлорофилла А и «молодого» РОВ наблюдалось в работе [19], где гибель клеток хлорофилла А вызывалась нагреванием проб морской воды.

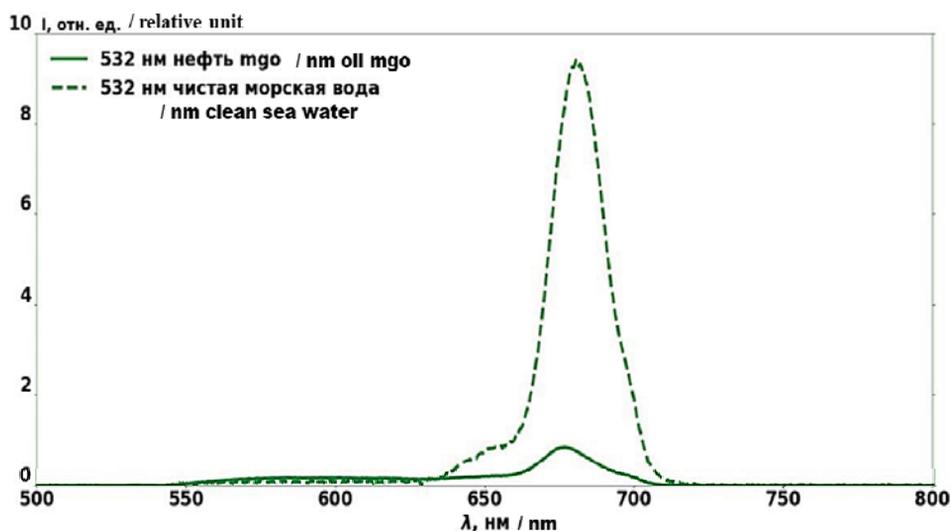


Рис. 9. Сравнение интенсивности флуоресценции хлорофилла А в случае чистой морской воды и при загрязнении раствором судового топлива MGO / Figure 9. Comparison of the intensity of chlorophyll A fluorescence in the case of pure sea water and when contaminated with MGO marine fuel solution

Заключение

Результаты разработки метода ЛИФ и малогабаритного аппаратно-программного комплекса лазерного спектрометра для ТНПА создают методическую и аппаратную базу для оперативного мониторинга загрязнения подводных акваторий растворенными нефтепродуктами в локальных масштабах. Использование двухчастотного спектрометра ЛИФ на ТНПА позволяет проводить *insitu* измерение параметров, характеризующих объемы загрязнений

их тип, исследовать реакцию фитопланктонного сообщества на эти загрязнения. Использование спектроскопии ЛИФ на ТНПА позволяет исследовать реакцию различных видов фитопланктона не только на наличие растворенных нефтепродуктов, при различных параметрах морской воды, а также и на диспергенты, которые используются для ликвидации нефтяных пленок.

Список литературы

- [1] Наумов В.С., Пластинин А.Е. Оценка ущерба при разливах нефти на объектах транспортного комплекса // Журнал университета водных коммуникаций. 2010. Т. 5 (1). С. 152–157.
- [2] Егорова Е.Н. Методические основы оценки экономического ущерба, возникающего в результате аварийных разливов нефти на морских акваториях // Электронный журнал «Исследовано в России». С. 955–971. URL: <http://www.priroda.ru/upload/iblock/cf2/086.pdf> (accessed: 14.04.2022).
- [3] Quigg A., Parsons M., Bargu S., Ozhan K., Daly K.L., Charkoborty S., Kamalanathan M., Edvard J. Buskey. Marine phytoplankton responses to oil and dispersant exposures: knowledge gained since the Deepwater Horizon oil spill // Marine Pollution Bulletin. March 2021. Vol. 164. P. 112074.
- [4] Koray Ozhan, Michael L. Parsons, Sibel Bargu. How Were Phytoplankton Affected by the Deepwater Horizon Oil Spill // BioScience, September 2014. Vol. 64. Issue 9. P. 829–836. URL: <https://academic.oup.com/bioscience/article/64/9/829/269288?login=true> (accessed: 14.04.2022).
- [5] Клышко Д.Н., Фадеев В.В. Дистанционное определение концентрации примеси методом лазерной спектроскопии по комбинационному рассеянию // ДАН СССР. 1978. Т. 238. С. 320–323.
- [6] Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987.
- [7] Букин О.А., Салюк П.А., Майор А.Ю., Павлов А.Н. Исследование процессов воспроизводства органического вещества клетками фитопланктона методом лазерной индуцированной флуоресценции // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18. № 11. С. 976–972.
- [8] Букин О.А., Пермяков М.С., Салюк П.А., Майор А.Ю., Буров Д.В., Хованец В.А., Голик С.С., Подопригора Е.Л. Особенности формирования спектров Лазерной индуцированной флуоресценции морской воды в периоды цветения водорослей в различных районах мирового океана // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17. № 9. С. 742–749.
- [9] Bukin O.A., Proschenko D.Yu., Chekhlenok A.A., Golik S.S., Bukin I.O., Mayor A.Yu, Yurchik V.F. Laser Spectroscopic Sensors for the Development of Anthropomorphic Robot Sensitivity // Sensors. 2018, 18, 1680. <https://doi.org/10.3390/s18061680>
- [10] Bukin O.A., Proschenko D.Yu., Chekhlenok A.A., Korovetskiy D.A., Bukin I.O., Yurchik V.F., Sokolova I.V., Nadezhkin A.V. New Solutions of Laser-Induced Fluorescence for Oil Pollution Monitoring at Sea // Photonics 2020. Vol. 7. 36. <https://www.mdpi.com/2304-6732/7/2/36>
- [11] Bukin O.A., Golik S.S., Salyuk P.A., Baulo E.N., Lastovskaya I.A. Efficiency of excitation fluorescence of phytoplankton chlorophyll by second and third harmonics of Nd: YAG laser // Journal of applied spectroscopy. 2008. Vol. 75, no 2. P. 224–227.
- [12] Букин О.А., Майор А.Ю., Проценко Д.Ю., Букин И.О., Болотов В.В., Чехленок А.А., Мун С.А. Методы лазерной спектроскопии в задачах разработки элементов лазерной сенсорики подводной робототехники // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30. № 5. С. 420–425.

- [13] Бауло Е.Н., Букин И.О., Майор А.Ю., Салюк П.А. Разработка лазерных технологий для расширения возможностей подводных аппаратов обследовательского класса для работы в арктических условиях // Морские интеллектуальные технологии. 2013. № S1. С. 38–41.
- [14] Букин О.А., Майор А.Ю., Скороход Г.В., Пермяков М.С. О калибровке метода лазерной флюорометрии при измерении концентрации хлорофилла А // Оптика атмосферы и океана. 2001. Т. 14. № 3. С. 21–24.
- [15] Майор А.Ю., Букин О.А., Павлов А.Н., Киселев В.Д. Судовой лазерный флюориметр для исследования спектров флюоресценции морской воды // Приборы и техника эксперимента. 2001. № 3. С. 1–4.
- [16] Bukin O.A., Pavlov A.N., Permyakov M.S., Major A.Y., Konstantinov O.G., Maleenok A.V., Ogay S.A. Continuous measurements of chlorophyll-a concentration in the Pacific Ocean by shipborne laser fluourometer and radiometer: comparison with sea WIFS data // International Journal of Remote Sensing. 2001. Vol. 22. № 2–3. P. 415–427.
- [17] Salyuk P.A., Krikun V.A., Bukin O.A., Alexanin A.I., Pavlov A.N., Mayor A.Yu., Shmirko K.A., Akmaykin D.A. Optical properties of peter the great bay waters compared with satellite ocean color data // International Journal of Remote Sensing. 2010. Vol. 31. № 17. P. 4651–4664.
- [18] Букин О.А., Салюк П.А., Майор А.Ю., Голик С.С., Ильин А.А., Акмайкин Д.А. Использование методов лазерной спектроскопии при исследовании элементов углеродного цикла в океане // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23, № 3. С. 229–234.
- [19] Букин О.А., Голик С.С., Салюк П.А., Бауло Е.Н., Ластовская И.А. Изменение спектров лазерно-индуцированной флуоресценции морской воды в процессе деградации растворенного органического вещества // Журнал прикладной спектроскопии. 2007. Т. 74. № 1. С. 103–107.

References

- [1] Naumov VS, Plastinin AE. Estimating the losses due to oil spilling from the objects of transport complex. *Journal of the University of Water Communications*. 2010;5(1):152–157 (In Russ.).
- [2] Egorova EN. Methodological bases for assessing the economic damage resulting from accidental oil spills in marine areas. *E-journal: Investigated in Russia*. 2004:955–971. Available from: <http://www.priroda.ru/upload/iblock/cf2/086.pdf> (accessed: 14.04.2022). (In Russ.)
- [3] Quigg A, Parsons M, Bargu S, Ozhan K, Daly KL, Charkoborty S, Kamalanathan M, Edvard J. Buskey. Marine phytoplankton responses to oil and dispersant exposures: knowledge gained since the Deepwater Horizon oil spill. *Marine Pollution Bulletin*. March 2021;164:112074.
- [4] Koray O, Michael LP, Sibel B. How Were Phytoplankton Affected by the Deepwater Horizon Oil Spill. *BioScience*. Vol. 64. Issue 9. September 2014. p. 829–836. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu117> (accessed: 14.04.2022).
- [5] Klyshko DN, Fadeev VV. Remote determination of impurity concentration by laser spectroscopy based on Raman scattering. *DAN USSR*. 1978;238:320–323.
- [6] Raymong M. Measures. Laser remote sensing. Wiley-Interscience Publication. New York; 1987.

- [7] Bukin OA, Saluk PA, Mayor AYu, Pavlov AN. Research of reproduction dissolved organic matter of the phytoplankton cells by laser induced spectroscopy. *Atmospheric and oceanic optic*. 2005;18(11):976–972.
- [8] Bukin OA, Permyakov MS, Saluk PA, Major AYu, Burov DV, Khovanets VA, Golik SS, Podoprigora EL. Peculiarities of formation of the laser-induced fluorescence spectra of sea water during the algae blooming in different regions of the world ocean. *Atmospheric and oceanic optic*. 2004;17(9):742–749.
- [9] Bukin OA, Proshchenko DYu., Chekhlenok AA, Golik SS, Bukin IO, Mayor AYu, Yurchik VF. Laser Spectroscopic Sensors for the Development of Anthropomorphic Robot Sensitivity. *Sensors*. 2018;18:1680. <https://doi.org/10.3390/s18061680>
- [10] Bukin OA, Proshchenko DYu, Chekhlenok AA, Korovetskiy DA, Bukin IO, Yurchik VF, Sokolova IV, Nadezhkin AV. New Solutions of Laser-Induced Fluorescence for Oil Pollution Monitoring at Sea. *Photonics*. 2020;7:36. Available from: <https://www.mdpi.com/2304-6732/7/2/36> (accessed: 15.04.2022).
- [11] Bukin OA, Golik SS, Salyuk PA, Baulo EN, Lastovskaya IA. Efficiency of excitation fluorescence of phytoplankton chlorophyll by second and third harmonics of Nd: YAG laser. *Journal of applied spectroscopy*. 2008;75(2):224–227.
- [12] Bukin OA, Proshchenko DY, Bukin IO, Bolotov VV, Chekhlenok AA, Mun SA, Mayor AYu. Laser spectroscopy methods in the development of laser sensor elements for underwater robotics. *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2017;30(5):475–480.
- [13] Baulo EN, Bukin IO, Major AYu, Salyuk PA. Development of laser technologies to expand the capabilities of survey class submersibles for operation in arctic conditions. *Marine intelligent technologies*. 2013;S1:38–41.
- [14] Bukin OA, Permyakov MS, Maior AYu, Sagalaev SG, Lipilina EA, Khovanets VA. To the problem of calibration of the laser fluorometry method at measurement of the chlorophyll “a” concentration. *Atmospheric and oceanic optic*. 2001;14(3):21–24.
- [15] Major AYu, Bukin OA, Pavlov AN, Kiselev VD. Ship laser fluorometer for studying the fluorescence spectra of sea water. *Instruments and experimental techniques*. 2001;3:1–4.
- [16] Bukin OA, Pavlov AN, Permyakov MS, Major AY, Konstantinov OG, Maleenok AV, Ogay SA. Continuous measurements of chlorophyll-a concentration in the Pacific Ocean by ship borne laser fluorometer and radiometer: comparison with sea WIFS data. *International Journal of Remote Sensing*. 2001; 22(2–3):415–427.
- [17] Salyuk PA, Krikun VA, Bukin OA, Alexanin AI, Pavlov A, Mayor AYu, Shmirko KA, Akmaykin DA. Optical properties of peter the great bay waters compared with satellite ocean color data. *International Journal of Remote Sensing*. 2010;31(17):4651–4664.
- [18] Bukin OA, Salyuk PA, Major AYu, Golik SS, Ilyin AA, Akmaikin DA. The use of laser spectroscopy methods in the study of elements of the carbon cycle in the ocean. *Atmospheric and oceanic optic*. 2010;23(3):229–234.
- [19] Bukin OA, Golik SS, Salyuk PA, Baulo EN, Lastovskaya IA. Changes in the spectra of laser-induced fluorescence of sea water during the degradation of dissolved organic matter. *Journal of Applied Spectroscopy*. 2007;74(1):103–107.

Сведения об авторах:

Прощенко Дмитрий Юрьевич, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией морской робототехники научно-инновационного комплекса «Морской технопарк», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского», Российская Федерация, 690003, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая,

д. 50а. ORCID: 0000-0001-8378-8208. eLibrary SPIN-код: 3980-7860. E-mail: dima.prsk@mail.ru

Букин Илья Олегович, младший научный сотрудник лаборатории морской робототехники научно-инновационного комплекса «Морской технопарк», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского», Российская Федерация, 690003, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д. 50 а. ORCID: 0000-0002-2929-890X. eLibrary SPIN-код: 5676-3967. E-mail: il_bukin@mail.ru.

Bio notes:

Dmitry Yu. Proshenko, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory of Marine Robotics, Research and Innovation Complex “Marine Technopark”, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Admiral G.I. Nevelskoy”, 50a Verkhneportovaya St, Vladivostok, 690003, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8378-8208. eLibrary SPIN-код: 3980-7860. E-mail: dima.prsk@mail.ru

Ilya O. Bukin, Junior Researcher Laboratory of Marine Robotics, Research and Innovation Complex “Marine Technopark”, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Marine State University named after Admiral G.I. Nevelskoy”, 50a Verkhneportovaya St, Vladivostok, 690003, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2929-890X. eLibrary SPIN-код: 5676-3967. E-mail: il_bukin@mail.ru.



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-561-573

УДК 504.4.054:622.32(045)

Научная статья / Research article

Подбор сорбента при аварийных разливах нефтепромысловых жидкостей на территории Камбарского нефтяного месторождения

Е.А. Борисова, С.А. Красноперова  

Удмуртский государственный университет, Ижевск, Российская Федерация

 krasnoперова-sve@mail.ru

Аннотация. Освоение и эксплуатация месторождений нефти и газа приводят к существенному преобразованию естественных экосистем из-за значительной антропогенной нагрузки на окружающую среду. Поэтому для предотвращения и уменьшения негативных воздействий на природные объекты должны быть использованы современные технологии и технические средства, наиболее экологически приемлемые для конкретных условий территории, где размещаются проектируемые техногенные сооружения. При планировании соответствующих технологий, направленных на восстановление компонентов природной среды, следует учитывать экономическую оценку наносимых ущербов при предупреждении и ликвидации аварийных разливов нефти. Предложен подбор нового сорбента при аварийных разливах нефтепромысловых жидкостей на территории Камбарского нефтяного месторождения, а также проведение экономических расчетов предотвращенного ущерба.

Ключевые слова: нефть и нефтепродукты, сорбент, ликвидация разливов нефтепродуктов, предотвращенный ущерб, разливы нефти и нефтепромысловых жидкостей

Благодарности и финансирование. Благодарим сотрудников АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова за содействие и помощь в предоставлении необходимых материалов для написания статьи.

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

История статьи: поступила в редакцию 25.04.2022; доработана после рецензирования 26.08.2022; принята к публикации 12.10.2022.

© Борисова Е.А., Красноперова С.А., 2022



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

Для цитирования: Борисова Е.А., Красноперова С.А. Подбор сорбента при аварийных разливах нефтепромысловых жидкостей на территории Камбарского нефтяного месторождения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 561–573. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-561-573>

Selection of sorbent in case emergency spills of oilfield liquids on the territory of the Kambarsky oil field

Elena A. Borisova, Svetlana A. Krasnoperova  

Udmurt State University, Izhevsk, Russian Federation

 krasnoperova-sve@mail.ru

Abstract. During the development and operation of oil and gas fields, all components of the natural environment (atmospheric air, surface and underground waters, relief, soil and vegetation cover, fauna) undergo significant transformation. Therefore, to prevent and reduce negative impacts on these natural objects, modern technologies and technical means should be used that are most environmentally acceptable for the specific conditions of the territory where the projected man-made structures are located. When planning appropriate technologies aimed at restoring the components of the natural environment, one should take into account the economic assessment of the damage caused during the prevention and elimination of emergency oil spills. This article proposes the selection of a new sorbent in case of emergency spills of oil-field fluids on the territory of the Kambarsky oil field, as well as conducting economic calculations of the prevented damage.

Keywords: oil and petroleum products, sorbent, elimination of oil spills, prevented damage, oil spills and oilfield liquids

Acknowledgements and Funding. We thank the employees of the A.A. Volkov's Belkamneft joint-stock company for their assistance and assistance in providing the necessary materials for writing the article.

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

Article history: received 25.04.2022; revised 26.08.2022; accepted 01.10.2022.

For citation: Borisova EA, Krasnoperova SA. Selection of sorbent in case emergency spills of oilfield liquids on the territory of the Kambarsky oil field. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):561–573. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-561-573>

Введение

Основой экономического процветания АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова и главным условием сохранения здоровья и работоспособности работников данной организации, а также населения, проживающего на территории расположения производственных объектов, является экологическая безопасность его функционирования. При осуществлении своей деятельности НГДУ решает проблему в соответствии со стратегической целью предприятия, приоритеты которой представлены на схеме (рис. 1).



Рис. 1. Приоритеты стратегической политики предприятия в области охраны окружающей среды

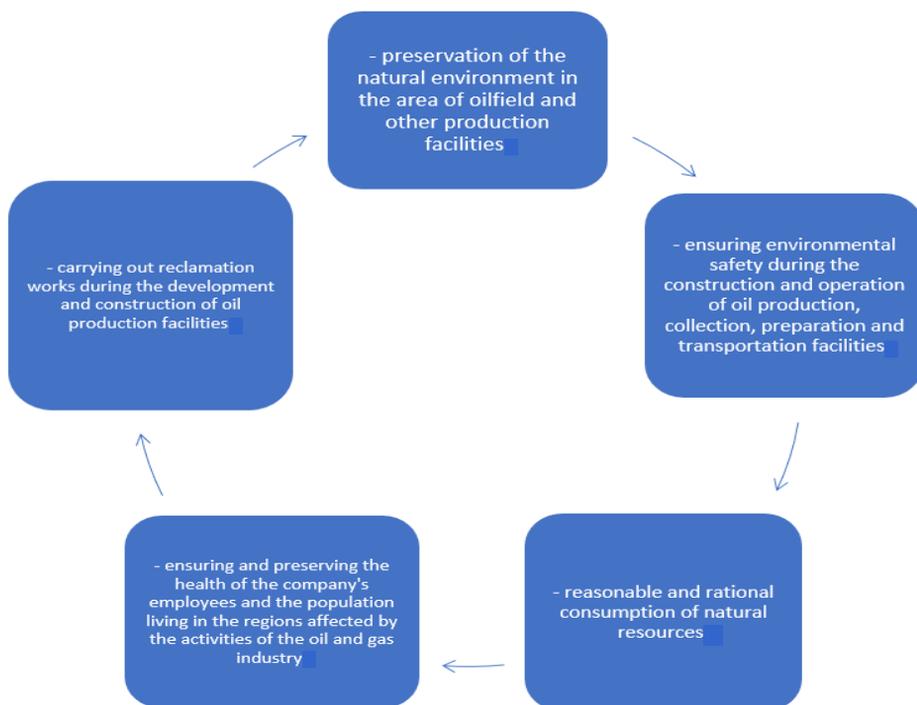


Figure 1. Priorities of the company's strategic policy in the field of environmental protection

В последние десятилетия РФ активизировала политику в области предупреждения и ликвидации последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Это связано с участвовавшими негативными последствиями для объектов окружающей среды со стороны нефтяного загрязнения. Для устранения последнего разработан комплекс мероприятий, направленных на удаление нефти и стоков нефтепродуктов с поверхности воды и почвы – это сорбционный метод [1–5].

Таким образом, цель данного исследования – провести подбор сорбентов для выявления наиболее эффективного.

Материал и методы исследования

Земельные участки Камбарского нефтяного месторождения, подлежащие комплексным мероприятиям по ликвидации разливов нефти и рекультивации, – это прежде всего:

– куст скважин К-1, включая разворотную площадку для автотранспорта и существующую разведочно-эксплуатационную скв. 883Р;

– нефтегазосборный трубопровод на кусте скважин К-1 до точки врезки в существующий нефтепровод «Скв. 883Р Камбарского нефтяного месторождения – УПН «Балаки»».

Под площадки строительства проектируемых объектов предоставлен лесной участок площадью 2,2 га в аренду на период действия лицензии на право пользования недрами сроком до 25.05.2024.

Существующая разведочно-эксплуатационная скв. 883Р располагается на земельном участке площадью 0,36 га, ранее отведенном в долгосрочное пользование сроком до 25.05.2024.

После завершения строительно-монтажных работ рекультивации подлежат земельные участки, отведенные под куст скважин К-1 и нефтегазосборный трубопровод. Площади земельных участков, подлежащих рекультивации на Камбарском нефтяном месторождении, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Площади земельных участков, подлежащие рекультивации

№ п/п	Наименование проектируемого объекта	Всего, га	В том числе на рекультивацию, га		Из них по угодьям, га	
			техническую	биологическую	Лес	Земли, не покрытые лесом
ГУ УР «Камбарский лесхоз»						
1	Куст скважин К-1, включая разворотную площадку для автотранспорта и существующую скв. 883Р	2,487	2,487	0,612	1,560	0,927
2	Нефтегазосборный трубопровод от КЗОО до точки врезки в существующий нефтепровод «Скв. 883Р Камбарского нефтяного месторождения – точка врезки в нефтепровод»; «Скв. 882 Никольского нефтяного месторождения – УПН «Балаки»»	0,073	0,073	0,073	-	0,073
ИТОГО		2,560	2,560	0,685	1,560	1,000
в том числе под существующей скв. 883Р		0,360	0,360	-	-	0,360

Table 1. Areas of land plots subject to reclamation

№ п/п	The name of the projected object	Total, hectare	Including for reclamation, hectare		Of them by land, hectare	
			Technical	Biological	Forest	Lands not covered by forest
GU UR "Kambarisky forestry"						
1	Bush wells K-1, including a turning platform for vehicles and the existing sle. 883R	2,487	2,487	0,612	1,560	0,927
2	Oil and gas collecting pipeline from KZOU to the point of insertion into the existing oil pipeline "Skv. 883R of the Kambarisky oil field – the point of insertion into the oil pipeline"; "Skv. 882 of the Nikolsky oil field – UPN "Balaki"	0,073	0,073	0,073	-	0,073
TOTAL		2,560	2,560	0,685	1,560	1,000
Including under the existing sq. 883R		0,360	0,360	-	-	0,360

Плодородие почв по агрохимическим и агрофизическим показателям после предполагаемого аварийного разлива нефти исследуемого нефтяного месторождения должно быть доведено до уровня не ниже, чем до отвода под строительство.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ свойств сорбентов показал, что наиболее близким к понятию «оптимальный сорбент для разлитой нефти» является ватин, обладающий необходимым набором свойств, в частности олеофильностью и гидрофобностью. Однако этот сорбент как промышленный продукт имеет высокую стоимость, в связи с чем возникает необходимость удешевления процесса сбора нефти. С целью поиска более дешевого и не менее эффективного поглотителя по сравнению с ватином были изучены отходы хлопкоперерабатывающих предприятий и выявлены крупнотоннажные отходы прядильных и ватных производств, которые успешно могут быть использованы для сбора нефти и нефтепродуктов с места их аварийных разливов.

Наибольший интерес представляют отходы прядильных производств («текстильный орешек»), которые имеют вид комочков хлопкового волокна диаметром около 1–3 мм с небольшим содержанием механических примесей растительного происхождения (остатки листьев, стеблей и коробочек хлопчатника). Эти отходы, сбитые в груды, достаточно легко разделяются на отдельные пласты волокнистого материала, которые несложно распределить по поверхности, загрязненной нефтепродуктами [6–8].

Детальные исследования поглощающих свойств сорбента, которому дали название «СИНТАПЭКС», показали, что он не уступает ватину по своим эксплуатационным качествам при сборе нефти (табл. 2), он также хорошо поглощает и другие нефтепродукты: бензин, дизельное топливо, как в чистом виде, так и в слоях различной толщины с поверхности воды. Следует отметить, что во время процесса сорбции бензина одновременно наблюдается и значительное его испарение, в связи с чем данные по сорбции бензина следует считать заниженными.

Важной эксплуатационной характеристикой сорбента «СИНТАПЭКС» является очень низкая величина водопоглощения. При контакте с чистой водой сорбент плавает на его поверхности, при этом водопоглощение составляет всего 0,3 г/г; при контакте со слоем нефтепродукта, разлитого по поверхности воды, водопоглощение не превышает 0,5 г/г при сорбции дизельного топлива, а при сорбции нефти и бензина водопоглощение снижается до нуля.

Таблица 2. Водо- и нефтепоглощение ватина, синтепона и их комбинации

Параметры	Ватин	Синтепон	Ватин – синтепон – ватин
Масса образца, г	1,67	0,67	4,01
Водопоглощение после контакта 1 ч, г/г	0,50	42–52	–
Отжим воды, г/г	0,30	36–46	–
Нефтепоглощение после контакта 1 ч, г/г	24–27	46	17,5
Остаточная нефтеемкость после ее отжима, г/г	3,5	2,4	2,37
Степень регенерации нефти, %	87	94	86
Время пропитки нефтью, с	2–3	2–3	2–3

Table 2. Water and oil absorption of batting, sintepon and their combinations

Parameters	Batting	Sintepon	Batting – sintepon – batting
Sample weight, g	1,67	0,67	4,01
Water absorption after contact 1 hour, g/g	0,50	42–52	–
Water extraction, g/g	0,30	36–46	–
Oil absorption after contact 1 hour, g/g	24–27	46	17,5
Residual oil capacity after its extraction, g/g	3,5	2,4	2,37
Degree of oil regeneration, %	87	94	86
Oil impregnation time, sec.	2–3	2–3	2–3

Благодаря низкой плотности сорбента ($0,04 \text{ г/см}^3$) его расход для сбора разлитых нефтепродуктов очень низок и, в зависимости от мощности разлива, составляет около 0,1–0,5 кг сорбента на 1 кг продукта.

В силу легкой деформируемости пластин текстильного орешка, пропитанного нефтью и нефтепродуктами, не представляет труда отжим значительной части собранного продукта на простейших валковых устройствах, что позволяет утилизировать до 75 % собранной нефти и до 83 % собранного дизельного топлива (последнее отжимается в большей степени в силу меньшей по сравнению с нефтью вязкости). Отработанный сорбент сжигается с остаточной зольностью 3 %.

Причиной высокой гидрофобности сорбента является наличие на поверхности хлопкового волокна жироподобных веществ, препятствующих в природных условиях затоплению парашютирующих семян хлопчатника при попадании их на поверхность воды, как у иных аналогично размножающихся растений. В табл. 3 представлены гидрофобные характеристики сорбента «СИНТАПЭКС», где отмечено, что он даже после десяти суток контакта с водой сохранял свою агрегативную устойчивость и не тонул сразу через несколько минут по сравнению с другими сорбентами.

Для повышения уровня гидрофобности сорбента было предложено обрабатывать нижнюю поверхность пласта отхода прядильного производства машинным маслом, например трансформаторным или веретенным, что снижало величину водопоглощения на 20–50 %. Так, например, при

обработке машинным маслом в количестве 0,195 г масла на 1 г сорбента водопоглощение составило 0,2 г/г, тогда как исходный отход имел величину водопоглощения 0,24–0,3 г/г.

Испытания сорбента «СИНТАПЭК» по сбору слоя нефти с поверхности снега, льда и водоледяной шуги показали, что сорбент сохраняет высокие эксплуатационные характеристики и при низких температурах системы (минус 1 °С).

Таблица 3. Гидрофобные характеристики сорбента «СИНТАПЭК»

Время контакта с водой, сут	Влагопоглощение г/г сорбента	Примечание
0,15	0,14	При контакте в течение 1–6 сут увлажняется только подошвенный слой сорбента толщиной 0,2–0,3 см
0,25	0,13	
1,0	0,16	
3,0	0,17	При контакте в течении 10 сут увлажнение слоем сорбента происходит на глубину 0,6–0,8 см
6,0	0,26	
10,0	0,32	

Table 3. Hydrophobic characteristics of the SYNTAPEX sorbent

Time of contact with water, day	Moisture absorption g/g of sorbent	Note
0,15	0,14	Upon contact within 1–6 days. Only the plantar layer of the sorbent with a thickness of 0.2–0.3 cm is moistened
0,25	0,13	
1,0	0,16	
3,0	0,17	Upon contact within 10 days. humidification with a sorbent layer occurs to a depth of 0.6–0.8 cm
6,0	0,26	
10,0	0,32	

Сопоставление трех близких по текстуре сорбентов: ватина, «СИНТАПЭКСА» и отхода ватного производства – показало, что на величину предельного нефтепоглощения хлопкосодержащего сорбента влияет, в первую очередь, количество имеющихся в последнем растительных отходов мусора, состоящего из стеблей и листьев хлопчатника. При этом выявлена обратно пропорциональная зависимость между содержанием мусора и величиной нефтепоглощения. Также отмечено, что в условиях очистки водной поверхности от относительно тонкого слоя нефти (1–3 мм), когда в системе наблюдается избыточное количество поглотителя, оба вида сорбента имеют близкие характеристики.

При сборе нефти с поверхности почвы формируются пласты с уклоном 8–9 градусов, имитирующим неровности исследуемых почв (черноземная, песчаная). Результаты показали, что сорбент «СИНТАПЭК» способен эффективно собирать остаточную нефть, не впитавшуюся в грунт (табл. 4).

Исходя из данных табл. 4 видно, что достигнута величина нефтепоглощения сорбента на уровне 11–12 г/г (следует отметить, что эта величина ниже потенциальной поглощающей способности сорбента, так как пласт сорбента не был полностью пропитан нефтью); более 60% собранной нефти можно утилизировать, отжимая нефть из пласта сорбента. При сборе нефти после имитации повторного разлива, когда нефть попадала на уже пропитанный продуктом грунт, эффективность нефтесбора повысилась до 13 г/г при уровне утилизации нефти более 75 %.

Таблица 4. Сбор нефти с поверхности грунта сорбентом «СИНТАПЭКС»

Показатели	Почвенная система	
	Черноземная	Песчаная
Первичное загрязнение почвы нефтью		
Удельная мощность разлива, л нефти/м ² почвы	7,52	9,05
Уровень разлива:		
– минимальный, мм	0	0
– максимальный, мм	10	12
– средний (расчетный), мм	7,52	9,05
Удельный расход сорбента, г/г нефти	0,067	0,061
Время контакта, ч	2	2
Нефтепоглощение сорбента, г/г	11,9	6,9
Степень очистки загрязнения, %	80,5	41,8
Степень утилизации нефти (%) от:		
– собранной нефти	64,0	48,3
– разлитой нефти	51,6	20,1
Состояние почвы через час после контакта с нефтью:		
– диапазон уровней пропитки нефтью, мм	0–30	0–70
– средний уровень пропитки нефтью, мм	15	35
Средняя пропитка почвы нефтью, г/(см ² см)	0,081	0,114
Повторное загрязнение почвы нефтью		
Удельная мощность разлива, л нефти/м ² почвы	11,50	12,35
Удельный расход сорбента, г/г нефти	0,044	0,045
Время контакта, ч	1,5	1,5
Нефтепоглощение сорбента, г/г	13,05	13,13
Степень очистки загрязнения, %	78,2	77
Степень утилизации нефти (%) от:		
– собранной нефти	76,4	77,0
– разлитой нефти	55,5	59,0

Table 4. Collection of oil from the ground surface by the "SYNTAPEX" sorbent

Indicators	Soil system	
	Chernozem	Sandy
Primary oil pollution of the soil		
Specific oil spill capacity/m ² of soil	7,52	9,05
Spill level:		
- minimum, mm	0	0
- maximum, mm	10	12
- average (calculated), mm	7,52	9,05
Specific consumption of sorbent, g/g of oil	0,067	0,061
Contact time, hour	2	2
Oil absorption of sorbent, g/g	11,9	6,9
Degree of pollution purification, %	80,5	41,8
Oil utilization rate (%) of:		
- collected oil	64,0	48,3
- spilled oil	51,6	20,1
Soil condition an hour after contact with oil:		
- range of oil impregnation levels, mm	0–30	0–70
- average oil impregnation level, mm	15	35
Average soil impregnation with oil, g/(cm ² cm)	0,081	0,114
Repeated contamination of the soil with oil		
Specific oil spill capacity/m ² of soil	11,50	12,35
Specific consumption of sorbent, g/g of oil	0,044	0,045
Contact time, hour	1,5	1,5
Oil absorption of sorbent, g/g	13,05	13,13
Degree of pollution purification, %	78,2	77
Oil utilization rate (%) of		
- collected oil	76,4	77,0
- spilled oil	55,5	59,0

Одним из путей повышения экономичности нефтесбора может стать использование комбинированного трехслойного сорбента, когда внешние слои выполнены из гидрофобного сорбента «СИНТАПЭКС», а внутренний слой – из дешевого гидрофильного растительного отхода сельского хозяйства в виде сечки соломы или камыша, опилок, при этом слой сорбента «СИНТАПЭКС» предохраняет растительный отход от попадания на него воды при сборе нефтепродукта с ее поверхности. Эффективность нефтепоглощения указанного комбинированного сорбента по сравнению с другими достаточно высокая, при этом наблюдается положительный синергетический эффект.

В целом при сборе нефти с поверхности почвы для сорбента «СИНТАПЭКС» характерны более высокие эксплуатационные качества по сравнению с преобладающим большинством исследованных сорбентов, у которых величина нефтепоглощения практически стабилизируется при толщине слоя нефти 1,5–2 мм. Нефтепоглощение сорбента «СИНТАПЭКС» интенсивно продолжает расти с увеличением толщины слоя нефти, при этом расход сорбента в 2–3 раза меньше, чем расход большинства нефтяных плотителей.

Сопоставление всего информационного массива по потенциальным возможностям различных сорбентов нефти показывает, что высокоселективный сорбент «СИНТАПЭКС» по величине нефтепоглощения уступает только селективной карбамидоформальдегидной смоле, а также неселективному поролону и синтепону и приближен по сорбционным характеристикам к ватину. Остальные изученные сорбенты, в том числе и те, которые уже применяются для сбора нефти, существенно уступают сорбенту «СИНТАПЭКС» по всем параметрам; стоимость сбора разлитой нефти сорбентом «СИНТАПЭКС» составляет всего 0,082 долл. США/кг.

На рис. 2 приведены данные по ряду исследованных сорбентов. Эти данные подтверждают, что сорбент «СИНТАПЭКС» как по эксплуатационным характеристикам, так и по стоимости более конкурентоспособен по отношению к другим широко используемым сорбентам для сбора нефти с места ее аварийного разлива.

В данной работе выполнена комплексная оценка эксплуатационных свойств различных сорбентов. Одним из наиболее адекватных подходов к решению таких задач является нечеткое множество, позволяющее наилучшим образом структурировать анализируемые системы, не имеющие четких границ. С этой целью в теории множеств рассматриваются функции принадлежности, которые характеризуют степень близости данного рассматриваемого элемента системы к заданному множеству. Функция принадлежности формировалась на основе ранжирования исходных информационных массивов свойств сорбентов по четырем критериям [9]:

- 1) μ_1 – ранжировка нефтепоглощения;
- 2) μ_2 – ранжировка водопоглощения;
- 3) μ_3 – ранжировка числа циклов работы;
- 4) μ_4 – ранжировка стоимости сорбента.

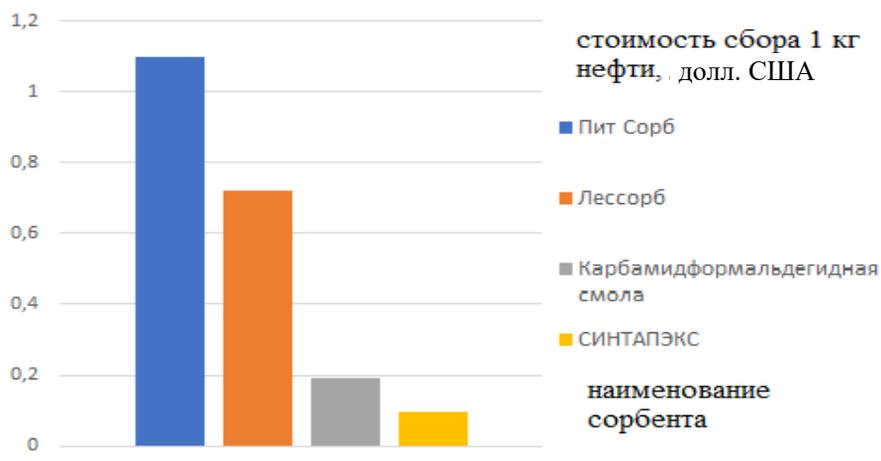


Рис. 2. Стоимость сбора разлитой нефти различными поглотителями

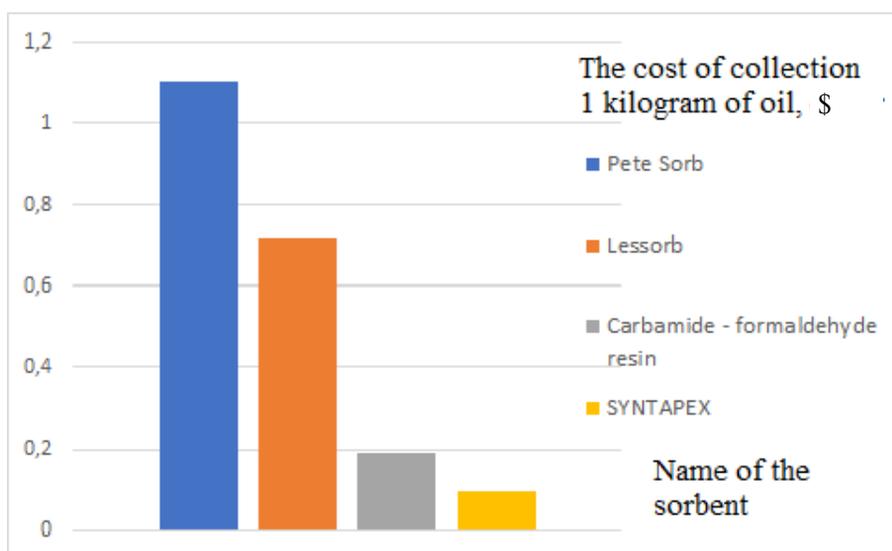


Figure 2. The cost of collecting spilled oil by various sinks

Таблица 5. Техническая характеристика сорбентов и результаты их лабораторных испытаний

Характеристика	Пит Сорб	Лессорб	СИНТАПЭКС
	ТХР*	ТХР	ТХР
Основа сорбента	Торф	Торф	Хлопок
Форма сорбента	Крошка	Крошка	Волокна
Плотность, г/см ³	–	–	0,04
Нефтепоглощение, г/г	6–7	12–15	24,45
Осадок в воде после 3 ч отстоя, %	–	–	нет
Водопоглощение, г/г	г/ф**	г/ф	0,20
Способ утилизации сорбента	Сжигание	Сжигание	Сжигание
Стоимость 1 кг сорбента, долл. США	7	7	2
Упаковка	Тара	Тара	Кипа
Разработчик	Канада	Брянск	Уфа

Примечания: ТХР* – технические характеристики разработчиков и изготовление сорбента;
г/ф** – гидрофобный сорбент

Table 5. Technical characteristics of sorbents and the results of their laboratory tests

Characteristic	Pit Sorb	Lessorb	SYNTAPEX
	TXP*	TXP	TXP
The basis of the sorbent	Peat	Peat	Cotton
Sorbent form	Canopy	Canopy	Fibers
Density, g/cm ³	–	–	0.04
Oil absorption, g/g	6–7	12–15	24.45
Sediment in water after 3 hours of sediment, %	–	–	No
Water absorption, g/g	G / F**	г/ф	0,20
Method of sorbent utilization	Burning	Burning	Burning
The cost of 1 kg of sorbent, \$	7	7	2
Packaging	Tara	Tara	Boiling
Developer	Canada	Bryansk	Ufa

Notes: TXP* - technical characteristics of the developers and manufacture of the sorbent;
g/f** - hydrophobic sorbent

Из-за большого разброса цен стоимость сорбентов была ранжирована по четырем классам. К первому классу относили материалы, стоимость которых превышала 150 тыс. рублей за тонну, четвертый класс представлял собой менее 30 тыс. рублей за тонну.

Функция принадлежности по каждому из i критериев для каждого из j сорбентов μ_{ij} рассчитывалась как

$$\mu_{ij} = (n - k)/n, \quad (1)$$

где n – общее количество рассмотренных сорбентов; k – порядковый номер j -го сорбента при упорядочении информационного массива по каждому из i критериев.

Для анализа было отобрано 7 сорбентов. В качестве обобщенного критерия оценки эксплуатационных свойств сорбентов использована свертка функций принадлежности. Результаты расчетов приведены в табл. 6.

Таблица 6. Обобщенная характеристика свойств сорбентов

Сорбент	Нефтепоглощение, г/г		Водопоглощение, г/г		Число циклов		Стоимость сорбента		Свертка
	значение	μ_1	значение	μ_2	значение	μ_3	класс	μ_4	
Ватин	24	0,765	0,5	0,824	300	0,900	2	0,267	0,624
Лессорб – Э	12,1	0,471	6,9	0,235	1	0,267	3	0,567	0,360
Пенопласт	9,26	0,353	4,45	0,412	1	0,267	2	0,267	0,319
Пит Сорб	6,19	0,176	0,71	0,706	1	0,267	1	0,167	0,273
Поролон	14,5	0,529	1,3	0,588	300	0,900	2	0,267	0,523
СИНТАПЭКС	25	0,882	0,2	1,000	300	0,900	4	0,900	0,919
Торф	17,7	0,588	24,3	0,118	1	0,267	4	0,900	0,359

Table 6. Generalized characteristics of sorbent properties

Сорбент	Oil absorption, g/g		Water absorption, g/g		Number of cycles		The cost of the sorbent		Convolution
	meaning	μ_1	meaning	μ_2	meaning	μ_3	class	μ_4	
Batting	24	0.765	0.5	0.824	300	0.900	2	0.267	0.624
Lessorb – E	12.1	0.471	6.9	0.235	1	0.267	3	0.567	0.360
Styrofoam	9.26	0.353	4.45	0.412	1	0.267	2	0.267	0.319
Pete Sorb	6.19	0.176	0.71	0.706	1	0.267	1	0.167	0.273
Foam rubber	14.5	0.529	1.3	0.588	300	0.900	2	0.267	0.523
SYNTAPEX	25	0.882	0.2	1.000	300	0.900	4	0.900	0.919
Peat	17.7	0.588	24.3	0.118	1	0.267	4	0.900	0.359

Заключение

Таким образом, из изученных сорбентов свертка функций принадлежности является лучшей для сорбента «СИНТАПЭКС», составляя максимальную величину 0,919, ближайший сорбент по величине данной функции – это ватин, который имеет свертку 0,624, сорбенты типа «Лесорб» и «Пит Сорб» имеют величину свертки лишь на уровне 0,27–0,36, уступая сорбенту «СИНТАПЭКС» в три раза.

Список литературы

- [1] Хаустов А.П., Редина М.М. Охрана окружающей среды при добыче нефти. М.: Дело, 2006. 552 с.
- [2] Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 268 с.
- [3] Набаткин А.Н., Хлебников В.Н. Применение сорбентов для ликвидации нефтяных разливов // Нефтяное хозяйство. 2000. № 11. С. 61.
- [4] Сорбционный метод ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Н.А. Самойлов, Р.Н. Хлесткин, А.В. Шеметов, А.А. Шаммазов. М.: Химия, 2001. 189 с.
- [5] Нефтеёмкость сорбента: проблема выбора методики определения / Л.А. Лим, В.А. Реутов, А.А. Руденко, А.С. Чудовский // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 144–150. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36896> (дата обращения: 24.10.2021).
- [6] Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Кутукова К.Н., Макарова Ю.А. Использование отходов производства в качестве сорбентов нефтепродуктов // Экология и промышленность России. 2009. Январь. С. 36–38.
- [7] Красноперова С. А. Применение отходов растительных остатков для очистки нефтезагрязненных почв // Городская среда: экологические и социальные аспекты: сборник статей науч.-практ. конф., 19.04.2017. Ижевск: Удмуртский университет, 2017. С. 280–282.
- [8] Горожанкина Г.И., Пинчукова Л.И. Сорбенты для сбора нефти: сравнительные характеристики и особенности применения // Трубопроводный транспорт нефти. 2000. № 4. С. 12–17.
- [9] Темирханов Б.А., Темердацев З.А., Елецкий Б.Д., Шпигун О.А. Оценка эффективности использования некоторых сорбентов при очистке поверхностных вод от нефти и нефтепродуктов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2005. № 5. С. 22–23.

References

- [1] Khaustov AP, Redina MM. *Environmental protection in oil production*. Moscow: Delo Publ.; 2006 (In Russ.).
- [2] Kamenshchikov FA, Bogomol'nyi EI. *Oil sorbents*. Moscow; Izhevsk: Institute of Computer Research Publ., 2003. (In Russ.).
- [3] Nabatkin AN, Khlebnikov VN. The use of sorbents for the elimination of oil spills. *Oil industry*. 2000;(11):61. (In Russ.).
- [4] Samoilov NA, Khlestkin RN, Shemetov AV, Shammazov AA. *Sorption method of liquidation of emergency oil and petroleum product spills*. Moscow: Chemistry Publ.; 2001. (In Russ.).

- [5] Lim LA, Reutov VA, Rudenko AA, Chudovskii AS. Oil capacity of the sorbent: the problem of choosing a method of determination. *Successes of modern natural science*. 2018;(10):144–150. Available at: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36896> (accessed: 24.10.2021). (In Russ.).
- [6] Sobgaida NA, Ol'shanskaya LN, Kutukova KN, Makarova YuA. The use of industrial waste as sorbents of petroleum products. *Ecology and industry of Russia*. 2009:36–38. (In Russ.).
- [7] Krasnoperova SA. The use of waste plant residues for cleaning oil-contaminated soils. *Urban environment: ecological and social aspects: collection of articles of scientific and practical conference*, 19.04.2017. Izhevsk: Udmurt University Publ.; 2017. (In Russ.).
- [8] Gorozhankina GI, Pinchukova LI. Sorbents for oil collection: comparative characteristics and application features. *Pipeline transportation of oil*. 2000;(4):12–17. (In Russ.).
- [9] Temirkhanov BA, Temerdashchev ZA, Elets'kii BD, Shpigun OA. Evaluation of the effectiveness of the use of certain sorbents in the purification of surface waters from oil and petroleum products. *Environmental protection in the oil and gas complex*. 2005;(5):22–23. (In Russ.).

Сведения об авторах:

Борисова Елена Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры инженерной защиты окружающей среды Удмуртского государственного университета, Российская Федерация, 426000, Ижевск, Университетская ул., д. 1. E-mail: e_borisova75@mail.ru
Красноперова Светлана Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры геологии нефти и газа Удмуртского государственного университета, Российская Федерация, 426000, Ижевск, Университетская ул., д. 1. ORCID: 0000-0003-4818-6302, eLIBRARY SPIN-код: 4680-9236. E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru

Bio notes:

Elena A. Borisova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Environmental Engineering of the Udmurt State University, 1 Universitetskaya St, Izhevsk, 426000, Russian Federation. E-mail: e_borisova75@mail.ru

Svetlana A. Krasnoperova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Geology of the Udmurt State University, 1 Universitetskaya St, Izhevsk, 426000, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4818-6302, eLIBRARY SPIN-code: 4680-9236. E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-574-583

УДК 504.06

Научная статья / Research article

Сравнительный анализ избирательности флуоресцентных методов для экологического мониторинга экотоксикантов

О.А. Плотникова  , Е.И. Тихомирова , Г.В. Мельников 

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
г. Саратов, Российская Федерация*

 plotnikovaoa@sstu.ru

Аннотация. Проведен сравнительный анализ избирательности классического и синхронного флуоресцентных методов определения экотоксикантов полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Применялось сорбционное концентрирование ПАУ из водномицеллярных растворов цетилтриметиламмония бромида и регистрация спектров на вязкой матрице. В случае сложных проб окружающей среды область применения флуориметрического анализа может быть расширена с помощью регистрации синхронных спектров флуоресценции, получаемых при одновременном сканировании длин волн возбуждения и испускания с постоянным сдвигом: $\lambda_{\text{исп}} - \lambda_{\text{возб}} = \Delta\lambda = \text{const}$. Экспериментально проведена оценка состава смеси ПАУ (фенантрен, антрацен, флуорен, пирен) методами классической флуоресценции с селективным возбуждением и синхронной флуоресценции. Сделан вывод о том, что применение синхронных спектров позволяет улучшить избирательность флуоресцентного анализа ПАУ в смеси. Данные методы могут быть успешно применены для идентификации отдельных ПАУ при экологическом мониторинге экотоксикантов в водных объектах окружающей среды.

Ключевые слова: флуоресцентный анализ, синхронное сканирование, полициклические ароматические углеводороды

Вклад авторов: *О.А. Плотникова* – концепция и разработка исследования, регистрация спектров, анализ полученных результатов, написание текста; *Е.И. Тихомирова* – концепция и постановка задачи исследования, систематизация материала; *Г.В. Мельников* – анализ и интерпретация данных, коррекция содержания статьи.

История статьи: поступила в редакцию 15.08.2022; доработана после рецензирования 06.09.2022; принята к публикации 10.10.2022.

Для цитирования: Плотникова О.А., Тихомирова Е.И., Мельников Г.В. Сравнительный анализ избирательности флуоресцентных методов для экологического мониторинга экотоксикантов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 574–583. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-574-583>

Comparative analysis of fluorescent methods selectivity for ecotoxicants environmental monitoring

Olga A. Plotnikova  , Elena I. Tikhomirova , Gennadyi V. Melnikov 

Yuri Gagarin Saratov State Technical University, Saratov, Russian Federation

 plotnikovaoa@sstu.ru

Abstract. A comparative analysis of classical and synchronous fluorescent methods selectivity for ecotoxicants determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) was carried out. PAHs sorption preconcentration from aqueous cetyltrimethylammonium bromide micellar solutions and spectra recording on a viscose matrix were used. In the case of complex environmental samples, the scope of fluorimetric analysis can be expanded by registering synchronous fluorescence spectra obtained by simultaneously scanning the excitation and emission wavelengths with a constant shift: $\lambda_{em} - \lambda_{ex} = \Delta\lambda = \text{const}$. The composition of PAHs mixture (phenanthrene, anthracene, fluorene, pyrene) was experimentally evaluated by classical fluorescence with selective excitation and synchronous fluorescence. It was concluded that the use of synchronous spectra makes it possible to improve the selectivity of the PAHs fluorescence analysis in a mixture. These methods can be successfully applied to identify individual PAHs in monitoring of environment water bodies.

Keywords: fluorescence analysis, simultaneous scanning, polycyclic aromatic hydrocarbons

Authors' contributions: *O.A. Plotnikova* – concept and development of the study, spectra registration, analysis of the obtained results, writing the text; *E.I. Tikhomirova* – concept and research problem statement, systematization of the material; *G.V. Melnikov* – analysis and interpretation of data, correction of the article content.

Article history: received 15.08.2022; revised 06.09.2022; accepted 10.10.2022.

For citation: Plotnikova OA, Tikhomirova EI, Melnikov GV. Comparative analysis of fluorescent methods selectivity for ecotoxicants environmental monitoring. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):574–583. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-574-583>

Введение

Экотоксиканты – полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) включены Стокгольмской конвенцией (2001 г.) в ряд стойких органических загрязнителей. Поскольку ПАУ обладают сильной канцерогенной, мутагенной и тератогенной активностью [1], они наносят большой ущерб здоровью человека и животных даже при «следовых» концентрациях в окружающей среде. Для эффективного контроля ПАУ крайне важным является выбор подходящих методов их обнаружения. Широко распространены

хроматографические методы анализа ПАУ. Однако они обладают рядом недостатков: необходимостью дорогостоящего аппаратного оснащения, длительностью и сложностью пробоподготовки и анализа. В связи с этим для обеспечения растущих потребностей экоаналитического контроля актуальными являются разработка и усовершенствование существующих методов анализа ПАУ.

Определенными преимуществами для определения ПАУ обладают люминесцентные, в частности флуоресцентные методы, поскольку отличительной чертой молекул ПАУ является их способность к поглощению и флуоресценции под действием УФ-излучения. Данные методы находят все большее применение в экологическом мониторинге окружающей среды. Однако обычные классические флуориметрические методы характеризуются ограниченной избирательностью (селективностью). При анализе сложных природных смесей перекрытие широких полос флуоресценции ПАУ при комнатной температуре обычно мешает процессу идентификации отдельных компонентов [2]. В случае сложных проб окружающей среды область применения флуориметрического анализа может быть расширена с помощью синхронной флуоресцентной спектроскопии [3; 4].

Концепция применения для анализа веществ синхронных спектров, получаемых при одновременном сканировании длин волн возбуждения и испускания с постоянным сдвигом: $\lambda_{\text{исп}} - \lambda_{\text{возб}} = \Delta\lambda = \text{const}$, впервые была предложена Ллойдом в 1971 г. [5]. Была сформулирована методология и приведены конкретные примеры применения данного метода для определения ПАУ в многокомпонентном анализе [4]. В обзорах [6; 7] подробно описаны принципы и возможности применения синхронной спектроскопии. В работе [8] методом синхронной флуоресценции с постоянным сдвигом длин волн определялись бензо[а]пирен, бензо[б]флуорантен и бензо[к]флуорантен в смеси 16 ПАУ. Анализ смеси ПАУ методом синхронной флуоресценции в мицеллярной фазе различных неионных поверхностно-активных веществ (ПАВ) представлен в работе [9]. Об одновременном определении методом синхронной флуоресценции различных бинарных и тройных смесей ПАУ в морской воде с использованием мицеллярных сред, содержащих различные ПАВ, сообщается в работе [10]. Комбинация методов спектроскопии Шпольского и синхронной спектроскопии широко применяется при определении ПАУ в природных и техногенных средах [11].

Основное отличие синхронных спектров от обычных классических заключается в том, что они регистрируются при сканировании спектров возбуждения и испускания с постоянным сдвигом длин волн $\Delta\lambda$. В ряде случаев можно получить одиночный достаточно узкий пик, характерный для конкретного вещества. Такие пики регистрируются в том диапазоне длин волн, где происходит перекрытие спектров поглощения и флуоресценции. Причем оптимальные параметры ширины и интенсивности такого пика характерны для случая перекрытия максимумов соответствующих спектров. Выявлено,

что интенсивность пика при синхронном сканировании спектра зависит от концентрации люминесцирующего вещества и дает возможность его количественного определения. Особенно перспективен данный метод для анализа многокомпонентного состава люминофоров с перекрывающимися классическими спектрами флуоресценции, поскольку позволяет добиться хорошего разрешения сигналов и, следовательно, дает возможность идентифицировать отдельные компоненты смеси.

В результате техники синхронного сканирования не только упрощаются спектры сложных молекул, но и устраняется мешающее влияние релеевского рассеяния растворителя и в значительной степени (при соответствующем выборе $\Delta \lambda$) уменьшается проявление комбинационного рассеяния растворителя, что приводит к снижению фона и, соответственно, снижению предела обнаружения.

Данный метод успешно применялся для идентификации ПАУ во взвешенных частицах городского воздуха [2; 12]. В [13] описано применение синхронной флуоресцентной спектроскопии для быстрого количественного определения ПАУ в почвенных экстрактах и других твердых образцах. Пробы воды из различных источников исследуются на содержание ПАУ данным методом в [14; 15].

Целью работы является сравнительная оценка применения классического и синхронного флуоресцентных методов для анализа смеси ПАУ.

Материалы и методы

В работе применялись препараты ПАУ (пирен, антрацен, фенантрен, флуорен) фирмы Sigma (США). Исходные растворы ПАУ готовились по точным навескам и хранились в стеклянных пробирках с притертыми пробками в темном месте во избежание фотохимического разрушения соединений. В качестве растворителя использовались водно-мицеллярные растворы (ВМР) катионного ПАВ – цетилтриметиламмония бромида (ЦТАБ) марки «ч.д.а.» фирмы Sigma. Растворение ПАУ в растворах проводилось при помощи ультразвуковой ванны «ПСБ-4035-05» (ЗАО «ПСБ-Галс», Россия) и контролировалось по спектрам поглощения на двухлучевом сканирующем УФ-ВИД спектрофотометре ПромЭкоЛаб ПЭ-6100УФ (Россия).

В рабочих растворах концентрация ЦТАБ соответствовала критической концентрации мицеллообразования (ККМ) – $9,5 \cdot 10^{-4}$ М. Концентрация ПАУ в ВМР составляла 10^{-7} М.

Для сорбционного концентрирования и люминесцентных исследований применялась фильтровальная нетканая гидрофобная матрица на основе вискозы («Ленфильтр», г. Санкт-Петербург). Сорбцию ПАУ на матрицу проводили в динамическом режиме в сорбционной колонке. Затем сорбент сушили 10 мин при температуре 60 °С.

Флуоресценция ПАУ в растворах и на матрицах регистрировалась на спектрофлуориметре «Флуорат-02-Панорама» (Россия). Для измерения

люминесценции растворов использовали стандартные кварцевые кюветы с длиной оптического пути 1 см. Спектры флуоресценции на матрице получены с использованием специального держателя для твердых образцов. В обоих случаях использовалось фронтальное возбуждение флуоресценции образцов. Во всех экспериментальных исследованиях обязательно регистрировались фоновые сигналы матрицы, которые учитывались при построении спектров.

Результаты и обсуждение

В литературных источниках обсуждаются возможности применения метода синхронной спектрофлуориметрии на твердых матрицах [13; 14; 16; 17]. Сорбционное концентрирование на матрицах позволяет значительно усилить сигнал флуоресценции ПАУ [18], что также справедливо и для синхронных спектров. Подобные эксперименты по синхронному сканированию с постоянным сдвигом длин волн возбуждения и испускания были выполнены нами при использовании сорбционного концентрирования ПАУ из ВМР ЦТАБ и регистрации спектров на вязкой матрице. Следует отметить, что спектры синхронной флуоресценции изученных ПАУ на твердой вязкой матрице соответствуют аналогичным спектрам, полученным при исследовании растворов ПАУ.

Упрощенный характер синхронных спектров сложных молекул является основой для простого и быстрого анализа как отдельных веществ, так и селективного метода определения индивидуальных компонентов в их смеси. Для подтверждения этого утверждения экспериментально были получены классические и синхронные спектры флуоресценции ряда растворов отдельных ПАУ и их смеси. В табл. 1 сведены длины волн максимумов в спектрах возбуждения и флуоресценции ПАУ.

Таблица 1. Спектральные характеристики ПАУ / Table 1. Spectral characteristics of PAHs

ПАУ / PAHs	$\lambda_{\text{всб}} / \lambda_{\text{вк}}$	$\lambda_{\text{фл}} / \lambda_{\text{п}}$
Фенантрен / phenanthrene	250	365
Антрацен / anthracene	250	402
Флуорен / fluorene	204	305
Пирен / pyrene	334	373

Были получены синхронные спектры флуоресценции изученных ПАУ: фенантрена, антрацена, флуорена и пирена в диапазоне $\Delta\lambda$ от 5 до 160 нм с шагом 5 нм в интервале от 5 до 100 нм, а также с шагом 5 и 10 нм в интервале от 100 до 160 нм. Для пирена синхронные спектры представлены на рис. 1. Так как дополнительным фактором селективности может быть параметр $\Delta\lambda$, для каждого из изученных ПАУ экспериментально подбираются такие значения $\Delta\lambda$, при которых наблюдаются наиболее интенсивные и узкие пики.

Изучив предварительно особенности и характеристики синхронных спектров отдельных ПАУ, подобрав для них значения $\Delta\lambda$ и зарегистрировав положение пиков, возможно выявить характерные интенсивные пики данных

компонентов уже в их смеси. При этом при одинаковом значении $\Delta\lambda$ выявляются хорошо разрешенные пики разных компонентов.

Для подтверждения данного предположения было проведено сравнительное исследование спектров твердофазной флуоресценции многокомпонентной модельной смеси ПАУ (фенантрен, антрацен, флуорен, пирен), при концентрации компонентов в диапазоне 10^{-8} М. Регистрировались спектры классической флуоресценции, полученные при длинах волн возбуждения, характерных для представителей данной смеси, а также синхронные спектры, с выделением наиболее интенсивных и характерных для индивидуальных ПАУ пиков.

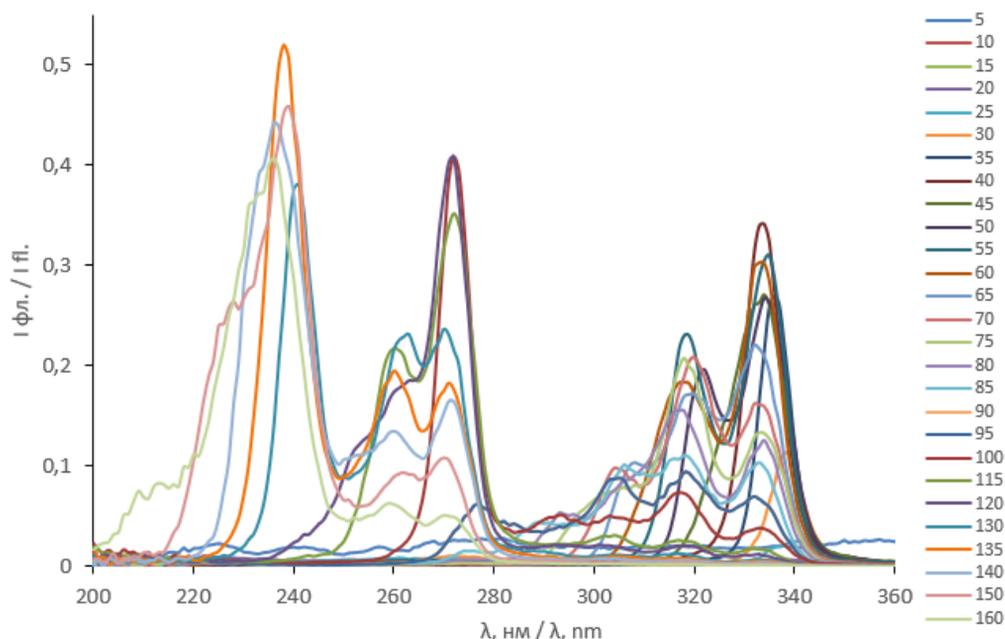


Рис. 1. Синхронные спектры флуоресценции пирена в диапазоне $\Delta\lambda$ от 5 до 160 нм / Figure 1. Synchronous fluorescence spectra of pyrene in the $\Delta\lambda$ range from 5 to 160 nm

Первоначально для идентификации отдельных ПАУ в смеси применялось селективное возбуждение флуоресценции соответствующими длинами волн возбуждения ПАУ (см. табл. 1). При $\lambda_{\text{возб}} = 250$ нм (рис. 2а), характерной для флуоресценции фенантрена и антрацена, наблюдается серия пиков, в которых можно различить спектры данных ПАУ. При этом максимумы интенсивности флуоресценции, наблюдаемые при 348, 365, 382 нм, свидетельствуют о присутствии в смеси фенантрена; 380, 402, 423 нм – антрацена. Однако спектры перекрываются, что осложняет достоверную идентификацию отдельных ПАУ.

На рис. 2б представлены спектры флуоресценции той же смеси ПАУ, но при $\lambda_{\text{возб}} = 334$ нм, характерной для возбуждения флуоресценции пирена. На спектре отчетливо можно выделить спектр флуоресценции пирена

с максимумами при длинах волн 373 и 391 нм. Можно заключить, что избирательной идентификации пирена в данной смеси не мешает присутствие других изученных представителей этой группы соединений.

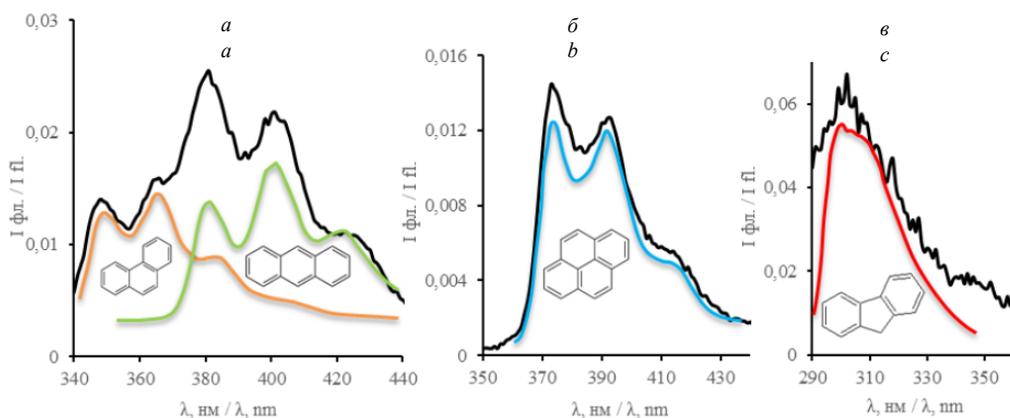


Рис. 2. Спектры флуоресценции смеси ПАУ при различных длинах волн фотовозбуждения: 250 нм (а), 334 нм (б) 204 нм (в) /
Figure 2. Fluorescence spectra of PAHs mixture at different photoexcitation wavelengths: 250 nm (a), 334 nm (b) 204 nm (c)

При $\lambda_{\text{возб}} = 204$ нм (рис. 2в) получен следующий спектр данной смеси ПАУ. На спектре наблюдается пик при 305 нм, характерный для молекул флуорена.

Таким образом, подбирая соответствующую длину волны возбуждения, можно селективно возбуждать флуоресценцию отдельных компонентов смеси ПАУ. Однако следует заметить, что в некоторых диапазонах длин волн есть значительное перекрытие спектров, что может затруднить идентификацию отдельных ПАУ (рис. 2а). В таком случае можно применять различные способы повышения селективности флуоресцентного метода, например синхронное сканирование спектров возбуждения и флуоресценции с постоянным сдвигом длин волн $\Delta\lambda$.

Нами была получена серия синхронных спектров смеси ПАУ при разных $\Delta\lambda$ в диапазоне от 5 до 160 нм. Отобраны наиболее информативные спектры. Для идентификации отдельных ПАУ в смеси проводилось сравнение положение пиков синхронных спектров индивидуальных ПАУ при той же $\Delta\lambda$, при которой анализировалась смесь (рис. 3).

При $\Delta\lambda = 55$ нм в смеси ПАУ наблюдается целая серия пиков (рис. 3а). Сравнение со спектрами отдельных ПАУ позволяет выделить фенантрен (пик с вершиной на 224 нм), флуорен (пик с вершиной на 262 нм) и пирен (два пика, максимальный из которых наблюдается на 335 нм).

Увеличивая $\Delta\lambda$ до 130 нм, удастся зафиксировать в синхронных спектрах смеси ПАУ пики (рис. 3б), характерные для антрацена (на длине волны 251 нм), пирена (241 и 270 нм) и фенантрена (192 нм).

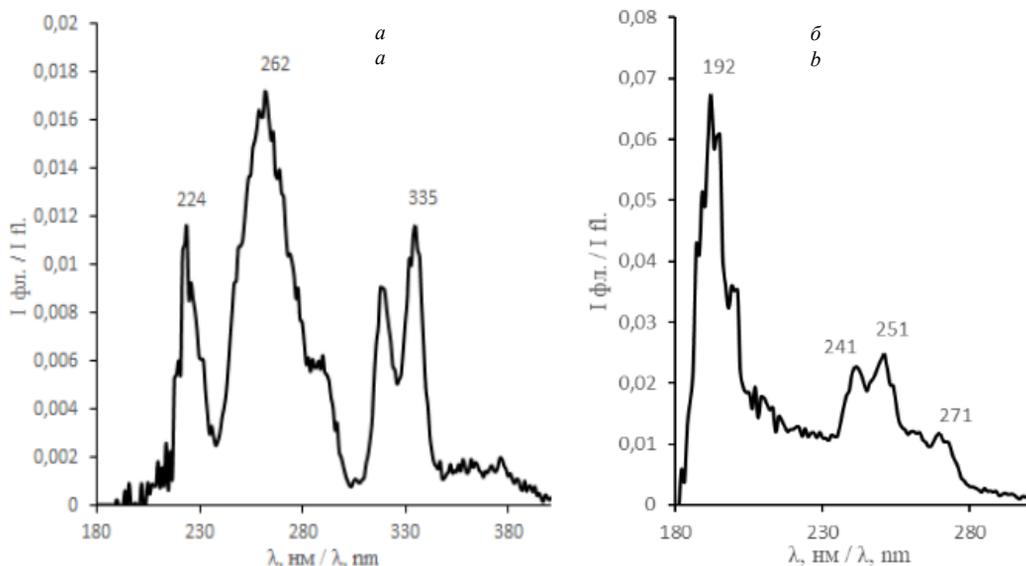


Рис. 3. Синхронные спектры флуоресценции смеси ПАУ при $\Delta\lambda = 55$ нм (а) и $\Delta\lambda = 130$ нм (б) / Figure 3. Synchronous fluorescence spectra of PAHs mixture at $\Delta\lambda = 55$ nm (a) and 130 nm (b)

Таким образом, можно сделать вывод, что анализ синхронных спектров с разным сдвигом $\Delta\lambda$ позволяет улучшить избирательность (селективность) флуоресцентного метода определения ПАУ в смеси. При этом важно, что для получения синхронных спектров не требуется особого оборудования, они могут быть получены на обычных спектрофлуориметрах, в которых предусмотрено одновременное (синхронное) изменение длин волн монохроматоров возбуждения и регистрации спектров флуоресценции [2].

Заключение

При анализе сложных смесей ПАУ перекрытие широких полос флуоресценции обычно мешает процессу идентификации отдельных компонентов. Повысить избирательность флуоресцентного метода позволяет использование техники синхронного сканирования спектров возбуждения и флуоресценции с постоянным сдвигом длин волн $\Delta\lambda$. Экспериментально получены синхронные спектры флуоресценции отдельных ПАУ (пирена, антрацена, флуорена и фенантрена). Проведена сравнительная оценка анализа смеси ПАУ методом классической и синхронной флуоресценции. В итоге можно сделать вывод о том, что анализ синхронных спектров с разным сдвигом $\Delta\lambda$ позволяет улучшить избирательность флуоресцентного метода анализа ПАУ в смеси. Флуоресцентные методы могут быть успешно применены для идентификации отдельных ПАУ при экологическом мониторинге экотоксикантов в водных объектах окружающей среды.

References / Список литературы

- [1] Lawal AT. Polycyclic aromatic hydrocarbons. A review. *Cogent Environmental Science*. 2017;3(1):1339841. <https://doi.org/10.1080/23311843.2017.1339841>
- [2] Matuszewska A, Czaja M. The Use of Synchronous Fluorescence Technique in Environmental Investigations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Airborne Particulate Matter from an Industrial Region in Poland. *Environmental Emissions. IntechOpen*. 2020. Available from: <https://doi.org/10.5772/intechopen.92402>
- [3] Rubio S, Gomez-Hens A, Valcarcel M. Analytical applications of synchronous fluorescence spectroscopy. *Talanta*. 1986;33(8):633–640. [https://doi.org/10.1016/0039-9140\(86\)80149-7](https://doi.org/10.1016/0039-9140(86)80149-7)
- [4] Vo-Dinh T. Synchronous luminescence spectroscopy: methodology and applicability. *Applied Spectroscopy*. 1982;36(5):576–581. <https://doi.org/10.1366/0003702824639510>
- [5] Lloyd JBF. The nature and evidential value of the luminescence of automobile engine oils and related materials: Part I. Synchronous excitation of fluorescence emission. *Journal of the Forensic Science Society*. 1971;11(2):83–94. [https://doi.org/10.1016/S0015-7368\(71\)70667-7](https://doi.org/10.1016/S0015-7368(71)70667-7)
- [6] Andrade-Eiroa A, De-Armas G, Estela JM, Cerda V. Critical approach to synchronous spectrofluorimetry. I. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2010;29(8):885–901. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2010.04.010>
- [7] Andrade-Eiroa A, De-Armas G, Estela JM, Cerda V. Critical approach to synchronous spectrofluorimetry. II. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2010;29(8):902–927. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2010.05.002>
- [8] Troche SV, Bugallo M, Falcón MG, Yusty ML, Lozano JS. Constantwavelength synchronous spectrofluorimetry for determination of benzo[a]pyrene, benzo[b]fluoranthene and benzo[k]fluoranthene in presence of 16 EPA PAHs. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*. 2003;99:96–101.
- [9] Böckelen A, Niessner R. Combination of micellar extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from aqueous media with detection by synchronous fluorescence *Fresenius' journal of analytical chemistry*. 1993;346(4):435–440. <https://doi.org/10.1007/bf00325857>
- [10] Rodríguez JJS, Garcia JH, Bernal MM, Martin-Lazaro AB. Analysis of mixtures of polycyclic aromatic hydrocarbons in sea-water by synchronous fluorescence spectrometry in organized media. *Analyst*. 1993;118(7):917–921. <https://doi.org/10.1039/AN9931800917>
- [11] Zhang W, Lin D L, Zou ZX, Li YQ. A novel approach for simultaneous determination of polycyclic aromatic hydrocarbons by Shpol'skii non-linear variableangle synchronous fluorescence spectrometry. *Talanta*. 2007;71(4):1481–1486. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.07.022>
- [12] Sharma H, Jain VK, Khan ZH. Identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in suspended particulate matter by synchronous fluorescence spectroscopic technique. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2007;68(1):43–49. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2006.10.054>
- [13] Samokhvalov A. Analysis of various solid samples by synchronous fluorescence spectroscopy and related methods: A review. *Talanta*. 2020;216:120944. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.120944>
- [14] Vilchez JL, Del Olmo M, Avidad R, Capitán-Vallvey LF. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbon residues in water by synchronous solid-phase spectrofluorimetry. *Analyst*. 1994;119(6):1211–1214. <https://doi.org/10.1039/AN9941901211>
- [15] Zhang RP, Yuan QL, Chen KH, He LF. Constant-wavelength synchronous fluorescence spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons

- in water samples. *Advanced Materials Research*. 2012;490–495:3202–3206. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.490-495.3202>
- [16] He LF, Zhang XH, Zhang RP. Determination of PAHs in river water using bamboo charcoal as a solid-phase extraction adsorbent by Synchronous Fluorescence Spectrometry. *Advanced Materials Research*. 2012;518:1501–1505. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.518-523.1501>
- [17] Wang L, Li W, Zhang F, Li H, Cai G, Li B, Qian G, Du Y. Rapid determination of benzo[a]pyrene by membrane enrichment coupled with solid-phase constant-wavelength synchronous fluorescence spectrometry. *Luminescence*. 2016;31(6):1187–93. <https://doi.org/10.1002/bio.3088>
- [18] Plotnikova OA, Mel'nikov AG, Tikhomirova EI, Adylova AZ. Matrix type effect on sorption concentration process and luminescent determination of pyrene. *Russian Journal of Physical Chemistry B*. 2020;14:145–151. <https://doi.org/10.1134/S1990793120010261>

Сведения об авторах:

Плотникова Ольга Александровна, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Экология и техносферная безопасность» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., Российская Федерация, 510054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77, ORCID: 0000-0003-2715-044X, eLibrary SPIN-код 1682-8461. E-mail: plotnikovaoa@sstu.ru

Тихомирова Елена Ивановна, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Экология и техносферная безопасность» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., Российская Федерация, 510054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77. ORCID: 0000-0001-6030-7344, eLibrary SPIN-код 7673-8480. E-mail: tichomirovaei@sstu.ru.

Мельников Геннадий Васильевич, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры «Физика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., Российская Федерация, 510054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77. ORCID: 0000-0002-4708-2256, eLibrary SPIN-код 7267-4911. E-mail: melnikov_gv@sstu.ru

Bio notes:

Olga A. Plotnikova, Cand. Sc. in Chemistry, Associate Professor of the Department of Ecology and Technosphere Safety, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politechnicheskaya St, Saratov, 410054, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-2715-044X, eLibrary SPIN-код 1682-8461. E-mail: plotnikovaoa@sstu.ru

Elena I. Tikhomirova, D. in Biology, Professor, Head of the Department of Ecology and Technosphere Safety, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politechnicheskaya St, Saratov, 410054, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6030-7344, eLibrary SPIN-код 7673-8480. E-mail: tichomirovaei@sstu.ru

Gennadyi V. Melnikov, D. in Chemistry, Professor of the Department of Physics, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politechnicheskaya St, Saratov, 410054, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-4708-2256, eLibrary SPIN-код 7267-4911. E-mail: melnikov_gv@sstu.ru



БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

SAFETY OF HUMAN ACTIVITY

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-584-596

УДК 574.24

Научная статья / Research article

Статистическая модель магнитного поля промышленной частоты, созданного воздушными линиями электропередачи с классом напряжения 220 и 500 кВ, находящимися на территории России

А.С. Прокофьева^{1,2}✉

¹ АНО «Национальный научно-исследовательский центр
безопасности новых технологий», Москва, Российская Федерация

² Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений,
Москва, Российская Федерация

✉nashome@mail.ru

Аннотация. Разработана статистическая модель фактического загрязнения магнитного поля промышленной частоты, создаваемого воздушными линиями для первичной оценки фактической электромагнитной обстановки вблизи них в эпидемиологических исследованиях и для дополнения уже выполненных экологических работ дозиметрическими характеристиками.

Ключевые слова: магнитное поле, промышленная частота, измерения, модель, воздушная линия электропередачи, 220 кВ, 500 кВ

История статьи: поступила в редакцию 15.04.2022; доработана после рецензирования 10.09.2022; принята к публикации 25.09.2022.

© Прокофьева А.С., 2022



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

Для цитирования: Прокофьева А.С. Статистическая модель магнитного поля промышленной частоты, созданного воздушными линиями электропередачи с классом напряжения 220 и 500 кВ, находящимися на территории России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 584–596. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-584-596>

Magnetic field of the industrial frequency polluting statistical model near overhead power lines with voltage class 220 and 500 kV located in Russia

Anastasia S. Prokofyeva^{1,2}✉

¹ *Scientific Research Center for Safety of New Technologies, Moscow, Russian Federation*

² *Russian National Committee on Non-Ionizing Radiation Protection, Moscow, Russian Federation*

✉nashome@mail.ru

Abstract. A statistical model of the actual pollution of the magnetic field industrial frequency created by overhead lines has been developed for the initial assessment of the actual electromagnetic situation near the overhead lines, epidemiological studies and to supplement the already completed environmental work with dosimetric characteristics.

Keywords: magnetic field, industrial frequency, measurements, model, overhead power line, 220 kV, 500 kV

Article history: received 15.04.2022; revised 10.09.2022; accepted 25.09.2022.

For citation: Prokofyeva AS. Magnetic field of the industrial frequency polluting statistical model near overhead power lines with voltage class 220 and 500 kV located in Russia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):584–596. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-584-596>

Введение

Одним из источников магнитного поля промышленной частоты (МП ПЧ) являются воздушные линии электропередачи (ВЛ). Наиболее мощными и часто встречаемыми во внепроизводственных условиях из них являются классы напряжения 220 и 500 кВ. МП ПЧ является канцерогеном 2В (возможный канцероген) [1], в связи с чем с 2007 г. исследования этого фактора ВОЗ рассматривает в числе приоритетных при формировании здоровой окружающей среды и здоровья населения [2].

Оценку загрязнения МП ПЧ от ВЛ можно проводить инструментальным или расчетным методами. При работе с большими территориями, например регионами, проведение оценки является трудоемким мероприятием, осложняющимся большими объемами информации о возможных фактических нагрузках на линиях или же ее отсутствием. Эти данные являются одними из основных при моделировании, которое может проводиться на этапах подготовки к замерам. Кроме того, при проведении эпидемиологических работ характеристика МП на основе расчетного моделирования по максимальной

токовой нагрузке дает завышенные значения магнитного загрязнения. Использование единичных мгновенных измеряемых значений может привести к занижению данных реальной магнитной обстановки. Похожая проблема возникает и при необходимости проведения ретроспективной оценки воздействия от ВЛ.

Для сокращения затрат на этапе подготовительной работы по оценке загрязнения МП ПЧ вблизи ВЛ на больших территориях или при проведении ретроспективной оценки необходима статистическая модель, основанная на фактических данных измерений интенсивности МП ПЧ и способная в целом описать магнитную обстановку, создаваемую ВЛ.

Таким образом, разработка статистической модели загрязнения МП ПЧ вблизи ВЛ на основе массива данных фактической магнитной обстановки является актуальной. **Цель исследования** – разработка такой модели для ВЛ класса напряжений 220 и 500 кВ (ВЛ-220 и ВЛ-500 кВ) на территории в пределах 100 м от линий.

Материалы и методы

Статистическая модель загрязнения МП ПЧ вблизи ВЛ-220 кВ и ВЛ-500 кВ разработана автором на основе массива данных о фактических значениях и его анализе. Массив данных формировался из трех источников: результаты мониторинга, проводившегося в период с 2011 по 2013 г. вблизи населенного пункта Сабурово (Московская область) [3]; данные протоколов измерений, представленных архивом испытательной лаборатории «Центра электромагнитной безопасности» (ИЛ ЦЭМБ), включая протоколы, полученные при проведении НИР по заданию Минприроды и при разработке ГН 2.1.8/2.2.2.4.2262-07¹; данные литературы, опубликованные в нашей стране и за рубежом в период с 1999 по 2017 г. [4-16]. Измерения в рамках ИЛ ЦЭМБ (аттестат аккредитации ГСЭН.RU.ЦОА.213) выполнены непосредственно автором и коллегами (д.б.н. О.А. Григорьевым, к.б.н. А.В. Меркуловым и др.).

Измерения, представленные протоколами, были проведены на территории Московской области (Красногорский, Рузский, Истринский, Наро-Фоминский, Щёлковский и Одинцовский районы). Результатом измерений в точке считалось среднее значение индукции МП на частоте 50 Гц, полученное по трем измерениям, с учетом расширенной неопределенности. Полученные результаты измерений формировали первичные массивы данных (мониторинг и данные ИЛ ЦЭМБ). В них для каждого 5 м формировалась группа значений интенсивности МП, которая подвергалась проверке на грубые ошибки с использованием диаграммы размаха.

¹ ГН 2.1.8/2.2.2.4.2262-07 Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902060222> (дата обращения: 26.01.2022).

В качестве критерия отбора литературных данных использовались следующие требования: измерения должны проходить на территории Российской Федерации вблизи ВЛ-220 кВ и ВЛ-500 кВ, измерения проводились с использованием среднеквадратических значений. Данные о расстоянии от точки измерений до ВЛ и высота расположения датчика находились в диапазоне от 1 до 2 м.

Для каждых 5 м полученного массива формировалась группа значений интенсивности МП, для которой определялись максимальные, минимальные и средние значения с 95%-ми доверительными интервалами, а также значения медиан. Используя полученные значения этих статистических показателей, были построены их линии трендов, сформировавшие статистическую модель и область средних значений (диаграмма изменения интенсивности МП от расстояния от ВЛ). В качестве закона аппроксимации использовался экспоненциальный закон, что связано с непротиворечивостью результатов моделирования с результатами массива данных при 0 м от проекции крайнего провода, а также с отсутствием всплесков на линиях. Длина трассы расчета была согласована с использованной в практических измерениях и составила 100 м.

Полученная модель в 2018–2019 гг. была верифицирована на территории Московского региона (г. Москва: Северо-Западный и Северо-Восточный районы; Московская область: городской округ Химки, Красногорский и Щёлковский районы). Измерения проводились в произвольных точках на высоте 1,8 м от поверхности земли вблизи четырех ВЛ-220 кВ и четырех ВЛ-500 кВ. Результатом в точке измерений считалось среднее из трех с учетом расширенной неопределенности. Полученные данные использовались в рамках аналитической оценки модели распределения фактических значений интенсивности МП ПЧ. Для этого проводился расчет доли попадания полученных значений в область фактических значений модели, а также среднего значения коэффициента расхождения (коэффициента несоответствия) и среднего значения средней относительной ошибки. Средние значения двух последних показателей точности определялись исходя из значений коэффициента несоответствия (формула 1) и средней относительной ошибки (формула 2) для следующих элементов модели: область фактических значений, область между линиями трендов медианы и максимальных значений, а также область средних значений.

$$v = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{\text{мод}_i} - y_{\text{вер}_i})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n y_{\text{вер}_i}^2}}, \quad (1)$$

$$\bar{e}_{\text{отн}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{\text{вер}_i} - y_{\text{мод}_i}}{y_{\text{вер}_i}} \right| \cdot 100, \quad (2)$$

где v – коэффициент несоответствия ($v = 0$ – полное совпадение фактических (верификационных) и прогнозных значений, $v > 1$ – когда прогноз дает худшие результаты), $\bar{e}_{\text{отн}}$ – средняя относительная ошибка, $y_{\text{мод}_i}$ – значение индукции МП ПЧ, полученное по разработанной модели, $y_{\text{вер}_i}$ – значение индукции МП ПЧ, полученное при верификации, n – объем рассматриваемой выборки.

Все расчетные и графические работы проводились в программной среде Microsoft Excel.

Результаты

Сформированный массив данных состоял из 1617 элементов (1456 – данных протоколов, 161 – данных литературы). Статистическая модель фактического загрязнения МП ПЧ представляла собой распределение значений интенсивности поля на расстоянии до 100 м от крайнего провода ВЛ. Она включала в себя границы области фактических значений (линии трендов максимальных и минимальных значений), область, сформированную линией тренда медианы и максимальных значений. Дополнительно была представлена область средних значений (рис. 1, 2).

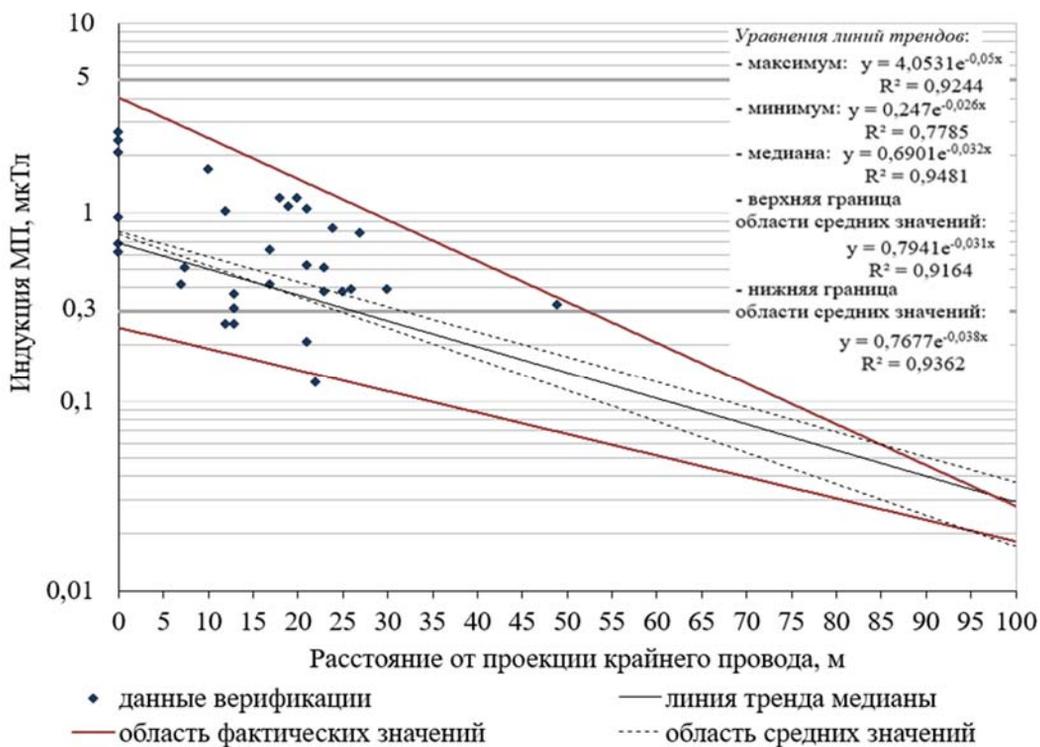


Рис. 1. Статистическая модель фактического загрязнения МП ПЧ вблизи ВЛ-220 кВ и данные верификации (ось Y – логарифмическая)

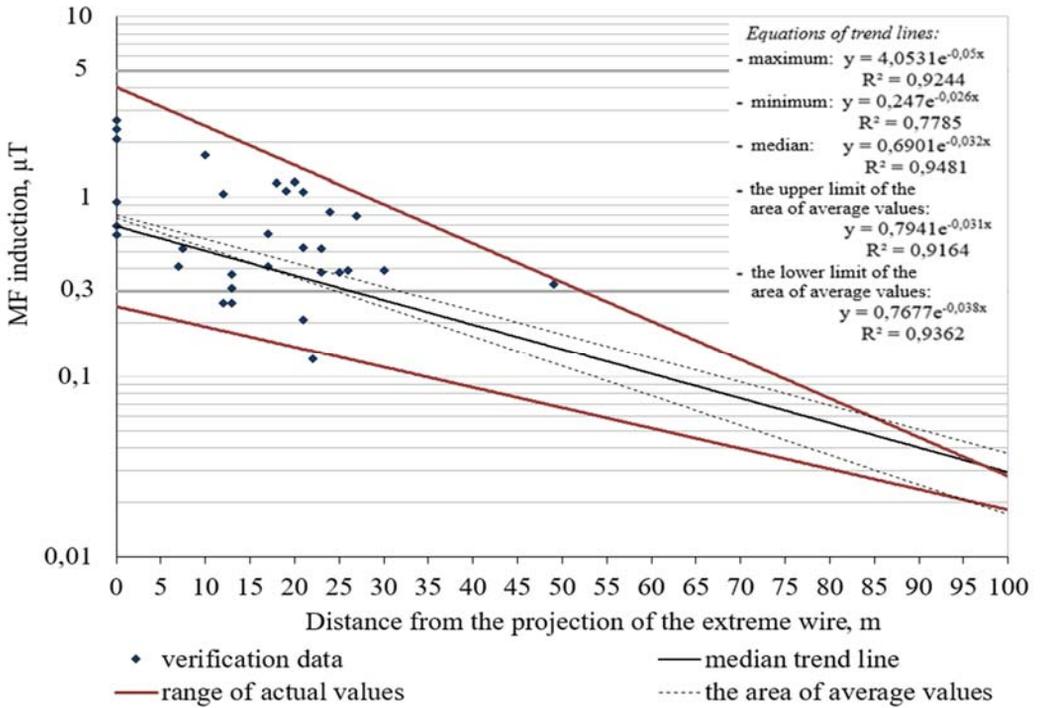


Figure 1. Statistical model of the actual pollution of the MF IF near the OHPL-220 kV and verification data (Y-axis is logarithmic)

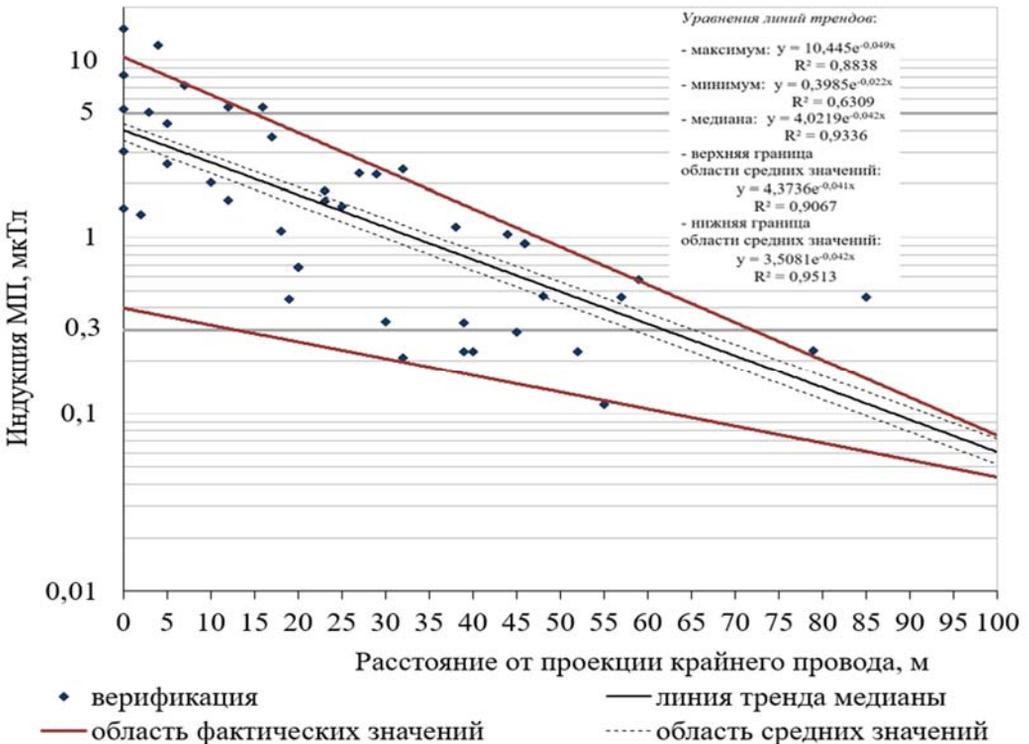


Рис. 2. Статистическая модель фактического загрязнения МП ПЧ вблизи ВЛ-500 кВ и данные верификации (ось Y– логарифмическая)

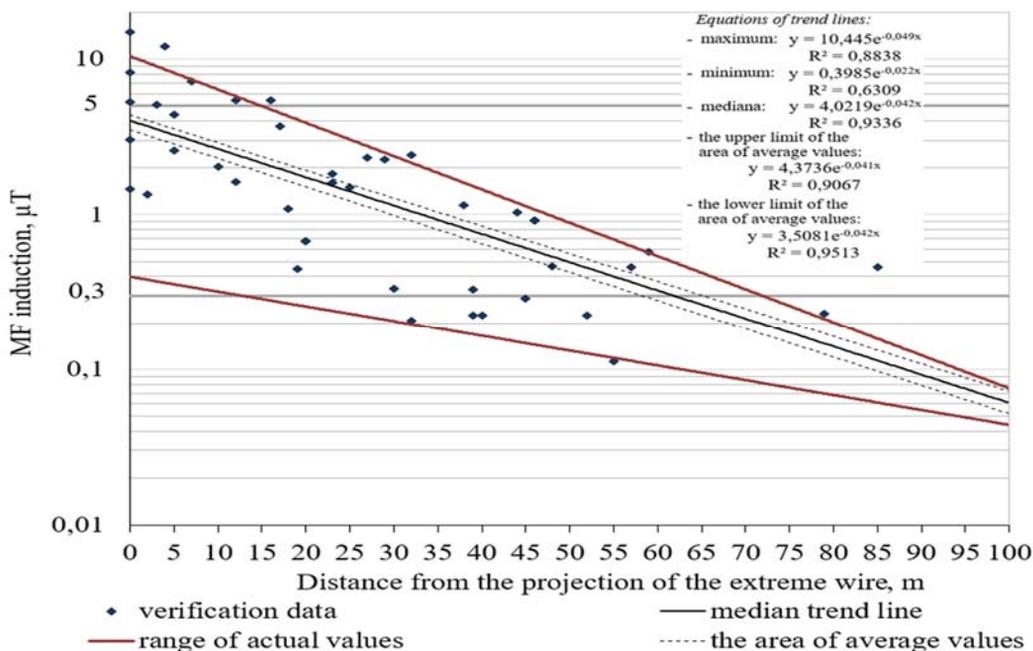


Figure 2. Statistical model of the actual pollution of the MF IF near the OHPL-500 kV and verification data (Y-axis is logarithmic)

Доля попадания полученных значений в область фактических значений модели для ВЛ-220 кВ составляет 96,77 %, для ВЛ-500 кВ – 79,07 %. При рассмотрении области, сформированной линиями трендов медианы и максимальных значений, в указанную область вошло 70,97 % (для ВЛ-220 кВ) и 39,53 % (для ВЛ-500 кВ) данных верификации.

Средние значения коэффициента несоответствия не превышали 0,4 для рассматриваемых классов напряжения. Средние значения средней относительной ошибки не превышали 50 % (табл. 1).

Таблица 1. Показатели точности модели распределения фактических значений интенсивности МП ПЧ вблизи ВЛ

Оцениваемая часть модели	ВЛ-220 кВ		ВЛ-500 кВ	
	Коэффициент несоответствия ν	Средняя относительная ошибка $\bar{e}_{отн}$, %	Коэффициент несоответствия ν	Средняя относительная ошибка $\bar{e}_{отн}$, %
Область фактических значений	0,004	0,53	0,22	3,94
Область между линиями трендов медианы и максимальных значений	0,08	17,22	0,28	71,64
Область средних значений	0,61	45,09	0,60	72,44
Средние значения показателей точности				
Без учета области средних значений	0,03	8,88	0,25	37,79
С учетом области средних значений	0,23	20,95	0,37	49,34

Table 1. Accuracy of the distribution model of the actual values of the MF IF intensity near the overhead lines

Estimated part of the model	OHPL-220 kV		OHPL-500 kV	
	Disparity coefficient ν	Average relative error \bar{e}_{OTH} , %	Disparity coefficient ν	Average relative error \bar{e}_{OTH} , %
Area of actual values	0,004	0,53	0,22	3,94
Area between the trend lines of the median and maximum values	0,08	17,22	0,28	71,64
Area of the average values	0,61	45,09	0,60	72,44
Average accuracy values				
Without considering the range of average values	0,03	8,88	0,25	37,79
With considering the range of average values	0,23	20,95	0,37	49,34

Обсуждение

Для оценки фактического состояния магнитного загрязнения вблизи ВЛ на территории России относительно максимально возможного разработанную статистическую модель сравнили с результатами моделирования при максимальной нагрузке на линии. В качестве примера использовалась аппроксимация данных диаграммы, полученной при теоретическом прогнозировании магнитной обстановки вблизи населенного пункта Сабурово (Московская область) [3]. На рис. 3 и 4 границы этой области представлены двумя линиями, сформированными из данных, рассчитанных вблизи опоры и вблизи середины пролета.

Сравнение проводилось для области фактических значений и области между линиями трендов медианы и максимальных значений. Область средних значений в оценке не участвовала в связи с тем, что, во-первых, для характеристики центральных тенденций факторов окружающей среды используются значения медианы [17], во-вторых, эти области обладали более низкими значениями коэффициентов несоответствия. Для проведения сравнения вычислялась разница положений линии тренда максимальных значений модели или линии тренда медианы и нижней границы расчетной области на примере Сабурово. Расчет разницы проводился для каждые 5 м, после чего рассчитывалось среднее арифметическое.

В результате сравнения расположения верхней границы области фактических значений (линии тренда максимумов) было выявлено, что для ВЛ-220 кВ разница фактического состояния магнитного загрязнения относительно возможных максимальных (в соответствии с примером вблизи населенного пункта Сабурово) в среднем составила 46,61 % (на некоторых расстояниях доходила до 86,07 %), для ВЛ-500 кВ – 21,94 % (максимум – 96,70 %). При оценке расположения линии тренда медианы разница составила в среднем для ВЛ-220 кВ – 80,89 % (максимум – 87,42 %), для ВЛ-500 кВ – 56,46 % (максимум – 80,00 %).

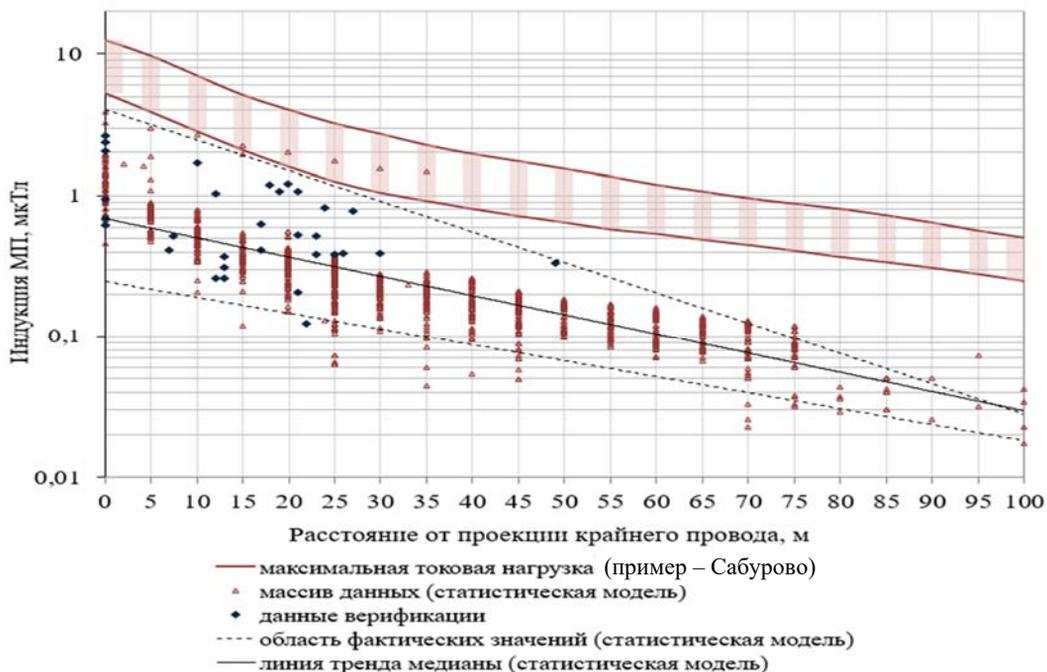


Рис. 3. Сравнение фактического состояния магнитного загрязнения вблизи ВЛ-220 кВ с результатами моделирования максимальной нагрузки на линии на примере участка вблизи населенного пункта Сабурово (ось Y – логарифмическая)

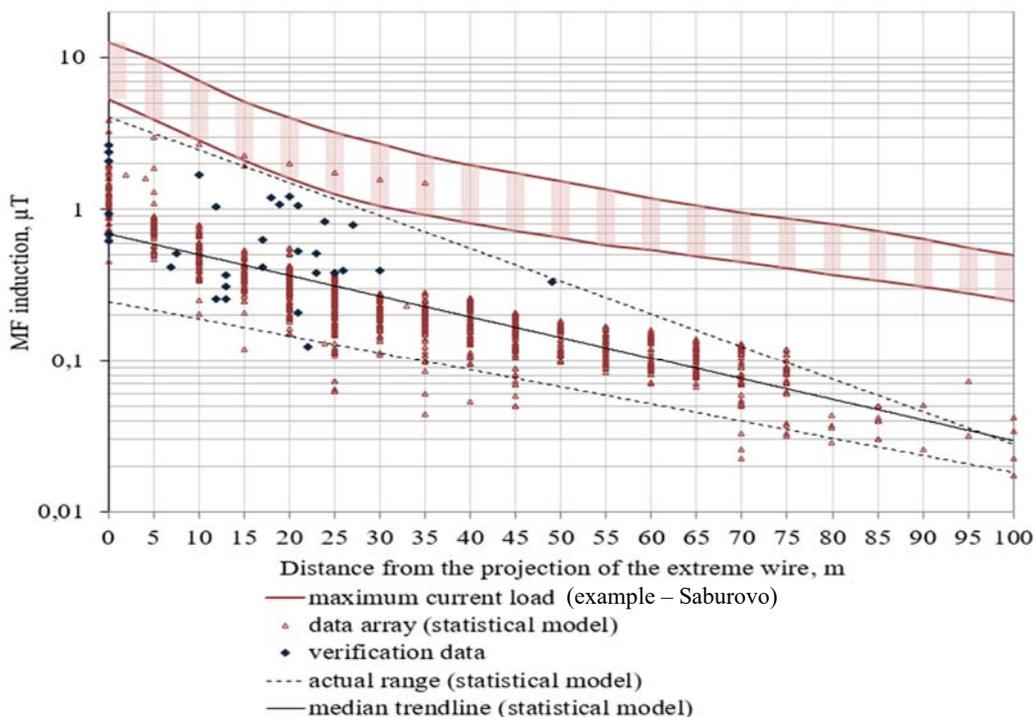


Figure 3. Comparison of the actual state of magnetic pollution near the OHPL-220 kV with the results of modeling the maximum load on the line on the example of near the settlement of Saburovo (Y-axis is logarithmic)

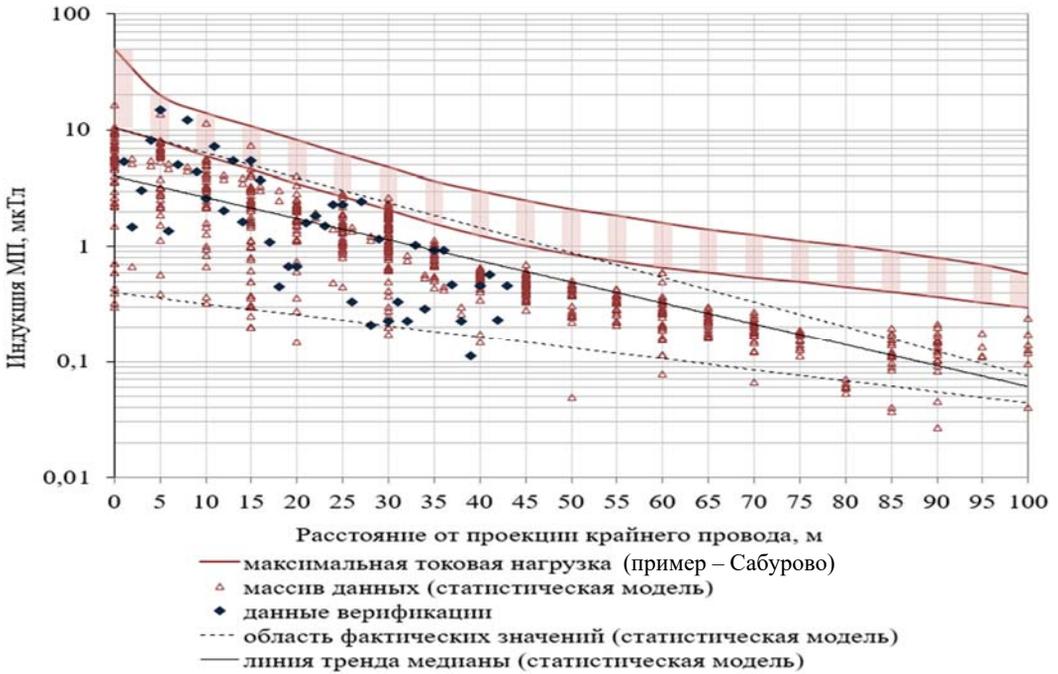


Рис. 4. Сравнение фактического состояния магнитного загрязнения вблизи ВЛ-500 кВ с результатами моделирования максимальной нагрузки на линии на примере участка вблизи населенного пункта Сабурово (ось Y– логарифмическая)

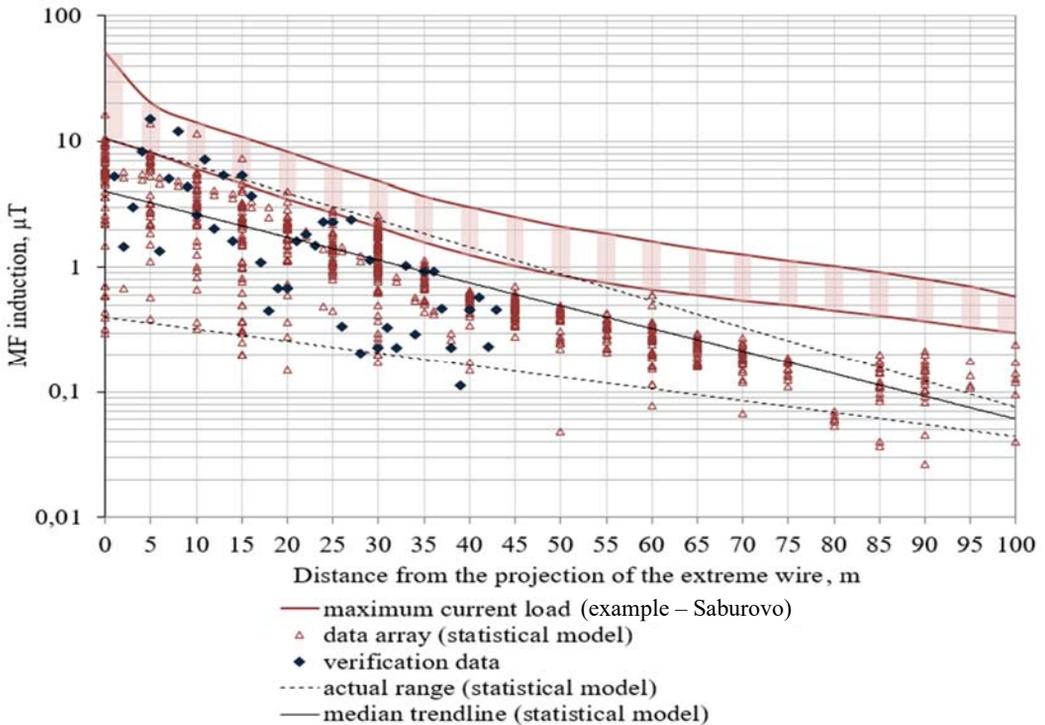


Figure 4. Comparison of the actual state of magnetic pollution near the OHPL-500 kV with the results of modeling the maximum load on the line on the example of near the settlement of Saburovo (Y-axis is logarithmic)

Следует отметить, что некоторые значения индукции МП из массива данных входят в область возможных максимальных значений. Такая картина характерна для ВЛ-500 кВ. При этом в большинстве случаев данные массива, определяющие положение верхней границы области фактических значений, находятся ниже этой области.

Полученные значения показателей точности модели фактического распределения индукции МП вблизи ВЛ (см. табл. 1) свидетельствуют о возможности использования модели только в качестве первичной оценки при планировании более локальных исследований или при обобщенной оценке магнитного загрязнения в экологических или эпидемиологических исследованиях.

Заключение

Разработанная статистическая модель загрязнения МП ПЧ, создаваемого ВЛ-220 кВ и ВЛ-500 кВ, представляет собой распределение статистических (максимум, минимум, медиана, средние) значений индукции МП ПЧ в зависимости от расстояния от крайнего провода. Согласно полученным данным, большинство ВЛ не находятся под максимальной токовой нагрузкой, фактическое загрязнение ниже в среднем на 22–81 % в зависимости от класса напряжения. При этом существуют единичные случаи ВЛ, находящихся под нагрузкой, приближенной к максимальной (полученные значения выше верхней границы фактических значений модели).

Статистическую модель можно использовать для первичной оценки фактической электромагнитной обстановки вблизи ВЛ при проведении подготовки к точечному мониторингу региона, при эпидемиологических исследованиях, а также для дополнения уже выполненных экологических исследований дозиметрическими характеристиками, если они не были представлены.

Список литературы

- [1] IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Non-Ionizing Radiation. Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. Vol. 80. Lyon: IARC Press, 2002. 429 p.
- [2] Extremely low frequency fields: Environmental health criteria. No. 238, Fact sheet. Geneva: WHO, 2007. 519 p.
- [3] Григорьев О.А., Гошин М.Е., Прокофьева А.С., Алексеева В.А. Особенности национальной политики, определяющей подходы к гигиеническому нормированию электромагнитного поля радиочастот в различных странах // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 11. С. 1184–1190. <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1184-1190>
- [4] Довбыш В.Н., Маслов М.Ю., Сподобаев Ю.М. Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем: монография. Самара: ООО «ИПК «Содружество», 2009. 198 с.
- [5] Пилюгин Г.А., Петухов Р.А. Анализ электромагнитных полей на примере жилого массива «Зеленая роща» г. Красноярска // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8–2. С. 335–337.

- [6] Сивяков Б.К., Скрипкин А.А., Сивяков Д.Б., Цыганков А.В. Электрическое и магнитное поля высоковольтной воздушной линии на удалении от нее // Вестник СГТУ. 2015. № 3 (80). С. 200–206.
- [7] Гигиенические проблемы неионизирующих излучений. Т. 4 / авт. колл. под ред. Ю.Г. Григорьева и В.С. Степанова; под общ. ред. акад. РАМН Л.А. Ильина. М.: АТ, 1999. 304 с.
- [8] Щербаков И.В. Активность фермента каталазы в пахотном слое почвы в зоне электромагнитных полей линий электропередач // Аграрный вестник Урала. 2013. № 6 (112). С. 74–75.
- [9] Струмеляк А.В. Исследование электромагнитной обстановки объектов электроэнергетики: дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2005.
- [10] Свиридова Е.Ю. Экологический мониторинг и повышение электромагнитной безопасности урбанизированных территорий вблизи линий электропередачи (на примере города Ногинск): дис. ... канд. техн. наук. М., 2012.
- [11] Васильев А.В. Мониторинг и снижение негативного воздействия электромагнитных полей в условиях Самарской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 4. С. 250–255.
- [12] Стурман В.И. Картографирование электромагнитных полей промышленного диапазона частот в городе Белгороде // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. 2017. № 18 (267). С. 183–191.
- [13] Стурман В.И. Картографирование электромагнитных полей промышленного диапазона частот в городе Петрозаводске // Принципы экологии. 2017. № 4 (25). С. 73–83.
- [14] Чистяков Г.Н., Беляев Р.Ю. Мониторинг электромагнитной обстановки линий электропередачи Хакасской энергосистемы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 5–6. С. 60–66.
- [15] Григорьев О.А., Меньщиков В.Ф., Прокофьева А.С. Новое в формировании условий облучения населения электромагнитным полем (на примере Московского региона) // Известия вузов. Физика. 2015. Т. 58. № 8/3. С. 289–291.
- [16] Современные природоохранные технологии в электроэнергетике: информационный сборник / под общ. ред. В.Я. Путилова. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 388 с.
- [17] Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова Г.И. Основы оценки воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье человека: пособие по региональной экологической политике. М.: Акрополь, ЦЭПР, 2004. 267 с.

References

- [1] IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. *Non-Ionizing Radiation. Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields*. Vol. 80. Lyon: IARC Press; 2002.
- [2] *Extremely low frequency fields: Environmental health criteria*. No. 238, Fact sheet. Geneva: WHO; 2007. 519 p.
- [3] Grigoriev OA, Goshin ME, Prokofyeva AC, Alekseeva VA. Features of national policy in approaches to electromagnetic field safety of radio frequencies radiation in different countries. *Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2019;98(11):1184–1190. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1184-1190>
- [4] Dovbysh VN, Maslov MY, Spodobayev YM. *Electromagnetic safety of power system components*. Samara: ООО «ИПК «Sodruzhestvo» Publ.; 2009. (In Russ.).

- [5] Pilyugin GA, Petukhov RA. Analysis of electromagnetic fields on the example of the residential area “Zelenaya roshcha” g. Krasnoyarsk. *Modern high technologies*. 2013;8–2:335–337. (In Russ.).
- [6] Sivyakov BK, Skripkin AA, Sivyakov DB, Tsygankov AV. Electrical and magnetic fields distant from the overhead high-voltage line. *Bulleting of Saratov State Technical University*. 2015; 3(80):200–206. (In Russ.).
- [7] Grigoryev YG, Stepanov VS, Il'in LA. *Hygienic problems of non-ionizing radiation*. Vol. 4. Moscow: AT, 1999. (In Russ.).
- [8] Shcherbakov IV. The activity of the enzyme catalase in topsoil in the zone of electromagnetic fields of power transmission lines. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2013; 6(112):74–75. (In Russ.).
- [9] Strumeljak AV. Study of the electromagnetic environment of electric power facilities [dissertation]. Bratsk; 2005. (In Russ.).
- [10] Sviridova EYu. Environmental monitoring and improving the electromagnetic safety of urban areas near power lines (on the example of the Noginsk city) (dissertation of Candidate of Technical Science). Moscow; 2012. (In Russ.).
- [11] Vasilyev AV. Monitoring and reduction of negative impact of electromagnetic fields of urban territory of Togliatti city. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2014;16(4):250–255. (In Russ.).
- [12] Sturman VI. Mapping of electromagnetic fields of the industrial range of frequencies in the Belgorod city. *Belgorod state university scientific bulletin. Natural sciences*. 2017;18(267):183–191. (In Russ.).
- [13] Sturman VI. Mapping of electromagnetic fields of industrial frequencies in the city of Petrozavodsk. *Principles of the ecology*. 2017;4(25):73–83. (In Russ.).
- [14] Chistyakov GN, Belyaev RY. Monitoring of electromagnetic conditions of transmission lines of the Khakas power system. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2009;5–6:60–66. (In Russ.).
- [15] Grigoriev OA, Menshikov VF, Prokofyeva AS. Novel in the formation of public exposure to EMF (the example of Moscow region). *Russian Physics Journal*. 2015;58(8/3):289–291. (In Russ.).
- [16] *Modern environmental technologies in the electric power industry: Information collection*. Moscow: MPEI Publishing House; 2007. (In Russ.).
- [17] Revich BA, Avaliani SL, Tikhonova GI. Fundamentals of assessing the impact of polluted environment on human health: a manual on regional environmental policy. Moscow: Acropolis, CEPR; 2004. (In Russ.).

Сведения об авторе:

Прокофьева Анастасия Станиславовна, АНО «Национальный научно-исследовательский центр безопасности новых технологий», Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений, Российская Федерация, 109028, г. Москва, Яузская ул., д. 1/15, стр. 1. eLIBRARY SPIN-код: 7903-5028. E-mail: nashome@mail.ru

Bio note:

Anastasia S. Prokofyeva, Autonomous Non-Commercial Organization “National Research Center for Safety of New Technologies”, Russian National Committee for Protection from Non-Ionizing Radiation, 1/15, bldg 1, Yauza St, Moscow, 109028, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-код: 7903-5028. E-mail: nashome@mail.ru

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-597-605

УДК 574.24

Научная статья / Research article

Связь солнечной активности и дыма с гемобластозами детского возраста

С.К. Пинаев¹, А.Я. Чижов², О.Г. Пинаева¹

¹Дальневосточный государственный медицинский университет Минздрава России, Хабаровск, Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

pinaev@mail.ru

Аннотация. Изучение роли факторов внешней среды в возникновении новообразований человека является важной задачей медицинской экологии. Индикатором канцерогенных экологических воздействий являются неоплазии у детей в связи с преимущественно пренатальным генезом опухолей в этой возрастной группе. В структуре детской онкологической заболеваемости преобладают гемобластоzy. Установлена связь заболеваемости детей лейкозом с воздействием ультрафиолетового излучения, защитная роль пребывания на Солнце в отношении риска неходжкинских лимфом (НХЛ) и отсутствие таковой при лимфоме Ходжкина у детей. Существуют свидетельства связи гемобластозов детского возраста с дымом различного происхождения. Цель исследования – оценить связь солнечной активности и дыма с гемобластоzyми в детской популяции России. Использованы официальные данные о заболеваемости гемобластоzyми детей в России в 1997–2020 гг. и сведения об активности Солнца сайта Королевской обсерватории Бельгии. Сформированные динамические ряды подвергнуты корреляционно-регрессионному анализу в 11 последовательных итерациях с временной задержкой (лагом) от 0 до 10 лет по отношению к году регистрации новообразований. Установлен рост заболеваемости лейкозом и снижение частоты лимфомы Ходжкина в детской популяции России. Заболеваемость детей НХЛ значимого тренда не обнаружила. Выявлена общая закономерность в виде связи лейкоза и лимфом детского возраста с активностью Солнца, наиболее выраженная в период с 1997 по 2008 г. Рост заболеваемости детей лейкозом, с учетом литературных данных о роли выхлопных газов в его генезе, может быть связан с трехкратным увеличением числа автомобилей в России в исследуемый период. Причины снижения частоты лимфомы Ходжкина требуют дальнейшего изучения. Для уменьшения риска возникновения гемобластозов у детей целесообразно введение в рацион пищевых продуктов для стимуляции аутофагии, и трансфер фактора.

Ключевые слова: факторы внешней среды, солнечная активность, дым, лейкоз, неходжкинские лимфомы, лимфома Ходжкина, дети

© Пинаев С.К., Чижов А.Я., Пинаева О.Г., 2022



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

Вклад авторов: С.К. Пинаев – концепция и дизайн исследования; А.Я. Чижов – анализ и интерпретация данных, утверждение присланной в редакцию рукописи; О.Г. Пинаева – участие в анализе данных.

История статьи: поступила в редакцию 15.06.2022; доработана после рецензирования 26.08.2022; принята к публикации 01.10.2022.

Для цитирования: Пинаев С.К., Чижов А.Я., Пинаева О.Г. Связь солнечной активности и дыма с гемобластозами детского возраста // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 597–605. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-597-605>

A link between solar activity and smoke with hemoblastosis in children

Sergey K. Pinaev¹, Alexey Ya. Chizhov², Olga G. Pinaeva¹

¹ Far Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russian Federation

² Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

pinaev@mail.ru

Abstract. The study of the role of environmental factors in the occurrence of human neoplasms is an important task of medical ecology. An indicator of carcinogenic environmental impacts is childhood tumors due to the predominantly prenatal genesis of tumors at this age. In the structure of childhood oncological morbidity, hemoblastosis predominate. The link between the incidence of childhood leukemia and exposure to ultraviolet radiation, the protective role of sun exposure in relation to the risk of non-Hodgkin's lymphomas (NHL) and the absence of such in Hodgkin's lymphoma in children have been established. There is evidence of the connection between childhood hemoblastosis and smoke of various origins. The aim of the study was to evaluate the link between solar activity and smoke with hemoblastosis in the Russian children. We used official data on the incidence of childhood hemoblastosis in Russia in 1997–2020 and data on solar activity from the site of the Royal Observatory of Belgium. The generated dynamic series was subjected to correlation and regression analysis in 11 consecutive iterations with a time delay (lag) from 0 to 10 years in relation to the year of registration of neoplasms. An increase in the incidence of leukemia and a decrease in the incidence of Hodgkin's lymphoma in the children's population of Russia have been established. The incidence of NHL in children did not reveal a significant trend. A general pattern was revealed in the form of the connection between childhood leukemia and lymphomas and solar activity, most pronounced in 1997–2008. The increase in the childhood leukemia incidence, taking into account the literature data of the role of exhaust gases in its genesis, can be associated with a threefold increase in the number of cars in Russia during the study period. The reasons for the decrease in the incidence of Hodgkin's lymphoma require further study. To reduce the risk of hemoblastosis in children, it is advisable to introduce food products into the diet to stimulate autophagy, and transfer factor.

Keywords: environmental factors, solar activity, smoke, leukemia, non-Hodgkin's lymphomas, Hodgkin's lymphoma, children

Authors' contributions: S.K. Pinaev – concept and design of the study; A.Ya. Chizhov – data analysis and interpretation, approval of the manuscript sent to the editorial board; O.G. Pinaeva – participation in the data analysis.

Article history: received 15.06.2022; revised 26.08.2022; accepted 01.10.2022.

For citation: Pinaev SK, Chizhov AYa, Pinaeva OG. A link between solar activity and smoke with hemoblastosis in children. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):597–605. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-597-605>

Связь злокачественных новообразований с факторами внешней среды общепризнана [1]. Открытыми остаются вопросы о роли конкретных экологических воздействий в возникновении тех или иных форм опухолей. Одним из эффективных подходов является изучение неоплазий у детей в связи с их преимущественно пренатальным генезом [2]. Особенностью детской онкологической заболеваемости является преобладание гемобластозов, на долю которых в России в 2020 г. пришлось 49,5 % от всех злокачественных новообразований¹. С факторами внешней среды связывают 21 % случаев лейкоза и 16 % лимфом детского возраста [3].

Существуют свидетельства роли солнечной активности в возникновении гемобластозов у детей. Установлена связь высокой заболеваемости острым лейкозом в детском возрасте с воздействием ультрафиолетового излучения Солнца (УФИ) [4]. Другие исследователи пришли к выводу, что УФИ, напротив, уменьшает шансы развития лейкоза у детей [5]. Эти противоречия позволяют предположить, что помимо УФИ к возникновению лейкоза у детей могут быть причастны колебания геомагнитного поля под воздействием Солнца. Косвенным подтверждением этого являются данные о связи низкочастотных магнитных полей и детской лейкемии [6].

Установлена защитная роль пребывания на Солнце в отношении риска неходжкинских лимфом (НХЛ) у детей [7] и обратная связь между УФИ и шансом развития этой лимфомы у детей младшего возраста [5], что говорит об отсутствии роли УФИ в генезе данной патологии [8]. Изучение заболеваемости НХЛ у детей в США выявило цикличность, подобную солнечной активности, с наличием лага (задержки) [9; 10]. Исследование случаев заболевания лимфомой Ходжкина в детском возрасте, в отличие от НХЛ, не показало защитного действия увеличенного времени пребывания на Солнце при этой патологии [11]. Существуют свидетельства связи гемобластозов у детей с дымом различного происхождения [2; 3].

Цель исследования – оценить связь солнечной активности и дыма с трендами и колебаниями частоты гемобластозов в детской популяции России.

Материалы и методы исследования

Данные о заболеваемости гемобластомами в детской популяции России за 24 года (1997–2020 гг.) взяты из официальных отчетов МНИОИ им. П.А. Герцена². Оценка трендов проводилась с помощью парного регрессионного анализа. Информация об активности Солнца в виде среднегодовых

¹ Злокачественные новообразования в России // Портал ONCOLOGY.RU. URL: http://www.oncology.ru/service/statistics/malignant_tumors/ (дата обращения: 07.01.2022).

² Там же.

значений чисел Вольфа взята на сайте Королевской обсерватории Бельгии [12]. Во время 23-го цикла Швабе-Вольфа (1996–2008 гг.) имел место переходный период, сменившийся в 24-м цикле (2009–2020 гг.) началом эпохи пониженной активности Солнца [13], в связи с чем связь солнечной активности с гемобластозами оценивалась отдельно по двум указанным временным отрезкам. Сведения о динамике числа автомобилей в России получены на сайте Федеральной службы государственной статистики³. Корреляционный анализ по Пирсону сформированных динамических рядов выполнен с помощью пакета IBM SPSS Statistics 23 в 11 последовательных итерациях с временной задержкой (лагом) от 0 до 10 лет по отношению к году регистрации новообразований.

Результаты

Регрессионный анализ частоты лейкоза в детской популяции России в 1997–2020 гг. показал наличие линейного тренда роста, $p < 0,001$ (рис. 1).

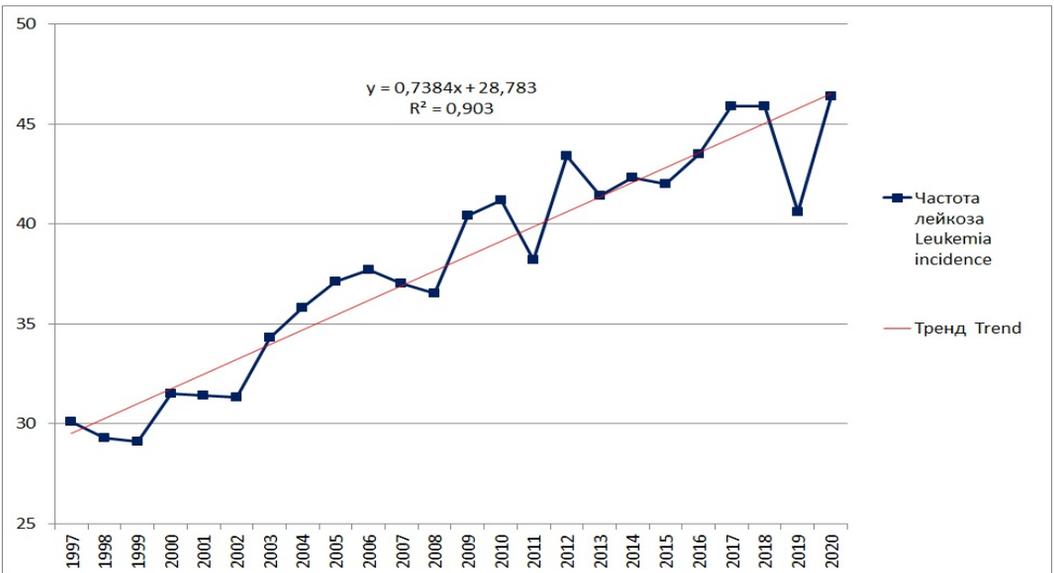


Рис. 1. Динамика частоты лейкоза в России (0–14 лет, оба пола, грубые показатели на 10⁶) в 1997–2020 гг. /

Figure 1. Trends of childhood leukemia in Russia (0–14 years, crude rate, both sexes, per 10⁶), 1997–2020

Сильная связь солнечной активности с частотой лейкоза в 1997–2008 гг. [14] снизилась в 2009–2020 гг. до значимой, с сохранением тенденции достоверности ($r = 0,504$, $p = 0,114$, лаг 3 года).

Достоверного линейного тренда изменения заболеваемости детей НХЛ в изучаемый период не выявлено. Корреляционный анализ установил связь частоты этой формы новообразований в 1997–2020 гг. с активностью Солнца

³ Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 20.06.2021).

($r = 0,449$, $p = 0,028$, лаг 5 лет). На рис. 2 видна высокая степень подобия графика солнечной активности с кривой полиномиального тренда заболеваемости НХЛ, особенно в 1997–2008 гг., когда связь увеличивалась до сильной [16].

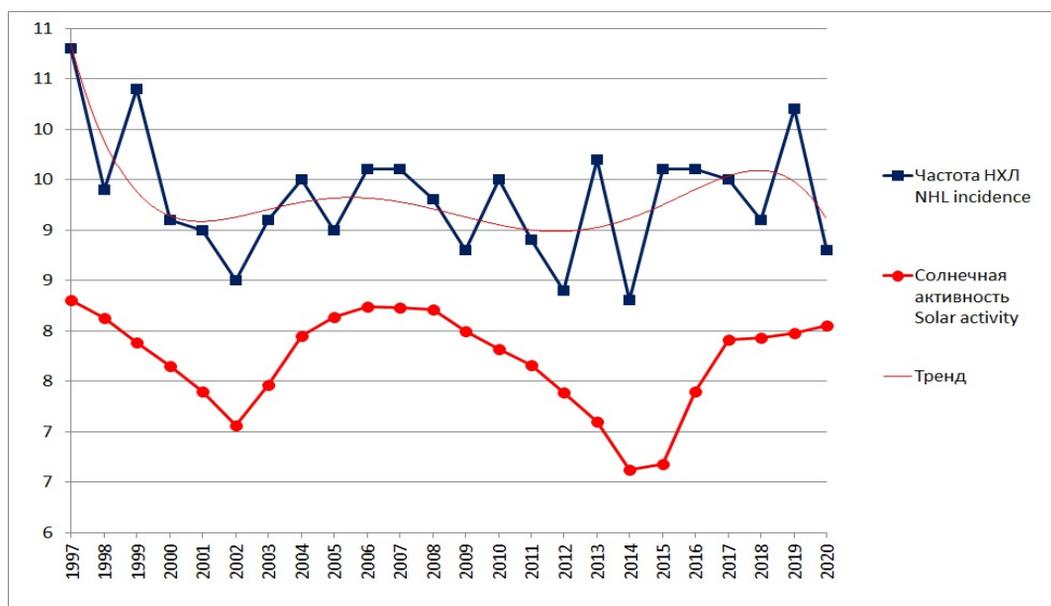


Рис. 2. Сравнительная динамика активности Солнца ($\text{Log } 10$ (числа Вольфа) + 6) и частоты НХЛ в детской популяции России (0–14 лет, оба пола, грубые показатели на 10^6 , лаг 5) в 1997–2020 гг. /

Figure 2. Comparative dynamics of solar activity ($\text{Log } 10$ (Wolf number) + 6) and non-Hodgkin's lymphoma (NHL) incidence in Russia (0–14 years, crude rate, both sex, per 10^6 , lag 5), 1997–2020

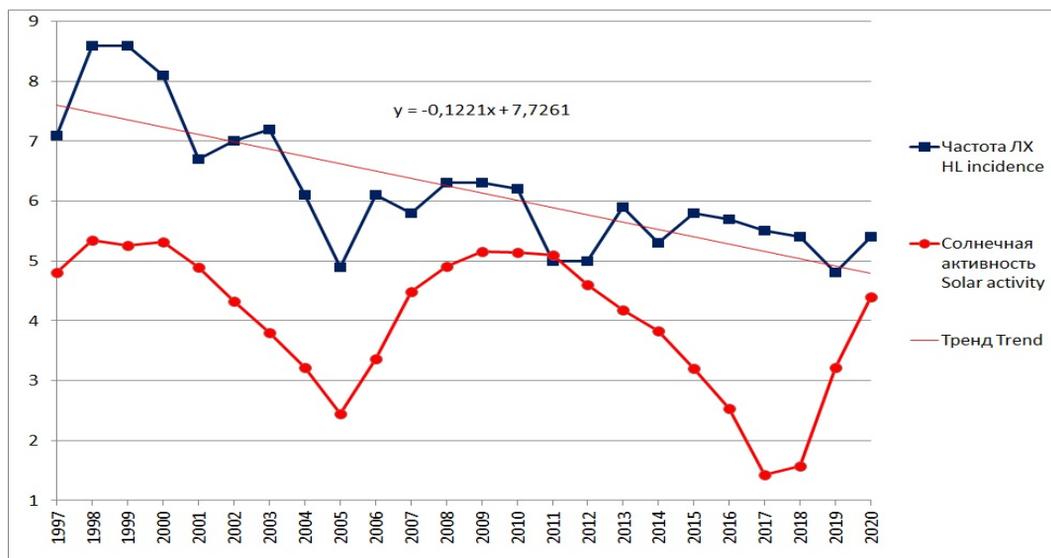


Рис. 3. Сравнительная динамика активности Солнца (Ln (числа Вольфа)) и частоты лимфомы Ходжкина (ЛХ) в детской популяции России (0–14 лет, оба пола, грубые показатели на 10^6 , лаг 8) в 1997–2020 гг. /

Figure 3. Comparative dynamics of solar activity (Ln (Wolf number)) and childhood Hodgkin's lymphoma (HL) incidence in Russia (0–14 years, crude rate, both sex, per 10^6 , lag 8), 1997–2020

Регрессионный анализ заболеваемости детей в России лимфомой Ходжкина установил достоверную тенденцию к ее снижению ($p < 0,001$, рис. 3). Также выявлена сильная связь частоты этого заболевания с активностью Солнца ($r = 0,638$, $p < 0,001$, лаг 8 лет). При этом, как и в случае с НХЛ, сила связи была наиболее высока в период с 1997 по 2008 г. ($r = 0,821$, $p < 0,001$, лаг 8 лет).

Обсуждение

Анализ частоты гемобластозов у детей в 1997–2020 гг. выявил общую закономерность в виде их связи с активностью Солнца. Это подтвердило полученные нами ранее аналогичные данные в отношении лейкоза и НХЛ в когортах детей младшего возраста в Хабаровском крае, а также в масштабе всей детской популяции России [2; 14]. С учетом литературных данных [15] представляется обоснованным предположить значительную роль обусловленных солнечной активностью электромагнитных колебаний в возникновении гемобластозов у детей.

О принципиальных различиях в этиопатогенезе различных форм гемобластозов детского возраста свидетельствуют разнонаправленные тренды их частоты. Рост заболеваемости детей лейкозом может быть обусловлен нарастающим загрязнением дымом воздушной среды. Ранее нами была установлена связь частоты лейкоза у детей младшего возраста с дымом лесных пожаров [2]. В настоящем исследовании мы хотим обратить внимание на дым другого рода – выхлопные газы. Их ключевой особенностью является наличие бензола, являющегося, по данным Международного агентства по изучению рака, доказанным канцерогеном для человека [16].

Установлено повышение риска детского лейкоза вследствие воздействия бензола и других компонентов выхлопных газов [17], рост частоты лейкемии у детей вследствие пренатального воздействия выхлопных газов на их отцов [18]. Пренатальное воздействие выхлопных газов на будущих матерей во время беременности также увеличивает вероятность возникновения лейкоза у детей [19]. С учетом результатов наших исследований, литературных данных и того обстоятельства, что число автомобилей в России с 1997 г. выросло в 3 раза⁴, есть основание связать увеличение частоты детского лейкоза в нашей стране с нарастающим загрязнением воздушной среды выхлопными газами.

Общим для всех форм злокачественных лимфом в детской популяции, согласно полученным данным, является достоверная связь с активностью Солнца. При этом нейтральный тренд частоты НХЛ у детей в России можно расценить как отсутствие роли загрязнения воздушной среды дымом в генезе этой патологии. Что же касается достоверной тенденции к снижению

⁴ Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 20.06.2021).

заболеваемости болезнью Ходжкина, то она заслуживает отдельного исследования. Ранее нами было показана связь частоты этой лимфомы в когортах детей младшего возраста 0–4 лет с дымом лесных пожаров [14]. Логично было бы ожидать, что нарастание загрязнения воздуха выхлопными газами приведет к росту заболеваемости этой патологией, как это произошло с лейкозом. Отсутствие этого позволяет предположить кардинальное отличие этиопатогенеза лимфомы Ходжкина у детей до 5 лет, и в более старшем возрасте, а также наличие связи указанной патологии с иными экологическими факторами, помимо рассмотренных.

Выводы

Колебания частоты лейкоза и лимфом в детской популяции связаны с изменениями активности Солнца. Рост заболеваемости детей в России лейкозом, вероятно, обусловлен постоянно увеличивающимся загрязнением воздушной среды выхлопными газами автомобилей. Причины снижения частоты лимфомы Ходжкина требуют дальнейшего изучения.

Исходя из роли экологически обусловленного окислительного стресса как универсального механизма реализации онкогенных потенциалов факторов внешней среды, в качестве мер для уменьшения риска возникновения гемобластозов у детей целесообразно введение в рацион пищевых продуктов и добавок, стимулирующих аутофагию, а также трансфер фактора [2].

References / Список литературы

- [1] Agadzhanyan NA, Chizhov AYа, Kim TA. Diseases of civilization. *Human Ecology*. 2003;(4):8–11. (In Russ.)
Агаджанян Н.А., Чижов А.Я., Ким Т.А. Болезни цивилизации // Экология человека. 2003. № 4. С. 8–11.
- [2] Pinaev SK, Chizhov AYа, Pinaeva OG. Critical periods of adaptation to smoke and solar activity at the stages of ontogeny (Review). *Human Ecology*. 2021;(11):4–11. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2021-11-4-11> (In Russ.)
Пинаев С.К., Чижов А.Я., Пинаева О.Г. Критические периоды адаптации к дыму и солнечной активности на этапах онтогенеза (обзор литературы) // Экология человека. 2021. № 11. С. 4–11. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2021-11-4-11>
- [3] Nelson L, Valle J, King G, Mills PK, Richardson MJ, Roberts EM, Smith D, English P. Estimating the Proportion of Childhood Cancer Cases and Costs Attributable to the Environment in California. *American Journal of Public Health*. 2017;107(5):756–762. <https://www.doi.org/10.2105/AJPH.2017.303690>
- [4] Coste A, Goujon S, Boniol M, Marquant F, Faure L, Doré JF, Hémon D, Clavel J. Residential exposure to solar ultraviolet radiation and incidence of childhood hematological malignancies in France. *Cancer Causes Control*. 2015;26(9):1339–49. <https://www.doi.org/10.1007/s10552-015-0629-x>
- [5] Lombardi C, Heck JE, Cockburn M, Ritz B. Solar UV radiation and cancer in young children. *Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention*. 2013;22(6):1118–28. <https://www.doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-12-1316>
- [6] Pedersen C, Johansen C, Schüz J, Olsen JH, Raaschou-Nielsen O. Residential exposure to extremely low-frequency magnetic fields and risk of childhood leukaemia, CNS tumour

- and lymphoma in Denmark. *British Journal of Cancer*. 2015;113(9):1370–4. <https://www.doi.org/10.1038/bjc.2015.365>
- [7] Wong KY, Tai BC, Chia SE, Kuperan P, Lee KM, Lim ST, Loong S, Mow B, Ng SB, Tan L, Tan SY, Tan SH, Tao M, Wong A, Wong GC, Seow A. Sun exposure and risk of lymphoid neoplasms in Singapore. *Cancer Causes Control*. 2012;23(7):1055–64. <https://www.doi.org/10.1007/s10552-012-9974-1>
- [8] Hu S, Ma F, Collado-Mesa F, Kirsner RS. Ultraviolet radiation and incidence of non-Hodgkin's lymphoma among Hispanics in the United States. *Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention*. 2004;13(1):59–64. <https://www.doi.org/10.1158/1055-9965.epi-03-0187>
- [9] Dimitrov BD. Non-Hodgkin's lymphoma in US children: biometeorological approach. *Folia Medica (Plovdiv)*. 1999;41(1):29–33. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10462916/>
- [10] Dimitrov B. Malignant melanoma of the skin and non-Hodgkin's lymphoma in USA: a comparative epidemiological study. *Folia Medica (Plovdiv)*. 1999;41(1):121–5. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10462940/>
- [11] Petridou ET, Dikalioti SK, Skalkidou A, Andrie E, Dessypris N, Trichopoulos D; Childhood Hematology-Oncology Group. Sun exposure, birth weight, and childhood lymphomas: a case control study in Greece. *Cancer Causes Control*. 2007;18(9):1031–7. <https://www.doi.org/10.1007/s10552-007-9044-2>
- [12] SILSO data/image, Royal Observatory of Belgium, Brussels. Available from: <http://www.sidc.be/silso/datafiles> (accessed: 12.12.2021)
- [13] Ishkov VN. The current 24th cycle of solar activity in the minimum phase: preliminary results and features of development. *Cosmic Research*. 2020;58(6):436–443. <https://www.doi.org/10.31857/S0023420620060060> (In Russ.)
Ишков В.Н. Текущий 24 цикл солнечной активности в фазе минимума: Предварительные итоги и особенности развития // Космические исследования. 2020. Т. 58. № 6. С. 471–478. <https://www.doi.org/10.31857/S0023420620060060>
- [14] Pinaev SK, Pinaeva OG, Chizhov AYа. About the role of environmental factors in carcinogenesis. *Actual Problems of Ecology and Environmental Management: Cooperation for Sustainable Development and Environmental Safety (APEEM 2020)*. *E3S Web of Conferences*. 169, 04003. 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016904003>
- [15] Saliev T, Begimbetova D, Masoud AR, Matkarimov B. Biological effects of non-ionizing electromagnetic fields: Two sides of a coin. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. 2019;141:25–36. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2018.07.009>
- [16] IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. List of Classifications. Agents Classified by the IARC Monographs. Vol. 1–127. Available from: <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications> Last updated: 2020-06-26 08.45am (CEST). (accessed: 20.06.2021).
- [17] Heck JE, Park AS., Qiu J, Cockburn M, Ritz B. Risk of leukemia in relation to exposure to ambient air toxics in pregnancy and early childhood. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2014;217(6):662–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2013.12.003>
- [18] McKinney PA, Fear NT, Stockton D. UK Childhood Cancer Study Investigators. Parental occupation at periconception: findings from the United Kingdom Childhood Cancer Study. *Occupational and Environmental Medicine*. 2003;60(12):901–9. <https://doi.org/10.1136/oem.60.12.901>
- [19] Ghosh JK, Heck JE, Cockburn M, Su J, Jerrett M, Ritz B. Prenatal exposure to traffic-related air pollution and risk of early childhood cancers. *American Journal of Epidemiology*. 2013;178(8):1233–9. <https://doi.org/10.1093/aje/kwt129>

Сведения об авторах:

Пинаев Сергей Константинович, кандидат медицинских наук, доцент кафедры онкологии с курсом хирургии и эндоскопии ДПО, Дальневосточный государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, Российская Федерация, 680000, Хабаровск, ул. Муравьева-Амурского, д. 35. SPIN: 3986-4244. ORCID: 0000-0003-0774-2376. E-mail: pinaev@mail.ru

Чижов Алексей Ярославович, доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик Российской экологической академии, профессор-консультант департамента экологии человека и биоэлементологии, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, Москва, Подольское шоссе, 8/5, к. 423. SPIN: 6701-2688. ORCID: 0000-0003-0542-1552. E-mail: ma21@mail.ru

Пинаева Ольга Геннадьевна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры нормальной и патологической физиологии, Дальневосточный государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, Российская Федерация, 680000, Хабаровск, ул. Муравьева-Амурского, д. 35. SPIN: 1678-3743. ORCID: 0000-0001-9676-845X. E-mail: pinaeva_og@mail.ru

Bio notes:

Sergey K. Pinaev, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Oncology with a course of surgery and endoscopy of additional postgraduate education, Far Eastern State Medical University, 35 Muravyova-Amuskogo St, Khabarovsk, 680000, Russian Federation. SPIN: 3986-4244. ORCID: 0000-0003-0774-2376. E-mail: pinaev@mail.ru

Alexey Ya. Chizhov, Doctor of Medicine, Professor, Academician of the Russian Ecological Academy, Professor-Consultant of the Department of Human Ecology and Bioelementology, Institute of Ecology, Peoples' Friendship University of Russia, 8/5-423 Podolskoye shosse, Moscow, 115093, Russian Federation. SPIN: 6701-2688. ORCID: 0000-0003-0542-1552. E-mail: ma21@mail.ru

Olga G. Pinaeva, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Normal and Pathological Physiology, Far Eastern State Medical University, 35 Muravyova-Amuskogo St, Khabarovsk, 680000, Russian Federation. SPIN: 1678-3743. ORCID: 0000-0001-9676-845X. E-mail: pinaeva_og@mail.ru



БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

BIOLOGICAL RESOURCES

DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-606-619

УДК 504.054

Научная статья / Research article

Система факторов антропогенного воздействия на ихтиофауну бассейна реки Северная Двина

А.М. Торцев  

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук,
г. Архангельск, Российская Федерация*

 torzevalex@yandex.ru

Аннотация. Речной бассейн Северной Двины подвергается постоянному антропогенному воздействию в результате деятельности промышленности, электроэнергетики, коммунального и сельского хозяйства, добычи полезных ископаемых, судостроения, транспорта и рыболовства. Целью исследования является идентификация и качественная оценка факторов антропогенного воздействия на ихтиофауну бассейна реки Северная Двина в границах Архангельской области. Сведения об антропогенном воздействии базируются на открытых данных органов государственной власти и научных публикаций. Определены основные факторы антропогенного воздействия на ихтиофауну. Воздействие имеет многофакторный характер. Рыболовство сокращает численность популяций рыб, а хозяйственная деятельность на акватории и берегах водного объекта ухудшает условия среды обитания рыб, что приводит к изменению параметров популяций рыб. Сокращение антропогенного воздействия может быть реализовано посредством реконструкции существующих и строительства новых систем водоотведения, а также введения ограничений на использование лесных ресурсов в прибрежной зоне.

Ключевые слова: река Северная Двина, антропогенное воздействие, факторы, ихтиофауна

© Торцев А.М., 2022



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

Благодарности и финансирование. Исследование проведено в рамках НИР «Изучение изменений в экосистеме р. Северная Двина и в водоемах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Европейского северо-востока России в условиях климатических сукцессий и воздействия антропогенных факторов».

История статьи: поступила в редакцию 11.06.2022; доработана после рецензирования 10.08.2022; принята к публикации 14.09.2022.

Для цитирования: *Торцев А.М.* Система факторов антропогенного воздействия на ихтиофауну бассейна реки Северная Двина // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 606–619. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-606-619>

The system of factors of anthropogenic impact on the fish fauna of the Northern Dvina river basin

Alexey M. Tortsev  

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Science, Arkhangelsk, Russian Federation

 torzevalex@yandex.ru

Abstract. Industry, electric power, utilities, agriculture, mining, construction, shipbuilding, transport and fishing have a constant anthropogenic impact on the Northern Dvina river basin. Identification and qualitative assessment of factors of anthropogenic impact on the fish fauna of the Northern Dvina river basin within the boundaries of the Arkhangelsk region is the aim of the research. Open data of public authorities on anthropogenic impact and scientific publications are the basis for the research. The main factors of anthropogenic impact on fish fauna have been identified. The impact is multifactorial. Fishing reduces the number of fish populations, and economic activities in the water area and the banks of the water body worsen the conditions of the fish habitat. This leads to a change in the parameters of fish populations. Reconstruction of existing wastewater systems and construction of new ones, as well as the introduction of restrictions on the use of forest resources in the coastal zone are directions for reducing the anthropogenic impact.

Keywords: Northern Dvina river, anthropogenic impact, factors, fish fauna

Acknowledgements and Funding. The research was carried out as part of the research work “Investigate of changes in the ecosystem of the Northern Dvina river and in water bodies of specially protected natural areas (SPNA) of the European North-East of Russia under conditions of climatic successions and the impact of anthropogenic factors”.

Article history: received 11.06.2022; revised 10.08.2022; accepted 14.09.2022.

For citation: Tortsev AM. The system of factors of anthropogenic impact on the fish fauna of the Northern Dvina river basin. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):606–619. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-606-619>

Введение

Крупнейшая река бассейна Белого моря – Северная Двина – протекает по северному склону Русской равнины. Длина реки составляет 774 км, а площадь бассейна – 357 тыс. км² (рис. 1). В районе городов Архангельск и

Северодвинск р. Северная Двина образует обширную дельту площадью около 900 км², состоящую из более чем 150 протоков и впадает в Двинскую губу Белого моря [1]. Река Северная Двина принимает на своем пути большое количество рек, ручьев и водотоков, общее количество которых достигает 61 878.

Нельзя не отметить, что речной бассейн Северной Двины подвергается постоянному антропогенному воздействию в результате деятельности лесной, деревообрабатывающей (комбинаты в г. Архангельск) и целлюлозно-бумажной промышленности (комбинаты в г. Новодвинск, г. Коряжма), электроэнергетики (крупные теплоэлектростанции г. Архангельск), коммунального хозяйства (муниципальные водоканалы и др.), сельского хозяйства, геолого-разведки и добычи полезных ископаемых, строительства, судостроения и судоремонта, водного и трубопроводного транспорта, рыболовства, водопотребления [2; 3]. При этом речной бассейн Северной Двины является одним из основных промысловых районов Архангельской области. Таким образом, целью исследования является идентификация и качественная оценка факторов антропогенного воздействия на ихтиофауну бассейна реки Северная Двина в границах Архангельской области.

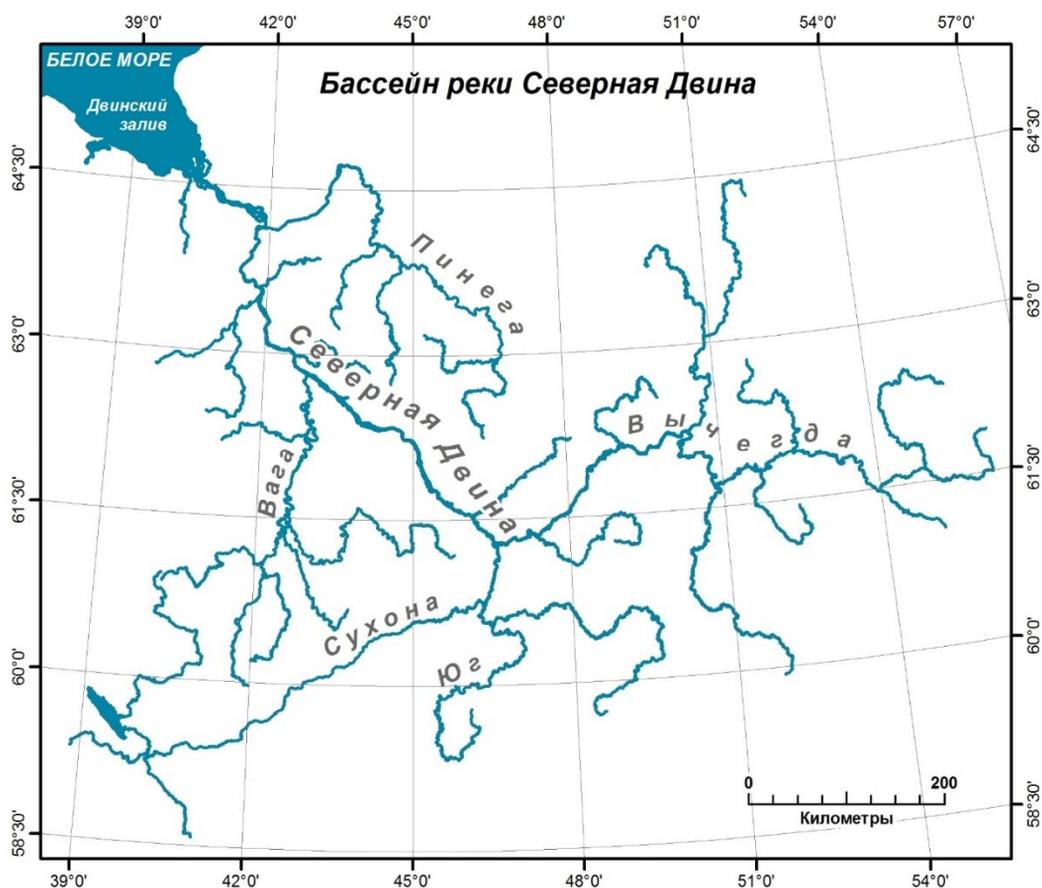


Рис. 1. Схема бассейна Северной Двины

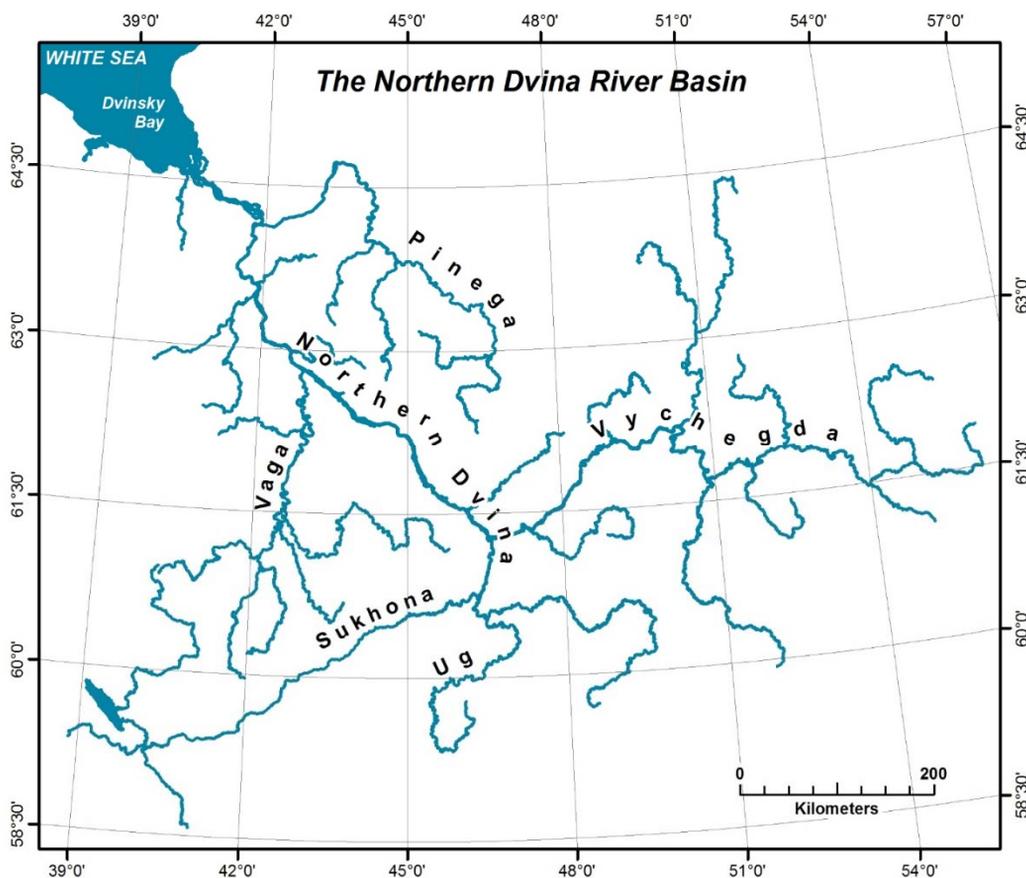


Figure 1. Scheme of the Northern Dvina basin

Материалы и методы исследования

Сведения об антропогенном воздействии базируются на открытых данных Двинско-Печорского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов (2018–2020 гг.), Федеральной службы государственной статистики (2000–2019 гг.), регионального доклада о состоянии и охраны окружающей среды (2020 г.) и научных публикаций. Обработка полученных данных произведена с использованием программы MS Excel.

Основным методом исследования является метод описания, включающий прием наблюдения, интерпретации, сопоставления и обобщения данных информационных ресурсов и платформ.

Результаты

Хозяйственная деятельность на водных объектах, а также их берегах и водосборной площади оказывает многофакторное негативное воздействие на биоценозы и ведет к нарушению сложившегося экологического равновесия. Подавляющее большинство процессов антропогенного воздействия на водные экосистемы протекает при участии атмосферы, биосферы и донных

отложений. Эти процессы действуют одновременно и непрерывно [4]. Усиление антропогенного воздействия на водные экосистемы приводит к изменениям и нарушениям сформировавшихся биоценозов и сокращению видового биоразнообразия, что приводит к их деградации. Однако вследствие процессов синергизма и адаптации, протекающих в водных экосистемах, крайне сложно зафиксировать воздействие на экосистему какого-либо одного фактора. В данном случае можно наблюдать доминирующий фактор или комплекс факторов. При этом необходимо отметить, что большая доля изменений водных экосистем определяется в настоящее время антропогенным воздействием на них [5], а техногенные факторы проявляются за короткий срок и вызывают резкие изменения на всех уровнях организации водных экосистем.

Применительно к бассейну р. Северная Двина можно выделить следующие основные факторы негативного воздействия на водные экосистемы (рис. 2), воздействующие как на берега водных объектов, так и водные ресурсы.

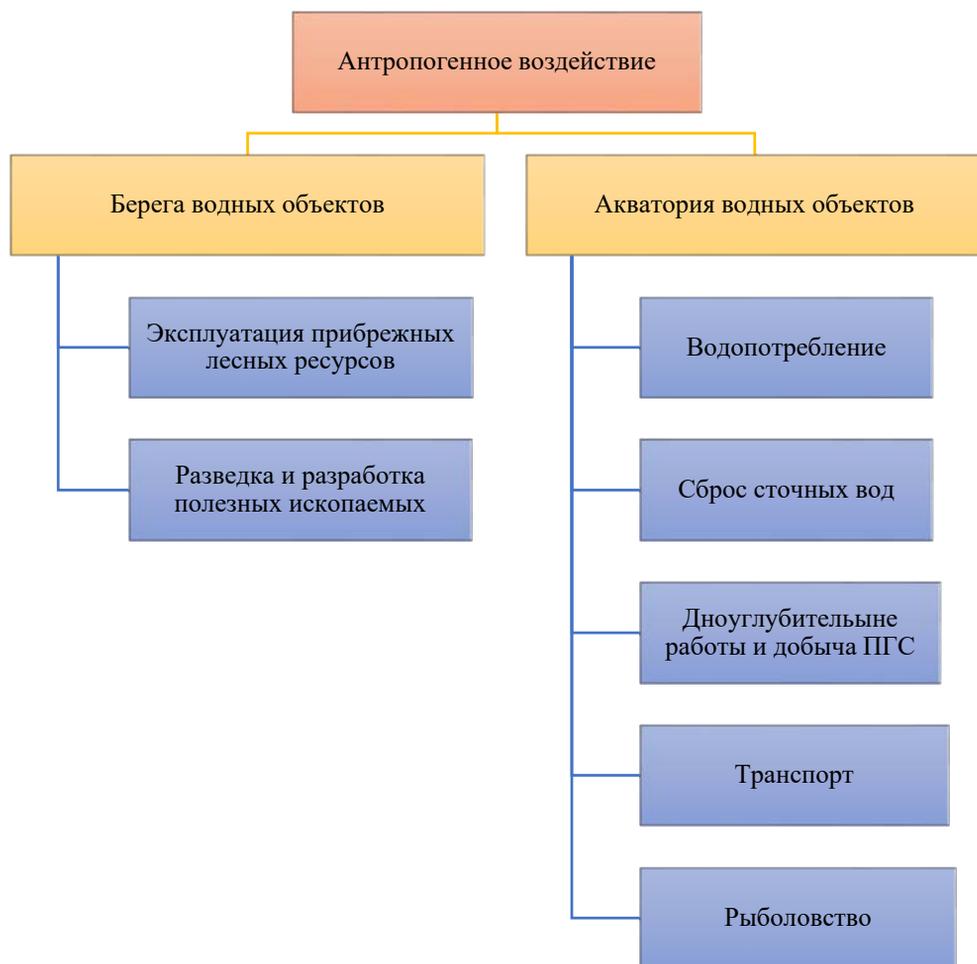


Рис. 2. Виды антропогенного воздействия на водные экосистемы бассейна реки Северная Двина

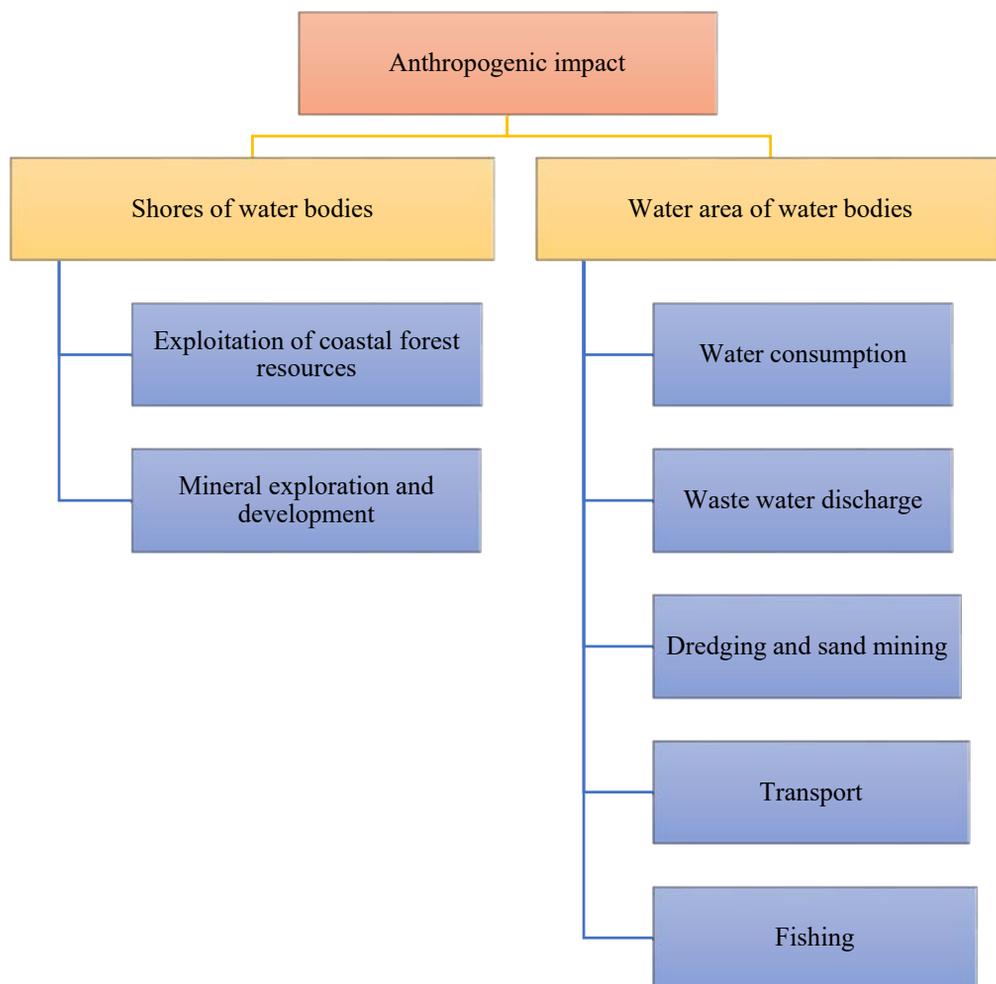


Figure 2. Types of anthropogenic impact on water ecosystems of the Northern Dvina river basin

Эксплуатация прибрежных лесных ресурсов

Учеными отмечается, что сохранение леса на водосборной площади водных объектов играет важную роль в водном балансе рек и озер, сохранение среды обитания водных биоресурсов тесно связано с сохранением водности рек. На созданных вырубках значительно меняется интенсивность биологических, гидрофизических и гидрологических процессов. Выделяются следующие факторы негативного воздействия на водные биоресурсы вследствие снижения лесистости: сокращение нерестовых площадей и ухудшение условий воспроизводства водных биоресурсов, снижение доступной кормовой базы рыб (гибель планктонных и бентосных организмов), повышенная смертность рыб и др. [6]. При этом использование лесных ресурсов на водосборном бассейне малых рек и ручьев может оказывать значительное влияние в случае снижения лесистости. Это, в частности, приводит к сокращению доступных площадей нерестово-выростных участков и сокращению запасов лосося

атлантического [7]. Также необходимо отметить сильное антропогенное влияние, оказанное ранее на реки Европейского Севера молевым сплавом леса, широко применявшимся в XIX–XX вв. Это привело к загрязнению корой и топляками протяженных участков рек, а также нарушению термического и кислородного режима на нерестово-выростных участках.

Разведка и разработка общераспространенных полезных ископаемых

В ходе проведения хозяйственной деятельности этого вида часто происходит нарушение и изменение русел водных объектов, загрязнение их вод взвешенными веществами и иными загрязнителями. Следствием этого является занос галечных нерестово-выростных участков. Кроме того, разработка месторождений сопровождается строительными работами, которые также оказывают негативное воздействие на водные экосистемы, включая шум, инфразвук, вибрацию, ионизирующие излучения и др., образование сточных вод, а также поступление отходов производства и потребления.

Водопотребление

Использование водных ресурсов сокращает кормовую базу водных биоресурсов вследствие гибели планктонных организмов. Отсутствие рыбозащитных сооружений или их несоответствие установленным требованиям приводит к гибели икры и личинок (молоди) водных биоресурсов. Так, водопользование из поверхностных водных объектов в области в 2020 г. составило 524,46 млн м³. При этом почти 90 % забранных водных ресурсов используется в производственных нуждах, чуть менее 8 % – на хозяйственно-питьевые нужды населения¹.

Загрязненные и недостаточно очищенные сточные воды

В речную сеть бассейна р. Северная Двина поступают сточные воды нескольких сотен предприятий, а также сточные воды населенных пунктов. Качество воды в р. Северная Двина характеризуется как «очень загрязненная». Характерными загрязняющими веществами реки являются соединения меди, железа, алюминия, цинка, марганца и трудноокисляемые органические вещества [3]. Высокие концентрации соединений железа и марганца в поверхностных водах обусловлены природными причинами. Источником соединений железа и марганца являются болотные воды, питающие малые реки и ручьи бассейна р. Северная Двина. Соединения меди и цинка попадают в

¹ Информационный бюллетень о состоянии водных объектов, дна, берегов водных объектов, их морфометрических особенностей, водоохранных зон водных объектов, количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов, состояния водохозяйственных систем, в том числе гидротехнических сооружений по Двинско-Печорскому бассейновому округу, относящемуся к зоне деятельности Двинско-Печорского бассейнового водного управления за 2020 год. – URL: <http://www.dpbvu.ru> (дата обращения: 21.03.2022).

природные воды в результате процессов разрушения и растворения горных пород и минералов, а наличие части органических соединений обусловлено процессами разложения растительных остатков [8]. Однако эпизодические превышения ПДК нефтепродуктов уже обусловлены антропогенным воздействием. Часть органических веществ также имеют под собой антропогенную причину, которая обусловлена поступлением неочищенных хозяйственно-бытовых сточных вод в реку.

Объемы сброса загрязненных сточных вод также зависят от структуры экономики и наличия водоемких производств. В сточных водах предприятий наблюдаются 29 наименований загрязняющих веществ, включая алюминий, ванадий, взвешенные вещества, кадмий, марганец, НСПАВ, свинец, формальдегид, хром, цинк, никель, соединения железа и меди, метанол, нефтепродукты и др. При этом в целом по Архангельской области развитие экономики сопровождается сокращением негативного воздействия на водные объекты в расчете на единицу валового регионального продукта (рис. 3). В противоположность этому изношенность системы водоотведения населенных пунктов приводит к сбросам недостаточно очищенных сточных вод [9].

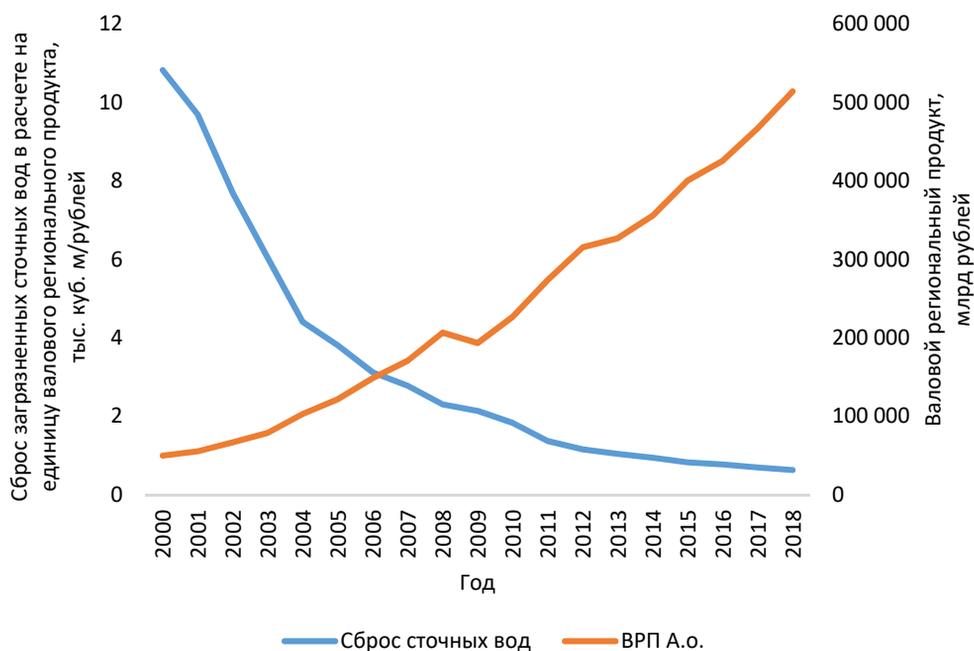


Рис. 3. Сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты [10] в расчете на единицу регионального валового продукта² в Архангельской области в период 2000–2018 гг., тыс. м³/рублей

² Регионы России. Социально-экономические показатели. 2021. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 31.01.2022).

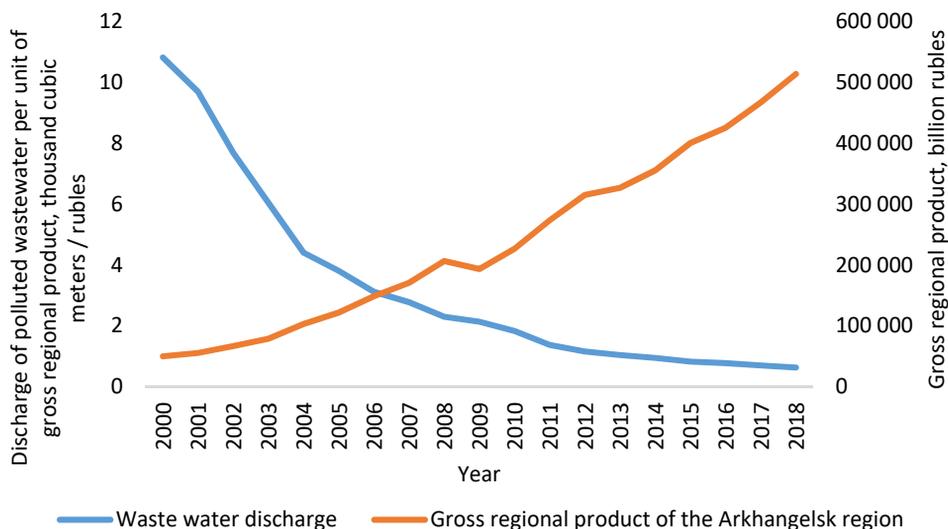


Figure 3. Discharge of polluted wastewater into surface water bodies [10] per unit of gross regional product in the Arkhangelsk region in the period 2000-2018, thousand m³/rubles

В то же время анализ динамики сброса загрязненных сточных вод в расчете на душу населения показывает несколько иную картину. Так, если численность населения области показывает устойчивую нисходящую динамику, то показатель сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты на душу населения имеет разнонаправленную динамику и постепенный переход на плато в последние 5 лет наблюдений (рис. 4). На наш взгляд, это может быть обусловлено увеличением водопотребления населением региона в условиях износа коммунальной инфраструктуры населенных пунктов, что приводит к недостаточной очистке загрязненных сточных вод.

При этом необходимо отметить, что очистка или соответствие сточных вод требованиям природоохранного законодательства происходят только в отношении около 51 % всех сточных вод. Значительная часть сточных вод сбрасывается без очистки (2 %) или с недостаточной степенью очистки (46 %) ³.

Исследования антропогенного воздействия на водные экосистемы показывают реакцию гидробионтов на изменение гидрохимических характеристик. Так, например, в бентосных сообществах снижается видовое разнообразие, численность и биомасса, а также ряд других показателей [11]. Фитопланктон реагирует на негативное воздействие усилением процесса антропогенного эвтрофирования или угнетением развития (токсический эффект) [12]. В зоопланктонных сообществах изменяется видовой состав,

³ Информационный бюллетень о состоянии водных объектов, дна, берегов водных объектов, их морфометрических особенностей, водоохраных зон водных объектов, количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов, состояния водохозяйственных систем, в том числе гидротехнических сооружений по Двинско-Печорскому бассейновому округу, относящемуся к зоне деятельности Двинско-Печорского бассейнового водного управления за 2020 год. URL: <http://www.dpbvu.ru> (дата обращения: 21.03.2022).

происходит смена доминирующих комплексов на устойчивые к загрязнению виды. При этом в сообществах преобладают мелкоразмерные организмы с низкой индивидуальной массой [13]. В ихтиофауне водных объектов также происходят изменения: сокращение численности чувствительных к загрязнению воды видов рыб (гольцы, кумжа) и массовые заболевания рыб. Необходимо отметить, что загрязняющие вещества накапливаются в тканях рыб, вызывая различные заболевания. Снижение численности и биомассы зоопланктона и бентоса обуславливает уменьшение кормовой базы рыб, что влечет за собой изменения в видовой, размерной, трофической, пространственной структуре рыбного населения [14].

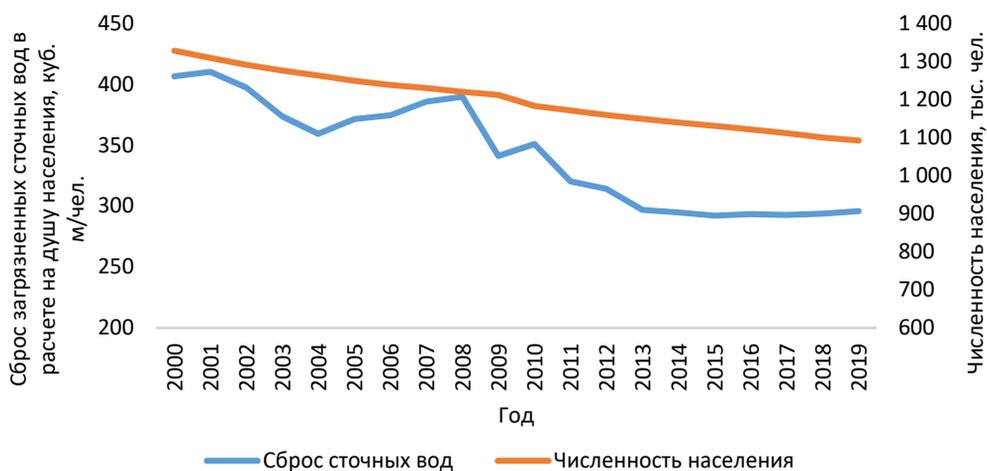


Рис. 4. Сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты [10] в расчете на душу населения⁴ в Архангельской области в период 2000–2019 гг., м³/человек

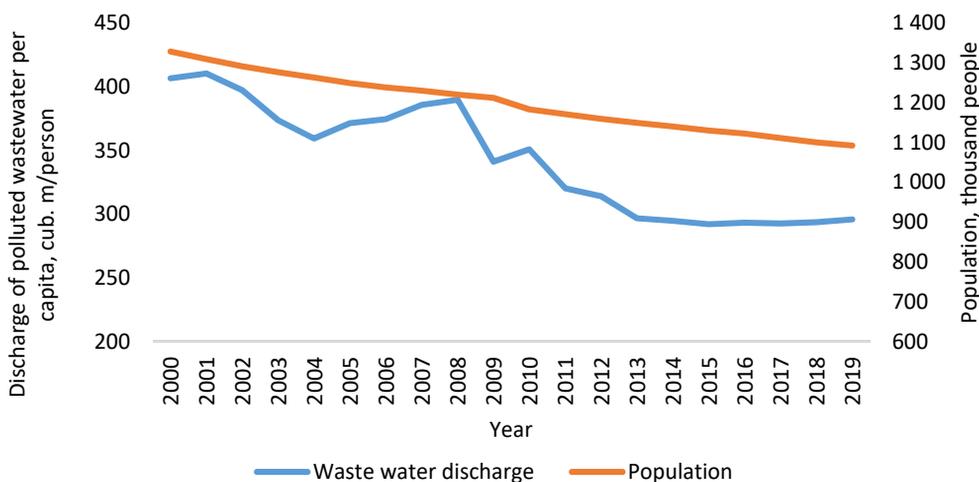


Figure 4. Discharge of polluted wastewater into surface water bodies [10] per capita in the Arkhangelsk region in the period 2000–2019, m³/person

⁴ Регионы России. Социально-экономические показатели. 2021. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения 31.01.2022).

Дноуглубительные работы и добыча песчано-гравийных смесей

Северная Двина является судоходной трассой на севере европейской части России. В целях прохождения судов проводятся дноуглубительные работы, хотя и в меньшем объеме, чем ранее. В ходе таких работ изменяется морфология русел рек, а также появляются и распространяются временные зоны повышенной концентрации взвешенных веществ в местах работы земснарядов и на участках подводного отвала грунта. Последствия выражаются в частичной или полной гибели кормовых организмов, а также личинок и молоди рыб. При этом происходят повреждающее воздействие на жаберный аппарат рыб, усиление двигательной активности и преждевременное истощение, изменение физиологических и биохимических процессов [15].

Транспорт

Является загрязнителем горюче-смазочными материалами водных ресурсов и источником шумового воздействия на ихтиофауну, что приводит к нарушениям акустического взаимодействия рыб и снижения продуктивности ее кормовой базы [16]. Акустическое воздействие на ихтиофауну обычно является кратковременным, и большинство видов рыб легко адаптируется к антропогенному шуму. В то же время у рыб акустическое воздействие может влиять на характер сезонных миграций.

Рыболовство

Недостатки организации промысла приводят к избыточному воздействию на ихтиофауну бассейна р. Северная Двина. Происходит селективный отбор наиболее кондиционных производителей в донерестовый период, снижающий качество воспроизводства, а также приводящий к изменениям возрастной структуры нерестовых стад [2]. При этом необходимо отметить и крайне негативное воздействие браконьерства, которое является весьма мощным фактором снижения количественных и качественных характеристик популяций ценных видов рыб.

Заключение

Таким образом, на водные экосистемы р. Северная Двина оказывается сильное антропогенное воздействие, которое ухудшает условия воспроизводства, нагула, миграции и нереста ихтиофауны. При этом воздействие имеет многофакторный характер, поскольку легальное рыболовство и браконьерство сокращают численность популяций рыб, а хозяйственная деятельность на акватории и берегах водного объекта ухудшает условия среды обитания рыб, что также приводит к изменению параметров популяций рыб. Однако в данном случае не рассматриваются аварийные ситуации, когда в водные объекты поступает большое количество загрязняющих веществ, что может оказать катастрофическое влияние на состояние водной экосистемы.

В качестве мер по снижению основных факторов антропогенного воздействия на водные экосистемы считаем целесообразным рассмотреть возможность реконструкции централизованных систем водоотведения в крупных населенных пунктах, а также оснащение локальными очистными сооружениями новых объектов капитального строительства (реконструкции) как в крупных, так и малых поселениях. Эти меры могут быть реализованы в том числе посредством создания программы по строительству и реконструкции очистных сооружений и включения ее в федеральный проект «Экология» с привлечением соответствующего финансирования. Кроме того, необходимо ограничение использования лесных ресурсов по берегам рек, что предотвратит деградацию малых водных объектов.

Список литературы

- [1] Демиденко Н.А. Современные особенности гидрологического режима устьевых областей рек бассейна Белого моря // *Меняющийся климат и социально-экономический потенциал Российской Арктики*. М., 2016. С. 95–145.
- [2] Новосёлов А.П., Студёнов И.И. Факторы техногенного воздействия на бассейн реки Северной Двины // *Вестник Северного (Арктического) федерального университета*. Серия: Естественные науки. 2014. № 2. С. 32–40.
- [3] Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Решетняк О.С., Кондакова М.Ю. Транспорт загрязняющих веществ по крупным рекам Европейского Севера и Сибири // *Водные ресурсы*. 2015. Т. 42, № 3. С. 279–287.
- [4] Никаноров А.М. Об избирательной реакции водных экосистем на антропогенное воздействие // *Доклады Академии наук*. 2014. Т. 459, № 4. С. 504.
- [5] Новоселов А.П., Студенов И.И. Современное состояние промысловой ихтиофауны в пресноводных водоемах Северного рыбохозяйственного бассейна // *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. 2015. № 10. С. 10–18.
- [6] Леман В.Н., Кобяков К.Н., Винников А.В. Защитные леса и сохранение водных биологических ресурсов // *Устойчивое лесопользование*. 2018. № 1 (53). С. 2–10.
- [7] Шилов Н.И., Боровлев А.О. Оценка потенциальных рисков для популяций атлантического лосося в случае сокращения площади нерестоохранных полос лесов в Северном рыбохозяйственном бассейне // *Устойчивое лесопользование*. 2019. № 2 (58). С. 5–13.
- [8] Соромотин А.В., Кудрявцев А.А., Ефимова А.А., Гертер О.В., Фефилов Н.Н. Фоновое содержание тяжелых металлов в воде малых рек Надым-Пуровского междуречья // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2019. № 2. С. 48–55. <http://doi.org/10.31857/S0869-78092019248-55>
- [9] Торцева Т.В., Торцев А.М. Антропогенное загрязнение водных объектов Арктической зоны Российской Федерации в условиях активизации освоения природных ресурсов // *Биоразнообразие, состояние и динамика природных и антропогенных экосистем России: материалы Всероссийской научно-практической конференции*. Комсомольск-на-Амуре, 2021. С. 201–205.
- [10] Доклад «Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2020 год» / отв. ред. О.В. Перхурова; ГБУ Архангельской области «Центр природопользования и охраны окружающей среды». Архангельск: САФУ, 2021. 478 с.
- [11] Балущкина Е.В. Изменение структуры сообществ донных животных при антропогенном воздействии на водные экосистемы (на примере малых рек Ленинградской области) // *Евразийский энтомологический журнал*. 2004. Т. 3, № 4. С. 276–282.

- [12] Решетняк О.С., Решетняк Н.В., Решетняк В.Н. Состояние экосистемы Нижнего Дона в современных условиях антропогенного воздействия // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2019. № 4. С. 234–240.
- [13] Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А., Шаров А.Н., Вандыш О.И., Кудрявцева Л.П. Антропогенная трансформация арктической экосистемы озера Имандра: тенденции к восстановлению после длительного периода загрязнения // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 3. С. 312–325.
- [14] Богданов В.Д., Богданова Е.Н., Мельниченко И.П., Степанов Л.Н., Ярушина М.И. Проблемы охраны биоресурсов при обустройстве Бованенковского газоконденсатного месторождения // Экономика региона. 2012. № 4 (32). С. 68–79.
- [15] Зиновьев Е.А., Китаев А.Б. О воздействии взвешенных частиц на гидрофауну // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17, № 5. С. 283–288.
- [16] Захаров А.Б., Пономарев В.И., Лоскутова О.А., Шубина В.Н. Влияние эксплуатации наземного и водного транспорта на биологические ресурсы горных рек национального парка «Югыд Ва» // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2015. Вып. 1 (21). С. 26–31.

References

- [1] Demidenko NA. Modern features of the hydrological regime of the mouth areas of the rivers of the White Sea basin. In: *Changing climate and socio-economic potential of the Russian Arctic*. Moscow; 2016:95–145. (In Russ.)
- [2] Novoselov AP, Studenov II. Factors of technogenic impact on the Northern Dvina river basin. *Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series: Natural Sciences*. 2014;(2):32–40. (In Russ.)
- [3] Nikanorov AM, Bryzgalov VA, Reshetnyak OS, Kondakova MYu. Transport of pollutants along large rivers of the European North and Siberia. *Water resources*. 2015;42(3):279–287. (In Russ.)
- [4] Nikanorov AM. On the selective response of aquatic ecosystems to anthropogenic impact. *Reports of the Academy of Sciences*. 2014;459(4):504. (In Russ.)
- [5] Novoselov AP, Studenov II. The current state of commercial ichthyofauna in freshwater reservoirs of the Northern fishery basin. *Fish farming and fisheries*. 2015;(10):10–18. (In Russ.)
- [6] Leman V.N., Kobyakov K.N., Vinnikov A.V. Protective forests and conservation of water biological resources. *Sustainable Forest Management*. 2018;(1):2–10. (In Russ.)
- [7] Shilov N.I., Borovlev A.O. Assessment of potential risks for Atlantic salmon populations in the event of a reduction in the area of spawning forest belts in the Northern Fishery Basin. *Sustainable Forest Management*. 2019;(2):5–13. (In Russ.)
- [8] Soromotin AV, Kudryavtsev AA, Efimova AA, Gerter OV, Fefilov NN. Background content of heavy metals in the water of small rivers of the Nadym-Purovsky interfluvium. *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2019;(2):48–55. <http://doi.org/10.31857/S0869-78092019248-55> (In Russ.)
- [9] Tortseva TV, Tortsev AM. Anthropogenic pollution of water bodies in the Arctic zone of the Russian Federation in the context of increased development of natural resources. *Biodiversity, state and dynamics of natural and anthropogenic ecosystems in Russia. Materials of the All-Russian scientific-practical conference*. Komsomolsk-on-Amur; 2021. P. 201–205. (In Russ.)

- [10] Perhurova JV, editor. *Report «The state and environmental protection of the Arkhangelsk region for 2020»*; State Budgetary Institution of the Arkhangelsk Region «Center for Nature Management and Environmental Protection». Arkhangelsk: NARFU Publ.; 2021:478. (In Russ.)
- [11] Balushkina EB. Changes in the structure of benthic animal communities under anthropogenic impact on aquatic ecosystems (on the example of small rivers in the Leningrad Region). *Eurasian Entomological Journal*. 2004;3(4):276–282. (In Russ.)
- [12] Reshetnyak OS, Reshetnyak NV, Reshetnyak VN. The state of the ecosystem of the Lower Don in modern conditions of anthropogenic impact. *Ecology. Economy. Informatics. Series: Geoinformation technologies and space monitoring*. 2019;(4):234–240. (In Russ.)
- [13] Moiseenko TI, Gashkina NA, Sharov AN, Vandysh OI, Kudryavtseva LP. Anthropogenic transformation of the Arctic ecosystem of Lake Imandra: trends towards recovery after a long period of pollution. *Water resources*. 2009;36(3):312–325. (In Russ.)
- [14] Bogdanov VD, Bogdanova EN, Melnichenko IP, Stepanov LN, Yarushina MI. Problems of protection of bioresources during the development of the Bovanenkovskoye gas condensate field. *Economics of the region*. 2012;(4):68–79. (In Russ.)
- [15] Zinoviev EA, Kitaev AB. On the impact of suspended particles on hydrofauna. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015;17(5):283–288. (In Russ.)
- [16] Zakharov AB, Ponomarev VI, Loskutova OA, Shubina VN. Influence of operation of land and water transport on the biological resources of the mountain rivers of the national park «Yugyd Va». *News of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2015;1(21):26–31. (In Russ.)

Сведения об авторе:

Торцев Алексей Михайлович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163000, Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 23. ORCID: 0000-0002-2329-0042, eLIBRARY SPIN-код: 6717-3313. E-mail: torzevalex@yandex.ru

Bio note:

Alexey M. Tortsev, Cand. Sc. Biology, Senior Researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Science, 23 Severnaya Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2329-0042, eLIBRARY SPIN-code: 6717-3313. E-mail: torzevalex@yandex.ru



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-620-628

УДК 502.5:504.052:639.2

Научная статья / Research article

Состояние проблемы нерационального использования водных биологических ресурсов в 2022 году на примере промысла минтая

А.В. Якимов  

*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Российская Федерация*

 applo_o@mail.ru

Аннотация. Масштабный промысел, который существует в настоящее время, недостаточно контролируется со стороны надзорных органов, и в данной отрасли существуют проблемы. Изучение текущей обстановки на добывающих судах очень важно, поскольку данные, которые от них поступают, зачастую некорректны и реальные объемы изъятия водных биологических ресурсов неизвестны. Представлено состояние проблемы нерационального использования водных биологических ресурсов на примере промысла минтая. Приведены данные по промысловым операциям, прилову прочих видов гидробионтов и различным нарушениям на промысле, а также величина выброса за борт молоди минтая, взрослых особей и т. п., что не идет на судне в обработку. Описывается текущая работа надзорных органов по качеству контроля и учету нарушений.

Ключевые слова: минтай, Охотское море, выбросы, средняя длина, прилов

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

История статьи: поступила в редакцию 25.07.2022; доработана после рецензирования 29.09.2022; принята к публикации 12.10.2022.

© Якимов А.В., 2022



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

Для цитирования: Якимов А.В. Состояние проблемы нерационального использования водных биологических ресурсов в 2022 году на примере промысла минтая // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 620–628. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-620-628>

The state of the problem of irrational use of aquatic biological resources in 2022 on the example of Pollock fishing

Andrei V. Iakinov  

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russian Federation
 applo_o@mail.ru

Abstract. The supervisory authorities insufficiently control the large-scale fishing that currently exists and there are problems in this industry. The study of the current real situation on mining vessels is very important, since the data, that they receive from them is often incorrect and the actual volumes of the seizure of aquatic biological resources are unknown. Describes the state of the problem of irrational use of aquatic biological resources on the example of Pollock fishing. Provides data on fishing operations, by-catch of other species of aquatic organisms and various violations in the fishery. It describes the amount of ejection overboard of Pollock juveniles, adults and everything that does not go into processing on the ship. The current work of the supervisory authorities on the quality of control and accounting of violations is described.

Keywords: Pollock, Sea of Okhotsk, emissions, average length, by-catch

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 25.07.2022; revised 26.09.2022; accepted 12.10.2022.

For citation: Iakinov AV. The state of the problem of irrational use of aquatic biological resources in 2022 on the example of Pollock fishing. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):620–628. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-620-628>

Введение

Промысел минтая в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне регламентируется правилами рыболовства, в которых установлены сроки добычи, разрешенные для вылова минимальные размерные показатели рыб и действия с приловом [1].

Проблема рационального использования водных биологических ресурсов (ВБР) затрагивается многими авторами [1–8] и, несмотря на то, что она существует очень давно, это остается актуальным в 2022 г. За столько лет государству не удалось урегулировать промысел и в действительности сейчас все на том же уровне. В Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне не существует точных механизмов по учету и контролю использования ВБР.

По прогнозам, обстановка на промысле в настоящее время удовлетворительная, в районе примерно 70 среднетоннажных и крупнотоннажных рыболовных траулеров ведут добычу минтая. Согласно данным официальной статистики, в основе которых среднесуточные донесения, освоение квот заметно лучше, чем годом ранее [9].

Материалы и методы

Материалы собирались автором на судне при работе в основных районах добывающего флота в северной части Охотского и моря в январе-феврале 2022 г.

В основе исследования лежат суточные промеры минтая из траловых уловов количеством 200 экземпляров. Дополнительный анализ проводился для рыб размером меньше промысловой меры (длина АС < 37). Промеры с точностью до сантиметра, с взвешиванием всех особей для расчета средней массы в улове. Деление массы всего улова на среднюю длину позволило узнать количество рыб. Производились наблюдения за обработкой улова для изучения видового состава прочих видов, далее их систематизация и оценка.

Проводились наблюдения за промысловыми операциями, в особенности выбросы за борт, всего что не пошло в обработку. На основе полученных средних величин с промеров рассчитывалась точная биомасса потерь ВБР.

Результаты и обсуждения

За все время наблюдения промерено 4623 экземпляров минтая, 426 особей других видов и просмотрено 82 промысловые операции на предмет нарушений.

В период исследований в случайных выборках из траловых уловов встречался минтай в пределах 27–60 см (рис. 1а). Уловы на траление от 25 до 120 т, максимальное число особей 246 тысяч. На графике (рис. 1б) видно, что чем меньше численность минтая в улове при большей биомассе, то в этом тралении крупный минтай доминирует и прилов молодежи невысокий. В то время как, например, в тралении номер 5 численность превосходит биомассу и здесь отмечается большой процент прилова минтая размером меньше промысловой меры.

Правилами рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна ограничивается прилов молодежи минтая промысловой длины в количестве не более 20 % в счете за одно траление, при превышении данного порога необходимо уведомить территориальные органы Росрыболовства, а также сменить место промысла на 5 морских миль, при этом вся рыба должна идти в обработку [1].

Наблюдения показали, что на самом деле молодежь не идет в обработку, судовладельцам это экономически нецелесообразно, и она вся выбрасывается за борт. При этом смены района в большинстве случаев не происходит и судно остается выбирать квоту в том же месте. Следует отметить что

наблюдения проводились на рыболовном траулере с продукцией минтай без головы. Молодь не идет в обработку, поскольку минимальные значения для продукции – это рыба с длиной АС более 37 см. На производство рыбной муки идут головы, все остальное выбрасывается в связи с небольшим объемом накопительного бункера. Останавливать производство ради того, чтобы произвести из молоди минтая рыбную муку экономически нецелесообразно.

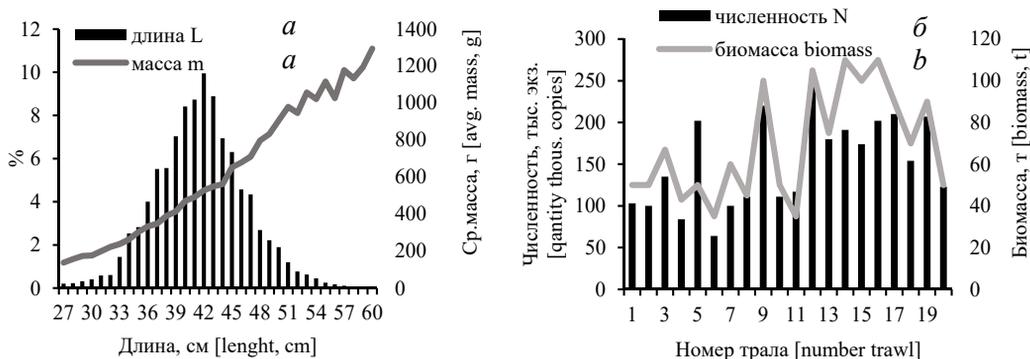


Рис. 1. Длина (а) и численность с биомассой (б) минтая в улове /
Figure 1. Length (a) abundance and biomass (b) in the catch

Во время проведения исследовательской работы в случайных выборках из трала попадалась молодь минтая в пределах 27–36 см (рис. 2а). Согласно полученным данным, средний процент прилова молоди на траление в период наблюдений составил 13,9 %. Минимальное значение 0,49 %, а максимальное 72,6 % (рис. 2б). Максимальные выбросы составили более 26 т молоди минтая за одно траление, цельными тушками.

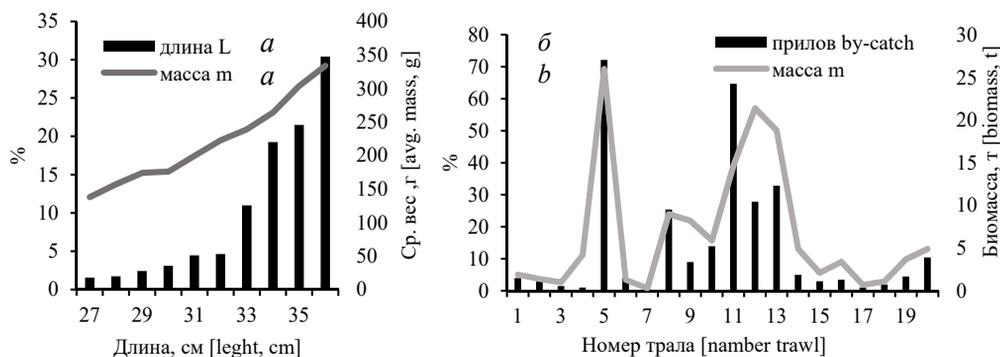


Рис. 2. Длина (а) и прилов (б) молоди минтая /
Figure 2. Length (a) and by-catch of Pollock juveniles (b)

Прилов молоди достаточно большой, отмечался практически повсеместно. В некоторых тралениях значительно превышал допустимые пределы в 20 % и являлся нарушением действующих Правил Рыболовства. Практически вся молодь минтая размером меньше промысловой меры выбрасывается за борт в неизменном виде, при том что это запрещено.

Наблюдения показали, что помимо молоди за борт может уходить и крупный минтай. Это происходит при переходе судна на перегруз рыбопродукции, поскольку необходимы замывка цеха и промывание траловых комплексов и в связи с излишком минтай-сырец выбрасывают за борт. Здесь тоже немаловажная роль в коррекции данных по уловам судна, поскольку в реальности они не всегда достоверны. И чтобы скорректировать цифры по продукции, делают дополнительное траление, но иногда вылов слишком большой и приходится часть выбрасывать. За время наблюдения установлен максимальный сброс в количестве 20 т/ч.

Исследование особей из трала показало, что средний размер минтая $43,3 \pm 4,5$ см, а прилов молоди (АС < 37 см) минимальный (табл. 1, рис. 3а). При этом в улове доминировали самки (58,7%). Помимо самой тушки рыбы в обработку идет и икра, а 65,5% особей преимущественно были на IV стадии зрелости (рис. 3б).

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

X_{min} , см	X_{max} , см	$X \pm m$, см	АС < 37 см, %	п, экз.
36	56	$43,3 \pm 4,5$	0,25	402

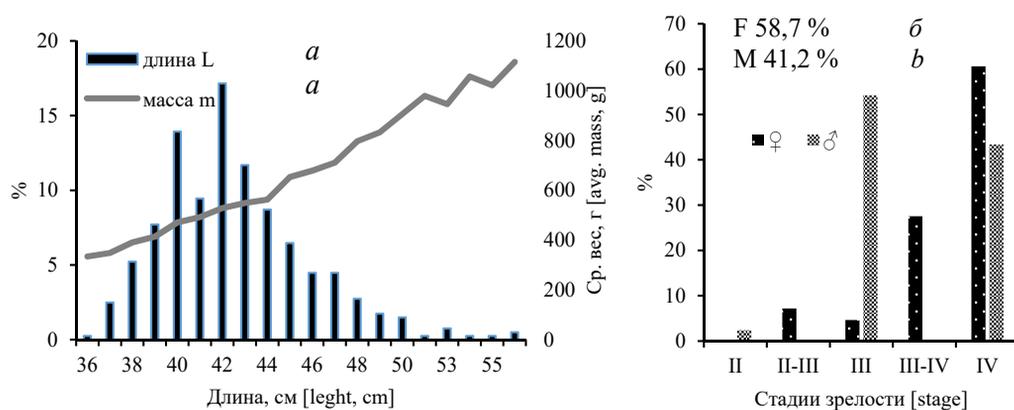


Рис. 3. Размерный (а) и половой (б) состав минтая в улове /
Figure 3. The size (a) and sex composition of Pollock (b) in the catch

В настоящее время надзорные органы не могут полностью осуществлять свои функции в данной области. Поскольку это незаконные выбросы, то и в официальных документах это количество рыбы из улова не записывается. В этом и состоит основная проблема, поскольку на основе записей в промысловом журнале контролирующими органами и считается улов. При этом там можно записать любые недостоверные цифры. Существует система Средне-суточных донесений (ССД) но здесь тоже существует проблема недостоверности данных, поскольку указать недостоверные цифры не составляет труда. Все считается и подгоняется в соответствии с нуждами судовладельцев. Фактически контроль, который ведется сейчас, не работает.

При промысле на рыболовное судно 1–2 раза в месяц или реже может прибыть досмотровая группа береговой охраны Федеральной службы безопасности. Они осматривают и измеряют орудия лова, проверяют различные документы и разрешения на вылов. Наблюдения показали, что они не могут контролировать действительный процесс промысла, какие объемы ВБР вылавливаются на самом деле и какие в это время происходят нарушения.

Следует отметить, что в настоящее время промысел минтая в Охотском море соответствует стандартам Морского Попечительского Совета (Marine Stewardship Council, MSC). Он является глобальным стандартом, подтверждающим устойчивость и хорошее управление промыслами дикой рыбы [6].

Под «устойчивым рыболовством» понимается не истощительное использование ВБР, при добыче которых необходимо следить, чтобы не происходило перелова или падения численности популяций, а запасы объекта могли бы восстанавливаться. Научная методология в основе стандарта MSC оценивает промысел по 31 показателю. Они сгруппированы по трем принципам:

В основе первого принципа лежат оценка состояния сертифицируемого запаса, научные подходы к определению объемов допустимого улова, предосторожность управления запасом и эффективность мониторинга промысла, что заложено и в Правилах рыболовства, однако на деле практически не соблюдается.

Влияние промысла на исчезающие виды животных и птиц, донную экосистему и учет прилова – это второй принцип.

Оценка эффективности системы управления промыслом: нормативная база, административное регулирование, контрольные функции являются третьим принципом [6]. Однако, согласно полученным данным, с уверенностью можно сказать, что промысел ведется с нарушениями стандартов Морского Попечительского Совета.

Помимо нерационального использования основного объекта промысла существует и небрежное обращение с приловом других видов, избежать которого практически невозможно, особенно если траление происходит в придонном слое. Контроль в этой области практически отсутствует.

Масса некоторых видов в улове может достигать более сотни килограмм на траление, а иногда тонн (табл. 2).

Из массовых видов прилова в уловах при специализированном промысле минтая промысловое значение имеют командорский кальмар (*Beryteuthis magister*), палтусовидная камбала (*Hippoglossoides elassodon*) и малоглазый макрурус (*Albatrossia pectoralis*).

Отдельно не удалось посчитать мезопелагические виды, промысловый режим работы судна не позволяет это сделать, траловые комплексы сразу идут на постановку и оценка возможна только визуально. Поскольку промысел считается моновидным и разрешение на вылов дается только на минтая, то все остальное выбрасывается за борт и зачастую не фиксируется в официальных документах. Наиболее нерациональное отношение к командорскому кальмару, поскольку в среднем на траление его попадает более сотни килограмм.

В период наблюдения зафиксирован максимальный прилов в пределах 1,7 т, однако, по наблюдениям автора, в разные годы отмечаются и большие цифры. И все это выбрасывается за борт без какого-либо контроля или учета.

Таблица 2. Средние показатели видового разнообразия прилова за одно траление /
Table 2. Average indicators of the species diversity of the tide for one trawling

Вид [Species]	Макс. прилов, кг [Max by-catch, kg]	Средний прилов, кг [Average by-catch, kg]	Средняя длина, см [Average leght, cm]	Средняя масса, г [Average mass, g]
<i>Albatrossia pectoralis</i>	132	19,6	64,5	676
<i>Aptocyclus ventricosus</i>	101	16,8	22	479
<i>Atheresth esevermanni</i>	49	24,5	47	1633
<i>Berryteuthis magister</i>	1737,8	193	15	144
<i>Boreoteuthis borealis</i>	25,5	4,3	13	96
<i>Bothrocarichthys microcephalus</i>	14,1	6,5	30	180
<i>Bothrocarichthys nigrocaudata</i>	192,4	38,8	37	267
<i>Coryphaenoide scinereus</i>	52,7	11,8	51,5	307
<i>Gadus macrocephalus</i>	130,7	46	76,5	6691
<i>Hippoglossoides elassodon</i>	192	85,5	37	629
<i>Lycogramma soldatovi</i>	10,08	9,7	59,5	969
<i>Lycogrammoides schmidti</i>	14,4	3,6	22,6	90
<i>Malacocottus zonurus</i>	59,5	29,8	21,6	198

Заключение

В настоящее время проблема нерационального использования биоресурсов не решена. Установлено что сохраняются нарушения в сверхнормативном прилове молодежи, сокрытие этой информации от территориального управления Росрыболовства и внесение неточных данных об уловах в официальных документах. При промысле подтверждается нерациональное использование не только основного объекта промысла, но и других видов в прилове.

Работу надзорных органов в этой сфере можно назвать удовлетворительной. Наблюдаемые выбросы, которые в некоторых тралениях превышают 20 т, позволяют сделать вывод, что современный дистанционный контроль не работает. Досмотровая группа береговой охраны прибывает на судно в среднем два раза за месяц и проверяет документы, но достоверность данных они никак проверить не могут, сверяясь только со среднесуточными донесениями.

Улучшить ситуацию может помочь создание системы контроля и учета за промысловыми операциями с автоматической отправкой данных по факту программными методами без участия кого-либо из экипажа судна во избежание фальсификаций. Взвешивать трал с уловом – это технически сложно в настоящее время и затратно для судовладельцев. Можно разработать программное обеспечение по визуальной оценке объема и конечной биомассы. Для уменьшения возможного прилова молодежи рационально отправлять научное поисковое судно в основной район скопления промыслового объекта и базирования флота. Необходимо давать рекомендации по промыслу на основе полученных данных. Если не предпринимать никаких действий, то запасы продолжают истощаться.

Список литературы

- [1] Бадаев О.З. Прилов и выбросы на тралово-снюрреводных промыслах в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне // Вопросы рыболовства. 2020. Т. 21, № 1. С. 53–66.
- [2] Смирнов А.В., Мельников И.В., Байталюк А.А. Промысел минтая в России: успехи и проблемы // Рыбное хозяйство. 2011. № 6. С. 52–54.
- [3] Балыкин П.А., Бонк А.А., Буслов А.В., Варкентин А.И., Золотов А.О., Терентьев Д.А. Потери улова на промыслах Дальнего Востока и возможности их уменьшения // Экономические проблемы развития рыбной промышленности и хозяйства России в свете реализации Концепции развития рыбного хозяйства РФ до 2020 г. М.: ВНИЭРХ, 2004. С. 78–86.
- [4] Буслов А.В., Варкентин А.И. Как усовершенствовать учет вылова минтая // Рыбное хозяйство. 2000. № 6. С. 33–34.
- [5] Буслов А.В., Бонк А.А., Варкентин А.И., Золотов А.О. Определение недоучета вылова минтая и сельди: методические подходы и результаты // Методические аспекты исследований рыб морей Дальнего Востока: труды ВНИРО. Т. CXLVI. М.: Изд-во ВНИРО, 2006. С. 322–328.
- [6] Крайний А.А., Бякишев К.А. Правовое обеспечение интересов Российской Федерации при реализации Международного плана ФАО по борьбе с ННН-промыслом // Рыбное хозяйство. 2011. № 6. С. 40–44.
- [7] Мнацаканян А.Г., Карлов А.М. О некоторых особенностях развития российского рыбного хозяйства в 2010–2019 гг. // Труды ВНИРО. 2021. Т. 183. С. 127–139.
- [8] Макоедов А.Н. Научные основы рыболовства: учебное пособие. М.: Изд. Медиа-М, 2015. 457 с.
- [9] Прогноз промысловой обстановки, распределения, возможного изъятия гидробионтов на дальневосточном рыбохозяйственном бассейне февраль 2022 г. Владивосток: ТИНРО, 2022. С. 10–12.

References

- [1] Badaev O.Z. By-catch and emissions from trawl-fishing in the Far Eastern fisheries basin. *Questions of fishing*. 2020;21(1):53–66.
- [2] Smirnov AV, Melnikov IV, Baitalyuk AA. Pollock fishery in Russia successes and problems. *Fish economy*. 2011:52–54. (In Russ.)
- [3] Balykin PA, Bonk AA, Buslov AV, Varkentin AI, Zolotov AO, Terentyev DA. Catch losses in the fisheries of the Far East and possibilities of their reduction. *Economic problems of the development of fish industry and economy of Russia in the light of implementation of the Concept of development of fish industry of the Russian Federation up to 2020*. Moscow: VNIERKH Publ.; 2004. p. 78–86. (In Russ.)
- [4] Buslov AV, Varkentin AI. How to improve accounting of pollock catch. *Fish economy* 2000;33–34. (In Russ.)
- [5] Buslov AV, Bonk AA, Varkentin AI, Zolotov AO. Determination of underreporting of pollock and herring catches: methodological approaches and results. *Methodological aspects of fish studies of the seas of the Far East. VNIRO Proceedings*. Vol. CXLVI, Moscow: VNIRO Publishing House; 2006. p. 322–328. (In Russ.)

- [6] Krainyi AA, Byakishev KA. Legal provision of interests of the Russian Federation in the implementation of the FAO International Plan to combat IUU fishing. *Fishery*. 2011:40–44. (In Russ.)
- [7] Mnatsakanyan AG, Karlov AM. On some features of the development of the Russian fisheries in 2010-2019 // *Proceedings of VNIRO*. 2021;183:127–139. (In Russ.)
- [8] Makoedov AN. *Scientific foundations of fisheries: Textbook*. Moscow: ed. Media-M; 2015. 457 p. (In Russ.)
- [9] *Forecast of fishing conditions, distribution, possible seizure of hydrobionts in the Far Eastern fishery basin February 2022*. Vladivostok: TINRO Publ.; 2022. (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. 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. SPIN-код: 4518-7161. E-mail: applo_o@mail.ru