



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

2022 Том 30 № 1

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-1

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

Научный журнал

Издается с 1993 г.

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-611176 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

Ледацева 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, Шандунский университет, Цзинань, Китай

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4 выпуска в год (ежеквартально).

Языки: русский, английский.

Индексация: РИНЦ, ВАК, EBSCOhost, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, East View, Cyberleninka, Dimensions.

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 03.02.00 Общая биология, 05.26.00 Безопасность деятельности человека, 25.00.00 Науки о Земле.

Начиная с 1993 г. в журнале публикуются результаты фундаментальных и прикладных работ ученых, преподавателей, аспирантов в виде научных статей, научных сообщений, библиографических обзоров по следующим направлениям: общая экология, природопользование, устойчивое развитие, экологическая безопасность, защита окружающей среды, экология человека, экологическая экспертиза, радиоэкология и радиационный контроль, оценка состояния окружающей среды и экологическое образование.

В журнале могут публиковаться результаты оригинальных научных исследований представителей высших учебных заведений и научных центров России и зарубежных стран в виде научных статей, научных сообщений по тематике, соответствующей направлениям журнала.

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

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

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

Редактор *Ю.А. Заикина*
Компьютерная верстка *Ю.А. Заикиной*

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

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

Подписано в печать 20.05.2022. Выход в свет 27.05.2022. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 8,75. Тираж 500 экз. Заказ № 10. 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 NUMBER 1

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-1

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

Founded in 1993

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

Editor-in-Chief

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

Deputy Editors-in-Chief

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

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

Executive Secretary

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

Editorial Board

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

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

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

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

Vladislav A. Sadykov, Prof., D.Sc. (Chemistry), Head of the Laboratory of Deep Oxidation Catalysts, Borekov 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 Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)

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

Publication frequency: quarterly.

Languages: Russian, English.

Indexing: Russian Index of Science Citation, Higher Attestation Commission, EBSCOhost, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, East View Cyberleninka, Dimensions.

Aims and Scope

An efficiency increase in the field of environmental protection and scientific research of human ecology, as well as the spread of modern methods of research and the latest achievements in the field of environmental management are the aims of RUDN Journal of Ecology and Life Safety. Since 1993 the 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 *Iu.A. Zaikina*
Layout Designer *Iu.A. Zaikina*

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ

Волodyкин А.А., Ларионов М.В. Фитосозологическое изучение памятников природы для определения экологического статуса особо охраняемых природных территорий 7

Дворников М.Г., Саксонов С.В., Букина Л.А. Воздействие млекопитающих при кормодобывании и вытаптывании растительности в таежных и лесостепных природных и природно-антропогенных комплексах Предуралья и Урала 28

Тетельмин В.В. Формула максимального глобального потепления 45

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Похилюк Н.В., Горбачев А.Л. Этнические аспекты содержания токсичных элементов у жителей Северо-Востока России 58

Орлова В.С., Перов С.Ю., Лифанова Р.З., Пинегин С.А. Некоторые гематологические показатели крови крыс при подостром многочастотном электромагнитном облучении от систем перспективных стандартов сотовой связи 67

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Артемова С.Н. Проектирование культурного ландшафта с целью сохранения природно-культурного наследия на примере Неверкинского района Пензенской области 76

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Редина М.М., Хаустов А.П. Предварительные результаты оценки транспортной нагрузки на кампус РУДН и Юго-Западный лесопарк 86

Perminova V.V., Vorobiev D.S., Frank Yu.A. Methodological aspects of a new method for determining the mass of oil in bottom sediments of water bodies (Методологические аспекты нового метода определения массы нефти в донных отложениях водных объектов) 92

CONTENTS

ECOLOGY

- Volodkin A.A., Larionov M.V.** Phytosoziological study of natural monuments to determine the ecological status of specially protected natural areas 7
- Dvornikov M.G., Saxonov S.V., Bukina L.A.** Impact of mammals during foraging and trampling of vegetation in the taiga and forest-steppe natural and natural-anthropogenic complexes of the Pre-Urals and Urals 28
- Tetelmin V.V.** Maximum global warming potential formula 45

HUMAN ECOLOGY

- Pokhilyuk N.V., Gorbachev A.L.** Ethnic aspects of toxic elements in the Russian Northeast 58
- Orlova V.S., Perov S.Yu., Lifanova R.Z., Pinegin S.A.** Rat hematological parameters of subacute multifrequency electromagnetic next-generation cellular communications exposure 67

GEOECOLOGY

- Artemova S.N.** Designing a cultural landscape in order to preserve the natural and cultural heritage: on the example of the Neverskiy District of the Penza Region 76

ENVIRONMENTAL MONITORING

- Redina M.M., Khaustov A.P.** First results of assessment of transport pressure on the RUDN University campus and the South-West Forest Park 86
- Perminova V.V., Vorobiev D.S., Frank Yu.A.** Methodological aspects of a new method for determining the mass of oil in bottom sediments of water bodies 92


ЭКОЛОГИЯ ECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-1-7-27

УДК 502.4/75+504.06+574.4+581.9+908

Научная статья / Research article

Фитосозологическое изучение памятников природы для определения экологического статуса особо охраняемых природных территорий

А.А. Володькин¹ , М.В. Ларионов^{2,3,4,5}  ¹Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия³Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия⁴Российский государственный аграрный заочный университет, Балашиха, Россия⁵Российский университет дружбы народов, Москва, Россия m.larionow2014@yandex.ru

Аннотация. Дана фитосозологическая оценка памятников природы регионального значения Пензенской области на основе ряда фитосозологических критериев, характеризующих растительный покров и их экологическое состояние. В ее основу положены такие критерии, как степень изученности растительного покрова территории, демонстрационное (эталонное) значение, занимаемая площадь, антропоустойчивость растительного покрова, ценогическое разнообразие территории, общая численность видового разнообразия сосудистых растений, число видов, занесенных в федеральную и региональную Красные книги, степень трансформированности и восстановительный потенциал. Используемая оценка представляет интерес в качестве тестовой экспресс-системы, позволяющей быстро определить динамику основных качественных и количественных показателей природных комплексов. На территории Пензенской области, расположенной большей частью на западном склоне Приволжской возвышенности, а в геоботаническом плане – в пределах лесостепной зоны, в целях сохранения биологического и ландшафтного разнообразия выделены 90 памятников природы регионального значения на площади 627,4 км², что составляет 1,44 % от территории региона. Наивысшая концентрация памятников природы отмечена на северо-востоке области – самой возвышенной и лесистой части региона. Наибольшая площадь – более 40 тыс. га – принадлежит Выше-Мокшанскому ботанико-географическому району. Подавляющее большинство памятников, из которых 70 % являются ботаническими, находятся в Присурском ботанико-географическом районе со средним баллом рейтинга 62,2. Максимальная оценка отмечена у памятника природы Ардымский шихан. Наибольшее количество гидрологических памятников природы насчитывается в Засурском и Присурском ботанико-

географических районах, что связано с нахождением в них бассейна р. Суры. Наибольшее количество зоологических памятников расположено на территории Выше-Мокшанского ботанико-географического района. Полученные результаты необходимы для определения динамики и направлений процессов сохранения и восстановления состава флоры и фауны уникальных сообществ региональных памятников природы, а также повышения уровня репрезентативности и экологического статуса, что в дальнейшем позволит вести мониторинг изменений в экосистемах.

Ключевые слова: особо охраняемые природные территории, растительность, памятники природы, фитосозологическая оценка, Пензенская область

Благодарности и финансирование. Статья подготовлена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с соглашением № 075-15-2020-905 от 16 ноября 2020 года о предоставлении гранта в виде субсидий из федерального бюджета Российской Федерации. Грант был предоставлен для государственной поддержки создания и развития Научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

Вклад авторов: А.А. Володькин – обработка полученных данных и их интерпретация, написание текста. М.В. Ларионов – концептуализация, методология и анализ исследования, критический анализ текста.

История статьи: поступила в редакцию 26.07.2021; принята к публикации 30.11.2021.

Для цитирования: Володькин А.А., Ларионов М.В. Фитосозологическое изучение памятников природы для определения экологического статуса особо охраняемых природных территорий // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 1. С. 7–27. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-7-27>

Phytosozological study of natural monuments to determine the ecological status of specially protected natural areas

Alexey A. Volodkin¹ , Maxim V. Larionov^{2,3,4,5}  

¹*Penza State Agrarian University, Penza, Russia*

²*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia*

³*State University of Land Use Planning, Moscow, Russia*

⁴*Russian State Agrarian Correspondence University, Balashikha, Russia*

⁵*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia*

 m.larionow2014@yandex.ru

Abstract. The article gives a phytosozological assessment of natural monuments of regional importance in the Penza region, based on a number of phytosozological criteria that characterize the vegetation cover and their ecological state. The assessment is based on such criteria as the degree of study of the vegetation cover of the territory, the demonstration (reference) value, the area occupied, the anthropotolerance of the vegetation cover, the coenotic diversity of the territory, the total number of species diversity of vascular plants, the number of species listed in the Federal and regional Red Books, the degree transformation and recovery potential. The assessment used is of interest as a test express system that allows you to

quickly assess the dynamics of the main qualitative and quantitative indicators of natural complexes. On the territory of the Penza region, located mostly on the western slope of the Volga Upland, and geobotanically located within the forest-steppe zone, in order to preserve biological and landscape diversity, 90 natural monuments of regional significance were identified on an area of 627.4 km², which is 1.44% from the territory of the region. The highest concentration of natural monuments is noted in the north-east of the region, the most elevated and wooded part of the region. The largest area of more than 40 thousand hectares was noted in the Vyshe-Moksha botanical-geographical region. The largest number of monuments, of which 70% are botanical, are noted in the Prisursky botanical-geographical region with an average rating score of 62.2. The maximum score was noted at the natural monument Ardymsky Shikhan. The largest number of hydrological monuments of nature are located in the Zasursky and Prisursky botanical and geographical regions, which is associated with the location of the Sura River basin in these regions. The largest number of zoological monuments is located on the territory of the Vyshe-Moksha botanical-geographical region. The results obtained are necessary to determine the dynamics and directions of the processes of conservation and restoration of the composition of the flora and fauna of unique communities of regional natural monuments, as well as to increase the level of representativeness and ecological status, which in the future will allow monitoring changes in ecosystems.

Keywords: specially protected natural areas, vegetation, natural monuments, phytosociological assessment, ecological status, Penza region

Acknowledgements and Funding. The article was made with support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in accordance with agreement No 075-15-2020-905 date November 16, 2020, on providing a grant in the form of subsidies from the federal budget of Russian Federation. The grant was provided for state support for the creation and development of a world-class scientific center “Agrotechnologies for the Future.”

Authors’ contributions. A.A. Volodkin – processing of the received data and their interpretation, writing of the text; M.V. Larionov – conceptualization, methodology and analysis of the research, critical analysis of the text.

Article history: received 26.07.2021; accepted 30.11.2021.

For citation: Volodkin AA, Larionov MV. Phytosociological study of natural monuments to determine the ecological status of specially protected natural areas. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(1):7–27. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-7-27>

Введение

В современном мире вопрос сохранения биоразнообразия вместе с другими глобальными проблемами является наиважнейшим для выживания человечества. Конференция ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г. определила ясные задачи ботаникам по изучению и сохранению разнообразия растительного покрова какой-либо территории, так как только в случае восстановления многих нарушенных экосистем и приостановления дальнейшей антропогенной деградации еще сохранившихся возможно устойчивое развитие общества в инвайронментально неистощенной среде, альтернатива которому – гибель человечества и биосферы [1].

Особо охраняемые природные территории (ООПТ) имеют исключительное значение для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия как основы биосферы. Главным предназначением особо охраняемых

природных территорий является поддержание экологической стабильности и здоровой среды для жизни населения, сохранение и восстановление биологического разнообразия. Стабильность природных экосистем и биосферы в целом поддерживается населяющими их живыми организмами. Каждый биологический вид выполняет свою определенную роль в материально-энергетическом потоке, проходящем через живые системы.

Под экологическим статусом понимается совокупность природных и социальных ценностей и параметры, позволяющие природно-территориальным комплексам выполнять свои функции по максимуму. Фитосозологическая оценка особо охраняемых природных территорий Пензенской области предполагает, что предложенный метод позволит получить качественную информацию о степени изученности охраняемых территорий, оценить антропогенность, видовое и ценотическое разнообразие, степень трансформации и восстановления потенциала памятников природы.

Пензенская область расположена в Среднем Поволжье, большая часть ее территории находится в пределах Приволжской возвышенности (высота до 331 м), которая сложена известняками, глинами мергелями и песчаниками. Рельеф расчленен множеством возвышенностей, оврагов, оползней и низменностей. Почвенно-растительный покров на территории области различен. Естественная растительность сохранилась примерно на 1/3 площади. Лугово-лесные ландшафты севера и северо-востока сменяются на юге лугово-степными и степными. Степи в основном распаханы. Сохранились лишь небольшие участки целинных степей (Попереченская, Кунчеровская, Островцовская заповедные степи). Широкий спектр растительных формаций создает условия для формирования большого типологического разнообразия почв [2].

Растительный покров области определяется переходным положением лесостепной зоны – на стыке лесной и степной растительных зон. Зональным типом травяной растительности региона являются северные (луговые) степи, которые в настоящее время почти полностью замещенные сельскохозяйственными угодьями и сохранились в виде небольших фрагментов по склонам речных долин, балок, оврагов, холмов и по опушкам лесов, иногда в полосах отчуждения железных дорог.

Современный степной покров – это небольшие отдельные, часто сильно измененные и обедненные видами участки, сохранившиеся от распашки в былое время обширных степных массивов, весьма разнообразных по сочетанию сообществ и богатству флоры. В настоящее время участки степной растительности обычно встречаются по крутым склонам холмов, оврагов и балок, речных долин, изредка на приовражных плато и на опушечных окраинах леса. Географически, естественно, степной покров преобладает в южных и центральных районах и значительно реже встречается в северных районах области.

Луговая растительность распространена по всей территории региона: в поймах рек (пойменные или заливные луга), по склонам и днищам балок и оврагов, по опушкам и полянам лесов, водораздельным западинам (внепойменные или материковые луга). Болотная растительность занимает незначительную площадь и встречается по долинам рек, реже – на водоразделах. Наиболее обычны низинные болота, менее распространены переходные, кото-

рые приурочены в основном к северо-востоку и западу области. Водная растительность (собственно водные и прибрежно-водные растительные комплексы) распространена в реках, обводненных болотах, пойменных озерах, прудах, водохранилищах, эфемерных водоемах. Флора области насчитывает 1709 видов сосудистых растений, аборигенных – 1296 и адвентивных – 413 [3; 4].

В геоботаническом плане Пензенская область почти целиком располагается в пределах лесостепной зоны. Лесная растительность по ее территории распространена неравномерно. Самой лесистой частью является водосборная площадь р. Суры, то есть восточная, наиболее возвышенная часть региона. В бассейнах р. Мокши, Вад и Выши лесов значительно меньше. На водосборной площади р. Хопер и Вороны лесистость территории минимальная. Северо-западная окраина относится к зоне смешанных лесов, представляющих переходную часть от лесостепной зоны к хвойно-широколиственной. Леса на территории области занимают 22,3 % всей ее территории, преимущественно широколиственные с преобладанием дуба. Среди лесообразующих пород главенствующая роль принадлежит сосне (31 %) и дубу низкоствольному (19 %). Значительный удельный вес приходится также на березу (19 %) и осину (18 %). Липа в общей площади, покрытой лесом, занимает всего 8 %. [5; 6]

Большая часть территории Пензенской области расположена в подклассе возвышенных ландшафтов Приволжской возвышенности, переходящей на северо-западе в песчаные низины Окско-Донской низменности. Это обуславливает значительное природное разнообразие, выражающееся в сложном сочетании геолого-геоморфологического строения, гидроклиматогенных условий, мозаичного почвенного покрова, растительности и животного мира. На западных склонах Приволжской возвышенности отчетливо проявляется склоновая смена типов ландшафтов: от луговых степей с черноземными почвами на нижних участках склонов до лесных приводораздельных пространств с серыми лесными почвами [7].

Материалы и методы

Фитосозологическая оценка памятников природы регионального значения на территории Пензенской области осуществлялась в 2019–2021 гг. по методике, предложенной И.В. Казанцевым и С.В. Саксоновым, разработанной в Институте экологии Волжского бассейна РАН. Она базируется на представлениях об основах охраны редких, уникальных и типичных фитоценозов и критериях отбора видов для региональных Красных книг [8; 9]. Составлен рейтинг природоохранного статуса ООПТ региона по девяти показателям.

I – *степень изученности растительного покрова*: не изучен (0 баллов), очень слабо изучен (1), слабо изучен (2), средне изучен (3), хорошо изучен (4).

Этот показатель напрямую не влияет на фитосозологические характеристики, но во многом является основой для приведенных оценок по другим критериям. К «очень слабоизученным» и «слабоизученным» памятникам природы отнесены имеющие отрывочные и разрозненные сведения о фиторазнообразии объекта. Во втором случае («слабоизученные») имеющихся сведений все же достаточно для определения природоохранного статуса. К «среднеизученным» памятникам природы отнесены территории, сведения о кото-

рых обнаружены хотя бы в одной публикации. «Хорошо изучены» природные объекты, сведения о которых опубликованы более чем в одной работе.

II – *демонстрационное (эталонное) значение*: не имеет (0 баллов), незначительное (2), среднее (4), большое (6), очень большое (8).

Критерий характеризует степень уникальности или типичности охраняемого природного комплекса, наличия в нем растений, включенных в Красные книги, а также отражает признаки другого критерия – «ценотического разнообразия». При значении критерия «очень большое» все перечисленные характеристики имеют в числовом выражении высокое значение, а при «незначительном» они понижаются.

III – *площадь памятника природы*: до 1 га (0 баллов), до 10 га (3), до 100 га (6), до 300 га (9), больше 300 га (12).

Показатель напрямую коррелирует с видовым и ценотическим разнообразием. На небольших по площади памятниках природы число видов, как правило, не превышает 50–100, а количество типов сообществ – не более одного.

IV – *антропоустойчивость растительного покрова*: очень высокая (0 баллов), высокая (4), средняя (8), слабая (12), очень слабая (16).

Антропоустойчивость – способность растительного покрова сохранять свои основные характеристики и свойства при антропогенном воздействии. Очень слабая антропоустойчивость присуща сильно трансформированным флористическим комплексам, по мере уменьшения их трансформации и приближения к естественным флороценотическим комплексам антропоустойчивость увеличивается.

V – *ценотическое разнообразие*: один тип растительности (0 баллов), два типа растительности (5), три типа растительности (10), четыре типа растительности (15), более четырех типов растительности (20).

Данный критерий учитывает количество типов растительности, встречаемых на территории памятника природы.

VI – *общая численность видового разнообразия*: до 50 видов (0), до 100 видов (6), до 150 видов (12), до 200 видов (18), более 300 видов (24).

Оценочный показатель численности видового разнообразия характеризует полную совокупность сосудистых растений на территории природного объекта.

VII – *число видов, занесенных в Красную книгу РФ и Пензенской области*: не занесено (0 баллов), от 1 до 5 видов (7), 6–10 видов (14), 12–20 видов (21), более 21 вида (28).

Показатель характеризует насыщенность природного объекта растениями.

VIII – *степень трансформированности*: полностью трансформирован (0 баллов), сильно трансформирован (8), слабо трансформирован (16), условно коренной (24), коренной (32).

Показатель свидетельствует о сохранности природного комплекса и представленности коренной растительности.

IX – *восстановительный потенциал*: очень хороший (0 баллов), хороший (9), удовлетворительный (18), слабый (27), очень слабый (36).

Показатель характеризует способность растительного покрова к восстановлению после воздействия антропогенного фактора.

Результаты и обсуждение

Одной из важнейших задач фитосозологии является научное обоснование системы охраняемых территорий, обеспечивающей сохранение биоразнообразия и его эволюционное развитие. Природно-заповедный фонд в Пензенской области формировался неравномерно. В целях сохранения от разрушения уникальных и типичных природных территориальных комплексов здесь с конца 80-х гг. XX в. начала складываться сеть особо охраняемых природных территорий. В настоящее время в Пензенской области выделены 91 особо охраняемые природные территории, общей площадью 76,8 тыс. га, в том числе: государственный заповедник «Приволжская лесостепь», который состоит из пяти отделений и занимает площадь 8,3 тыс. га (14,4 % от территории ООПТ), 7 государственных зоологических заказников общей площадью 59,6 тыс. га (73,8 % от территории ООПТ) и 83 памятника природы, занимающие площадь 8,7 тыс. га (11,3 % от территории ООПТ), которые разделяются на ботанические (53), гидрологические (24), дендрологические (4), зоологические (1) и палеонтологические (1) [10; 11].

Памятники природы имеют ресурсоохранное, научное, эстетическое и рекреационное значение. Для каждого утверждено положение, устанавливающее правовой статус памятника природы, определяющее режим особой охраны, допустимые виды использования, а также сведения о площади, описание местоположения и границ.

Самой многочисленной категорией ООПТ Пензенской области являются памятники природы регионального значения. В настоящее время их создано 90 на площади 627,4 км², что составляет 1,44 % от территории региона. Наибольшая концентрация памятников природы в Пензенском (13 ООПТ), Никольском (11), Лунинском (11), Городищенском (6) муниципальных районах. Распределение ООПТ по доле занимаемых площадей от общей площади муниципального района выглядит иным образом. В среднем по всем муниципальным районам она составляет 1,91 % и лишь в шести превышает ее, достигая максимальных значений в Вадинском муниципальном районе – 13,0 % (табл. 1).

В схеме флористического районирования территории Российской Федерации Пензенская область входит в состав лесостепной Восточно-Европейской провинции Евросибирской степной области Циркумбореальной области Бореального подцарства Голарктического царства [12; 13]. Ботанико-географическое районирование Пензенской области основано на особенностях флоры бассейнов рек, рассматриваемой как единый флористический комплекс, организующей основой которого является функционирование р. Суры [14].

В.М. Васюковым [3] в пределах Пензенской области выделены пять ботанико-географических районов (рисунки).

Вороно-Хоперский район (ВХ) занимает бассейн верхнего течения р. Хопер и ее притока – р. Вороны. Расположен на юге области. Поверхность мягкоувалистая, с общим уклоном на юго-запад. На территории области этот район наиболее засушливый, с типичными тучными и слабовыщелоченными черноземными почвами. Облесенность очень небольшая (8 %). По склонам и приовражным ровным местам расположены разнотравно-типчаковые и тип-

чаково-ковыльные ассоциации. Высокие уровни поймы остепнены. Изредка встречаются галофильные (солеустойчивые) сообщества на солонцах, солонцеватых и солончаковатых почвах. Район относится к подзоне южной лесостепи.

Выше-Мокшанский район (ВМ) включает бассейн верхнего течения р. Мокши и ее притоков – р. Вад и Выша. Расположен на северо-западе области в пределах Окско-Донской низменности. Леса имеют островной характер размещения по водоразделам и приречным склонам. Крупные массивы встречаются нечасто. Луговостепные травостой сохранились по приовражьям, террасам, склонам и на околосных окраинах. Преобладают разнотравно-типчачковые сообщества с обильным участием костра берегового, мятлика узколистного и других корневищных луговостепных злаков.

Таблица 1

**Доля памятников природы регионального значения
в земельном фонде Пензенской области**

№ п/п	Муниципальный район	Площадь, км ²		Особо охраняемые природные территории	
		Район	ООПТ	Доля от площади района, %	Общее число
1	Башмаковский	1710	87,76	5,10	1
2	Бековский	1060	0,72	0,07	2
3	Белинский	2020	38,41	1,90	4
4	Бессоновский	1340	0,3	0,02	1
5	Вадинский	1030	133,77	13,0	2
6	Городищенский	2160	10,15	0,50	6
7	Земетчинский	2070	106,8	5,16	2
8	Иссинский	950	0,67	0,07	1
9	Каменский	2170	–	–	–
10	Камешкирский	1200	–	–	–
11	Колышлейский	1660	1,32	0,08	3
12	Кузнецкий	2100	9,7	0,46	4
13	Лопатинский	1440	–	–	–
14	Лунинский	1620	93,33	5,76	11
15	Малосердобинский	990	0,1	0,01	2
16	Мокшанский	2300	1,47	0,06	4
17	Наровчатский	880	0,03	0,003	3
18	Неверкинский	1050	1,57	0,15	1
19	Нижнеломовский	1850	71,78	3,88	4
20	Никольский	2500	15,03	0,60	11
21	Пачелмский	1410	–	–	–
22	Пензенский	2920	18,09	0,62	13
23	Сердобский	1695	5,38	0,32	3
24	Сосновоборский	1630	82,26	5,04	4
25	Спасский	730	–	–	–
26	Тамалинский	1130	0,07	0,006	1
27	Шемышейский	1500	1,92	0,13	4
28	г. Пенза	288	3,28	1,14	3

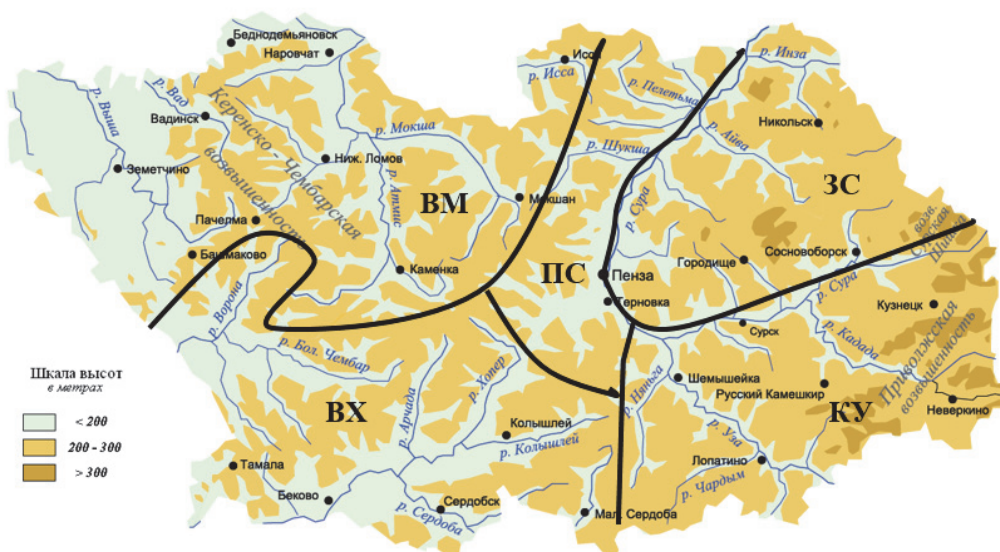
Table 1

Share of natural monuments of regional importance in the land fund of the Penza region

No	Municipal area	Area, km ²		Specially protected natural areas	
		District	Specially protected natural areas	Share of the district area, %	Total number
1	Bashmakovskiy	1710	87.76	5.10	1
2	Bekovsky	1060	0.72	0.07	2
3	Belinsky	2020	38.41	1.90	4
4	Bessonovsky	1340	0.3	0.02	1
5	Vadinsky	1030	133.77	13.0	2
6	Gorodishchensky	2160	10.15	0.50	6
7	Zemetchinsky	2070	106.8	5.16	2
8	Issinsky	950	0.67	0.07	1
9	Kamensky	2170	–	–	–
10	Kameshkirsky	1200	–	–	–
11	Kolyshleyskiy	1660	1.32	0.08	3
12	Kuznetsky	2100	9.7	0.46	4
13	Lopatinsky	1440	–	–	–
14	Luninsky	1620	93.33	5.76	11
15	Maloserdobinsky	990	0.1	0.01	2
16	Mokshansky	2300	1.47	0.06	4
17	Narovchatskiy	880	0.03	0.003	3
18	Neverkinsky	1050	1.57	0.15	1
19	Nizhnelomovsky	1850	71.78	3.88	4
20	Nikolsky	2500	15.03	0.60	11
21	Pachelma	1410	–	–	–
22	Penza	2920	18.09	0.62	13
23	Serdobsky	1695	5.38	0.32	3
24	Sosnovoborsky	1630	82.26	5.04	4
25	Spassky	730	–	–	–
26	Tamalinsky	1130	0.07	0.006	1
27	Shemysheysky	1500	1.92	0.13	4
28	Penza city	288	3.28	1.14	3

Три следующих района, согласно ботанико-географическому районированию бассейна р. Суры, в ранге подрайонов составляют район Верхней Суры [15]. Они примечательны уникальностью физико-географических и фитоценологических условий.

Кададо-Узинский район (КУ) располагается на юго-востоке области и занимает левобережную часть бассейна р. Суры, от ее истока до водораздела между бассейнами р. Пензы и Узы. Имеет холмисто-останцовый рельеф, высоко приподнят. Для него характерно островное размещение лесов с преобладанием дубняков, встречаются остепненные травяные сосняки. На сохранившихся склоновых и плакорных участках луговой степи распространены разнотравно-типчачковые, разнотравно-корневищные злаковые с участием ковылей и ковыльные ассоциации.



Картограмма ботанико-географического районирования Пензенской области



Map of the botanical and geographical zoning of the Penza region

Присурский район (ПС) включает левобережную часть бассейна р. Суры, от водораздела между бассейнами р. Пензы и Узы до границы с Республикой Мордовия. Водораздельное плато между р. Сурой и верховьями р. Мокши, представляющее собою пологую двухскатную гряду на восток – к Суре и на запад – к Мокше, в то же время имеет общую слабую покатость с юга на север. Оно начинается, от гряды «останцов» (от линии Пенза – Арбеково – Рамзай – Симанщино) и направляется на север, уходя глубоко в пределы Мордовии. Представляет собою определенно выраженный ландшафт лугово-разнотравной степи, вытянутой в меридиональном направлении промеж двух довольно мощных лесных массивов – Засурского и Верхне-Мокшинского. Природная обстановка имеет целый ряд характерных особенностей и благоприятствующих условий для развития здесь древней степи. Значительная приподнятость ее над уровнем моря и сильная расчлененность массива, главным образом

поперечными глубокими балками и долинами целого ряда притоков р. Суры и Мокши, делят ее на отдельные узкие междуречные участки. Местами сильная обогаченность углекислыми солями (карбонатами) материнских и подстилающих пород почв способствовала травянистому растительному покрову занять здесь с древних времен господствующее положение, вытеснив раньше, чем в соседних с ним местностях, лесную растительность.

Засурский район (ЗС) расположен на северо-востоке области, занимает правобережье р. Суры, приподнят, сильно расчленен, с останцовым рельефом. Преобладают широколиственные и сосновые леса на песчаных, легкосуглинистых, обычно щебнистых серых лесных почвах, слабо оподзоленных и неоподзоленных. На дренированных местоположениях все типы леса остепнены: включают элементы луговой и кустарниковой степи. Леса прерываются участками луговой степи, ныне распаханными. Луговостепные травостой сохранились по приовражьям, окологлесным окраинам и склонам.

Наибольшая площадь ООПТ на территории Пензенской области отмечена в Выше-Мокшанском ботанико-географическом районе – 40 161 га с количеством памятников регионального значения, равным 15 (табл. 2). Наибольшее количество памятников регионального значения – 29 – отмечено в Присурском ботанико-географическом районе со средним баллом рейтинга ООПТ – 62,2, наименьшее – 9 – отмечено в Кададо-Узинском районе, но здесь высокий средний балл рейтинга ООПТ – 80.

Наибольшее количество ботанических памятников природы регионального значения – 20 – расположено в Присурском ботанико-географическом районе (70 % от всех памятников этого района). Это связано с географическим расположением памятников природы и близостью областного центра (табл. 3).

Таблица 2

Площадь и природоохранный рейтинг памятников природы Пензенской области

Ботанико-географический район	Количество, шт.	Площадь, га	Средний балл рейтинга ООПТ
Выше-Мокшанский	15	40 161,55	61,7
Присурский	29	11 568,70	62,2
Засурский	21	10 745,74	60,0
Вороно-Хоперский	16	4 600,65	59,9
Кададо-Узинский	9	1 321,90	80,0
Всего	90	56 829,84	64,7

Table 2

Area and conservation rating natural monuments of the Penza region

Botanical-geographical region	Quantity, pcs.	Area, ha	Average rating score of protected areas
Vyshe-Mokshansky	15	40 161,55	61,7
Prisurskiy	29	11 568,70	62,2
Zasursky	21	10 745,74	60,0
Vorono-Khopersky	16	4 600,65	59,9
Kadado-Uzinsky	9	1 321,90	80,0
Total	90	56 829,84	64,7

Таблица 3

Фитосозологическая оценка ботанических памятников природы Пензенской области

№ п/п	Название ООПТ	Административный район	Оценка
<i>Присурский ботанико-географический район</i>			
1	Ардымский шихан	Пензенский	126
2	Ломовские моховые болота	Лунинский	91
3	Солонцовая степь	Лунинский	85
4	Пойменная дубрава	Пензенский	75
5	Урочище «Чердак»	Лунинский	74
6	Большевьяский лес	Лунинский	73
7	Еланские степи	Пензенский	68
8	Ясенева дубрава	Пензенский	73
9	Засурский бор-черничник	Пензенский	65
10	Иванырсинский ландшафтный комплекс	Лунинский	65
11	Арбековский лес	Пензенский	61
12	Присурская дубрава	Пензенский	60
13	Золотаревский сосновый бор	Пензенский	56
14	Зареченский лес	Пензенский	56
15	Ольшанские склоны	Пензенский	55
16	Кичкилейский сосняк с дубом	Пензенский	54
17	Ахунский сосновый бор (городские леса)	г. Пенза	53
18	Ивановская степь	Пензенский	52
19	Иссинская дубрава	Иссинский	48
20	Сквер Музея народного творчества	г. Пенза	17
<i>Вороно-Хоперский ботанико-географический район</i>			
21	Кайсаровский солонец	Колышлейский	85
22	Лес по р. Сердобе	Сердобский	78
23	Даниловская солонцовая поляна	Мало-Сердобинский	77
24	Белокаменный парк	Колышлейский	66
25	Комаровский резерват головчатки Литвинова	Мало-Сердобинский	65
26	Куракинский лесопарк	Сердобский	62
27	Урочище «Шугай»	Белинский	61
28	Урочище «Подгорное»	Колышлейский	55
29	Зубриловский парк	Тамалинский	52
30	Хоперский бор	Бековский	44
31	Урочище «12 дубков»	Белинский	34
<i>Засурский ботанико-географический район</i>			
32	«Никитянские горы»	Никольский	93
33	Инзенский массив	Никольский	92
34	Сосновоборский бор-черничник	Сосновоборский	88
35	Урочище «Лысая гора»	Никольский	86
36	«Субботинские склоны»	Никольский	85
37	Бор-беломошник	Сосновоборский	66
38	Лесной массив «Пестровский»	Никольский	63
39	Кардавский лес	Городищенский	54
40	Никоновский бор	Городищенский	51
<i>Выше-Мокшанский ботанико-географический район</i>			
41	Рамзайская дубрава	Мокшанский	67
42	Кувшиновский лес	Вадинский	66
43	Рамзайский резерват головчатки Литвинова	Мокшанский	65
44	Оболенский сад	Земетчинский	58
45	Степь большой енды	Мокшанский	57
46	Заросль можжевельника	Наровчатский	57
47	Белогорская степь	Мокшанский	55
48	Голицынский лесопарк	Нижнеломовский	55
<i>Кададо-Узинский ботанико-географический район</i>			
49	Двориковский водно-болотный комплекс имени И.А. Коровина	Кузнецкий	121
50	Урочище «Шеро-сиран»	Неверкинский	99
51	Урочище «Три горы»	Кузнецкий	92
52	«Каржимантские склоны»	Шемышейский	81
53	«Красный мар»	Шемышейский	73

Table 3

Phytosoziological assessment of botanical natural monuments of the Penza region

No	Name of protected area	Administrative region	Grade
<i>Prisursky botanical-geographical region</i>			
1	Ardymsky shikhan	Penzensky	126
2	Lomovsky moss bogs	Luninsky	91
3	Solonetz steppe	Luninsky	85
4	Floodplain oak forest	Penzensky	75
5	Tract "Attic"	Luninsky	74
6	Bolshevyassky forest	Luninsky	73
7	Yelan steppes	Penzensky	68
8	Ash oak forest	Penzensky	73
9	Zasursky pine-blueberries forest	Penzensky	65
10	Ivanyrsinsky landscape complex	Luninsky	65
11	Arbekovsky forest	Penzensky	61
12	Prisurskaya oakwood	Penzensky	60
13	Zolotarevsky pine forest	Penzensky	56
14	Zarechensky forest	Penzensky	56
15	Olshansky slopes	Penzensky	55
16	Kichkley pine forest with oak	Penzensky	54
17	Akhun pine forest (urban forests)	Penza City	53
18	Ivanovo steppe	Penzensky	52
19	Issinskaya oak forest	Issinsky	48
20	Square of the Museum of Folk Art	Penza City	17
<i>Vorono-Khopersky botanical-geographical region</i>			
21	Kaisarovsky solonetz	Kolyshleyskiy	85
22	Forest along the river Serdoba	Serdobsky	78
23	Danilovskaya solonetz meadow	Malo-Serdobinskiy	77
24	Belokamensky park	Kolyshleyskiy	66
25	Komarovsky Litvinov Capitol Reserve	Malo-Serdobinskiy	65
26	Kurakinsky forest park	Serdobsky	62
27	The tract "Shugai"	Belinsky	61
28	The tract "Podgornoe"	Kolyshleyskiy	55
29	Zubrilovsky park	Tamalinsky	52
30	Khoperskiy Bor	Bekovsky	44
31	The tract "12 Oak Trees"	Belinsky	34
<i>Zasursky botanical-geographical region</i>			
32	"Nikityanskies mountains"	Nikolsky	93
33	Inzen massif	Nikolsky	92
34	Sosnovoborsky pine-blueberries forest	Sosnovoborsky	88
35	Tract "Bald Mountain"	Nikolsky	86
36	"Subbotian slopes"	Nikolsky	85
37	Pine forest	Sosnovoborsky	66
38	Forest area "Petrovsky"	Nikolsky	63
39	Kardava forest	Gorodishchensky	54
40	Nikonovsky pine forest	Gorodishchensky	51
<i>Vyshe-Moksha botanical-geographical region</i>			
41	Ramsay oak forest	Mokshansky	67
42	Kuvshinov forest	Vadinsky	66
43	Ramsay Litvinov Capitol Reserve	Mokshansky	65
44	Obolensky garden	Zemetchinsky	58
45	Steppe of the big valley	Mokshansky	57
46	Juniper thicket	Narovchatskiy	57
47	Belogorsk steppe	Mokshansky	55
48	Golitsyn forest park	Nizhnelomovsky	55
<i>Kadado-Uzinsky botanical-geographical region</i>			
49	Dvorikovsky wetland complex named after I.A. Korovin	Kuznetsky	121
50	Tract "Shero-siran"	Neverkinsky	99
51	Tract "Three Mountains"	Kuznetsky	92
52	"Karzhimant slopes"	Shemysheysky	81
53	"Red Mar"	Shemysheysky	73

Наименьшее количество ботанических памятников находится в Кададо-Узинском ботанико-географическом районе – 5. Максимальный балл у памятника природы регионального значения «Ардымский шихан» с показателем 126 баллов, расположенного в Присурском ботанико-географическом районе. Этот памятник природы представляет собой возвышенный холм, резко выделяющийся в рельефе окружающей местности и видный на многие километры. В сочетании с крутыми склонами юго-восточной и южной экспозиций им созданы условия для формирования редкого для данной области растительного сообщества песчано-каменистой степи. Наибольшую научную ценность представляет ассоциация с доминированием эфедры двухколосковой – кустарничка из отдела голосеменных [16].

Наибольшее количество зоологических памятников расположено на территории Выше-Мокшанского ботанико-географического района – 5. Еще по одному – в других районах. Оценка зоологических заказников показывает, что они набрали по 69 баллов (табл. 4).

Таблица 4

Фитосозологическая оценка зоологических памятников природы Пензенской области

№ п/п	Название ООПТ	Административный район	Балл
<i>Выше-Мокшанский ботанико-географический район</i>			
1	Башмаковский государственный зоологический заказник	Башмаковский	69
2	Вадинский государственный зоологический заказник	Вадинский	69
3	Земетчинский государственный зоологический заказник	Земетчинский	69
4	Нижнеломовский государственный зоологический заказник	Нижнеломовский	69
5	Пещера рукокрылых	Нижнеломовский	62
<i>Вороне-Хоперский ботанико-географический район</i>			
6	Белинский государственный зоологический заказник	Белинский	69
<i>Присурский ботанико-географический район</i>			
7	Ломовский государственный зоологический заказник	Лунинский	69
<i>Засурский ботанико-географический район</i>			
8	Сосновоборский государственный зоологический заказник	Сосновоборский	69

Table 4

Phytosozological assessment of zoological natural monuments of the Penza region

No	Name of protected area	Administrative region	Grade
<i>Vyshe-Moksha botanical-geographical region</i>			
1	Bashmakov State Zoological Reserve	Bashmakovskiy	69
2	Vadinsky State Zoological Reserve	Vadinsky	69
3	Zemetchinsky State Zoological Reserve	Zemetchinsky	69
4	Nizhnelomovsky State Zoological Reserve	Nizhnelomovsky	69
5	Chiroptera Cave	Nizhnelomovsky	62
<i>Vorono-Khopersky botanical-geographical region</i>			
6	Belinsky State Zoological Reserve	Belinsky	69
<i>Prisursky botanical-geographical region</i>			
7	Lomovsky State Zoological Reserve	Luninsky	69
<i>Zasursky botanical-geographical region</i>			
8	Sosnovoborsky State Zoological Reserve	Sosnovoborsky	69

Дендрологические памятники природы находятся почти в каждом ботанико-географическом районе, кроме Кададинско-Узинского. Ахунский дендрарий получил 66 баллов. Он расположен на пологом склоне северо-западной экспозиции с темно-серыми лесными почвами и высоким уровнем грунтовых вод. Ценность дендрария определяется тем, что на его территории сохранились экземпляры древесных растений – интродуцентов – в возрасте более ста лет, представляющих собой ценнейший опыт интродукции древесных растений в условиях Пензенской области (табл. 5).

Таблица 5

Фитосозологическая оценка дендрологических памятников природы Пензенской области

№ п/п	Название ООПТ	Административный район	Балл
<i>Присурский ботанико-географический район</i>			
1	Ахунский дендрарий	г. Пенза	66
<i>Вороно-Хоперский ботанико-географический район</i>			
2	Дендрарий имени Г.Ф. Морозова	Белинский	64
<i>Выше-Мокшанский ботанико-географический район</i>			
3	Дендрочасть Барабановского лесничества	Наровчатский	58
<i>Засурский ботанико-географический район</i>			
4	Дендрочасть поселка Суры	Никольский	44

Table 5

Phytosozological assessment of dendrological natural monuments of the Penza region

No	Name of protected area	Administrative region	Grade
<i>Prisursky botanical-geographical region</i>			
1	Akhun arboretum	Penza City	66
<i>Vorono-Khopersky botanical-geographical region</i>			
2	Arboretum named after G.F. Morozov	Belinsky	64
<i>Vyshe-Moksha botanical-geographical region</i>			
3	Arboretum of the Barabanovskoye forestry	Narovchatskiy	58
<i>Zasursky botanical-geographical region</i>			
4	Arboretum of Sura village	Nikolsky	44

Наибольшее количество гидрологических памятников природы регионального значения отмечено в Засурском и Присурском ботанико-географических районах – 9 и 7 соответственно, что связано с нахождением в этих районах бассейна р. Суры. Максимальный балл – 82 – набрал озерный экокомплекс «Луговой», расположенный в Присурском ботанико-географическом районе в левобережной пойме р. Суры (табл. 6).

Ценность участка определяется хорошо сохранившимся каскадом пойменных озер. В прирусловой пойме распространены луга с преобладанием ксерофитов и псаммофитов: вейника наземного, костреца берегового, синеголовника плосколистного и др. Для центральной поймы характерны разнотравно-злаковые сообщества из мезофитов: мятлика лугового и гибридного и др. В западинах развивается влаголюбивая растительность с преобладанием луговика дернистого.

Таблица 6

**Фитосозологическая оценка
гидрологических памятников природы Пензенской области**

№ п/п	Название ООПТ	Административный район	Балл
<i>Присурский ботанико-географический район</i>			
1	Качимское моховое болото	Сосновоборский	57
2	Озеро Кувакорка	Никольский	54
3	Озеро Большое Моховое	Городищенский	52
4	Озеро Печарка	Никольский	52
5	Ильминское клюквенное болото	Никольский	49
6	Озеро Шевакал	Никольский	46
7	Озеро Царьково	Городищенский	43
8	Пестровское торфяное болото	Никольский	37
9	Озеро Боровое	Городищенский	26
<i>Засурский ботанико-географический район</i>			
10	Озерный экокомплекс «Луговой»	Лунинский	82
11	Участок русла р. Суры	Лунинский	69
12	Светлополянские болота	Бессоновский	60
13	Озеро Чапчор	Лунинский	54
14	Озеро Сандерка	Лунинский	52
15	Истоки Хопра	Пензенский	38
16	Озера лесные	Лунинский	9
<i>Кададо-Узинский ботанико-географический район</i>			
17	Клюквенное болото	Кузнецкий	81
18	«Семь ключей»	Шемышейский	66
19	Никольское болото	Кузнецкий	60
20	Наскафтымское пушицевое болото	Шемышейский	53
<i>Вороно-Хоперский ботанико-географический район</i>			
21	Озеро Чкаловское	Белинский	73
22	Родник Царский	Бековский	40
23	Родник Майский	Сердобский	34
<i>Выше-Мокшанский ботанико-географический район</i>			
24	Салолейские родники	Нижнеломовский	50

Table 6

**Phytosozological assessment
of hydrological natural monuments of the Penza region**

No	Name of protected area	Administrative region	Grade
<i>Prisursky botanical-geographical region</i>			
1	Kachim moss swamp	Sosnovoborsky	57
2	Lake Kuvakorka	Nikolsky	54
3	Lake Bolshoye Mokhovoe	Gorodishchensky	52
4	Lake Pecharka	Nikolsky	52
5	Ilminsky cranberry swamp	Nikolsky	49
6	Lake Shevakal	Nikolsky	46
7	Lake Tsarkovo	Gorodishchensky	43
8	Pestrovskoye peat bog	Nikolsky	37
9	Lake Borovoye	Gorodishchensky	26
<i>Zasursky botanical-geographical region</i>			
10	Lake eco-complex "Lugovoy"	Luninsky	82
11	Section of the Sura River	Luninsky	69
12	Svetlopolyansky swamps	Bessonovsky	60
13	Lake Chapchor	Luninsky	54
14	Lake Sanderka	Luninsky	52
15	Origins of Khopyor	Penza	38
16	Forest lakes	Luninsky	9
<i>Kadado-Uzinsky botanical-geographical region</i>			
17	Cranberry swamp	Kuznetsky	81
18	"Seven Keys"	Shemysheysky	66
19	Nikolskoye swamp	Kuznetsky	60
20	Naskaftym cottongrass swamp	Shemysheysky	53
<i>Vorono-Khopersky botanical-geographical region</i>			
21	Lake Chkalovskoye	Belinsky	73
22	Spring Tsarsky	Bekovsky	40
23	Spring Maisky	Serdobsky	34
<i>Vyshe-Moksha botanical-geographical region</i>			
24	Salolei springs	Nizhnelomovsky	50

Полученные фитосозологические оценки ООПТ Пензенской области, которые определяют экологический статус объектов, по законам синергетики обладают новыми свойствами, если их рассматривать в сравнительных ландшафтных (природно-территориальных), природно-зональных и даже административных отношениях.

Заключение

В Пензенской области особо охраняемые природные территории выделены в пределах водных, степных, лесостепных и лесных фитоценозов. Сохранены участки фитоценозов степей и лесостепи, расположенных на водоразделах, а также небольшие по площади, но уникальные по своему значению участки песчано-каменистых и меловых степей. В ближайшие годы должны быть предприняты активные меры по выделению новых территорий ООПТ, вследствие высокой интенсивности и степени антропогенного воздействия на природные экосистемы. В условиях развития хозяйственной деятельности территории области перед обществом стоит сложная задача уменьшения степени антропогенного воздействия на фитоценозы существующих ООПТ в целях сохранения их растительности и животного мира. Следует признать, что на территории Пензенской области не уделено должного внимания выделению ключевых орнитологических территорий для сохранения популяций птиц, внесенных в Красную книгу Пензенской области.

Все рассмотренные территории обладают уникальными физико-географическими и экологическими условиями. Вместе с тем существенное фитоценотическое разнообразие обуславливает высокую биоресурсную значимость местных ландшафтов и экологических систем, как для Пензенской области, так и для всего Средневолжского региона. Безусловно, развитие системы особо охраняемых объектов – один из экологических приоритетов сегодняшнего дня и ближайшего будущего. Фитосозологическая оценка позволит в дальнейшем организовать и вести мониторинг изменений в экосистемах. Эта информация целесообразна для использования ее данных в значимом деле определения динамики и ведущих направлений процессов сохранения и восстановления состава флоры и фауны, уникальных сообществ и ландшафтных комплексов на территориях памятников природы в Средневолжском регионе.

Список литературы

- [1] *Остатко В.М.* Эйдологические, популяционные и ценотические основы фитосозологии на юго-востоке Украины. Донецк: Лебедь, 2005. 408 с.
- [2] *Чурсин А.И.* Ландшафтная организация территории лесостепной зоны Среднего Поволжья. Пенза: ПГУАС, 2008. 136 с.
- [3] *Васюков В.М., Саксонов С.В.* Конспект флоры Пензенской области. Флора Волжского бассейна. Тольятти: Анна, 2020. 211 с.
- [4] Красная книга Пензенской области. Т. 1. Грибы, лишайники, мхи, сосудистые растения / А.И. Иванов, Л.А. Новикова, А.А. Чистякова, Т.В. Горбушина, В.М. Васюков, Н.А. Леонова, П.И. Заплатин, Т.Б. Силаева, С.В. Саксонов, Н.С. Раков, С.А. Сенатор, Е.Ю. Истомина, Е.В. Варгот, Е.А. Киреев, И.В. Агаева. Пенза, 2013. 300 с.

- [5] *Иванов А.И., Чернышов Н.В., Кузин Е.Н.* Природные условия Пензенской области. Современное состояние. Т. 1 Геологическая среда, рельеф, климат, поверхностные воды, почвы, растительный покров. Пенза: РИО-ПГАУ, 2017. 236 с.
- [6] *Ломов С.П.* Почвенный покров Пензенской области, его характеристика и мелиоративная оценка. Пенза: ПГУАС, 2014. 92 с.
- [7] *Ямашкин А.А., Новикова Л.А., Ямашкин С.А., Яковлев Е.Ю., Уханова О.М.* Ландшафтно-экологическое планирование системы ООПТ Пензенской области // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. 2015. № 5–1. С. 24–33.
- [8] *Казанцев И.В., Саксонов С.В.* Фитосозологический рейтинг памятников природы регионального значения Самарской области // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. № 4. С. 45–54.
- [9] *Саксонов С.В., Розенберг А.Г., Сенатор С.А.* Фитосозологическая оценка памятников природы Самарской области // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2014. Специальный выпуск. С. 146–153.
- [10] *Иванов А.И., Власов А.С., Власова Т.Г., Сашенкова С.А.* Древесные растения Пензенской области. Пенза, 2012. 252 с.
- [11] Леса Пензенской области / под общ. ред. Ю.П. Агапова. Пенза, 2014. 188 с.
- [2] *Камелин Р.В.* Растительный мир. Флора // Большая российская энциклопедия. М., 2004. С. 84–88.
- [13] *Тахтаджян А.Л.* Флористические области Земли. Ленинград: Наука, 1978. 247 с.
- [14] *Силаева Т.Б.* Материалы к флоре бассейна р. Суры // Флористические исследования в Центральной России на рубеже веков: материалы научного совещания. М., 2001. С. 143–145.
- [15] *Силаева Т.Б.* Флора бассейна реки Суры (современное состояние, антропогенная трансформация и проблемы охраны): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: МГУ, 2006. 39 с.
- [16] *Иванов А.И., Чистякова А.А., Новикова Л.А.* Особо охраняемые природные территории Пензенской области. Пенза, 2008. 32 с.

References

- [1] Ostapko VM. *Eidological, population and cenotic foundations of phytosozology in the south-east of Ukraine*. Donetsk: Lebed; 2005. (In Russ.)
- [2] Chursin AI. *Landscape organization of the territory of the forest-steppe zone of the Middle Volga region*. Penza: PGUAS Publ.; 2008.
- [3] Vasyukov VM, Saxonov SV. *Synopsis of the flora of the Penza region. Flora of the Volga basin*. Tolyatti: Anna Publ.; 2020. (In Russ.)
- [4] Ivanov AI, Novikova LA, Chistyakova AA, Gorbushina TV, Vasyukov VM, Leonova NA, Platin PI, Silaeva TB, Saksonov SV, Rakov NS, Senator SA, Istomina EYu, Vargot EV, Kireev EA, Agaeva IV. *Red Book of the Penza region. Vol. 1. Fungi, lichens, mosses, and vascular plants*. Penza; 2013. (In Russ.)
- [5] Ivanov AI, Chernyshov NV, Kuzin EN. *Natural conditions of the Penza region. Current state Vol. 1. Geological environment, topography, climate, surface waters, soils, vegetation cover*. Penza: RIO PGUAS Publ.; 2017. (In Russ.)

- [6] Lomov SP. *The soil cover of the Penza region, its characteristics and meliorative assessment*. Penza: PGUAS Publ.; 2014. (In Russ.)
- [7] Yamashkin AA, Novikova LA, Yamashkin SA, Yakovlev EYu, Ukhanova OM. Landscape-ecological planning of the system of protected areas of the Penza region. *Bulletin of the Udmurt University. Biology Series. Earth Sciences*. 2015;(5–1):24–33.
- [8] Kazantsev IV, Saxonov SV. Phytosozological rating of nature monuments of regional significance of the Samara region. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015;17(4):45–54. (In Russ.)
- [9] Saksonov SV, Rosenberg AG, Senator SA. Phytosozological assessment of natural monuments of the Samara region. *Bulletin of the Samara State University of Economics*. 2014;(Special issue):146–153. (In Russ.)
- [10] Ivanov AI, Vlasov AS, Vlasova TG, Sashenkova SA. *Woody plants of the Penza region*. Penza; 2012. (In Russ.)
- [11] Agapov YuP. (ed.) *Forests of the Penza region*. Penza; 2014. (In Russ.)
- [12] Kamelin RV. Plant world. Flora. *Great Russian Encyclopedia*. Moscow; 2004. p. 84–88. (In Russ.)
- [13] Takhtajyan AL. *Floristic areas of the Earth*. Leningrad: Nauka Publ.; 1978. (In Russ.)
- [14] Silaeva TB. Materials for the flora of the Sura River basin. *Floristic Studies in Central Russia at the Turn of the Century: Materials of the Scientific Meeting*. Moscow; 2001. p. 143–145. (In Russ.)
- [15] Silaeva TB. *Flora of the Sura River basin (current state, anthropogenic transformation, and problems of protection)* (abstract of Doctor of Biological Sciences dissertation). Moscow: MSU; 2006. (In Russ.)
- [16] Ivanov AI, Chistyakova AA, Novikova LA. *Specially protected natural territories of the Penza region*. Penza; 2008. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Володькин Алексей Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры растениеводства и лесного хозяйства, Пензенский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 440014, Пенза, ул. Ботаническая, д. 30. ORCID: 0000-0002-7450-0492, Scopus Author ID: 57225993695, Web of Science ResearcherID: AAD-9517-2021, eLIBRARY SPIN-код: 8645-1624. E-mail: volodkin.a.a@pgau.ru

Ларионов Максим Викторович, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего», Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; профессор кафедры земледелия и растениеводства, Государственный университет по землеустройству, Российская Федерация, 105064, Москва, ул. Казакова, д. 15; профессор кафедры земледелия и растениеводства, Российский государственный аграрный заочный университет, Российская Федерация, 143907, Балашиха, ул. Шоссе Энтузиастов, д. 50; профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0003-0834-2462, Scopus Author ID: 57191472790, Web of Science ResearcherID: AAR-3233-2021, eLIBRARY SPIN-код: 2774-8090. E-mail: m.larionow2014@yandex.ru

Bio notes:

Alexey A. Volodkin, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Crop Production and Forestry, Penza State Agrarian University, 30 Botanicheskaya St, Penza, 440014, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-7450-0492, Scopus Author ID: 57225993695, Web of Science ResearcherID: AAD-9517-2021, eLIBRARY SPIN-code: 8645-1624. E-mail: volodkin.a.a@pgau.ru

Maxim V. Larionov, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, leading researcher of world-class research center “Agrotechnologies for Future,” Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St, Moscow, 127550, Russian Federation; Professor of the Department of Agriculture and Crop Production, State University of Land Use Planning, 15 Kazakova St, Moscow, 105064, Russian Federation; Professor of the Department of Agriculture and Crop Production, Russian State Agrarian Correspondence University, 50 Shosse Entuziastov St, Balashikha, 143907, Russian Federation; Professor of the Department of Environmental Safety and Product Quality Management for Educational Activities, Institute of Environmental Engineering, Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0834-2462, Scopus Author ID: 57191472790, Web of Science Researcher ID: AAR-3233-2021, eLIBRARY SPIN-code: 2774-8090. E-mail: m.larionow2014@yandex.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-1-28-44

УДК 591.5:599:591.9

Научная статья / Research article

Воздействие млекопитающих при кормодобывании и вытаптывании растительности в таежных и лесостепных природных и природно-антропогенных комплексах Предуралья и Урала

М.Г. Дворников¹  , С.В. Саксонов², Л.А. Букина³ 

¹Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства
и звероводства имени профессора Б.М. Житкова, Киров, Россия

²Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, Российская Федерация

³Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

✉ Dvornikov50@mail.ru

Аннотация. Представлены обобщения территориального выделения природных комплексов (ПК) по их идентификации в таежных и лесостепных охраняемых и освоенных территориях как основного этапа комплексных исследований, предусматривающих структурно-функциональный анализ их состояния при оценках воздействий млекопитающих *Alces alces* L., *Capreolus pygargus pygargus* Pallas, *Cervus elaphus sibiricus* Sever., *Cervus nippon* Tim., *Sus scrofa* L., *Castor fiber* L., *Meles meles* L., *Meles leucurus* Hodgson, *Ursus arctos* L. в процессе питания и вытаптывания растительного компонента в конкретных биогеоценозах (БГЦ). При высокой биомассе стадных домашних копытных 150–180 кг/га их взаимосвязи на пастбищах проявляются с ограниченным количеством кормовых растений, а воздействие на растительный покров приводит к негативным изменениям. Биомасса диких зверей (до 10 кг/га) не превышает зональные структурные параметры БГЦ, их взаимосвязи проявляются локально, с большим количеством растений, воздействия субпопуляций сбалансированы в процессах лесообразования, продуктивности, накопления, деструкции растительной массы и, соответственно, в вещественно-энергетических потоках, обеспечивающих устойчивое функционирование ПК. В местах интенсивной жизнедеятельности животных (в бывших ПК) встречаются синантропные виды растений, обильно произрастающие в иных сообществах, где возникают и зооантропозные очаги опасных для человека болезней, продвигающиеся на урбанизированные территории.

Ключевые слова: природные комплексы, структура фитомассы, воздействия млекопитающих, растительный покров, синантропные растения, очаги зооантропозных заболеваний

Вклад авторов. М.Г. Дворников – анализ полученных данных, написание текста статьи. С.В. Саксонов – концепция исследования. Л.А. Букина – сбор и обработка материала.

История статьи: поступила в редакцию 15.01.2022; принята к публикации 15.02.2022.

Для цитирования: Дворников М.Г., Саксонов С.В., Букина Л.А. Воздействие млекопитающих при кормодобывании и вытаптывании растительности в таежных и лесостепных природных и природно-антропогенных комплексах Предуралья и Урала // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 1. С. 28–44. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-28-44>

Impact of mammals during foraging and trampling of vegetation in the taiga and forest-steppe natural and natural-anthropogenic complexes of the Pre-Urals and Urals

Mikhail G. Dvornikov¹  , Sergei V. Saxonov², Lydia A. Bukina³ 

¹Zhitkov Research Institute on Hunting Ground and Fur Farming, Kirov, Russia

²Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences, Tolyatti, Russian Federation

³Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

✉ Dvornikov50@mail.ru

Abstract. Generalizations of territorial allocation of natural complexes (NC) on their identification in the taiga and forest-steppe protected and developed territories as the main stage of complex research providing structural and functional analysis of their condition when assessing the impact of mammals *Alces alces* L., *Capreolus pygargus pygargus* Pallas, *Cervus elaphus sibiricus* Sever., *Cervus nippon* Tim., *Sus scrofa* L., *Castor fiber* L., *Meles meles* L., *Meles leucurus* Hodgsen, *Ursus arctos* L., when feeding on and trampling the plant component in specific biogeocenoses (BGC). At high biomass of herd domestic ungulates 150–180 kg/ha their interrelations on pastures are shown with limited amount of forage plants and impact on vegetation cover leads to negative changes. Biomass of wild animals (up to 10 kg/ha) does not exceed zonal structural parameters of BGC, their interrelations are shown locally, with a large number of plants and impacts of subpopulations are balanced in processes of forest formation, productivity, accumulation and destruction of plant mass, respectively, in substance-energy flows, providing a sustainable functioning of NC. In places of intensive activity of animals (in former NCs) there are synanthropic plant species that grow abundantly in other communities, where zoo-anthropous foci of diseases dangerous to humans also arise, advancing to urbanized areas.

Keywords: natural complexes, phytomass structure, impact of mammals, vegetation, synanthropic plants, foci of zooanthropic diseases

Authors' contributions. M.G. Dvornikov – analysis of the received data, writing the text. S.V. Saxonov – research concept. L.A. Bukina – collection and processing of material.

Article history: received 15.01.2022; accepted 15.02.2022.

For citation: Dvornikov MG, Saxonov SV, Bukina LA. Impact of mammals during foraging and trampling of vegetation in the taiga and forest-steppe natural and natural-anthropogenic complexes of the Pre-Urals and Urals. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(1):28–44. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-28-44>

Введение

Млекопитающие в биосфере и ее зональных структурных блоках, природных комплексах (ПК) и биogeоценозах (БГЦ) в основном играют роль консументов, однако известны не менее важные формы их деятельности,

поддерживающие устойчивость планетарной системы. К ним относятся: влияние на структуру запасов фитомассы при кормодобывании, мечении территории и вытаптывании; воздействие на подстилку, почву и гидрорежим при устройстве убежищ и плотин; разложение и минерализация растительного вещества; перемещение диаспор; передача болезней и т. д. [1–9]. В современных условиях результаты накопленных обобщений являются основой при изучении биоразнообразия, моделирования устойчивого развития биосферных процессов, климата и экологически безопасных условий жизни в антропогенно преобразованных природных комплексах с ноосферной перспективой.

Цель исследования – рассмотреть динамику воздействий диких и домашних животных на растительный компонент, средообразующие и иные взаимосвязи в природных комплексах и сопредельных с ними преобразованных хозяйственной деятельностью участках, расположенных в некогда единых ПК.

Материалы и методы

Территориальное выделение природных комплексов по их идентификации [10–13] – основной этап биогеоэкологических исследований, предусматривающий необходимое количество стационарных площадок и отбор проб по эколого-топографическому профилю ПК (с учетом лесорастительных условий – ЛРУ) для структурно-функционального анализа и статистической обработки материалов. Зонально-провинциальная продуктивность рассчитывалась по фотосинтетической активной радиации и в БГЦ экспериментально определялась. Воздействия млекопитающих на растительность рассматривались в соответствии с ЛРУ и прослеживались стационарно на примере домашних копытных и диких животных, в частности *Alces alces* L., *Capreolus pygargus pygargus* Pallas, *Cervus elaphus sibiricus* Sever., *Cervus nippon* Tim., *Sus scrofa* L., *Castor fiber* L., *Meles meles* L., *Meles leucurus* Hodgson, *Ursus arctos* L., то есть на видах, занимающих разные трофические уровни в естественных экологических системах (ЕЭС). Кормодобывающая, коммуникационная, маркировочная и средообразующая деятельность животных сравнительно связана с растительным покровом особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и природно-антропогенных комплексов (ПАК), поэтому учитывались и их связи с популяционными структурами лесообразующих доминантов [14; 15]. Полевые исследования проходили с 1974 по 2019 г. на стационарных пунктах многолетних наблюдений, территориально расположенных в лесных, лесостепных и луговых биогеоценозах. Проводились пересчет, биркование древесного яруса и выбор моделей; укусы травостоя (и разделение его массы на фракции: зеленый, ветошь и подстилка) в соответствующих количествах повторностей и оценка запасов ягодников выполнялись на 20–30 пробных площадках, ограниченных рамками размером 50×50 см. Дикие звери учитывались на маршрутах и площадках общепринятыми методами, количество домашних копытных устанавливали в пастбищных загонах и вольерах. Статистические сведения из отчетов землевладельцев о поголовье домашних животных в XVIII–XX вв. пересчитывали на их биомассу. О влиянии зверей на тропах и в вольерах на травянистую растительность судили по изменениям видового состава, проективного покрытия, запасам фитомассы по сравнению с участками, где следы пребывания

животных не были выявлены. В расчетах биомассы (кг/га) использовали результаты взвешивания и учета животных, особей и отдельных групп зверей, которых метили. Внимание было сосредоточено на показателях, которые характеризуют главные признаки биогеоценологических процессов в ЕЭС: продуктивность, запасы и структура фито- и биомассы, биогеохимический круговорот, энергетический поток, а также средообразующее участие млекопитающих. В совокупности это по федеральным законам РФ (ФЗ № 7 от 10.01.2002 г., ФЗ № 52 от 24.04.1995 г.) характеризует (по биологическим показателям) качество благоприятной окружающей среды, ее компонентов, объектов биологического разнообразия и природных ресурсов, что обеспечивает системное функционирование ПК и ПАК. Инвентаризацию природных объектов проводили в 2010–2019 гг.

Результаты и их обсуждение

Домашние копытные. В предыдущих разделах приведены сведения о развитии растительного покрова и освоении человеком таежных ПК, в том числе и на прилегающих лесостепных территориях, с которых продвигалось в Предуралье животноводство, а также о замещении биомассы диких на домашних копытных в ЕЭС бассейна р. Камы с эпохи неолита до средневековья второго тысячелетия. Отметим, что в XIX–XX вв. в Вятской и Уфимской губерниях биомасса домашних копытных составляла 51–78 кг/га, а кабан, косуля и барсук заселяли северные таежные ПК региона периодически. Экспериментальными исследованиями прослежено воздействие стадных домашних копытных на структуру и запасы фитомассы лесной и степной растительности, островных боров лесостепи (отгонный выпас) сравнительно со строго охраняющимися ООПТ (приусадебный выпас и в вольерах) и охотничьими заказниками (допускался отгонный выпас) на примере присутствия лошадей и крупного рогатого скота (КРС). При их биомассе в 135–180 кг/га взаимосвязи были с 30–40 видами растений.

Вначале приведем примеры из вековой истории первого на Урале Ильменского государственного заповедника (ИГЗ), где биомасса домашних животных в горных условиях не превышала 4 кг/га, а следы синантропизации растительности и ныне встречаются у 22 кордонов, 2 базовых поселков и турбазы [16]. В другом случае в результате естественных русловых процессов в долине р. Вятки на начальных этапах сукцессии всегда были открытые участки. По мере становления травяного покрова они использовались под пастбища (к примеру, урочище «Белое» у государственного природного заповедника (ГПЗ) «Нургуш»), где биомасса крупного рогатого скота (КРС) достигала 160–180 кг/га. В течение 5–7 лет изменялся естественный состав растительных сообществ. По мере деградации растительного покрова под пастбища осваивались новые территории, а здесь образовывались новые сообщества. Так, в загоне у кордона «Нургуш» биомасса домашних копытных в течение 25 лет (с 1950-х гг.) составляла 60–86 кг/га, затем участок пребывал в запустении, а в конце XX в. на нем отмечены редкое лесовозобновление и иная структура большей фитомассы (с синантропными так-

сонами) в растительном покрове. Реальность данных представлений подтверждается исследованиями выпаса коз [17] и овец [18].

В Парижском, Анненском и прочих лесничествах (Южный Урал) довольно быстро возникающие отрицательные последствия отгонного выпаса коз и овец и скученного размещения загонов для животных увеличивают общую площадь трансформированной территории ПК. Однако в таежных условиях бассейна р. Вятки выпас домашних животных всегда осуществлялся на ограниченных участках. Средообразующая роль домашних животных содействовала человеку при освоении таежных территорий, так же как и сейчас в прилегающих южных регионах способствует (при умеренной биомассе млекопитающих на пастбище в 50–70 кг/га) устойчивости лесостепных и степных ПАК. В частности, создаются условия для проживания фоновых видов млекопитающих – *Marmota bobak* L. Сурки отсутствуют или редки как в местах с чрезмерной плотностью домашних копытных, так и в изолированных от них. В то же время в прибрежных зонах р. Вятки, озер и протоков, где высока плотность КРС, например в урочище «Белое», поселения *Arvicola amphibius* L., *Ondatra zibethicus* L., *Castor fiber* L. отсутствуют из-за разрушения копытными их нор. Причем в трансформированных выпасом таежных и лесостепных ПАК биомасса у диких травоядных зверей вдвое меньше, а у хищников – больше.

Таким образом, отмечен ряд общих последствий пастбищной деградации растительности (по отношению к исходной): на переходах (2–3 км) от ворот загонов и по тропам к вольному выпасу на 87 % их площади растения были редки или отсутствовали; число видов на 100 м² уменьшается от 48 до 10 (важнейший признак фитоценозов); значительно увеличивается разреженность растительного покрова, степень проективного покрытия уменьшается с 90 до 10 %, снижаются высота травостоя и продуктивность пастбищ; травостой обедняется хозяйственно ценными видами, засоряется плохо поедаемыми и ядовитыми растениями; увеличивается число синантропных видов – от 3 до 25 и их обилие – от sol. до сор.2. Заметим, что в ПАК при отгонном содержании животных для погибших (от болезней, нападения зверей и т. д.) особей размещались «скотомогильники», которые посещали хищные звери, численность которых у мест кормодобывания была высокой.

Дикие животные. В условиях Среднего и Южного Урала сперва было рассмотрено воздействие копытных на травянистую растительность в таежных и предлесостепных ПК. В ПАК присутствуют агрокультуры, и взаимосвязи копытных (лось, косуля, пятнистый олень, марал) уже заметно проявляются с 85–120 кормовыми видами растений, соответственно, тропы зверей также существуют в ЕЭС длительное время. Их общая площадь составляла 525 м²/га при соответствующей численности, территориальном распределении и биомассе диких копытных. После заселения кабанов «влажных» биотопов проявилось их влияние на 60–70 кормовых растений, подстилку и почву, аналогичное явление наблюдается на европейских и американских территориях [19; 20]. Общая площадь троп в ИГЗ увеличилась до 7 % – на 1 га. В местах обитания кабанов в периодически сухих и в свежих ЛРУ интенсивность вытаптывания троп в 2,3 раза больше (табл. 1).

Таблица 1

Фитомасса (воздушно-сухое состояние) травянистого яруса на тропах

Место положения тропы	Показатели	Контроль, г/м ²		Тропа, г/м ²	
		<i>M ± m</i>	Доля от общего запаса, %	<i>M ± m</i>	Доля от общего запаса, %
Участок 1, верхняя площадка	Общие запасы фитомассы:	88,0 ± 6,2	100	18,0 ± 2,3	100
	– живой	57,0 ± 3,9	64,8	6,0 ± 0,7	33,3
	– мертвой	31,0 ± 3,3	35,2	12,0 ± 2,1	66,7
Участок 2, нижняя площадка	Общие запасы фитомассы:	73,0 ± 5,5	100	7,0 ± 1,4	100
	– живой	48,0 ± 3,5	65,8	2,0 ± 0,4	28,6
	– мертвой	25,0 ± 2,4	34,2	5,0 ± 0,8	71,4

Table 1

Phytomass (air-dry condition) of the grassy tier on the trails

Location of the trail	Indicators	Control, g/m ²		Trail, g/m ²	
		<i>M ± m</i>	Share of total stock, %	<i>M ± m</i>	Share of total stock, %
Plot 1, upper platform	Total phytomass reserves:	88.0 ± 6.2	100	18.0 ± 2.3	100
	– live	57.0 ± 3.9	64.8	6.0 ± 0.7	33.3
	– dead	31.0 ± 3.3	35.2	12.0 ± 2.1	66.7
Plot 2, lower platform	Total phytomass reserves:	73.0 ± 5.5	100	7.0 ± 1.4	100
	– live	48.0 ± 3.5	65.8	2.0 ± 0.4	28.6
	– dead	25.0 ± 2.4	34.2	5.0 ± 0.8	71.4

Установлено, что на тропах общие запасы надземной фитомассы, по сравнению с контролем, сокращаются в 4,9–10,0 раз. При этом изменяется и структура фитомассы. В частности, если запасы мертвой массы уменьшаются в 2,6–5,0 раз, то живой – в 9,5–24,0 раза. На тропах доля мертвой массы в общих запасах надземной фитомассы увеличилась примерно в 2 раза. В местах основного обитания кабанов, где в составе группы сопровождающих по тропе самок больше, чем у лося и косули, многочислен молодняк и подсвинки; совокупное воздействие последних на растительность травянистого яруса и почву более интенсивно. Учитывая также, что от лосей, косуль и оленей при выявленной их численности (в группах до 3–5 особей) и биомассе в 4–7 кг/га (при миграциях до 10 кг/га) при кормодобывании в вегетационный период заметных воздействий на травянистый ярус не отмечено, далее прослеживали влияние на растительность от кабанов, биомасса которых в ООПТ Урала 0,2–0,3 кг/га. На пороях отмечено изменение видового состава растений, восстановление покрова (по общим запасам фитомассы) происходит через 3 года. Повторные порою на участках предыдущего года незначительны – 2,6 % от всей «вспаханной» площади (табл. 2).

Анализ флористического состава показал, что на взрыхленных кабанам участках число видов несколько сокращается по сравнению с контрольными. Но появляются виды, отсутствующие на нетронутых участках: *Atragene sibirika* L., *Polygonum convolvulus* L., *Atriplex hortensis* L., и др. Происходит некоторое перераспределение видов по классам встречаемости. Злаки, доминирующие в контроле, переходят в класс редко встречающихся видов.

В отличие от злаков другой доминант – *Aegopodium podagraria* L. – оказывается более устойчивым к рыхлению почвы кабанами и сохраняет свое преобладание над другими видами.

Таблица 2

Влияние роющей деятельности кабана на запасы надземной фитомассы (воздушно-сухое состояние, г/м²) травянистого яруса в березняках

Показатели	Контроль			Участок с пороями		
	$M \pm m$	Доля от общего запаса, %	Соотношение к общей	$M \pm m$	Доля от общего запаса, %	Соотношение к общей
Общие запасы фитомассы:	113,2 ± 5,0	100		48,0 ± 4,72	100	
– живой	92,4 ± 4,64	81,6	1,23	44,4 ± 4,56	92,5	1,1
– мертвой	20,8 ± 2,16	18,4	5,5	3,6 ± 0,88	7,5	13,3

Table 2

The effect of the burrowing activity of wild boar on the reserves of aboveground phytomass (air-dry condition, g/m²) of the grassy tier in birch forests

Indicators	Control			Plot with poros		
	$M \pm m$	Share of total stock, %	Ratio to total	$M \pm m$	Share of total stock, %	Ratio to total
Total phytomass reserves:	113.2 ± 5.0	100		48.0 ± 4.72	100	
– live	92.4 ± 4.64	81.6	1.23	44.4 ± 4.56	92.5	1.1
– dead	20.8 ± 2.16	18.4	5.5	3.6 ± 0.88	7.5	13.3

В Предуралье порою кабанов прослежены по профилю долины [9]. В частности, на лугах у протоков р. Вятки (где ранее был выпас КРС) с июля по октябрь они более масштабны на возвышенных валах, кратковременно или редко затопляемых весной участках между елово-широколиственными древостоями, где в последующие годы образуются значительные куртины по 9–27 м² иных видов с доминированием *Urtica dioica* L., *Artemisia vulgaris* L., *Galeopsis speciose* Mill., *Arctium tomentosum* Mill. и т. д. Фитомасса и видовое богатство на данных участках в 1,5–1,8 раза больше, чем у исходной растительности, а на гривах (после пороев) идет естественное возобновление кустарников и *Pinus sylvestris* L., *Betula pubescens* Ehrh., *Guercus robur* L., *Populus tremula* L., что было отмечено и в других северных регионах [21; 22]. В дубняках порою ежегодны и лишь в годы неурожая желудей заметны только на опушках, где представлена экспансия разновозрастного подроста на лугу. Интенсивные порою повторяются через 3–5 лет. Попарное сравнение участков, задействованных и не задействованных зверями при кормодобывании, позволило проследить динамику соотношения фракций фитомассы и восстановить потребленную ими массу растений (табл. 3).

Больше всего отчуждаемой массы (в 2,26 раза) в летний период приходилось на механическое воздействие. В целом кабаны при биомассе 0,45–0,68 кг/га отчуждали на лугах в молодой и зрелой пойме 0,6 %, а в старой пойме – 0,2 % от ежегодного общего прироста фитомассы. Звери из меченной ушными метками группировки (гурт из 5–12 семей и одиночных зверей при естественных кормах) встречались на площади 900 км² (от долины р. Вятки к плакору,

зимовали в ООПТ) несколько лет, причем в данный период агропредприятия уже не действовали. В итоге заметно локальное влияние субпопуляционных группировок кабанов на запасы и структуру травянистой фитомассы, подстилку и почву, а также на поддержание лесовозобновления в сопряженных БГЦ р. Вятки и предлесостепных ПК Урала.

Таблица 3

Запасы травянистой массы в ПК и отчуждение ее на поросях кабанями

Место расположения биотопов	Показатели, кг/га (абсолютно сухое состояние)	Контроль			Опыт			Отчуждение, %
		Абсолютно	%	Соотношение к общей	Абсолютно	%	Соотношение к общей	
Разнотравно-злаковый луг на I части зрелой поймы	Общая фитомасса:	5460	100		2407,9	100		55,9
	– живая	4482,7	82,1	1,2	2241,8	93,1	1,1	50,0
	– мертвая	977,3	17,9	5,6	166,1	6,9	14,5	83,0
Сосновые посадки на старой пойме	Общая фитомасса:	930	100		483,2	100		48,1
	– живая	714,24	76,8	1,3	377,4	78,1	12	47,2
	– мертвая	215,76	23,2	4,3	105,8	21,9	4,5	51,0
Дубняк на II части зрелой поймы	Общая фитомасса:	785	100		490,6	100		37,5
	– живая	641,34	81,7	1,2	438,1	89,3	1,1	31,7
	– мертвая	143,66	18,3	5,5	52,5	10,7	9,4	63,5

Table 3

Stocks of herbaceous mass in the natural complexes and its alienation by wild boars at times

Location of biotopes	Indicator, G/ha (absolutely dry state)	Control			Experience			Alienation, %
		Absolutely	%	Ratio to total	Absolutely	%	Ratio to total	
Grass-grass meadow on the I part of the mature floodplain	General phytomass:	5460	100		2407.9	100		55.9
	– live	4482.7	82.1	1.2	2241.8	93.1	1.1	50.0
	– dead	977.3	17.9	5.6	166.1	6.9	14.5	83.0
Pine plantations on the old floodplain	General phytomass:	930	100		483.2	100		48.1
	– live	714.24	76.8	1.3	377.4	78.1	12	47.2
	– dead	215.76	23.2	4.3	105.8	21.9	4.5	51.0
Oak forest on the II part of the mature floodplain	General phytomass:	785	100		490.6	100		37.5
	– live	641.34	81.7	1.2	438.1	89.3	1.1	31.7
	– dead	143.66	18.3	5.5	52.5	10.7	9.4	63.5

Бобр. Бобры – эврифаги, поедающие древесно-кустарниковые, травянистые – наземные, водные и полуводные растения. Сведения по 74 таксонам растений, поедаемым бобрами в бассейне р. Вятки, представлены в предыдущих разделах. Заселенность зверями биотопов по градиентам природной среды разная. При высокой плотности поселений зверей и их биомассы в 0,4–0,6 кг/га зимние заготовки кормов состояли из 10 видов и в зрелой пойме *Populus tremula* L. встречалась ежегодно (табл. 4).

Таблица 4

Годовое изъятие бобрами надземной фитомассы древостоев осины в ПК

Запас фитомассы древостоев, т/га (абсолютно сухое состояние)	Количество бобров в поселении	Изъятие бобрами одного поселения, т/га/% к наземной фитомассе		
		Потреблено в пищу	Не использовано	Всего
171,25	7	3,01/1,75	14,5/8,46	17,51/10,2

Table 4

Annual withdrawal by beavers of aboveground phytomass of aspen stands in the natural complexes

Stock of phytomass of stands, tons/hectares (absolutely dry state)	Number of beavers in the settlement	Withdrawal by beavers of one settlement, tons/hectares/% of aboveground phytomass		
		Eaten	Not used	Total
171.25	7	3.01/1.75	14.5/8.46	17.51/10.2

Установлено, что бобры в процессе кормодобывания изымали 10,2 % от запасов фракционного состава фитомассы (древесина, кора, сучья, ветви, подрост), или в 2,5 раза больше ежегодного прироста осинников. При этом неиспользованная в пищу фитомасса, уходящая в опад, в 4,8 раза превосходила потребленную. Подчеркнем, что кормодобывающая и строительная деятельность бобров является мощным экологическим фактором и сопровождается локальными сукцессионными изменениями на площади различных по давности поселений. Последние хронологически рассматривались на ООПТ [3; 23; 24]. В поселениях были выделены торные и кормовые тропы, где устанавливали запасы фитомассы. Большинство троп использовались бобрами в течение двух-трех лет. Первоначально растения здесь не только вытаптываются, но некоторые из них потребляются бобрами. Впоследствии лишённые растительности тропы служат только для передвижений и другим зверям. Установлено, что на тропах запасы фитомассы крайне малы – около 1 г на 0,1 м². На участках возле троп общие запасы надземной фитомассы уменьшаются почти в 1,5 раза, причем в основном за счет зеленых частей растений.

На Урале, в процессе изучения воздействия бобров, использовавших (сгрызающих) древостой, на запасы надземной фитомассы травянистого яруса, в том числе на тропах, установлено, что биомасса зверей в ПК равнялась 0,12–0,25 кг/га; полное сведение ими осинника обусловило в первом поселении возрастание общих запасов надземной фитомассы травянистого яруса в 1,4 раза. При этом запасы зеленых частей растений на участке, лишённом древесного яруса, увеличились примерно в 2,4 раза в сравнении с пологом леса, а масса отмерших растений и их частей, по-видимому, за счет более интенсивно идущих процессов разложения, уменьшилась. Во втором поселении общие запасы фитомассы также увеличились в 1,4 раза. Однако в отличие от первого масса зеленых частей растений возросла только в 2,1 раза, несколько выше стали запасы мертвой растительной массы [24]. В местах «бобровых вырубок» происходит увеличение общих запасов надземной фитомассы и скорости разложения отмерших травянистых растений и их частей. Как показали результаты исследований по выявлению воздействия затопления на травянистые фитоценозы лесных полей, после высыхания «бобровых

прудов» на площади 0,6–1,3 га формируются травостои, имеющие существенные различия с травостоями прилегающих участков, которые не были покрыты водой. Так, проективное покрытие почвы растительностью на указанных территориях составило 100 и 60–70 % соответственно, высота травяного покрова равнялась 140–160 и 50–60 см. В первом случае в травостое доминировал *Senecio vulgaris* L., во втором – *Calamagrostis Langsdorfii* Trin. Коэффициент сходства видовых составов – 39 %. Общие же запасы надземной фитомассы на затоплявшейся территории превысили контрольные показатели в 2 раза, что произошло за счет живой массы (табл. 5).

Таблица 5

Запасы надземной фитомассы травянистого яруса в зоне бывшего затопления и на незатоплявшейся площади, воздушно-сухое состояние, г/0,25 м²

Показатели	Контроль		Затоплявшаяся площадь	
	<i>M ± m</i>	Доля от общего запаса, %	<i>M ± m</i>	Доля от общего запаса, %
Общие запасы фитомассы:	131,6 ± 4,8	100	267,8 ± 13,4	100
– живой	50,1 ± 3,4	38,1	161,7 ± 9,7	60,4
– мертвой	81,5 ± 3,3	61,9	106,1 ± 6,6	39,6

Table 5

Reserves of aboveground phytomass of the grassy tier in the zone of former flooding and in the non-flooded area, air-dry condition, g/0.25 m²

Indicators	Control		Flooded area	
	<i>M ± m</i>	Share of total stock, %	<i>M ± m</i>	Share of total stock, %
Total phytomass reserves:	131.6 ± 4.8	100	267.8 ± 13.4	100
– live	50.1 ± 3.4	38.1	161.7 ± 9.7	60.4
– dead	81.5 ± 3.3	61.9	106.1 ± 6.6	39.6

В условиях долины р. Вятки гидрологическая сеть иная и речной сток антропогенно не регулируется. Здесь пойменные водоемы представлены разными этапами их зарастания. Ближе к меженному периоду береговая часть водоемов вследствие чередования грив имеет весьма извилистые очертания, однако бобры при перемещении по участку обитания при кормодобывании пользуются водным путем. Даже в мощных поселениях площадь троп не значительна, здесь гораздо более часто представлены кормовые вылазы бобров на берег. К примеру, в местах сведения древостоя на пробной площади у оз. Окуньки сформировалось луговое сообщество с фитомассой в 4,3 раза выше, чем в исходном (табл. 6).

Таблица 6

Надземная фитомасса (абсолютно сухое состояние, г/м²) травянистого яруса на «бобровой вырубке» и под пологом леса

Показатели	Контроль		«Бобровая вырубка»	
	<i>M ± m</i>	Доля от общего запаса, %	<i>M ± m</i>	Доля от общего запаса, %
Общие запасы фитомассы:	101,3 ± 2,0	100	435,6 ± 8,9	100
– живой	85,5 ± 1,2	84,4	271,4 ± 20,4	62,3
– мертвой	15,8 ± 0,6	15,6	164,2 ± 4,9	37,7

Table 6

Aboveground phytomass (absolutely dry condition, g/m²) of the grassy tier on the “beaver cutting” and under the canopy of the forest

Indicators	Control		“Beaver cutting”	
	<i>M ± m</i>	Share of total stock, %	<i>M ± m</i>	Share of total stock, %
Total phytomass reserves:	101.3 ± 2.0	100	435.6 ± 8.9	100
– live	85.5 ± 1.2	84.4	271.4 ± 20.4	62.3
– dead	15.8 ± 0.6	15.6	164.2 ± 4.9	37.7

Здесь меняется структура фитомассы, происходит задернение травяного сообщества, идут преобразования к «бобровым лугам». Влияние строительной деятельности бобров в условиях ПК заповедника при их отмеченной биомассе обуславливает отличимую от русловой (р. Вятка) динамику нарастания половодья. С 1954 по 1996 г. было 17 плотин, возведенных бобрами (0,4 сооружения в год). С 1997 по 2006 г. животными возведено 32 плотины, то есть 3,2 сооружения в год. Значительное количество плотин воздвигалось бобрами в годы малых и средних весенних половодий. Процесс возведения плотин связан с ростом поголовья бобров и усыханием ряда водоемов. Среднее количество плотин в одном поселении в заповеднике и его охранной зоне в 1997–2006 гг. – 0,3, а средний размер пруда – 0,83 га. Общая площадь прудов с 1954 по 2006 г. в условиях бывших стариц, проток с высокими берегами, речек и ручьев достигала 40,7 га. Деятельность бобров весьма ощутима и при обширных затоплениях побережий речек и протоков, то есть изменяются ЛРУ. К примеру, между двух озер Окуньки (охранная зона ГПЗ «Нургуш») площадь затопления протоков и побережий составляла 1,8 га. В результате трехлетнего подгрызания деревьев (32 м³) и вследствие усыхания *Betula pubescens* Ehr. от затопления (283 м³) было сведено 315 м³ древесины. На «бобровых вырубках», кроме высокотравья, формируется возобновление иных древесных пород, что привлекает в данные участки лосей, зайцев, кабанов, барсуков, медведей и т. д. Так, кормодобывающая деятельность речных бобров в ранге их субпопуляционных структур стимулирует средообразующую деятельность, что в совокупности является мощным экологическим фактором, определяющим структуру и динамику прибрежных фитоценозов и зооценозов в Предуралье и на Урале.

Барсук. В Предуралье и на Урале выявлялись особенности поселений барсуков [6]. В центральной части ИГПЗ, где барсук является фоновым видом хищных млекопитающих, перемещающимся от норы на 2,7–3,3 км (в 1980–1986 гг. выкладывали пищевые метки), растительный компонент в его пищевом рационе составляет более 50 %, причем поселения со средней плотностью 0,25 на 1 км² встречаются здесь повсеместно. Четко выделяются два типа поселений. Первый тип – редко встречающиеся в предгорном районе Ильменского горного хребта, но характерные для большинства регионов обитания барсука поселения, располагающиеся на различного рода возвышенностях с песчано-глинистыми почвами в периодически сухих и свежих ЛРУ. Характерной чертой жизнедеятельности барсука здесь является высо-

кая роющая активность на площади 1100–2300 м². В многовековых поселениях второго типа на площади 9–58 м², приуроченных к горам и местам выходов горных пород в сухих ЛРУ, роющая деятельность животных не достигает больших масштабов, так как в качестве нор и отнорков используются естественные скальные расщелины и пустоты.

О влиянии жизнедеятельности барсука на травянистую растительность, при его биомассе в 0,09–0,16 кг/га, на осваиваемых животными территориях судили по изменениям высоты травяного покрова, проективного покрытия, видового состава и запасов фитомассы. В первом типе поселений, в хорошо развитом травяном покрове контрольного участка остепненного луга (высота 1-го яруса – 70–80 см, проективное покрытие почвы растениями – 60–70 %) доминируют *Calamagrostis epigeios* Roth., (cop.2), *Artemisia santolinifolia* Turcz., *A. sericea* Web., (cop.1), *Fragaria viridis* Duch., (sp.-cop.1). Общее число видов – 27. В поселении значительную площадь (около 50 %) занимают выбросы грунта, участки без растений, норы. Характерный облик растительности придают мощные побеги (высота – 100–110 см) *Urtica dioica* L. (cop.2), *Cirsium setosum* Will. (cop.1). Общее число видов – 24. На контрольном участке сосново-березового леса (рядом с поселением второго типа) травяной покров беден (высота 1-го подъяруса – 30–40 см, проективное покрытие почвы растениями – 40–50 %), почвенный покров слабо развит, значительная площадь занята выходами горных пород. Доминируют *Calamagrostis arundinacea* L. (cop.1), *Dactylis glomerata* L. (sp.-cop.1). Общее число видов – 21. В поселении растительность еще более скудная (высота 1-го подъяруса – 10–20 см, проективное покрытие почвы растениями – 20–25 см), так как, помимо выходов горных пород, значительную площадь здесь занимают вытопанные участки, норы. Из злаков преобладает *Calamagrostis arundinacea* L. (cop.1-sp.), встречаются (sp.) *Vicia cracca* L., *Stellaria graminea* L., *Urtica dioica* L. Общее число видов – 13.

Анализ видового состава изученных сообществ показал следующее. В поселении первого типа произошли значительные изменения этого показателя по сравнению с контролем. Это случилось за счет выпадения части видов, обычных для нетронутых участков остепненного луга, и внедрения новых видов, не свойственных исходному сообществу: *Leonurus quinquelobatus* Gill., *Urtica dioica* L., *Cirsium asetosum* Will., *Melampyrum cristatum* L., *Glechoma hederacea* L. и др. В поселении второго типа отмечено существенное сокращение числа видов по сравнению с контролем, но большее сходство видового состава (65 %), так как здесь присутствуют только два вида, не отмеченные в контроле – *Urtica dioica* L. и *Stellaria graminea* L. Видно, что в обоих поселениях вновь появившиеся виды типично синантропные, некоторые из них становятся доминантами в растительном покрове (например, *Urtica dioica* L. и *Cirsium arvense* L. в поселении первого типа). В целом присутствие синантропных видов в поселениях связано с наличием здесь удобных экотопов, какими являются выбросы грунта из нор, обогащенные органикой консорции. Запасы фитомассы приведены в табл. 7.

Таблица 7

Запасы фитомассы травянистого яруса (воздушно-сухое состояние, г/0,25 м²) в ПК Урала

Поселения	Показатели	Контроль		Барсучье поселение	
		$M \pm m$	Доля от общего запаса, %	$M \pm m$	Доля от общего запаса, %
1	Общие запасы фитомассы:	143,9 ± 9,3	100	131,8 ± 10,7	100
	– живой	49,1 ± 3,9	34	60,7 ± 4,9	46
	– мертвой	94,8 ± 8,1	66	71,2 ± 7,1	54
2	Общие запасы фитомассы:	18,7 ± 2,3	100	7,0 ± 0,9	100
	– живой	15,0 ± 1,9	80	5,9 ± 0,9	84
	– мертвой	3,7 ± 0,6	20	1,1 ± 0,32	16

Table 7

Stocks of phytomass of the herbaceous tier (air-dry condition, g/0.25 m²) in the natural complexes of the Urals

Settlements	Indicators	Control		Badger settlement	
		$M \pm m$	Share of total stock, %	$M \pm m$	Share of total stock, %
1	Total phytomass reserves:	143.9 ± 9.3	100	131.8 ± 10.7	100
	– live	49.1 ± 3.9	34	60.7 ± 4.9	46
	– dead	94.8 ± 8.1	66	71.2 ± 7.1	54
2	Total phytomass reserves:	18.7 ± 2.3	100	7.0 ± 0.9	100
	– live	15.0 ± 1.9	80	5.9 ± 0.9	84
	– dead	3.7 ± 0.6	20	1.1 ± 0.32	16

В поселении первого типа запасы живой массы выше контроля за счет мощного разрастания синантропных видов (на их долю приходится 50 %). Несколько меньше показатели запасов мертвой массы, что связано с более интенсивными темпами ее разложения. В поселении второго типа отмечено резкое сокращение всех показателей запасов фитомассы по сравнению с контролем, что можно объяснить незначительным участием (менее 10 % по массе) в травяном покрове поселения синантропных видов, предпочитающих рыхлый субстрат. Однако структура фитомассы существенно не отличается от контроля. Жизнедеятельность барсука приводит к заметным изменениям растительности, которые в значительной степени определяются ЛРУ, особенностями экотопа того или иного типа поселения и долей участия в растительном покрове синантропных видов. Так возникают рудеральные сообщества, значительно отличающиеся от исходных по видовому составу, с более высокими запасами биомассы.

В долине р. Вятки поселения барсуков плотностью 0,06 на 1 км² отмечены на незатопляемых участках зрелой поймы и на боровой террасе в бывших бобровых норах и полухатках, 51,8 % жилых и потенциальных (ранее заселяемых) поселений барсука расположены в местах бывших смолокурен, а 14,8 % – на естественных субстратах. В результате блуждания русла останцы древних террас сохранились и на территории заповедника, именно здесь располагаются барсучьи «городки», где биомасса достигает 0,02 кг/га. Одно из мощных поселений более полувековой давности расположено на боровой террасе в бывшей смолокурне. Здесь на 3,8 м (от уровня воды в ручье) возведен холм диаметром 32 м и площадью 100,5 м², на котором находятся

12 нор (2 из них ранее раскопаны человеком). На холме произрастают сосны и ели 65–90-летнего возраста. Участки при входах в норы и вершины холма на общей площади 15 м² лишены травянистого покрова и местами подстилки. На остальной части холма произрастает *Oxalis actosella* L. (cop.2), *Aegopodium podagraria* L., *Rubus idaeus* L. (cop.1), *Urtica dioica* L. (cop.2), *Pteridium aquillinum* L. С 1997 по 2017 г. в этом поселении барсуки обитали и зимовали не ежегодно. Среднее по мощности поселение барсуков занимает площадь около 50 м² и имеет 5 входов (выходов), в основном ориентированных на юго-восток. На данной гриве имеются старые (заброшенные) норы разной давности. На холме, выходах из нор и тропах травяной покров отсутствует или скуден, представлен в основном *Aegopodium podagraria* L. (col.), изредка встречается *Urtica dioica* L. В процессе жизнедеятельности барсуки воздействуют также на опад, подстилу и почву. В уборных барсуков в экскрементах встречались фрагменты *Fragaria vesca* L., *Padus avium* Mill., желудей, кости трупов скота и прочее, а также цветные «пищевые метки» (оставленные нами у разных поселений). Таким образом выявлено, что отдельные особи перемещались на плакор до 3–8 км. Заселенность «городков» зверями в долине р. Вятки не регулярна в силу антропогенных причин, однако в местах поселений происходят процессы, свойственные воздействию субпопуляции азиатских барсуков в ИГПЗ и сопредельных с ним ПАК.

Медведь. Биомасса медведей в ПК Предуралья составляет 0,16 кг/га, в ПАК Урала – 0,05 кг/га. Пищевой рацион этого хищника более чем на 50 % состоит из растительного компонента – 35 видов травянистых и древесно-кустарниковых растений. При мечении индивидуальной территории и передвижений по участку звери также воздействуют на растения и делают на опаде, подстилке и почве поковки размером 0,1–2,3 м², что в пересчете может достигать 17 м²/га за вегетационный период. Следует отметить, что даже в ПК медведь при перемещениях по участку использует тропы других зверей и человека, а также лесовозные дороги. В экскрементах зверей весной встречаются фрагменты старых еловых шишек, летом – трав, ягод, осенью – желудей, кости лосей и кабанов и трупов КРС, а также цветные «пищевые метки», обнаруженные в 70–140 км от места размещения приманки исследователями. Запасы лесных ягод и желудей медведи используют до 30 % их свежей массы. Локальное влияние медведя на структуру травянистой фитомассы в основном проявляется только на лежках, при вытаптывании ее у кустов *Rubus idaeus* L., *Padus avium* Mill., *Sorbus aucuparia* L. и кормодобывании ягод. Это воздействие пока не оценено, так как зеленых растений к осени меньше, а ветоши больше, однако в территориальном распространении диаспор его роль несомненно существенна.

Специфические экологические условия рассмотренных сообществ продуцентов и консументов в ПК возникли на основе пищевых и средообразующих субпопуляционных взаимосвязей и способствуют функционированию региональных эдификаторов в ПК, а также поддержанию в ПАК (уже при взаимосвязи консументов) очагового заболевания трихинеллеза [25]. Так, в природных сообществах сформировалась гостальная компонента видов – хозяев трихинелл – медведя, барсука и кабана, объединенных сходными трофико-хорологическими связями, обеспечивающими успешную реализацию жизненного цикла паразита, опасного для человека.

Заключение

При высокой биомассе стадных домашних копытных их взаимосвязи на пастбищах проявляются с ограниченным количеством кормовых растений, а воздействие на растительный покров приводит к негативным изменениям ПАК. Биомасса диких зверей не превышает зональные структурные параметры БГЦ, их субпопуляционные взаимосвязи проявляются локально, воздействия сбалансированы в процессах распространения семян и диаспор растений, продуктивности, накопления и отмирания растительной массы, а следовательно, и в вещественно-энергетических потоках в БГЦ. В местах интенсивной жизнедеятельности млекопитающих, на пороях и тропах животных, встречаются иные виды растений, успешно произрастающие у жилья человека. При смене экологических условий наблюдается изменение состава сообществ в ПАК, в том числе видов – хозяев трихинелл, что может привести к иррадиации инвазии из природных в синантропные биоценозы и наоборот, в итоге возможно формирование временных и даже устойчивых сообществ.

Список литературы

- [1] *Seton-Thompson E.* Lives of game animals. Boston: Charles T. Branford Company, 1953. Vol. 4. 431 p.
- [2] *Гусев А.А., Гусева Н.А.* Участие диких копытных в разложении растительности в экосистемах лесостепи // *Экология*. 1983. № 6. С. 51–55.
- [3] *Коробейникова В.П., Дворникова Н.П.* Воздействие речного бобра на травянистую растительность в прибрежных фитоценозах // *Экология*. 1983. № 6. С. 70–72.
- [4] *Абатуров Б.Д.* Млекопитающие как компонент экосистем (на примере растительноядных млекопитающих в полупустыне). М.: Наука, 1984. 286 с.
- [5] *Olson R., Hubert W.* Beaver: water resources and riparian habitat manager. Wyoming: Laramie, 1994. 57 p.
- [6] *Дворников М.Г., Дворникова Н.П., Коробейникова В.П.* Особенности растительности в поселениях барсука (*Meles meles* L.) на южном Урале // *Экология*. 1996. Т. 5. С. 108–109.
- [7] *Naiman R.J.* Animal influence on ecosystem dynamic // *Bioscience*. 1998. Vol. 38. № 11. Pp. 750–753.
- [8] *Евстигнеев О.И., Воеводин П.В., Коротков В.Н., Мурашев И.А.* Зоохория и дальность разноса семян в хвойно-широколиственных лесах Восточной Европы // *Успехи современной биологии*. 2013. Т. 133. № 4. С. 392–400.
- [9] *Dvornikov M.G.* Features biotopical preferences and the number of wild boar (*Sus Scrofa* L.) in the European north of their range // *Fundamentalis Scientiam*. 2018. No 17. Pp. 17–21.
- [10] *Мильков Ф.Н.* Природные зоны СССР. М.: Мысль, 1977. 293 с.
- [11] *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.
- [12] *Грибова С.А., Исаченко Т.И., Лавренко Е.М.* Растительность европейской части СССР. Л.: Наука, 1980. 429 с.
- [13] *Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность / отв. ред. О.В. Смирнова.* М.: Наука, 2004. Кн. 1. 479 с.
- [14] *Видякин А.И.* Популяционная структура сосны обыкновенной на востоке Европейской части России: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 2004. 48 с.
- [15] *Лебедев А.Г.* Анализ количественных признаков хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylverstris* L.) в связи с дифференциацией популяций: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2014. 20 с.
- [16] *Соколов В.Е., Филонов К.П., Нухимовская Г.Д., Шадрин Г.Д.* Экология заповедных территорий России. М.: Янус-К, 1997. 576 с.

- [17] Морозова Л.М. Динамика степной растительности Южного Урала под воздействием выпаса // Растительный мир Урала и его антропогенные изменения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. С. 89–99.
- [18] Сконникова В.В. Изменение травяной растительности выпасаемых участков Джабык-Карагайского бора // Растительный мир Урала и его антропогенные изменения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. С. 106–121.
- [19] Qenov P. Told composition of wild boar in north-eastern and western Poland // Acta Threitol. 1981. Vol. 26. No 8–15. Pp. 185–205.
- [20] Schaffer M.L. Behavior of the European wild boar in the Great Smoky Mountains national parks // Proceedings of 1st Conference Sui Research, National Parks, New Orleans, 1976. Washington, 1979. Vol. 1. Pp. 357–363.
- [21] Haaverstad O., Hjeljord O., Wam H.K. Wild boar rooting in a northern coniferous forest // Scandinavian Journal of Forest Research. 2014. Vol. 29. No 1. Pp. 90–95.
- [22] Марков Н.И., Панкова Н.Л., Васина А.Л., Погодин Н.А. Особенности роющей деятельности кабана на северной границе ареала в Западной Сибири // Экология. 2018. № 6. С. 482–486.
- [23] Алейников А.А. Состояние популяции и средообразующая деятельность бобра европейского на территории заповедника «Брянский лес» и его охранной зоны: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2010. 22 с.
- [24] Дворникова Н.П. Динамика популяций и биоценотическая роль речного бобра на Южном Урале: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1987. 23 с.
- [25] Букина Л.А. Экологические закономерности циркуляции трихинелл на морских побережьях Чукотки // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 2010. № 4. С. 39–42.

References

- [1] Seton-Thompson E. *Lives of game animals* (vol. 4). Boston: Charles T. Branford Company; 1953.
- [2] Gusev AA, Guseva NA. Participation of wild ungulates in vegetation decomposition in forest-steppe ecosystems. *Ecology*. 1983;(6):51–55. (In Russ.)
- [3] Korobeinikova VP, Dvornikova NP. Impact of river beaver on herbaceous vegetation in coastal phytocenoses. *Ecology*. 1983;(6):70–72. (In Russ.)
- [4] Abaturov BD. *Mammals as a component of ecosystems (on the example of plant-eating mammals in the semi-desert)*. Moscow: Nauka Publ.; 1984. (In Russ.)
- [5] Olson R, Hubert W. *Beaver: water resources and riparian habitat manager*. Wyoming: Laramie; 1994.
- [6] Dvornikov MG, Dvornikova NP, Korobeinikova VP. Features of vegetation in settlements of badger (*Meles meles* L.) in the southern Urals. *Ecology*. 1996;5:108–109. (In Russ.)
- [7] Naiman RJ. Animal influence on ecosystem dynamics. *Bioscience*. 1998;38(11):750–753.
- [8] Evstigneev OI, Voevodin PV, Korotkov VN, Murashev IA. Zoochoria and seed dispersal range in coniferous-broadleaf forests of Eastern Europe. *Advances in Modern Biology*. 2013;133(4):392–400. (In Russ.)
- [9] Dvornikov MG. Features biotopical preferences and the number of wild boar (*Sus Scrofa* L.) in the European north of their range. *Fundamentalis Scientiam*. 2018;17:17–21.
- [10] Milkov FN. *Natural zones of the USSR*. Moscow: Mysl Publ.; 1977. (In Russ.)
- [11] Sochava VB. *Introduction to the doctrine of geosystems*. Novosibirsk: Nauka Publ.; 1978. (In Russ.)
- [12] Gribova SA, Isachenko TI, Lavrenko EM. *Vegetation of the European part of the USSR*. Leningrad: Nauka Publ.; 1980. (In Russ.)
- [13] Smirnova OV. (ed.) *East European forests: history in the Holocene and the present*. Moscow: Nauka Publ.; 2004. (In Russ.)
- [14] Vidyakin AI. *Population structure of Scots pine in the east of the European part of Russia* (abstract of the dissertation of the Doctor of Biology). Ekaterinburg; 2004. (In Russ.)

- [15] Lebedev AG. Analysis of quantitative characters of pine needles (*Pinus sylvestris* L.) in connection with population differentiation (abstract of the dissertation of the Doctor of Biology). Petrozavodsk; 2014. (In Russ.)
- [16] Sokolov VE, Filonov KP, Nuhimovskaya GD, Shadrina GD. *Ecology of protected areas of Russia*. Moscow: Yanus-K Publ.; 1997. (In Russ.)
- [17] Morozova LM. Dynamics of steppe vegetation of the Southern Urals under the the vegetation dynamics in the steppe of the South Urals under the impact of grazing. *Vegetation World of the Urals and its Anthropogenic Changes*. Sverdlovsk: Ural Scientific Centre of the USSR Academy of Sciences; 1985. p. 89–99. (In Russ.)
- [18] Skonnikova VV. Changes in the grass vegetation of grazed areas of the Dzhabyk-Karagai boron. *The Plant World of the Urals and its Anthropogenic Changes*. Sverdlovsk: Ural Scientific Center of the USSR Academy of Sciences; 1985. p. 106–121. (In Russ.)
- [19] Qenov P. Told composition of wild boar in north-eastern and western Poland. *Acta Theriol*. 1981;26(8–15):185–205.
- [20] Schaffer ML. Behavior of the European wild boar in the Great Smoky Mountains national parks. *Proceedings of 1st Conference Sui Research, National Parks, New Orleans*. 1979;1:357–363.
- [21] Haaverstad O, Hjeljord O, Wam HK. Wild boar rooting in a northern coniferous forest. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2014;29(1):90–95.
- [22] Markov NI, Pankova NL, Vasina AL., Pogodin N.A. Peculiarities of wild boar digging activity at the northern border of the range in Western Siberia. *Ecology*. 2018;(6):482–486. (In Russ.)
- [23] Aleynikov AA. Population condition and environment-forming activity of European beaver on the territory of the reserve “Bryansk Forest” and its protection zone (abstract of the dissertation of the Doctor of Biology). Togliatti; 2010. (In Russ.)
- [24] Dvornikova NP. Population dynamics and biocenotic role of river beaver in the Southern Urals (abstract of the dissertation of the Doctor of Biology). Sverdlovsk: Ural Branch of the Academy of Sciences of the USSR; 1987. (In Russ.)
- [25] Bukina LA. Ecological patterns of trichinella circulation on the seashores of Chukotka. *Medical Parasitology and Parasitic Diseases*. 2010;(4):39–42. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Дворников Михаил Григорьевич, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б.М. Житкова, Российская Федерация, 61000, Киров, ул. Преображенская, д. 79. ORCID: 0000-0002-8261-5783. E-mail: Dvomikov50@mail.ru

Саксонов Сергей Владимирович, доктор биологических наук, профессор, заместитель директора, Институт экологии Волжского бассейна, Российская академия наук, Российская Федерация, 445003, Тольятти, ул. Комзина, д. 10.

Букина Лидия Александровна, доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой экологии и зоологии, Вятский государственный агротехнологический университет, Российская Федерация, 610017, Киров, Октябрьский пр-кт, д. 133. ORCID: 0000-0002-9764-9708. E-mail: l.bukina5@gmail.com

Bio notes:

Mikhail G. Dvornikov, Ph.D. in Biology, Associate Professor, leading researcher, Zhitkov Research Institute on Hunting Ground and Fur Farming, 79 Preobrazhenskaya St, Kirov, 610000, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-8261-5783. E-mail: Dvornikov50@mail.ru

Sergei V. Saxonov, Ph.D. in Biology, Associate Professor, leading researcher, Institute of Ecology of the Volga Basin, Russian Academy of Sciences, 10 Komzina St, Tolyatti, 445003, Russian Federation.

Lydia A. Bukina, Ph.D. in Biology, Associate Professor, Head of the Department of Ecology and Zoology, Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrsky Prospekt, Kirov, 610017, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-9764-9708. E-mail: l.bukina5@gmail.com

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-1-45-57

УДК 621.22

Научная статья / Research article

Формула максимального глобального потепления

В.В. Тетельмин*Российский университет дружбы народов, Москва, Россия*✉ v-tetelmin@rambler.ru

Аннотация. Выполнены расчеты динамики глобального потепления с учетом сокращения выбросов парниковых газов в соответствии с рекомендациями Парижского соглашения. На основании анализа термодинамических параметров климатической системы в последний ледниковый и доиндустриальный периоды истории Земли получены функции зависимости максимальной температуры глобального потепления от массы и объемной концентрации парниковых газов в атмосфере. Определена масса парникового насыщения атмосферы антропогенными парниковыми газами и соответствующая максимальная температура глобального потепления. При неограниченной эмиссии трех основных парниковых газов максимальная температура, которую они могут обеспечить, равна 9,2 °С. При снижении к 2060 г. ежегодных глобальных выбросов в два раза глобальное потепление будет продолжаться примерно до 2110 г. с увеличением глобальной температуры до 3,1 °С.

Ключевые слова: парниковые газы, ледниковый период, солнечная постоянная, масса насыщения атмосферы, максимальная температура, глобальное потепление

История статьи: поступила в редакцию 01.02.2022; принята к публикации 01.03.2022.

Для цитирования: Тетельмин В.В. Формула максимального глобального потепления // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 1. С. 45–57. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-45-57>

Maximum global warming potential formula

Vladimir V. Tetelmin*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia*✉ v-tetelmin@rambler.ru

Abstract. The calculations of the global warming dynamics were made taking into account the reduction of greenhouse gas emissions according to the recommendations of the Paris Agreement. Based on the analysis of thermodynamic parameters of the climatic system during the last glacial and pre-industrial periods of the Earth's history, the functions of the maximum global warming temperature dependence on the mass and volume concentration of greenhouse gases in the atmosphere were obtained. The mass of greenhouse saturation of the atmosphere

by anthropogenic greenhouse gases and the corresponding maximum global warming temperature have been determined. With unrestricted emission of the three major greenhouse gases, the maximum temperature they can provide is 9.2 °C. With annual global emission reduction by 2060, global warming will continue until about 2108 with a global temperature increase up to 3.1 °C.

Keywords: greenhouse gases, glacial era, solar constant, atmospheric saturation mass, maximum temperature, global warming

Article history: received 01.02.2022; accepted 01.03.2022.

For citation: Tetelmin VV. Maximum global warming potential formula. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(1):45–57. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-45-57>

Введение

В последние десятилетия обнаружилось, что человек, в погоне за производством возрастающего количества энергии, опасно нагревает все земное пространство. Тысячи дымовых труб и выхлопы миллиарда автомобилей расшатывают климатическую систему Земли. Современные годовые выбросы мировой экономикой основных парниковых газов следующие: CO₂ около 40 млрд т; CH₄ 330 млн т, N₂O 8,2 млн т. Гипертрофированная зависимость мировой энергетики от ископаемого топлива привела к выбросу в атмосферу более 2 трлн т основного парникового газа CO₂, из которых около половины усваивается мировой растительностью и Мировым океаном, а вторая половина антропогенных выбросов аккумулируется атмосферой.

За последние полтора века глобальная температура увеличилась почти на 1,2 °C. Такого темпа роста земной температуры не наблюдалось никогда. Климатологи всего мира пришли к заключению, что наблюдаемое необратимое «широкомасштабное, быстрое и усиливающееся изменение климата» – это следствие роста антропогенных парниковых газов в атмосфере [2].

На рис. 1 приводится рассчитанный график изменения содержания парниковых газов (ПГ) в атмосфере с начала XX в. с учетом сокращения глобальных выбросов в соответствии с рекомендациями Парижского соглашения и принимая во внимание период существования CO₂ в атмосфере продолжительностью до 120 лет. Здесь и далее массовое и объемное содержание ПГ в атмосфере приводится к эквиваленту диоксида углерода (t-eq и ppm-eq).

В [1] приводится аналитико-эмпирическое решение задачи по определению темпа глобального потепления как функции содержания в атмосфере массы антропогенных парниковых газов (ПГ). В основу вывода «формулы глобального потепления» положен график реального роста аккумулированной климатической системой (КС) тепловой энергии за период 1970–2010 гг., который косвенно учитывает все особенности переноса и передачи тепловой энергии парниковых газов климатической системе Земли [3; 4]. За период с 1970 по 2010 г. климатическая система (КС) Земли аккумулировала $2,7 \times 10^{23}$ Дж (75×10^{15} кВт·ч) тепловой энергии антропогенных парниковых газов, из которой примерно 94 % приходится на Мировой океан, 4,5 % – на сушу и 1,5 % – на атмосферу.

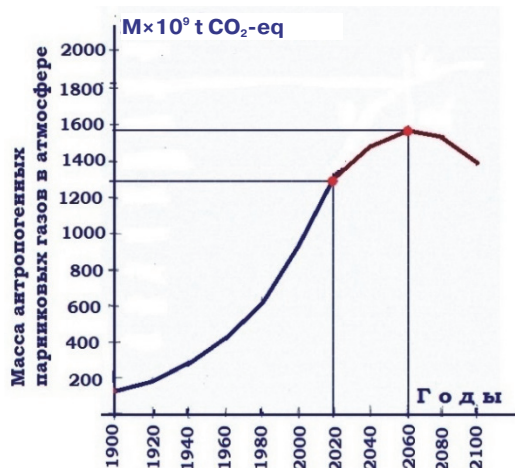


Рис. 1. Содержание антропогенных парниковых газов в атмосфере с учетом сокращения глобальных выбросов в соответствии с рекомендациями Парижского соглашения и с учетом продолжительности существования CO_2 в атмосфере до 120 лет

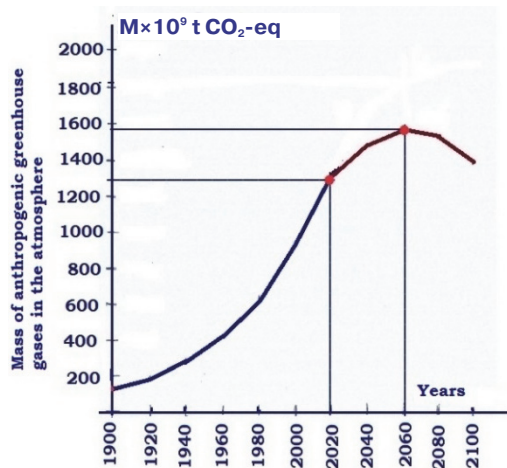


Figure 1. Anthropogenic greenhouse gas content in the atmosphere, taking into account the global emission reduction according to the recommendations of the Paris Agreement and taking into account the period of CO_2 presence in the atmosphere for 120 years

В основу предложенного решения положено следующее выражение, позволяющее определять повышение температуры атмосферы за любой 10-летний период времени [2; 5]:

$$\Delta T_i = 16,5 \times 10^{-14} \times M_i, \quad (1)$$

где ΔT_i – повышение температуры атмосферы, град./10 лет; M_i – среднее значение массы ПГ в атмосфере в расчетном периоде в эквиваленте диоксида углерода, t-eq.

Расчеты выполняются с использованием метода последовательной смены стационарных состояний с шагом по времени в 10 лет. Повышение глобальной температуры за несколько расчетных периодов i определяется суммированием:

$$T_i = \sum \Delta T_i. \quad (2)$$

В табл. 1 приводятся результаты расчета глобального потепления с 1950 по 2120 г. при изменении содержания ПГ в атмосфере в соответствии с графиком рис. 1. Результаты расчетов практически совпадают с известными натурными и расчетными данными глобального потепления, что позволяет сделать вывод о пригодности предлагаемой формулы. При сокращении к 2060 г. ежегодных глобальных выбросов CO_2 наполовину планета Земля продолжит нагреваться, и к 2100 г. средняя глобальная температура на планете повысится до $2,92^\circ\text{C}$.

При климатическом прогнозировании важно знать предельное значение температуры T_{max} , к которой стремится глобальное потепление и которое могут обеспечить антропогенные выбросы ПГ. Сила воздействия единицы массы ПГ на глобальное потепление зависит от их концентрации в атмо-

сфере. По мере насыщения атмосферы ПГ радиационная эффективность единицы их содержания в атмосфере снижается.

Таблица 1

Накопленные с нарастающим итогом показатели содержания антропогенных парниковых газов в атмосфере, парниковой тепловой энергии в климатической системе Земли и доля N парникового тепла в атмосфере от общего количества накопленного в КС парникового тепла

Годы	Накопленные в атмосфере выбросы ПГ K , ppm-eq	Накопленные в атмосфере выбросы ПГ $M \times 10^9$, t-eq	Накопленная тепловая энергия в климатической системе $Q \times 10^{15}$, кВт·ч	Накопленный рост среднегодовой температуры атмосферы, °C	Доля парниковой тепловой энергии в атмосфере N , %
1950	43	340	12,4	0,20	2,40
1960	52	410	19,0	0,25	1,94
1970	63	500	27,5	0,32	1,72
1980	78	615	38,2	0,44	1,67
1990	97	763	53,1	0,62	1,66
2000	117	914	72,0	0,80	1,61
2010	139	1085	100,4	0,98	1,42
2020	167	1304	135,2	1,16	1,25
2050	196	1525	268,7	1,78	1,00
2060	200	1563	312,5	2,01	0,98
2100	177	1381	482,5	2,92	0,90
2120	143	1116	557	3,28	0,89

Table 1

Accumulated indicators of greenhouse gases in the atmosphere, heat energy in the Earth's climate system, and the share N of greenhouse heat in the atmosphere of the total amount of accumulated greenhouse heat

Years	Accumulated greenhouse gas emissions in the atmosphere K , ppm-eq	Accumulated greenhouse gas emissions in the atmosphere $M \times 10^9$, t-eq	Accumulated heat energy in the climate system $Q \times 10^{15}$, kW·h	Accumulated increase in average annual atmospheric temperature, °C	Share of greenhouse heat energy in the atmosphere N , %
1950	43	340	12.4	0.20	2.40
1960	52	410	19.0	0.25	1.94
1970	63	500	27.5	0.32	1.72
1980	78	615	38.2	0.44	1.67
1990	97	763	53.1	0.62	1.66
2000	117	914	72.0	0.80	1.61
2010	139	1085	100.4	0.98	1.42
2020	167	1304	135.2	1.16	1.25
2050	196	1525	268.7	1.78	1.00
2060	200	1563	312.5	2.01	0.98
2100	177	1381	482.5	2.92	0.90
2120	143	1116	557	3.28	0.89

Например, поступление дополнительной массы диоксида углерода в атмосферу будет поглощать только ту часть длинного ИК-излучения, которая не была поглощена уже присутствующим в атмосфере газом. Добавление новых порций CO_2 оказывает меньшее воздействие на потепление, потому что им приходится конкурировать с ранее поступившим в атмосферу газом за излучение в диапазонах длин волн 4–4,4 и 14–19 мкм. По этой при-

чине удвоение содержания CO_2 в атмосфере не увеличит вдвое поглощение ИК-излучения.

Для нахождения предельной температуры потепления T_{\max} нужно знать функцию зависимости потенциала нагревания атмосферы от содержания парниковых газов, например от их объемной концентрации в атмосфере $P_K = f(K)$ град./ppm-eq. Для определения потенциала глобального потепления антропогенных парниковых газов строятся математические модели, которые учитывают соотношение между физическими, химическими и биологическими свойствами климатической системы Земли, а также динамические процессы атмосферной и океанической циркуляции. Полученные решения дают большой разброс результатов. Например, из приведенных в [6] результатов расчетов семи климатических сценариев следует, что при концентрации антропогенных ПГ на уровне 550 ppm-eq оценка соответствующей глобальной температуры T_{\max} составляет от 2 до 4,5 °С, а при $K = 800$ ppm-eq разброс еще больше: от 3 до 7 °С. Подобную точность нельзя признать удовлетворительной.

Более точные прогнозы максимальной равновесной температуры для каждого значения концентрации ПГ в атмосфере можно получить, используя известные данные о палеоклимате. Функции зависимости предельного значения «нагревательного потенциала» единицы массы P_M или единицы объемной концентрации P_K от содержащихся в атмосфере ПГ можно получить, используя свойство тесной корреляции между глобальной квазистационарной температурой и концентрацией ПГ в палеоатмосфере Земли [7; 8].

Если представить, что искомая функция $P_K = f(K)$ град./ppm-eq является линейной, то достаточно получить две экспериментальные точки этой прямой. Примерное постоянство содержания ПГ в атмосфере на протяжении последних 8 тыс. лет современного межледникового периода обеспечивало квазистационарное состояние климатической системы Земли. Эта особенность позволяет получить первую искомую точку графика линейной функции $P_K = f(K)$ град./ppm-eq.

В доиндустриальный период средняя концентрация каждого из трех основных ПГ в атмосфере составляла: $\text{CO}_2 - 280$ ppm, $\text{CH}_4 - 0,7$ ppm, $\text{N}_2\text{O} - 0,27$ ppm. В переводе на единицы, эквивалентные потенциалу глобального потепления диоксида углерода GWP, общая доиндустриальная объемная концентрация этих ПГ составляла 370 ppm-eq, а их массовое содержание в атмосфере $2,86 \times 10^{12}$ t-eq. Известно, что в доиндустриальном периоде доля основных ПГ (CO_2 , CH_4 и N_2O) в общем парниковом эффекте на Земле равнялась 9,4 из 33,4 °С [9]. Отсюда находим свойственный для этого периода потенциал нагревания содержащихся в атмосфере ПГ в единицах объемной концентрации: $P_K = 9,4 \text{ °С} / 370 \text{ ppm-eq} = 25,4 \times 10^{-3}$ град./ppm-eq, а также в единицах массы: $P_M = 3,29 \times 10^{-12}$ t-eq.

Вторую искомую точку графика линейной функции $P_K = f(K)$ можно найти, анализируя ход изменения глобальной температуры и концентрации ПГ в последний ледниковый период (рис. 2). В эту пору температура изменялась в диапазоне 5,8–16,4 °С, концентрация CO_2 в диапазоне 190–290 ppm, CH_4 в диапазоне 0,35–0,70 ppm, N_2O в диапазоне 0,20–0,27 ppm. При этом

независимо от того, что было первичным – изменение температуры, вслед за которым изменялась концентрация ПГ в атмосфере, или наоборот, осредненные значения этих величин в последний ледниковый период изменялись согласованно. Примерно 18 тыс. лет назад началось глобальное потепление на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, продолжавшееся около 11 тыс. лет. При этом темп естественного нагревания атмосферы происходил примерно в 20 раз медленнее современного наблюдаемого глобального потепления.

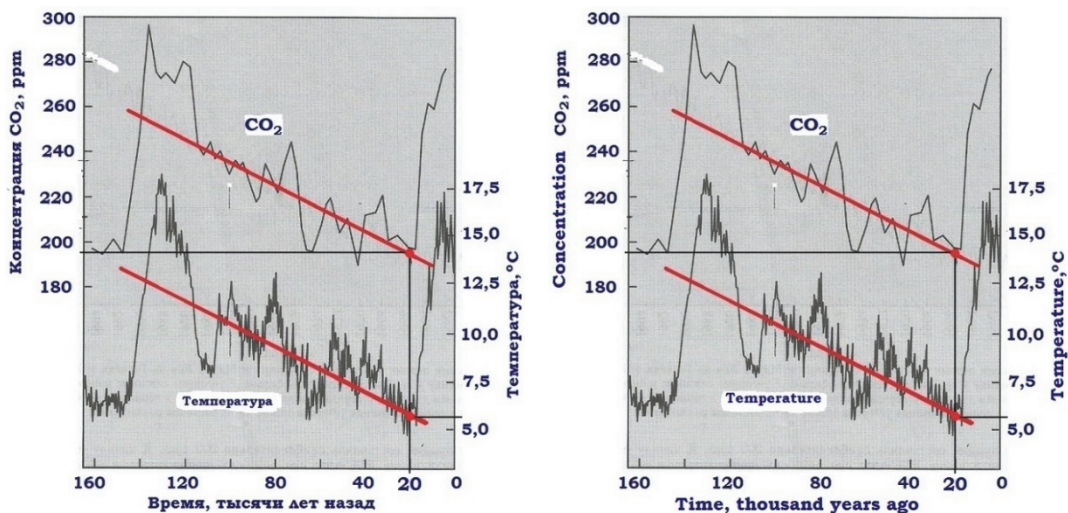


Рис. 2. Ход изменения глобальной температуры и концентрации диоксида углерода за последние 160 тыс. лет [10]

Figure 2. The course of changes in global temperature and carbon dioxide concentration over the last 160,000 years [10]

Изменение глобальной температуры на Земле в первую очередь происходит за счет изменения солнечной постоянной S , которая в настоящее время равна 1368 Вт/м^2 . Из трех известных циклов Миланковича [7; 8] ледниковые периоды обеспечиваются только одним – изменением эксцентриситета $\epsilon = c/a$ эллиптической орбиты Земли. В приведенном отношении c – половина фокусного расстояния, a – большая полуось эллиптической орбиты. В последний ледниковый период произошла существенная корректировка орбиты Земли гравитационным воздействием планет Солнечной системы, которая изменила эксцентриситет орбиты от значения $0,042$ в период 100 тыс. лет назад до $0,017$ в период 20 тыс. лет назад.

В табл. 2 приводятся данные о современных параметрах орбиты и климатической системы Земли при $\epsilon = 0,017$, а также рассчитанные параметры орбиты и соответствующие термодинамические показатели состояния в начальной стадии ледникового периода (100–70 тыс. лет назад), когда орбита была наиболее вытянутой при $\epsilon = 0,042$. Расчеты выполнены с использованием закона Стефана – Больцмана для излучающего абсолютно черного тела [11–13].

Изменение эксцентриситета орбиты Земли на $0,025$ изменило интенсивность лучистой энергии на внешней границе земной атмосферы – солнечной постоянной – на $4,6\%$, что и ввергло нашу планету в ледниковый период. В начале ледникового периода температура атмосферы снизилась на $3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, из них $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ вызвано снижением солнечной постоянной, а $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ – сниже-

нием содержания в атмосфере ПГ. В последующие годы (100–20 тыс. лет) назад глобальная температура на Земле дополнительно снизилась на 4,8 °С, концентрация CO₂ в палеоатмосфере – на 37 ppm, а концентрация ПГ – на 47 ppm-eq.

Таблица 2

**Некоторые параметры эллиптической орбиты Земли
и соответствующие термодинамические параметры климатической системы**

Период, тыс. лет назад	Эксцентриситет ε	Длина большой полуоси a , млн км	Вариация солнечной постоянной S_{\max}/S_{\min} , %	Солнечная постоянная S , Вт/м ²	Температура Земли без ПГ T_0 , К/°С	Глобальная темпера- тура T , °С	Концен- трация CO ₂ /∑ПГ K , ppm-eq
100	0,042	153,5	19,9	1300	252/–21	10,6	235/314
20	0,017	149,6	6,8	1368	254/–19	5,8	198/267

Table 2

**Some parameters of the Earth's elliptical orbit
and the corresponding thermodynamic parameters of the climate system**

Period, thousand years ago	Eccen- tricity ε	Major semiaxis length a , mln km	Solar constant variation S_{\max}/S_{\min} , %	Solar constant S , W/m ²	Earth tempe- rature without greenhouse gases T_0 , K/°C	Global temperature T , °C	Concen- tration of CO ₂ /∑GHG K , ppm-eq
100	0.042	153.5	19.9	1300	252/–21	10.6	235/314
20	0.017	149.6	6.8	1368	254/–19	5.8	198/267

К концу ледникового периода (20–18 тыс. лет назад) эксцентриситет орбиты вернулся к уровню 0,017, после чего Земля вновь стала получать лучистую энергию в количестве $S = 1368$ Вт/м². В это время климатическая система Земли находилась в состоянии радиационного баланса, сопоставимом с доиндустриальным квазистационарным состоянием, которое можно использовать в качестве второй реперной точки для определения потенциала нагревания ПГ.

В табл. 3 приводятся фактические значения «нагревательного потенциала» трех основных ПГ. Годы 20 и 2 тыс. лет назад определяют две искомые точки линейной функции $P_k = f(K)$. Именно эти точки отвечают современному значению солнечной постоянной $S = 1368$ Вт/м², в то время как годы 100 и 70 тыс. лет назад определяют две точки функции $P_k = f(K)$, которая отвечает более холодному состоянию Земли при солнечной постоянной $S = 1300$ Вт/м² (рис. 3).

На рис. 3 приводятся графики изменения P_k от содержания ПГ в атмосфере для двух состояний КС Земли: при значении солнечной постоянной $S = 1300$ Вт/м² и $S = 1368$ Вт/м². В обоих случаях удельный потенциал нагревания атмосферы (КС) уменьшается с увеличением содержания ПГ в атмосфере. При относительно малых концентрациях «нагревательный потенциал» ПГ выше, чем потенциал при их более высоком содержании в атмосфере. Эта особенность объясняется тем, что дополнительные выбросы парниковых газов поглощают оставшуюся часть ИК-излучения, которая не была адсорбирована уже находящимися в атмосфере парниковыми газами. Увеличение содержания ПГ в атмосфере снижает парниковое действие каждой единицы массы.

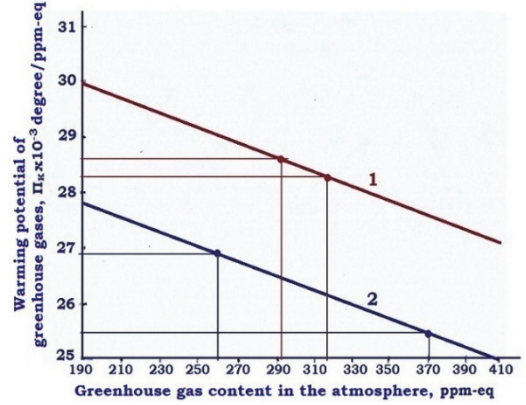
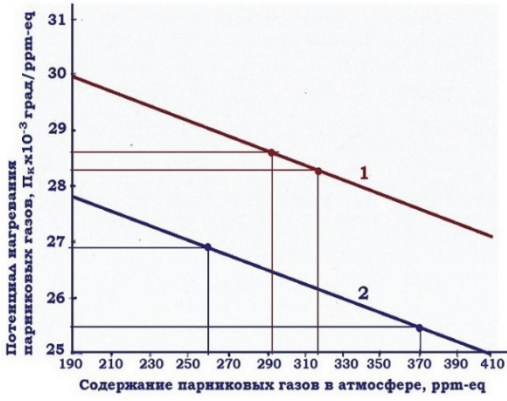


Рис. 3. Зависимость потенциала нагревания атмосферы парниковыми газами от их содержания в атмосфере при разных значениях солнечной постоянной:
 1 – $S = 1300 \text{ Вт/м}^2$, $\varepsilon = 0,042$; 2 – $S = 1368 \text{ Вт/м}^2$, $\varepsilon = 0,017$

Figure 3. Dependence of the potential of atmospheric warming by greenhouse gases on their content in the atmosphere at different values of the solar constant:
 1 – $S = 1300 \text{ W/m}^2$, $\varepsilon = 0.042$; 2 – $S = 1368 \text{ W/m}^2$, $\varepsilon = 0.017$

Таблица 3

Изменение общего потенциала нагревания атмосферы тремя основными парниковыми газами (CO_2 , CH_4 , N_2O) в зависимости от их общего содержания в атмосфере Земли в последний ледниковый период

Годы	Концентрация парниковых газов в атмосфере K , ppm-eq	Концентрация парниковых газов в атмосфере $M \times 10^{12}$, t-eq	Максимальное нагревание атмосферы T_{max} , °C	Потенциал нагревания $P_k \times 10^{-3}$, град./ppm-eq	Потенциал нагревания $P_m \times 10^{-12}$, град./t-eq
100 тыс. лет назад	314	2,48	8,9	28,3	3,59
70 тыс. лет назад	293	2,31	8,4	28,6	3,64
20–18 тыс. лет назад	261	2,03	7,0	26,8	3,45
8–2 тыс. лет назад	370	2,86	9,4	25,4	3,29

Table 3

Change in the total atmospheric warming potential of the three major greenhouse gases (CO_2 , CH_4 , N_2O), depending on their total content in the Earth’s atmosphere during the last glacial era

Years	Concentration of greenhouse gases in the atmosphere K , ppm-eq	Concentration of greenhouse gases in the atmosphere $M \times 10^{12}$, t-eq	Maximum atmospheric warming T_{max} , °C	Warming potential $P_k \times 10^{-3}$, degree/ppm-eq	Warming potential $P_m \times 10^{-12}$, degree/t-eq
100,000 years ago	314	2.48	8.9	28.3	3.59
70,000 years ago	293	2.31	8.4	28.6	3.64
20,000–18,000 years ago	261	2.03	7.0	26.8	3.45
2,000 years ago	370	2.86	9.4	25.4	3.29

Современному термодинамическому состоянию климатической системы Земли, отстоящей от Солнца в среднем на 149,6 млн км, отвечает график 2 (рис. 3). Зависимость современного «нагревательного потенциала» ПГ от их объемной концентрации K в атмосфере может быть представлена следующей функцией (град/ррт-eq):

$$P_K = 29,8 \times 10^{-3} - 11,9 \times 10^{-6} \times K. \quad (3)$$

Значение температуры (град.) максимального (равновесного) глобального потепления, вызванного общей концентрацией K (ррт-eq) парниковых газов, определяется следующим уравнением:

$$T_{\max} = P_K \times K = 29,8 \times 10^{-3} \times K - 11,9 \times 10^{-6} \times K^2. \quad (4)$$

Видно, что максимальная температура T_{\max} , к которой через продолжительное время приходит земная атмосфера, определяется нелинейным уравнением параболического типа. Исследуя функцию (4) на экстремум, получаем максимальное значение концентрации ПГ, при котором наступает «парниковое насыщение» атмосферы: $K_{\text{нас}} = 1250$ ррт-eq. Этому значению концентрации соответствует температура максимального глобального потепления, которое могут обеспечить три основных антропогенных парниковых газа: $T_{\max(\text{нас})} = 18,6$ °С.

На рис. 4 приводится график 1 нелинейной функции (4) в двух системах отсчета: в системе общей концентрации ПГ в атмосфере и в системе антропогенной концентрации ПГ. Точка начала антропогенной системы отсчета имеет координаты 370 ррт-eq и 9,4 °С, соответствующие состоянию КС в начале индустриального периода. Отметим, что график функции (4) укладывается в широкий диапазон оценок T_{\max} , полученный математическим моделированием семи климатических сценариев [6].

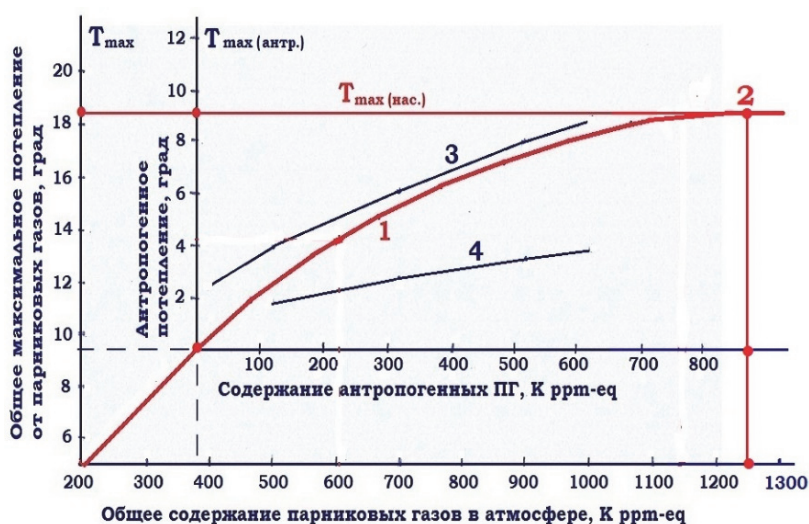


Рис. 4. График функции максимального глобального потепления (1), соответствующего равновесному состоянию климатической системы:

2 – точка «парникового насыщения» КС; 3, 4 – полученные моделированием верхний и нижний пределы оценки T_{\max} .

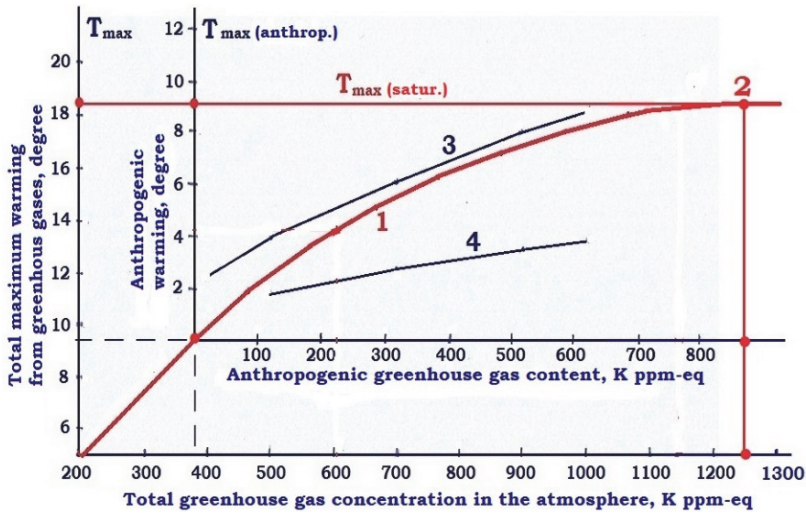


Figure 4. Graph of the maximum global warming function (1), corresponding to the equilibrium state of the climate system: 2 – point of “greenhouse saturation” of the climate system; 3, 4 – obtained by simulation the upper and lower limits of the T_{\max} estimation

Используя данные табл. 3, можно определить функцию зависимости «нагревательного потенциала» (град./t-eq) от массы M (t-eq) ПГ в атмосфере:

$$P_M = 3,8 \times 10^{-12} - 0,195 \times 10^{-24} \times M. \quad (5)$$

Значение температуры максимального глобального потепления (град.), вызванного массой M (t-eq) содержащихся в атмосфере ПГ, определяется произведением

$$T_{\max} = P_M \times M = 3,8 \times 10^{-12} \times M - 0,195 \times 10^{-24} \times M^2. \quad (6)$$

Исследуя функцию (6) на экстремум, находим массу $M_{\text{нас}}$, при которой происходит «парниковое насыщение» атмосферы: $M_{\text{нас}} = 9,7 \times 10^{12}$ t-eq. При таком содержании массы ПГ в атмосфере их «парниковые возможности» себя исчерпают, и в случае дальнейшего увеличения $M > M_{\text{нас}}$ температура атмосферы повышаться не будет.

Полученное значение максимальной температуры $T_{\max(\text{нас})} = 18,6$ °C определяет собой абсолютный вклад основных ПГ в глобальное потепление. Максимальное участие антропогенных выбросов ПГ в глобальном потеплении вычисляется разностью $T_{\max(\text{нас,антр})} = 18,6 - 9,4 = 9,2$ °C. Таким образом, неограниченные выбросы и неограниченное участие человека в глобальном потеплении способны добавить к глобальной доиндустриальной температуре примерно 9,2 °C, то есть к наблюдаемому современному антропогенному потеплению на 1,2 °C может быть добавлено еще 8,0 °C.

На рис. 5 приводится расчетная кривая роста глобальной температуры, построенная по данным табл. 1, а также кривая изменения предельной температуры T_{\max} , которая менялась в соответствии с графиком изменения содержания ПГ в атмосфере (рис. 1). Точка пересечения (3) этих кривых определяет собой время наступления термодинамического равновесия в системе

«Земля – Космос». К этому состоянию радиационного баланса Земля подойдет примерно в 2110 г., а максимальная температура глобального потепления к этому времени достигнет значения 3,1 °С.

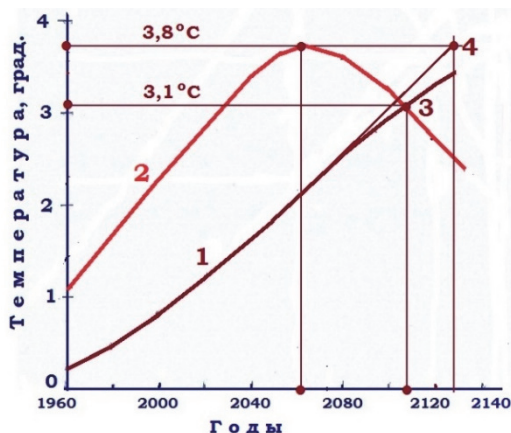


Рис. 5. Динамика изменения глобальной температуры во времени (кривая 1) и график изменения во времени максимальной температуры в соответствии с изменением содержания ПГ в атмосфере (кривая 2)

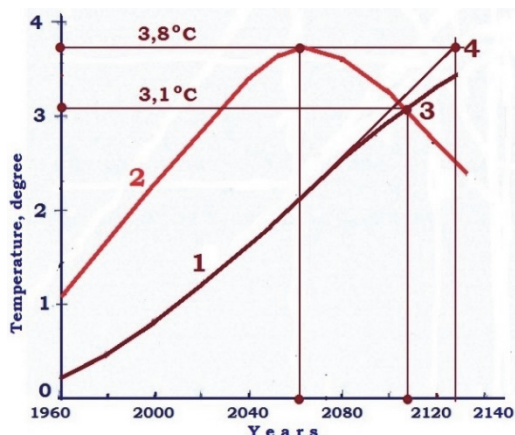


Figure 5. Global temperature trend over time (curve 1) and graph of maximum temperature change over time according to greenhouse gas content change in the atmosphere (curve 2)

Если представить, что в 2060 г. содержание ПГ в атмосфере стабилизируется, то состояние термодинамического равновесия будет определяться точкой пересечения (4). В таком случае радиационный баланс наступит позже – в 2130 г., а глобальное потепление составит 3,8 °С.

Заключение

Рассмотрение и использование параметров квазистационарного состояния КС Земли в доиндустриальный и ледниковый периоды позволило получить:

- функции (3) и (5), определяющие зависимость «удельного нагревательного потенциала» парниковых газов от их содержания в атмосфере;
- функции (4) и (6), определяющие зависимость максимальной температуры T_{\max} глобального потепления от содержания ПГ в атмосфере.

Исследование нелинейных функций (4) и (6) на экстремум позволяет определить:

- приведенную концентрацию $K_{\text{нас}} = 1250$ ppm-eq и приведенную массу $M_{\text{нас}} = 9,7 \times 10^{12}$ t-eq антропогенных ПГ, при достижении которых наступает «парниковое насыщение» атмосферы, из них на антропогенные ПГ приходится 880 ppm-eq и $6,84 \times 10^{12}$ t-eq соответственно;
- максимальную температуру глобального потепления, отвечающую равновесному состоянию «парникового насыщения» атмосферы антропогенными ПГ – $T_{\max(\text{антр})} = 9,2$ °С.

Совместное использование функций (2) и (6) позволяет при любом сценарии выбросов ПГ рассчитать темп глобального потепления и момент достижения атмосферой предельного значения температуры, при которой устанавливается радиационный баланс в системе «Земля – Космос».

Через несколько тысяч лет Земля войдет в очередной ледниковый период, когда на ее поверхности впервые будет присутствовать технологически и технически вооруженный человек. Сегодняшний человек понимает, что происходит с климатом, предвидит последствия его изменения, осознает причины и особенности изменения солнечной постоянной S и сумеет подготовиться к длительному глобальному похолоданию.

Список литературы

- [1] *Тетельмин В.В.* Антропогенные выбросы парниковых газов и формула глобального потепления // *Экология промышленного производства*. 2021. № 4. С. 46–52. http://doi.org/10.52190/2073-2589_2021_4_46
- [2] *Изменение климата, 2014 г.: обобщающий доклад / под ред. Р. Пачаури, Л. Мейер.* Женева: МГЭИК, 2015. С. 44.
- [3] *Митрова Т., Хохлов А., Мельников Ю. Пердеро А. Мельникова М., Залюбовский Е.* Глобальная климатическая угроза и экономика России в поисках особого пути. М.: Центр энергетике Московской школы управления SKOLKOVO, 2020. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/dokuments/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Climate_Primer_RU.pdf (дата обращения: 14.01.2022).
- [4] *Climate Change 2014: impacts, adaptation and vulnerability. Part A. Global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the Intergovernmental Panel on Climate Change / ed. by C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken.* Cambridge – New York: Cambridge University Press, 2014. 1132 p.
- [5] *Тетельмин В.В.* Планета Земля и человек: единая экосистема. М.: ЛЕНАНД, 2022. 480 с.
- [6] *Силвер Дж.* Глобальное потепление без тайн. М.: Эксмо, 2009. 336 с.
- [7] *Бялко А.В.* Палеоклимат: дополнение к теории Миланковича // *Природа*. 2009. № 12. С. 18–28.
- [8] *Мельников В.П., Смутьский В.И.* Астрономическая теория ледниковых периодов: новые приближения. Решенные и нерешенные проблемы. Новосибирск: ГЕО, 2009. 98 с.
- [9] *Бажин Н.Б.* Метан в окружающей среде. Новосибирск: СО РАН, 2010. 56 с.
- [10] *Джирард Дж.Е.* Основы химии окружающей среды. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 640 с.
- [11] *Бринкман Э.* Физические проблемы экологии. Долгопрудный: Интеллект, 2012. 288 с.
- [12] *Тетельмин В.В.* Физика и проблемы изменения климата // *Вестник РАЕН*. 2019. № 4. С. 29–35.
- [13] *Тетельмин В.В., Пимашиков П.И.* Биосфера и человек. Глобальное потепление. М.: ЛЕНАНД, 2021. 336 с.

References

- [1] Tetelmin VV. Anthropogenic greenhouse gas emissions and the global warming formula. *Ecology of Industrial Production*. 2021;(4):46–52. (In Russ.) http://doi.org/10.52190/2073-2589_2021_4_46
- [2] Pachauri RK, Meyer LA. (eds.) *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Geneva: IPCC; 2015. p. 44.
- [3] Mitrova T, Hohlov A, Melnikov Y, Perdero A, Melnikova M, Salybovskiy E. *The global climate threat and Russia's economy in search of a special path*. Moscow: Center for Energy at the Moscow School of Management SKOLKOVO, 2020. (In Russ.) Available from:

- https://energy.skolkovo.ru/downloads/dokuments/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Climate_Primer_RU.pdf (accessed: 14.01.2022).
- [4] Field CB, Barros VR, Dokken DJ. (eds.) *Climate Change 2014: impacts, adaptation and vulnerability. Part A. Global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press; 2014.
- [5] Tetelmin VV. *Planet Earth and man: one ecosystem*. Moscow: LENAND Publ.; 2022. (In Russ.)
- [6] Silver D. *Global warming without secrets*. Moscow: Eksmo Publ.; 2009. (In Russ.)
- [7] Balko AV. Paleoclimate: a supplement to Milankovitch's theory. *Nature*. 2009;(12):18–28. (In Russ.)
- [8] Melnikov VP. *Astronomical theory of ice ages: new approximations. Solved and unsolved problems*. Novosibirsk: GEO Publ.; 2009. (In Russ.)
- [9] Bazhin NB. *Methane in the environment*. Novosibirsk: SO RAN Publ.; 2010. (In Russ.)
- [10] Dzhirard D. *Basics of environmental chemistry*. Moscow: FIZMATLIT Publ.; 2008. (In Russ.)
- [11] Brinkman E. *Physical problems of ecology*. Moscow: Intellect Publ.; 2012. (In Russ.)
- [12] Tetelmin VV. Physics and climate change. *Vestnik RAEN*. 2019;(4):29–35. (In Russ.)
- [13] Tetelmin VV, Pimachkov PI. *The biosphere and man. Global warming*. Moscow: LENAND Publ.; 2021. (In Russ.)

Сведения об авторе:

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

Bio note:

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

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА HUMAN ECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-1-58-66

УДК 577.118(571)

Научная статья / Research article

Этнические аспекты содержания токсичных элементов у жителей Северо-Востока России

Н.В. Похилюк, А.Л. Горбачев  *Северо-Восточный государственный университет, Магадан, Россия* gor000@mail.ru

Аннотация. Одной из актуальных проблем экологии является загрязнение окружающей среды северных регионов токсичными элементами и их негативное влияние на здоровье человека. Проведен анализ содержания свинца, кадмия и ртути в организме аборигенных и приезжих жителей Северо-Востока России. Рассмотрен баланс эссенциальных (кальций, цинк) и токсичных (свинец, кадмий) элементов. Отмечены статистически значимые различия в содержании кадмия и свинца у аборигенных жителей и европеоидов. Установлено, что у эвенов медиана кадмия превышала аналогичный показатель коряков, чукчей и европеоидов, значение медианы свинца у чукчей было меньше по сравнению с показателем в других этнических группах. Не выявлено статистически достоверных различий в содержании ртути между коряками, эвенами и чукчами, а также между аборигенными жителями и европеоидами. В организме аборигенов не отмечено критических уровней ртути. Медиана ртути в волосах коряков, чукчей и эвенов не превышала биологически допустимого уровня – 0,5 мкг/г. Среди аборигенных жителей наибольший процент проб с содержанием ртути в диапазоне от 0,5 до 1,0 мкг/г (фоновый уровень) отмечен у 33,8 % эвенов и 30 % коряков; у чукчей этот показатель составил 8,6 %. Повышенное содержание ртути у некоторых аборигенных жителей может быть связано с большой долей рыбы и морепродуктов, содержащих метилртуть, в рационе питания. Пропорции токсичных металлов (Pb, Cd) по отношению к их эссенциальным элементам-антагонистам (Ca, Zn) свидетельствуют, что токсические элементы не нарушают биохимические процессы, контролируемые соответствующими эссенциальными элементами. Таким образом, исследуемую область Севера-Востока России в плане токсической нагрузки на население можно отнести к территориям с относительно благоприятной экологической ситуацией.

Ключевые слова: Северо-Восток России, токсичные элементы, ртуть, свинец, кадмий, этнические группы населения

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


История статьи: поступила в редакцию 01.02.2022; принята к публикации 01.03.2022.

Для цитирования: Похлюк Н.В., Горбачев А.Л. Этнические аспекты содержания токсичных элементов у жителей Северо-Востока России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 1. С. 58–66. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-58-66>

Ethnic aspects of toxic elements in the Russian Northeast

Natalia V. Pokhilyuk, Anatoly L. Gorbachev  

Northeastern State University, Magadan, Russia

 gor000@mail.ru

Abstract. One of the urgent problems of ecology is the environmental pollution of the northern regions with toxic elements and their negative impact on human health. The analysis of the content of lead, cadmium and mercury in the body of aboriginal and visiting residents of the Northeast of Russia was carried out. The balance of essential (calcium, zinc) and toxic (lead, cadmium) elements was considered. Statistically significant differences in the content of cadmium and lead in aboriginal residents and Caucasians were noted. Among the Evens, the median of cadmium exceeded that of the Koryaks, Chukchis, and Caucasoids; the value of the median of lead among the Chukchis was lower compared to that in other ethnic groups. There were no statistically significant differences in the content of mercury between Koryaks, Evens and Chukchis, as well as between aboriginal residents and Caucasians. There are no critical levels of mercury in the body of aborigines. The median mercury in the hair of the Koryaks, Chukchis and Evens did not exceed the biologically acceptable level – 0.5 µg/g. Among aboriginal residents, the highest percentage of samples with mercury content in the range from 0.5 to 1.0 µg/g (background level) was noted in 33.8% of Evens and 30% of Koryaks; among the Chukchi, this figure was 8.6%. Elevated levels of mercury in some aboriginal people may be due to the high proportion of fish and seafood containing methylmercury in the diet. The proportions of toxic metals (Pb, Cd) in relation to their essential antagonist elements (Ca, Zn) indicate that toxic elements do not disrupt the biochemical processes controlled by the corresponding essential elements. Thus, the study area of the Northeast of Russia, in terms of toxic load on the population, can be attributed to territories with a relatively favorable environmental situation.

Keywords: Northeast Russia, toxic elements, mercury, lead, cadmium, ethnic populations

Authors' contributions. Natalia V. Pokhilyuk – statistical processing of the material. Anatoly L. Gorbachev – data analysis and interpretation.

Article history: received 01.02.2022; accepted 01.03.2022.

For citation: Pokhilyuk NV, Gorbachev AL. Ethnic aspects of toxic elements in the Russian Northeast. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(1):58–66. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-58-66>

Введение

В настоящее время одной из важнейших проблем, стоящих перед человечеством, является техногенное загрязнение биосферы. Токсические выбросы предприятий, транспорта с воздушными потоками, водой способны рас-

пространяться на огромные территории и оказывать негативное трансгрессивное влияние на компоненты биосферы. К числу наиболее опасных токсичных элементов относится так называемая мрачная тройка – ртуть, кадмий и свинец [1]. Избыточное поступление этих химических элементов в организм человека представляет угрозу здоровью, в связи с чем необходим контроль за содержанием токсичных элементов как в объектах окружающей среды (воде, почве, воздухе), так и в биологических.

Согласно данным литературы, Север в биогеохимическом отношении характеризуется недостаточностью многих макро- и микроэлементов [2]. Низкие содержания химических элементов в гумусовых почвах северных регионов, вечная мерзлота, среднегодовые отрицательные температуры приводят к пониженной миграции минеральных веществ в природные воды, что, нарушая трофические связи (вода – растения – животные), может вызывать дефицит или дисбаланс микроэлементов в организме человека.

Магаданская область – это территория добычи молибдена, кобальта, вольфрама, свинца, цинка, меди, железа, золота, серебра, олова, бурых углей [3]. Ископаемые породы в виде пластов могут выходить на поверхность и образовывать геохимические аномалии. Существенным негативным фактором нарушения химического баланса биосферы является техногенная миграция химических элементов [4].

В связи с особенностями технологии и масштабами добычи металлов остро стоит вопрос о состоянии окружающей среды не только в местах их добычи, но и в соседних регионах. Токсичные элементы, поступая в организм, способны накапливаться в тканях и оказывать вредное влияние даже в сравнительно низких концентрациях, а при продолжительном воздействии вызывать микроэлементозы – экологически обусловленные заболевания [4; 5].

В настоящее время исследователи отмечают демографический кризис аборигенных жителей Севера, сопровождающийся ростом заболеваемости и прогрессирующей смертностью [6].

Учитывая различный адаптивный потенциал аборигенного и приезжего населения Севера, представляется актуальным анализ уровня токсичных элементов в организме жителей Северо-Восточного региона в связи с их этнической принадлежностью.

Материалы и методы

Изучено содержание токсических микроэлементов (кадмий, свинец, ртуть) и их соотношение с эссенциальными элементами (кальций, цинк) в организме представителей различных этнических групп Магаданской области (232 чел.) мужского и женского пола в возрасте от 18 до 65 лет. Первую группу исследуемых составили коряки ($n = 40$), вторую – чукчи ($n = 35$), третью – эвены ($n = 68$), четвертую – европеоиды ($n = 89$).

Биологическим субстратом для анализа послужили волосы, элементный состав которых отражает биогеохимическое окружение. Химический анализ образцов волос проведен в лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (Москва) методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой на приборах Optima 2000 DV и

ELAN 9000 (PerkinElmer, США). В волосах определено содержание кадмия (Cd), свинца (Pb), ртути (Hg), кальция (Ca), цинка (Zn).

Полученные результаты статистически обработаны с помощью программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 6.0. Вычисляли медиану (Me), максимальное (Max) и минимальное (Min) содержание химических элементов, 25-й и 75-й процентиля. Проверку законов нормального распределения осуществляли с помощью критерия Колмогорова – Смирнова. Достоверность различий определяли по методу Манна – Уитни.

Результаты и обсуждение

Результаты статистической обработки данных спектрального анализа волос представлены в таблице.

Концентрации Cd, Pb, Hg, Ca, Zn в волосах жителей Северо-Востока России, мкг/г

Показатель	Коряки (1)	Чукчи (2)	Эвены (3)	Европеоиды (4)	Достоверные межгрупповые различия, $p < 0,05$
Cd					
Me	0,011	0,01	0,026	0,011	
P ₂₅	0,007	0,005	0,009	0,005	
P ₇₅	0,026	0,026	0,037	0,019	1–3, 2–3, 3–4
Min	0,003	0,002	0,002	0,0012	
Max	0,100	0,087	0,013	0,293	
Pb					
Me	0,26	0,14	0,34	0,22	
P ₂₅	0,125	0,09	0,21	0,12	
P ₇₅	0,53	0,27	0,68	0,44	1–2, 2–3, 2–4, 3–4
Min	0,03	0,030	0,062	0,04	
Max	2,15	1,8	18,3	13,4	
Hg					
Me	0,45	0,30	0,44	0,48	
P ₂₅	0,27	0,22	0,26	0,30	
P ₇₅	0,58	0,43	0,71	0,75	–
Min	0,07	0,10	0,04	0,04	
Max	1,41	2,06	2,15	1,73	
Ca					
Me	366,06	375,58	395,56	318,48	
P ₂₅	320,93	287,92	337,08	217,0	1–4, 3–4
P ₇₅	482,10	529,68	521,77	488,85	
Zn					
Me	183,7	180,0	181,41	190,8	
P ₂₅	157,11	156,50	155,76	167,22	2–4
P ₇₅	205,33	219,82	210,96	241,6	

Примечание: P₂₅ – 25-й процентиль; P₇₅ – 75-й процентиль.

Concentrations of Cd, Pb, Hg, Ca, Zn in the hair of residents of the Northeast of Russia, µg/g

Indicator	Koryaks (1)	Chukchi (2)	Evens (3)	Caucasians (4)	Significant intergroup differences, $p < 0.05$
Cd					
Me	0.011	0.01	0.026	0.011	
P ₂₅	0.007	0.005	0.009	0.005	
P ₇₅	0.026	0.026	0.037	0.019	1–3, 2–3, 3–4
Min	0.003	0.002	0.002	0.0012	
Max	0.100	0.087	0.013	0.293	
Pb					
Me	0.26	0.14	0.34	0.22	
P ₂₅	0.125	0.09	0.21	0.12	
P ₇₅	0.53	0.27	0.68	0.44	1–2, 2–3, 2–4, 3–4
Min	0.03	0.030	0.062	0.04	
Max	2.15	1.8	18.3	13.4	
Hg					
Me	0.45	0.30	0.44	0.48	
P ₂₅	0.27	0.22	0.26	0.30	
P ₇₅	0.58	0.43	0.71	0.75	–
Min	0.07	0.10	0.04	0.04	
Max	1.41	2.06	2.15	1.73	
Ca					
Me	366.06	375.58	395.56	318.48	
P ₂₅	320.93	287.92	337.08	217.0	1–4, 3–4
P ₇₅	482.10	529.68	521.77	488.85	
Zn					
Me	183.7	180.0	181.41	190.8	
P ₂₅	157.11	156.50	155.76	167.22	2–4
P ₇₅	205.33	219.82	210.96	241.6	

Note: P₂₅ – 25th percentile; P₇₅ – 75th percentile.

Кадмий. Среди изучаемых элементов кадмий представляет опасность в качестве загрязнителя пищевых продуктов. Установлено, что растворимые соединения кадмия вызывают анемию, нарушают витаминный, белковый и фосфорно-кальциевый обмен, поражают центральную нервную систему; менее растворимые – действуют на желудочно-кишечный тракт и дыхательные пути [7].

Медиана содержания кадмия в волосах коряков, чукчей, эвенов и европеоидов не превышала биологически допустимый уровень (0,25 мкг/г) [8]. Отмечено статистически значимое увеличение (в 2,6 раза) медианы кадмия у эвенов в сравнение с аналогичными показателями у коряков, чукчей и европеоидов. При этом в группе эвенов не выявлено лиц с повышенной концентрацией кадмия относительно биологически допустимого уровня. Таким образом, в волосах аборигенных жителей и европеоидов избыточного содержания кадмия не установлено.

Свинец. Этот токсический элемент обладает канцерогенной активностью. Несмотря на запрет использования этилированного бензина, содержащего тетраэтилсвинец, воздействие свинца на человека по-прежнему остается серьезной проблемой. Основными источниками его поступления являются загрязненные вода и продукты питания, косметика, кухонная утварь, старые краски. При ингаляционном пути поступления в организм, в отличие от пищевого, свинец быстрее достигает кровотока и действие его максимально [9; 10].

У коряков, чукчей, эвенов медиана содержания свинца в волосах находилась ниже биологически допустимого уровня (5,0 мкг/г) [8]. При этом у 1,5 % эвенов и 4,5 % европеоидов отмечены концентрации свинца, превышающие 5,0 мкг/г. Выявлены межгрупповые статистически значимые различия в содержании свинца (см. таблицу): содержание элемента у чукчей находилось на более низком уровне относительно аналогичных показателем у коряков, эвенов и европеоидов. Повышенная концентрация свинца у некоторых жителей, вероятно, связана с употреблением в пищу продуктов, загрязненных свинцом. Уровень свинца, не превышающий биологически допустимый уровень, у большей части коряков, чукчей, эвенов и европеоидов свидетельствует об отсутствии свинцового загрязнения на территории проживания исследуемых групп населения.

Ртуть. Уровень ртути в биологических средах человека, согласно литературным сведениям, однозначно не определен. Так, нормативное содержание ртути в волосах, согласно лабораторными нормативами Центра биотической медицины, соответствует значениям 0,5–1,0 мкг/г, биологически допустимый уровень – 5,0 мкг/г [11].

По нашим данным, медиана ртути в волосах коряков, чукчей и эвенов не превышала 0,5 мкг/г. Среди аборигенных жителей наибольший процент проб с содержанием ртути в диапазоне от 0,5 до 1,0 мкг/г отмечен у эвенов и коряков (33,8 и 30 % обследованных); у чукчей этот показатель составил 8,6 %. Встречаемость лиц с показателями ртути, превышающими 1,0 мкг/г составила: у эвенов – 16,2 %, коряков – 7,5 %, чукчей – 5,7 %, европеоидов – 10,1 %. Статистически достоверных различий в содержании ртути в волосах между коряками, эвенами и чукчами, а также между аборигенными жителями и европеоидами не выявлено. Результаты анализа подтверждают полученные ранее сведения об отсутствии в организме аборигенов Северо-Востока России критических уровней ртути [12]. Однако в среднем у каждого десятого из исследованных жителей ее концентрации превышают нормативные величины (1,0 мкг/г). Повышенное содержание ртути у некоторых аборигенных жителей, вероятно, связано с большой долей в рационе питания рыбы и морепродуктов, содержащих метилртуть [13].

Исследуя пропорции токсичных металлов по отношению к их эссенциальным микроэлементам-антагонистам, можно определить, в какой степени токсические элементы нарушают биохимические процессы, контролируемые соответствующими эссенциальными элементами [14].

Считается, что химические элементы способны проявлять эссенциальность, если их отношения к токсичным элементам соответствуют определен-

ным значениям. В частности, для Ca/Pb это соотношение должно составлять 100, для Zn/Cd – 500 [15]. Снижение указанных значений предполагает негативное влияние токсичных элементов на метаболизм эссенциальных элементов.

У исследованных коряков, чукчей, эвенов и европеоидов отмечено сниженное содержания кальция в волосах, его медианы во всех группах были ниже референтных величин (494–1619 мкг/г) [16]. При этом у 100 % коряков, 100 % чукчей, 98,5 % эвенов и 98,9 % европеоидов значение соотношения Ca/Pb соответствовало установленной нормативной величине. Таким образом, возможный эндогенный дефицит кальция у исследованных лиц не увеличивает риск токсического действия свинца на организм.

Медианы содержания цинка у коряков, чукчей, эвенов и европеоидов находились в пределах референтных величин (155,00–206,00 мкг/г) [16], а соотношение Zn/Cd у всех исследованных лиц соответствовало оптимальному уровню. Указанные показатели свидетельствуют о благоприятной обстановке в геохимическом окружении по содержанию цинка и кадмия.

Заключение

Отмечены статистически значимые различия в содержании кадмия и свинца у аборигенных жителей и европеоидов. Так, у эвенов медиана кадмия превышала аналогичный показатель среди коряков, чукчей и европеоидов, значение медианы свинца у чукчей было меньше в сравнении с показателем в других исследованных группах. Межгрупповых различий в содержании ртути не выявлено.

В волосах исследованных жителей Магаданской области критически высоких концентраций кадмия, свинца и ртути не определено. Однако у некоторых аборигенных жителей отмечено повышенное содержание ртути и свинца, а у части европеоидов – избыточные концентрации свинца. Указанные особенности могут быть обусловлены рационом питания и диетическим предпочтением рыбы и морепродуктов.

Дисбаланса в соотношении токсичных (кадмия, свинца) и эссенциальных (кальция, цинка) элементов не установлено. Таким образом, Магаданскую область в плане токсической нагрузки на население можно отнести к территориям с относительно благоприятной экологической ситуацией.

Список литературы

- [1] Пурмаль А.П. Антропогенная токсикация планеты. Ч. 1 // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 9. С. 39–45.
- [2] Ковальский В.В. Геохимическая среда и жизнь. М.: Наука. 1982. 76 с.
- [3] Состояние окружающей среды и использование природных ресурсов Магаданской области: статистический сборник. Магадан: Магаданстат, 2011. 72 с.
- [4] Ермаков В.В., Самохин В.Т., Алексеева С.А., Дегтярев А.П., Кречетова Е.В., Карпова Е.А., Сафонов В.А., Тютиков В.Б., Хабаров В.Б. Биогеохимия – фундаментальная основа технологий коррекции элементозов // Микроэлементы в медицине. 2004. Т. 5. № 4. С. 55–56.
- [5] Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. М.: ОНИКС 21 век: Мир, 2004. 272 с.

- [6] Манчук В.Т., Надточий Л.А. Состояние и тенденции формирования здоровья коренного населения Севера и Сибири // Бюллетень СО РАМН. 2010. Т. 30. № 3. С. 24–32.
- [7] Кузубова Л.И., Шуваева О.В., Аношин Г.Н. Элементы-экоотоксиканты в пищевых продуктах. Гигиенические характеристики, нормативы содержания в пищевых продуктах, методы определения: аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН, Ин-т неорг. химии, Объед. ин-т геологии, геофизики и минералогии СО РАН. Новосибирск, 2000. 67 с. (Экология. Вып. 58).
- [8] Скальный А.В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: ОНИКС 21 век: Мир, 2004. 216 с.
- [9] Рыбкин В.С., Богданов А.Н., Чуйков Ю.С., Теплая Г.А. Тяжелые металлы как фактор возможных экологически обусловленных заболеваний в Астраханском регионе // Гигиена и санитария. 2014. № 2. С. 27–31.
- [10] Черных Н.А., Баева Ю.И. Тяжелые металлы и здоровье человека // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2004. № 1 (10). С. 125–134.
- [11] Тацый Ю.Г. О возможности использования волос в качестве биоиндикатора загрязнения окружающей среды ртутью // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2013. № 12. С. 158–164.
- [12] Горбачев А.Л. Ртуть как приоритетный загрязнитель окружающей среды: уровень ртути и других токсичных элементов в организме аборигенных жителей северо-востока России // Микроэлементы в медицине. 2016. Т. 17. № 2. С. 3–9. <http://doi.org/10.19112/2413-6174-2016-17-2-3-9>
- [13] Ульрих С.М., Тантон Т.В., Абдрашитова С.В. Ртуть в природных водных объектах: обзор фактов, влияющих на метилирование // Environ. Sci. and Technol. 2001. № 31 (3). С. 241–293.
- [14] Корчина Т.Я., Корчин В.И. Сравнительная характеристика интоксикации свинцом и кадмием населения Ханты-Мансийского автономного округа // Гигиена и санитария. 2011. № 3. С. 8–10.
- [15] Krupka K., Puczkowski S. Badanie pierwiastkow wlosow. Laboratorium Pierwatkow Nieznaczonej Ilosti. Lodz, 2004.
- [16] Скальный А.В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС (АНО «Центр биотической медицины») // Микроэлементы в медицине. 2003. Т. 4. № 1. С. 55–56.

References

- [1] Purmal AP. Antropogenictoxication of the planet. Part 1. *Soros Educational Journal*. 1998;9:39–45. (In Russ.)
- [2] Kovalsky VV. *Geochemical environment and life*. Moscow: Nauka Publ.; 1982. (In Russ.)
- [3] *State of the environment and use of natural resources of the Magadan Oblast: statistical digest*. Magadan: Magadanstat Publ.; 2011. (In Russ.)
- [4] Ermakov VV, Samokhin VT, Alekseeva SA, Degtyarev AP, Krechetova EV, Karpova EA, Safonov VA, Tyutikov VB, Khabarov VB. Biogeochemistry is the fundamental basis of elemental correction technologies. *Trace Elements in Medicine (Moscow)*. 2004;5(4):55–56. (In Russ.)
- [5] Skalny AV, Rudakov IA. *Bioelements in medicine*. Moscow; 2004. (In Russ.)
- [6] Manchuk VT, Nadtochiy LA. The state of and trends in health of indigenous peoples of the North and Siberia. *Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2010;30(3):24–32. (In Russ.)
- [7] Kuzubova LI, Shuvaeva OV, Anoshin GN. *Elements-eco toxicants in food. Hygienic characteristics, standards of content in food, methods for determining analytical review* (G.L. Anoshin, Transl.). Novosibirsk: GPNTB SO RAN Publ.; 2000. (In Russ.)

- [8] Skalny AV. *Chemical elements in human physiology and ecology*. Moscow; 2004. (In Russ.)
- [9] Rybkin VS, Bogdanov AN, Chuikov YuS, Teplaya GA. Heavy metals as a factor of possible environmentally caused illnesses in the Astrakhan region. *Hygiene and Sanitation*. 2014;2:27–31. (In Russ.)
- [10] Chernykh NA, Baeva JI. Heavy metals and person health. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2004;(1):125–134.
- [11] Tatsiy YuG. Applicability of human hair as a bioindicator for environmental mercury pollution. *Bulletin of Tyumen State University. Ecology and Nature Management*. 2013;12:158–164. (In Russ.)
- [12] Gorbachev AL. Mercury as a most important environmental pollutant: the body levels of mercury and other toxic chemical elements in indigenous residents of north-east Russia. *Trace Elements in Medicine (Moscow)*. 2016;17(2):3–9. (In Russ.) <http://doi.org/10.19112/2413-6174-2016-17-2-3-9>
- [13] Ullrich SM, Tanton TV, Abdrashitova SV. Mercury in the aquatic environment: a review of factors affecting methylation. *Environ. Sci. and Technol*. 2001;31(3):241–293. (In Russ.)
- [14] Korchina TYa, Korchin VI. Comparative characteristics of lead and cadmium intoxication in the Khanty-Mansi Autonomous District. *Hygiene and Sanitation*. 2011;3:8–10. (In Russ.)
- [15] Krupka K, Puczowski S. *Badanie pierwiastkow wlosow*. Laboratorium Pierwatkow Nieznaczonej Ilosti. Lodz; 2004.
- [16] Skalny AV. Reference values of chemical elements concentration in hair, obtained by means of ICP-AES method in ANO Centre for Biotic Medicine. *Trace Elements in Medicine (Moscow)*. 2003;4(1):55–56. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Похилик Наталья Владимировна, врач по общей гигиене МСЧ МВД России по Магаданской области, преподаватель, Северо-Восточный государственный университет, Российская Федерация, 685000, Магадан, ул. Портовая, д. 13. E-mail: natalis2686@mail.ru

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

Bio notes:

Natalya V. Pokhilyuk, general hygiene doctor, Medical and Sanitary Unit of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation in Magadan Region, lecturer, Northeastern State University, 13 Portovaya St, Magadan, 685000, Russian Federation. E-mail: natalis2686@mail.ru





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

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-1-67-75

УДК 504.75

Научная статья / Research article

Некоторые гематологические показатели крови крыс при подостром многочастотном электромагнитном облучении от систем перспективных стандартов сотовой связи

В.С. Орлова¹, С.Ю. Перов² , Р.З. Лифанова^{1,2}  , С.А. Пинегин³¹Российский университет дружбы народов, Москва, Россия²Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова, Москва, Россия³Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия torazo-414@mail.ru

Аннотация. Электромагнитные поля диапазона сотовой связи в последнее время превратилось в значимый физический фактор окружающей среды, что не может не вызывать обоснованное беспокойство в связи с возможностью неблагоприятного влияния на здоровье человека. Экспериментальные исследования на лабораторных животных являются неотъемлемой частью разработки и обоснования безопасных уровней воздействия, в которых объективным функциональным индикатором состояния организма является система крови. Цели исследования – изучение гематологических показателей крови самцов и самок крыс при подостром многочастотном электромагнитном облучении от систем сотовой связи, оценка характера и уровня возможных отдаленных последствий. Объектом исследований были самцы и самки линии Wistar, которые подвергались многочастотному круглосуточному 30-дневному воздействию электромагнитных полей с плотностью потока энергии 500 мкВт/см² на частотах 3,5; 28 и 37 ГГц. Гематологические показатели периферической крови у животных опытных и контрольных групп определялись по завершении 30-дневного облучения электромагнитным полем и через 30 дней после его окончания. Облучение на протяжении 30 дней не привело к статистически значимым изменениям в клеточном составе крови ни у самцов, ни у самок крыс по сравнению с контрольными группами. Спустя 30 дней после завершения экспозиции достоверные изменения в гематологических показателях коснулись только самок крыс и заключались в снижении среднего содержания (MCH) и средней концентрации (MCHC) гемоглобина (Hb) в эритроците (RBC), уровня лейкоцитов (WBC), лимфоцитов (LYM) и повышении содержания моноцитов (MON). Статистических изменений во всех гематологических показателях у самцов крыс не наблюдалось. Полученные данные позволяют предполагать развитие адаптационных реакций последствия у крыс по завершении подострого электромагнитного облучения и их корреляции на воздействие в зависимости от пола животного.

Ключевые слова: электромагнитное поле, многочастотное электромагнитное поле, базовые станции, сотовая связь, периферическая кровь, гематологические показатели

© Орлова В.С., Перов С.Ю., Лифанова Р.З., Пинегин С.А., 2022

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

Вклад авторов. В.С. Орлова – концепция и дизайн исследования. С.Ю. Перов – концепция и дизайн исследования, его проведение, написание текста статьи. Р.З. Лифанова – проведение исследования, анализ полученных данных, написание текста статьи. С.А. Пинегин – проведение исследования.

История статьи: поступила в редакцию 01.02.2022; принята к публикации 01.03.2022.

Для цитирования: Орлова В.С., Перов С.Ю., Лифанова Р.З., Пинегин С.А. Некоторые гематологические показатели крови крыс при подостром многочастотном электромагнитном облучении от систем перспективных стандартов сотовой связи // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 1. С. 67–75. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-67-75>


Rat hematological parameters of subacute multifrequency electromagnetic next-generation cellular communications exposure

Valentina S. Orlova¹, Sergey Yu. Perov² ,
Rano Z. Lifanova^{1,2}  , Sergei A. Pinegin³

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

²*Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russia*

³*State Scientific Center of the Russian Federation Institute of Biomedical Problems,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

 torazo-414@mail.ru

Abstract. The cellular communication electromagnetic fields have become a significant physical environmental factor recently, which cannot but cause reasonable concern due to the possible adverse effects of human health. Experimental laboratory animal studies are an integral part of the development and substantiation maximal permissible levels, in which the blood system is an objective functional indicator of the electromagnetic field biological effects. Thus, the purpose of the research was to study the hematological parameters of the male and female rat blood of subacute multi-frequency electromagnetic exposure from cellular communication systems and possible long-term biological effects. The object of research was male and female Wistar line rats. There were multi-frequency 30-days electromagnetic field exposure with 500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ power density at 3.5, 28 and 37 GHz summary. Hematological parameters of peripheral rat blood of the experimental and control groups were determined at the end of 30 days of exposure and 30 days after exposure. 30 days exposure did not lead to statistically significant changes in the blood cell composition in either male or female rats compared with sham exposure. In post exposure period (30 days after), significant changes in hematological parameters shown female rats only, which consisted in a decrease in the average content (MCH) and the average concentration (MCHC) of hemoglobin (Hb) in erythrocyte (RBC), the level of leukocytes (WBC), lymphocytes (LYM) and an increase in monocytes (MON). There were no statistical changes in all hematological parameters in male rats. The research results suggest the development of aftereffect adaptive reactions in rats upon completion of subacute electromagnetic exposure and their correlation to the effect depending on the sex of the animal.

Keywords: electromagnetic field, multifrequency electromagnetic field, cellular base stations, peripheral blood, hematological parameters

Authors' contributions. V.S. Orlova – research concept and design. S.Yu. Perov – research concept and design, research conduct, text writing. R.Z. Lifanova – conducting the study, data analysis, text writing. S.A. Pinegin – conducting the study.

Article history: received 01.02.2022; accepted 01.03.2022.

For citation: Orlova VS, Perov SYu, Lifanova RZ, Pinegin SA. Rat hematological parameters of subacute multifrequency electromagnetic next-generation cellular communications exposure. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(1):67–75. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-67-75>

Введение

Электромагнитные поля диапазона мобильной сотовой связи в последнее время превратились в значимый постоянно растущий физический фактор окружающей среды. Сложившаяся электромагнитная обстановка не может не вызывать обоснованное беспокойство в связи с возможностью недооценки опасности этого фактора для здоровья человека. В современных условиях человек подвергается воздействию сложного сочетания модулированных электромагнитных полей (ЭМП) разных частот и интенсивностей, которое обусловлено массовым применением мобильных коммуникаций. Базовые станции сотовой связи по сравнению с другими источниками ЭМП работают круглосуточно на фоне постоянного увеличения их количества и интенсивности воздействия. Стремительное развитие мобильной связи способствовало тому, что существующие научные подходы просто не успевают оценить степень вредности действия ЭМП этих частот для человека. Следует заметить, что ЭМП может быть условно отнесены к категории физических факторов с не окончательно определенным риском воздействия.

Проводимые в настоящее время изыскания биологического действия ЭМП сосредоточены на эпидемиологических обследованиях, исследованиях на добровольцах, экспериментах на лабораторных животных. Однако проблема получения полной картины биологической опасности ЭМП при сложной комбинации частот и сигналов различной интенсивности в диапазоне от 100 МГц до 5,5 ГГц, которую выявили в некоторых крупных европейских городах, пока остается нерешенной [1; 2]. Наибольший вклад (более 60 % от общего воздействия) в формирование электромагнитного фона в среде вносятся базовые станции сотовой связи, работающие преимущественно на частотах 900, 1800, 2100 и 2600 МГц, тогда как облучение населения от радио- и телевещательных вышек является менее интенсивным. Важность эпидемиологических исследований, так же как и изучение действия ЭМП на животных, не подлежит сомнению, но в подавляющем числе случаев в лабораторных экспериментах используется, как правило, только одна частота или интенсивность. В связи с этим не так давно стало формироваться несколько новое направление – проведение исследований, которые в лабораторных условиях воспроизводят реальные условия биологического действия ЭМП при облучении сигналами нескольких частот (multiple frequencies) [3].

В то же время результаты лабораторных исследований биологического действия многочастотных ЭМП далеко неоднозначны. Изучение влияния ЭМП

с частотами 1,5 и 4,3 ГГц по отдельности и в комбинации на когнитивные функции и структуру гиппокампа у самцов крыс Wistar показало, что комбинированное облучение на обеих частотах вызвало более серьезные когнитивные нарушения и повреждение ткани гиппокампа крыс, чем воздействие на одной частоте [4]. Одновременное облучение ЭМП беременных крыс и их родившегося потомство по 20 ч в день восьми различными сигналами на частотах 800 МГц; 2,0; 2,4; 2,5 и 5,2 ГГц не привело к каким-либо неблагоприятным последствиям на беременность или развитие крыс [5].

Экспериментальные исследования на лабораторных животных являются неотъемлемой частью разработки и обоснования безопасных уровней воздействия. Анализ литературных источников показал, что изучение гематологических показателей позволит оценить влияние ЭМП не только на процессы в органах кроветворения, но и уровень функциональной активности компенсаторно-приспособительных реакций организма животных в поддержании гомеостаза [6].

Цель исследования – изучить гематологические показатели крови самцов и самок крыс при подостром многочастотном электромагнитном облучении от систем сотовой связи, оценить характер и уровень отдаленных последствий.

Материалы и методы

Объектом исследований послужили половозрелые беспородные крысы (самцы и самки) линии Wistar массой 267 ± 32 г на начало эксперимента. Животные (48 крыс) были распределены на четыре группы по 12 крыс, которые составляли две серии с параллельным контролем. Экспериментальные группы животных, сформированные из самцов и самок крыс, подвергались многочастотному воздействию ЭМП с одинаковой величиной плотности потока энергии (ППЭ) 500 мкВт/см^2 на частотах 3,5; 28 и 37 ГГц. Облучение проводили непрерывно по 23 ч в сутки в течение 30 дней, после чего крысы всех групп 30 дней находились в аналогичных условиях, но без воздействия ЭМП. Во время облучения животные пребывали в пластиковых радиопрозрачных клетках коллективного содержания и имели возможность свободного перемещения, доступ к корму и воде. Крысы всех групп содержались в условиях с поддерживаемым стандартным световым режимом: 9 ч освещения и 15 ч затемнения. Группа контроля содержалась в аналогичных с экспериментальными животными условиях за исключением воздействия ЭМП. Все работы с животными выполняли в соответствии с требованиями нормативно-правовых актов о порядке экспериментальной работы и гуманном отношении к животным. Во всех экспериментах для облучения животных использовалось стандартное оборудование базовых станций в служебном режиме стандарта 5G NR IMT-2020, обеспечивающего постоянный уровень ЭМП. Анализ периферической крови у животных обеих групп проводили на автоматическом гематологическом анализаторе BC-2800 Vet (Mindray, Китай) после декапитации через 30 дней после прекращения облучения и 30 дней спустя. Проверку на нормальность распределения данных проводили по критерию Шапиро – Уилка, статистическую обработку данных – по непараметрическому критерию Данна.

Результаты и обсуждение

В результате облучения животных на протяжении 30 дней такие показатели красной крови самцов крыс, как эритроциты (RBC), гемоглобин (Hb), гематокрит (HCT) и тромбоциты (PLT) демонстрировали тенденцию к повышению по сравнению с группой контроля. Противоположные изменения наблюдались в крови самок крыс после 30-дневной экспозиции – прослеживалась тенденция к снижению этих показателей. Остальные гематологические параметры крови у животных обеих групп после облучения не имели существенных отличий от контрольной группы крыс (табл. 1).

Таблица 1

Некоторые показатели красной крови крыс (самцы и самки) после 30-дневного сочетанного облучения ЭМП-частотами 3,5; 28 и 37 ГГц при ППЭ 500 мкВт/см²

Экспериментальные группы		Показатели красной крови									
		RBC ($\times 10^{12}/л$)	Hb, г/л	HCT, %	MCV, фл	MCH, пкг	MCHC, г/л	RDW, %	PLT, ($\times 10^9/л$)	MPV, фл	PDW
Самцы	Контроль	8,065	149	48,75	61,2	18,35	305	12,1	720	6,55	17,1
	Опыт	9,575	183,5	58	61,35	19,4	313	12	1324	6	16,65
Самки	Контроль	8,98	171	57,4	64,05	19,7	310	10,4	1236	5,85	16,85
	Опыт	6,4	121	41,5	63,9	18,55	297,5	11,7	744,5	6	17

Table 1

Some indicators of the red blood of rats (males and females) after 30-days combined exposure to EMF at frequencies of 3.5, 28 and 37 GHz at energy flux density 500 μ W/cm²

Experimental groups		Indicators of red blood									
		RBC ($\times 10^{12}/L$)	Hb, g/L	HCT, %	MCV, fL	MCH, pg	MCHC, g/L	RDW, %	PLT, ($\times 10^9/L$)	MPV, fL	PDW
Males	Control	8.065	149	48.75	61.2	18.35	305	12.1	720	6.55	17.1
	Experience	9.575	183.5	58	61.35	19.4	313	12	1324	6	16.65
Females	Control	8.98	171	57.4	64.05	19.7	310	10.4	1236	5.85	16.85
	Experience	6.4	121	41.5	63.9	18.55	297.5	11.7	744.5	6	17

В лейкоцитарной формуле крови самцов и самок крыс все показатели не выходили за пределы значений контрольной группы, за исключением тенденции к повышению уровня гранулоцитов (GRAN) у самцов (табл. 2).

В показателях красной крови у самцов и самок крыс спустя 30 дней после окончания облучения отмечалась тенденция к снижению уровня Hb в крови и статистически достоверное ($p < 0,05$) по сравнению с контролем падение среднего содержания (MCH) и средней концентрации (MCHC) Hb в RBC (табл. 3).

Таблица 2

Лейкоцитарная формула крови крыс (самцы и самки) после 30-дневного сочетанного облучения ЭМП-частотами 3,5; 28 и 37 ГГц при ППЭ 500 мкВт/см²

Экспериментальные группы		Показатели белой крови						
		WBC, ($\times 10^9/л$)	LYM ($\times 10^9/л$)	MON ($\times 10^9/л$)	GRAN ($\times 10^9/л$)	LYM, %	MON, %	GRAN, %
Самцы	Контроль	3,5	2,6	0,1	0,85	71,2	3,25	25,65
	Опыт	4,4	3	0,15	1,25	67,15	3,55	29,4
Самки	Контроль	3,5	2,6	0,1	0,85	71,2	3,25	25,65
	Опыт	3,05	2,15	0,1	0,8	70,7	3,7	25,85

Table 2

Leukogram blood of rats (males and females) after 30-days combined exposure to EMF at frequencies of 3.5, 28 and 37 GHz at energy flux density 500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

Experimental groups		Indicators of white blood						
		WBC, ($\times 10^9/\text{L}$)	LYM ($\times 10^9/\text{L}$)	MON ($\times 10^9/\text{L}$)	GRAN ($\times 10^9/\text{L}$)	LYM, %	MON, %	GRAN, %
Males	Control	3.5	2.6	0.1	0.85	71.2	3.25	25.65
	Experience	4.4	3	0.15	1.25	67.15	3.55	29.4
Females	Control	3.5	2.6	0.1	0.85	71.2	3.25	25.65
	Experience	3.05	2.15	0.1	0.8	70.7	3.7	25.85

Таблица 3

Некоторые показатели красной крови крыс (самцы и самки) через 30 дней после 30-дневного сочетанного облучения ЭМП-частотами 3,5; 28 и 37 ГГц при ППЭ 500 мкВт/см²

Экспериментальные группы		Показатели красной крови									
		RBC, ($\times 10^{12}/\text{л}$)	Hb, г/л	HCT, %	MCV, фл	MCH, пкг	MCHC, г/л	RDW, %	PLT, ($\times 10^9/\text{л}$)	MPV, фл	PDW
Самцы	Контроль	9,11	152	53,4	58,75	16,75	284,5	11,7	1161,5	7,85	17,6
	Опыт	8,67	106	50,4	58,25	16,8	286,5	11,7	1109	7	17,9
Самки	Контроль	8,405	177	53,8	63,85	20,9	328,5	10,95	877,5	6,2	17
	Опыт	8,32	126,5	51,4	62,15	15,55*	256,5*	10,9	1218,5	6,65	17,35

Примечание: * $p < 0,05$ относительно показателей контрольной группы.

Table 3

Some indicators of the red blood of rats (males and females) after 30 days of 30-days combined exposure to EMF at frequencies of 3.5, 28 and 37 GHz at energy flux density 500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

Experimental groups		Indicators of red blood									
		RBC, ($\times 10^{12}/\text{L}$)	Hb, g/L	HCT, %	MCV, fL	MCH, pg	MCHC, g/L	RDW, %	PLT, ($\times 10^9/\text{L}$)	MPV, fL	PDW
Males	Control	9.11	152	53.4	58.75	16.75	284.5	11.7	1161.5	7.85	17.6
	Experience	8.67	106	50.4	58.25	16.8	286.5	11.7	1109	7	17.9
Females	Control	8.405	177	53.8	63.85	20.9	328.5	10.95	877.5	6.2	17
	Experience	8.32	126.5	51.4	62.15	15.55*	256.5*	10.9	1218.5	6.65	17.35

Note: * $p < 0.05$ relative to the indicators of the control group.

В лейкоцитарной формуле крови самок статистически достоверные изменения по сравнению с контрольной группой животных происходили в снижении содержания лейкоцитов (WBC) ($p < 0,01$), лимфоцитов (LYM) ($p < 0,05$) и повышении уровня моноцитов (MON) ($p < 0,05$). В остальные показатели белой крови животных (самцов и самок) каких-либо достоверных изменений относительно контроля не обнаружено (табл. 4).

Таблица 4

Лейкоцитарная формула крови крыс (самцы и самки) через 30 дней после 30-дневного сочетанного облучения ЭМП-частотами 3,5; 28 и 37 ГГц при ППЭ 500 мкВт/см²

Экспериментальные группы		Показатели белой крови						
		WBC, ($\times 10^9/\text{л}$)	LYM, ($\times 10^9/\text{л}$)	MON, ($\times 10^9/\text{л}$)	GRAN, ($\times 10^9/\text{л}$)	LYM, %	MON, %	GRAN, %
Самцы	Контроль	4,6	3,2	0,15	1,15	67,2	3,4	29,85
	Опыт	4,1	2,85	0,1	1,35	68,65	3,55	27,6
Самки	Контроль	4,9	3,65	0,2	1,1	74,25	3,35	22,55
	Опыт	2,55**	1,6**	0,15	0,85	61,5	5,15*	31,5

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ относительно показателей контрольной группы.

Table 4

Leukogram blood of rats (males and females) after 30 days of 30-days combined exposure to EMF at frequencies of 3.5, 28 and 37 GHz at energy flux density 500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

Experimental groups		Indicators of white blood						
		WBC, ($\times 10^9/\text{L}$)	LYM, ($\times 10^9/\text{L}$)	MON, ($\times 10^9/\text{L}$)	GRAN, ($\times 10^9/\text{L}$)	LYM, %	MON, %	GRAN, %
Males	Control	4.6	3.2	0.15	1.15	67.2	3.4	29.85
	Experience	4.1	2.85	0.1	1.35	68.65	3.55	27.6
Females	Control	4.9	3.65	0.2	1.1	74.25	3.35	22.55
	Experience	2.55**	1.6**	0.15	0.85	61.5	5.15*	31.5

Note: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ relative to the indicators of the control group.

Полученные в процессе проведенных экспериментов гематологические показатели свидетельствуют о влиянии многочастотного облучения ЭМП на систему крови животных. В некоторых публикациях приведены результаты исследований, соответствующие полученным данным.

Облучение крыс Wistar ЭМП-частотой 900 МГц по одному часу в день ежедневно, 7 дней в неделю на протяжении 3 и 6 месяцев вызвало изменения в системе крови, заключающееся в снижении содержания RBC, WBC, PLT и уровня Hb с увеличением времени воздействия [7]. Определение гематологических показателей после облучения ЭМП с частотой 900 и 1800 МГц самцов белых мышей BALB/c по 15, 30 и 45 мин в день в течение двух недель показало снижение НСТ, содержания Hb и RBC, а также количества PLT как после короткого, так и длительного воздействия [8]. Результаты, полученные после длительного облучения мышей линии Swiss Albino по 7 ч в день, 7 дней в неделю в течение 12 недель ЭМП с частотами 0,9 и 1,8 ГГц показали, что воздействие вызывает увеличение значений НСТ, RBC и Hb в крови. Облучение также привело к снижению содержания WBC и величины МСНС в группах животных, подвергавшихся воздействию ЭМП-частотами 0,9 и 1,8 ГГц, а сравнение между группами показало, что уровень Hb у мышей в группах с 0,9 ГГц увеличивается, тогда как в группе с 1,8 ГГц, напротив, снижается. При этом обнаружено, что значения МСН у мышей в группе, подвергшейся воздействию 1,8 ГГц, снижаются, в то время как в группе с 0,9 ГГц увеличиваются. Величины MCV в группе мышей, подвергшейся воздействию 0,9 ГГц, увеличивались, в то время как в группе, подвергшейся воздействию 1,8 ГГц, снижались. Проверочный анализ крови мышей в контрольной группе показал, что гематологические параметры были в пределах нормального диапазона значений [9].

Таким образом, полученные в выполненных экспериментах результаты свидетельствуют о наличии влияния многочастотного облучения ЭМП с частотами 3,5; 28 и 37 ГГц при ППЭ 500 мкВт/см² на систему крови, которое в наибольшей степени проявлялось после прекращения воздействия и зависело от пола животного. В ранее выполненном исследовании воздействия облучения от сотовых телефонов на гематологические показатели периферической крови, проведенном на добровольцах возрастом 18–26 лет, было установлено влияние на концентрацию Hb, величины МСН и НСТ, содержание PLT, а также на лейкоцитарную формулу [10]. Помимо этого, были отмечены

ны гендерные различия в виде прямой корреляционной зависимости между уровнем воздействия и содержанием RBC и HCT у мужчин и обратной корреляционной связью по HCT у женщин.

Заключение

В настоящее время в результате массового развития мобильных коммуникаций проблема мониторинга и оценки биологической опасности ЭМП становится все более актуальной в различных сферах производства и в быту. Основные направления исследования биологического действия ЭМП-частот мобильной связи в основном сосредоточены в области эпидемиологических обследований, а также лабораторных экспериментов на животных. Однако задача получения полной картины биологической опасности многочастотного ЭМП для всех составляющих поля и возможных частот излучения пока остается нерешенной, а отдельные эксперименты не охватывают все направления исследований в целом. Анализ публикаций и полученных данных экспериментальных исследований показывает, что ЭМП диапазона сотовой связи оказывает выраженное биологическое действие на систему крови животных, которое может расцениваться как адаптивная стимуляция процессов гемопоэза. Следует признать, что регистрируемые изменения в системе крови при действии многочастотного ЭМП не выходили за пределы компенсаторных, однако наличие подобных реакций может в дальнейшем вызвать срыв процессов адаптации и способствовать развитию патологических изменений в организме.

Список литературы / References

- [1] Gajšek P, Ravazzani P, Wiart J, Grellier J, Samaras T, Thuróczy G. Electromagnetic field exposure assessment in Europe radiofrequency fields (10 MHz – 6 GHz). *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2015;25(1):37–44. <https://doi.org/10.1038/jes.2013.40>
- [2] Chiamarello E, Bonato M, Fiocchi S, Tognola G, Parazzini M, Ravazzani P, Wiart J. Radio frequency electromagnetic fields exposure assessment in indoor environments: a review. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019;16(6):955. <https://doi.org/10.3390/ijerph16060955>
- [3] Sienkiewicz Z, Calderón C, Broom KA, Addison D, Gavard A, Lundberg L, Maslanyj M. Are exposures to multiple frequencies the key to future radiofrequency research? *Front. Public Health.* 2017;5(328):11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00328>
- [4] Zhu R, Wang H, Xu X, Zhao L, Zhang J, Dong J, Yao B, Wang H, Zhou H, Gao Y, Peng, R. Effects of 1.5 and 4.3 GHz microwave radiation on cognitive function and hippocampal tissue structure in Wistar rats. *Sci. Rep.* 2021;11(1):1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89348-4>
- [5] Shirai T, Wang J, Kawabe M, Wake K, Watanabe SI, Takahashi S, Fujiwara O. No adverse effects detected for simultaneous whole-body exposure to multiple-frequency radiofrequency electromagnetic fields for rats in the intrauterine and pre-and post-weaning periods. *J. Radiat. Res.* 2017;58(1):48–58. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrw085>
- [6] Darvishi M, Mashati P, Kandala S, Paridar M, Takhviji V, Ebrahimi H, Zibara A, Khosravi A. Electromagnetic radiation: a new charming actor in hematopoiesis? *Expert Rev. Hematol.* 2021;14(1):47–58. <https://doi.org/10.1080/17474086.2020.1826301>
- [7] El-Bediwi AB, Saad M, Elkott AF, Eid E. Influence of electromagnetic radiation produced by mobile phone on some biophysical blood properties in rats. *Cell Biochem. Biophys.* 2012;65(3):297–300. <https://doi.org/10.1007/s12013-012-9432-4>

- [8] Alghamdi MS, El-Ghazaly NA. Effects of exposure to electromagnetic field on of some hematological parameters in mice. *Open Journal of Medicinal Chemistry*. 2012;2(2):30–42. <http://doi.org/10.4236/ojmc.2012.22005>
- [9] Usman AD, Ahmad WW, Ab Kadir MZ, Mokhtar M, Ariffin R. Effect of radiofrequency electromagnetic field exposure on hematological parameters of mice. *World Appl. Sci. J.* 2012;16(5):656–664.
- [10] Yashchenko SG, Rybalko SYu, Karpovich AV. Hematological parameters of human peripheral blood under the influence of electromagnetic radiation of mobile phones. *Ukrainian Medical Almanac*. 2014;17(3):109–111. (In Ukr.)
Яценко С.Г., Рибалко С.Ю., Карпович А.В. Гематологічні показники периферичної крові людини при впливі електромагнітного випромінювання мобільних телефонів // Український медичний альманах. 2014. Т. 17. № 3. С. 109–111.

Сведения об авторах:

Орлова Валентина Сергеевна, доктор биологических наук, профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. eLIBRARY SPIN-код: 8078-0470. E-mail: bte2005@mail.ru

Перов Сергей Юрьевич, доктор биологических наук, заведующий лабораторией электромагнитных полей, Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова, Российская Федерация, 105275, Москва, пр-кт Буденного, д. 31. ORCID: 0000-0002-6903-4327, eLIBRARY SPIN-код: 2297-5903. E-mail: perov@iriogh.ru

Лифанова Раёно Зобидовна, аспирант, департамент экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова, Российская Федерация, 105275, Москва, пр-кт Буденного, д. 31. ORCID: 0000-0002-8747-9856, eLIBRARY SPIN-код: 3158-8833. E-mail: torazo-414@mail.ru

Пинегин Сергей Александрович, аспирант, младший научный сотрудник, Институт медико-биологических проблем, Российская академия наук, Российская Федерация, 123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76А, стр. 34. E-mail: serg.pineqin@gmail.com

Bio notes:

Valentina S. Orlova, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 8078-0470. E-mail: bte2005@mail.ru

Sergey Yu. Perov, Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Electromagnetic Fields, Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31 Budyonnogo Prospekt, Moscow, 105275, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6903-4327, eLIBRARY SPIN-code: 2297-5903. E-mail: perov@iriogh.ru

Rano Z. Lifanova, postgraduate student, Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; research fellow, Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31 Budyonnogo Prospekt, Moscow, 105275, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-8747-9856, eLIBRARY SPIN-code: 3158-8833. E-mail: torazo-414@mail.ru

Sergei A. Pinegin, postgraduate student, researcher fellow, Institute of Biomedical Problems, Russian Academy of Sciences, 76A Khoroshevskoe Shosse, bldg 34, Moscow, 123007, Russian Federation. E-mail: serg.pineqin@gmail.com

ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-1-76-85

УДК 03.23.25/911.53/908

Научная статья / Research article

Проектирование культурного ландшафта с целью сохранения природно-культурного наследия на примере Неверкинского района Пензенской области

С.Н. Артемова *Пензенский государственный университет, Пенза, Россия*✉ art-serafima@yandex.ru

Аннотация. На примере административного района показаны подходы к сохранению природно-культурного и исторического наследия. Наряду с имеющимся списком объектов природного и культурного наследия предлагается на региональном уровне выявить исторические культурные ландшафты, включающие села с сохранившейся этнической культурой и их природное окружение, и отнести их к объектам наследия. На примере Неверкинского района Пензенской области продемонстрированы возможности ландшафтного планирования зон экологического равновесия и туристско-рекреационных систем. Исторические культурные ландшафты вместе с фрагментами дикой природы отнесены к экологическому каркасу сельской местности, который может использоваться как туристско-рекреационная зона.

Ключевые слова: природно-культурное наследие, исторический культурный ландшафт, ландшафтное планирование, туристско-рекреационная зона, Неверкинский район, Пензенская область

Благодарности и финансирование. Работа выполнена при поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество». Договор № 30/2021-Р о предоставлении гранта на реализацию проекта «Природное и историческое наследие в культурных ландшафтах Пензенской области».

История статьи: поступила в редакцию 15.01.2022; принята к публикации 06.02.2022.

Для цитирования: Артемова С.Н. Проектирование культурного ландшафта с целью сохранения природно-культурного наследия на примере Неверкинского района Пензенской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 1. С. 76–85. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-76-85>

Designing a cultural landscape in order to preserve the natural and cultural heritage: on the example of the Neverskiy District of the Penza Region

Serafima N. Artemova 

Penza State University, Penza, Russia

✉ art-serafima@yandex.ru

Abstract. Approaches to the preservation of natural, cultural and historical heritage are shown on the example of the administrative district. Along with the existing list of objects of natural and cultural heritage, it is proposed at the regional level to identify historical cultural landscapes, including villages with preserved ethnic culture and their natural environment, and to classify them as heritage sites. Landscape planning capabilities of ecological balance zones and tourist and recreational systems are shown on the example of the Neverskiy District of the Penza Region. Historical cultural landscapes together with fragments of wildlife are attributed to the ecological framework of the countryside, which can be used as a tourist and recreational area.

Keywords: natural and cultural heritage, historical cultural landscape, landscape planning, tourist and recreational zone, Neverskiy district, Penza Region

Acknowledgements and Funding. The work was carried out with the support of the All-Russian Public Organization “Russian Geographical Society.” Agreement No. 30/2021-R on the grant for the implementation of the project “Natural and Historical Heritage in the Cultural Landscapes of the Penza Region.”

Article history: received 15.01.2022; accepted 06.02.2022.

For citation: Artemova SN. Designing a cultural landscape in order to preserve the natural and cultural heritage: on the example of the Neverskiy District of the Penza Region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(1):76–85. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-76-85>

Введение

Вопросы сохранения природного и культурного наследия, развития рекреации и туризма, социальные и экономические проблемы регионов диктуют необходимость ландшафтного планирования. В России ландшафтное планирование не имеет законодательной базы и не является обязательной процедурой при территориальном планировании на региональном и локальном уровнях. Однако существующий отраслевой подход к хозяйственному освоению территории неэффективен в решении экологических и социально-экономических проблем регионов. В настоящее время на основе комплексного ландшафтоведения при контакте с естественными общественными и гуманитарными науками развивается геоэкологическое направление, основная задача которого пространственная организация культурного ландшафта и разработка методов ландшафтного планирования. Одной из задач ландшафтного планирования является сохранение природного и культурного наследия регионов. Разработка методов сохранения природного и культурного наследия на основе ландшафтного планирования основана на теории взаимодействия человека с природой. Природные ландшафты выполняют средо-

формирующие и ресурсовоспроизводящие функции и определяют характер хозяйственного освоения (структуру расселения, формирование хозяйственного каркаса). В историческом процессе освоения ландшафта разными этносами формируются материальные и духовные ценности, которые для нас являются наследием. Сельский ландшафт с этих позиций можно рассматривать как исторический культурный ландшафт, отражающий традиционную культуру этносов и являющийся объектом наследия. Объекты природного исторического и культурного наследия могут являться новым ресурсом для развития регионов, частично замещая традиционные производства рекреацией и туризмом.

Проблемы сохранения природно-культурного наследия и развития туристско-рекреационных зон актуальна и для Пензенской области, которая относится к староосвоенным районам лесостепи Поволжья. Пензенская область отличается большим разнообразием культурных ландшафтов, сформировавшихся на границе лесов и степей, на основных трассах хозяйственного освоения, что объясняет большое разнообразие культур, которые легли в основу традиций коренных народов. Особое место на карте культурных ландшафтов Пензенской области занимает Неверкинский район, расположенный на юго-восточной ее окраине. Уникальность природного ландшафта связана с положением в осевой части Приволжской возвышенности и на границе лесных и степных ландшафтов, что обуславливает высокое биологическое и в целом ландшафтное разнообразие, высокий рекреационный потенциал. В истории хозяйственного освоения данного пограничного региона участвовали тюркоязычные, финно-угорские и славянские народы. Это способствовало формированию особого этнокультурного ландшафта.

Цель исследования – разработать метод сохранения природно-культурного наследия на основе ландшафтного планирования и проектирования культурного ландшафта на примере Неверкинского района Пензенской области.

Материалы и методы

Накопленный опыт ландшафтного планирования в России позволяет утверждать, что основной целью является обоснование экологического каркаса в целях оптимального распределения в пространстве фрагментов культурного ландшафта на всех уровнях (страна, регион, район) [1]. Основа экологического каркаса – зоны экологического равновесия, которые изымаются из хозяйственного использования и выполняют средоформирующую и ресурсовоспроизводящую функции. Общие принципы выделения зон экологического равновесия изложены в работах Е.Ю. Кобовского, А.Н. Антипов и др.¹ [2]. Под экологическим каркасом сельской местности мы понимаем тесную взаимосвязь фрагментов зональных природных и исторических культурных ландшафтов. Это зоны, где возможно создание и обустройство туристских узлов и зон рекреационного притяжения.

Исходными материалами для обоснования зон экологического равновесия и туристско-рекреационных зон на территории Неверкинского района Пензенской области послужили географические данные о природе, населе-

¹ Колбовский Е.Ю. Ландшафтное планирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Академия, 2008. 336 с.

нии и хозяйстве, а также исторические материалы по хозяйственному освоению и топонимике. В работе использовались данные полевых исследований, которые проводились в рамках гранта РГО «Природное и историческое наследие в культурных ландшафтах Пензенской области» в 2021 г. при участии студентов, а также данные ранее проведенных исследований. Полевые исследования включали в себя ландшафтные описания в ключевых точках по типичному плану² и изучение культурного и исторического наследия сел. В селах определяли особенности застройки, памятники истории и культуры, знакомились с культурой и традициями чувашей и татар (анкетирование, знакомство с фольклорными коллективами, беседа со старожилами сел, посещение местных музеев, старинных усадеб). Всего было сделано 16 ландшафтных описаний и обследовано 6 сел: Неверкино, Бикмурзино, Алеёво, Каменный овраг, Бикмосеевка, Илим-Гора, Теряевка.

Предлагаемый метод сохранения природного, исторического и культурного наследия в планируемом культурном ландшафте заключается в следующем. На первом этапе необходимо провести инвентаризацию существующих объектов наследия и выявить исторические культурные ландшафты со спецификой традиционной культуры, требующие охраны. На основании сравнительно-географического анализа ландшафтной структуры и фонового хозяйственного использования земель обосновать зоны экологического равновесия. Затем на основе экологического каркаса, включающего исторические культурные ландшафты, проектировать структуру и специализацию туристско-рекреационной системы.

Выделение зон экологического равновесия проводилось на базе общенаучной среднемасштабной ландшафтной карты Пензенской области [3]. Выявление зон с конфликтной экологической обстановкой выполнялось на основании наложения карты ландшафтного устройства на карту использования земель, составленную на основании дешифрирования космоснимков. К зонам экологического равновесия рекомендовано отнести геосистемы с высоким экологическим, рекреационным и туристическим потенциалом. В основе процедуры ландшафтного планирования туристско-рекреационных зон лежит определение соотношения зональных геосистем с элементами туристско-рекреационной системы (села, природные объекты, палаточный лагерь, стоянки, сюжетные узлы маршрута и др.).

Результаты и обсуждение

Неверкинский район, расположенный на юго-востоке Пензенской области в бассейне р. Суры и ее притока – Кадады занимает площадь 984,5 км² и отличается уникальностью природы и традиционной культуры. Своеобразие культурных ландшафтов обусловлено тесным сплетением культур разных этносов на исследуемой территории. Первыми колонизаторами территории района стали служилые татары и чувашаи, совместно несшие с 1680-х гг. станичную службу по защите Московского государства на Пензенско-Сызранском участке, где планировалось создание новой оборонительной линии. В освоении этих земель также участвовали ясачные мордва и чувашаи, позже пришли русские. До сих

² Артаев О.Н., Баймаков Д.И., Безина О.В. Методы полевых экологических исследований: учебное пособие. Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2014. 412 с.

пор район остается многонациональным. Здесь компактно проживают: русские – 20,8 %, татары – 48,3 %, чувашы – 24,8 %, мордва – 5,4 % и другие национальности – 0,7 %. Причем преобладают села однонациональные: чувашские – Илим-Гора и Бикмурзино, татарские – Алеево, Бикмасеевка, русское – Андреевка, эрзя-мордовское – Березовка и др. Природный ландшафт объединил народы разных культур, которые, с одной стороны, сохранили свою идентичность, с другой стороны, заимствовали традиции других народов. Все это придает своеобразный колорит культурному ландшафту.

Планирование культурного ландшафта требует на первом этапе инвентаризации объектов природно-культурного наследия, в основе которых лежат объекты недвижимости – памятники археологии, истории, культуры, природы, списки которых были составлены в конце 1980-х гг. На сегодняшний день на территории Неверкинского района кроме археологических памятников к объектам материальной культуры относятся памятники архитектуры: комплекс зданий бывшей земской больницы в Неверкино, здание банка в с. Демино, две мечети в с. Бигеево, православные храмы. Однако территории сельских обществ и окружающего ландшафта, исторически сформировавшиеся в гармонии этносов с природой, являются объектом наследия культурного ландшафта района (исторические культурные ландшафты). Сегодняшние сельские жители чтут память предков, сохраняют богатое духовное наследие. Несмотря на проблемы оттока молодежи из села, жители сохраняют самобытную традиционную культуру чувашей, татар, мордвы (традиции семейной жизни, сельские и уличные мероприятия, фольклорные коллективы, религиозные обряды и др.). На основании анализа процесса хозяйственного освоения [4; 5] и полевых исследований к историческим культурным ландшафтам можно отнести с. Неверкино, Бикмурзино, Илим-Гора, Алеево, Бикмосеевка.

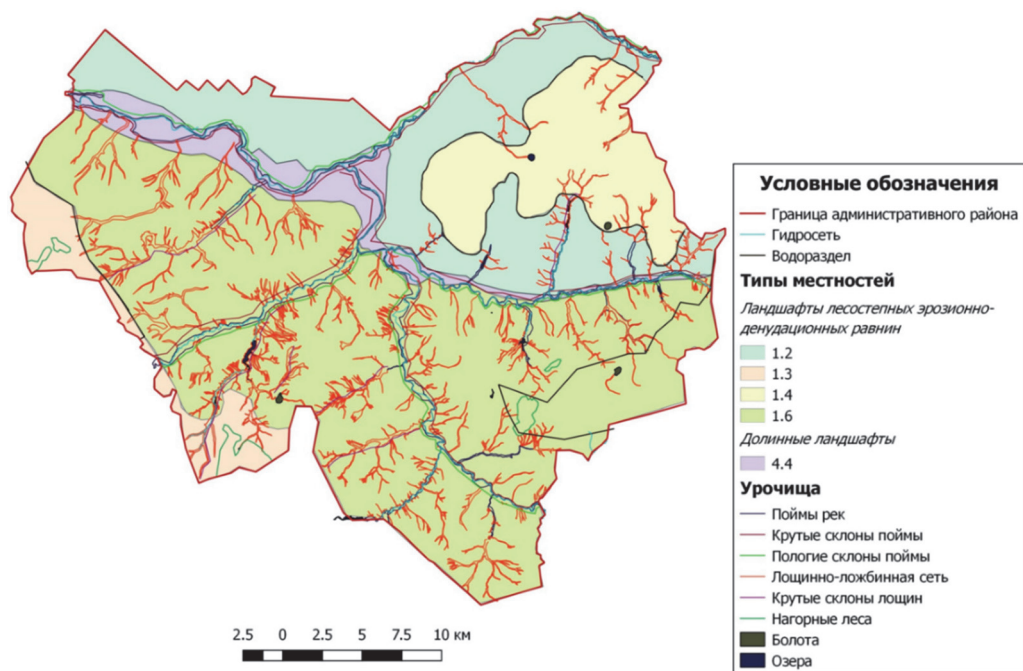


Рис. 1. Схема ландшафтного устройства территории Неверкинского района

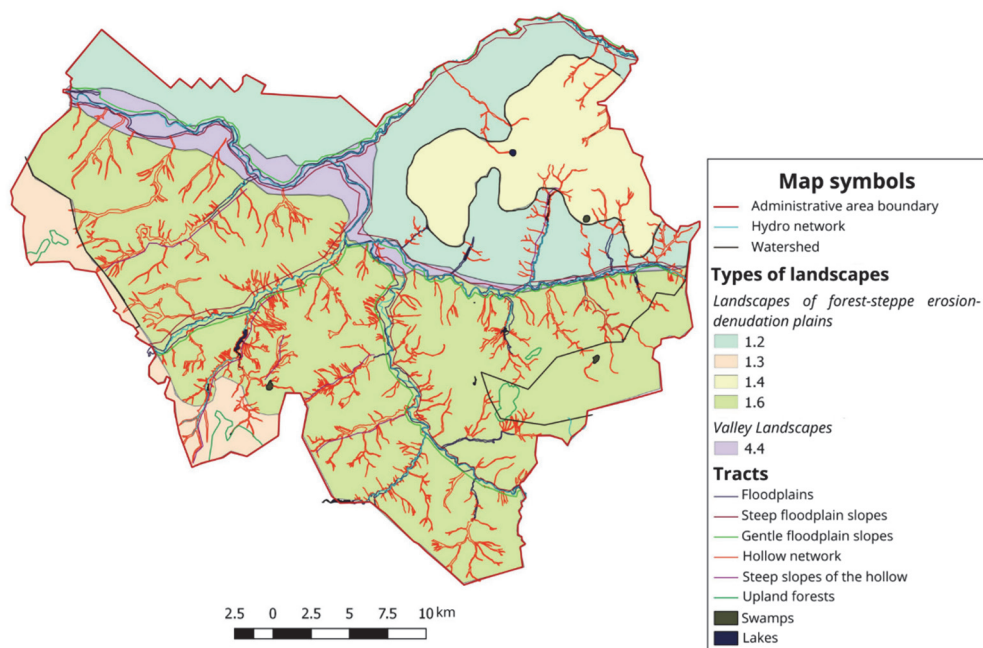


Figure 1. Scheme of the landscape structure of the Neverkinsky district

Особенности ландшафтной структуры определяются асимметрией склонов долины р. Кадады, что связано с разломом земной коры в осадочных породах палеогена, в котором заложено русло реки. В правобережье высокое плато Сурская Шишка бронируется от разрушения древними породами нижнего палеогена, на каменистых преимущественно супесчаных почвах сформировались ландшафты хвойно-широколиственных лесов. Левобережье сложено менее устойчивыми к разрушению песками и песчаниками верхнего палеогена, перекрытыми суглинками с плодородными черноземами, ныне распахан. Пересеченный рельеф и пестрота геологического строения обусловили высокое ландшафтное разнообразие, отраженное на схеме (рис. 1). Этим объясняются высокие эстетические свойства ландшафтов. Наибольшим экологическим потенциалом обладают геосистемы поймы р. Кадады (4,4) и водораздельные леса, которые рекомендованы к охране (1,3; 1,4) [3].

Анализ процесса хозяйственного освоения исследуемой территории позволил сделать вывод, что существенное антропогенное воздействие на ландшафты происходило в новейшее время [4; 5]. Современная структура использования земель показывает высокую степень освоенности (рис. 2). Сельхозугодиями занято 73,5 % всей площади административного района.

Сравнительно-географический анализ ландшафтной карты и карты использования земель позволил выделить районы, где природные системы имеют высокий потенциал к формированию здоровой среды обитания и восстановлению природных ресурсов, но используются под пашни. Это влечет деградацию природных ландшафтов и ухудшение экологической обстановки. Данные геосистемы следует включить в зоны экологического равновесия и ограничить хозяйственную деятельность. В зону экологического равновесия должны войти все пойменные ландшафты, геосистемы эрозийно-балочной сети, а также водораздельные леса. К основным зонам экологического равно-

весия мы отнесли следующие: 1 – Кададинская пойменная, 2 – Чибирлейская водораздельная лесная, 3 – Березовская водораздельная лесная, 4 – Кунчеровская водораздельная лесостепная, 5 – Дмитриевская водораздельная лесостепная (рис. 3). Долины средних рек отнесены к линейным элементам экологического каркаса, выполняющим роль экологических коридоров³.

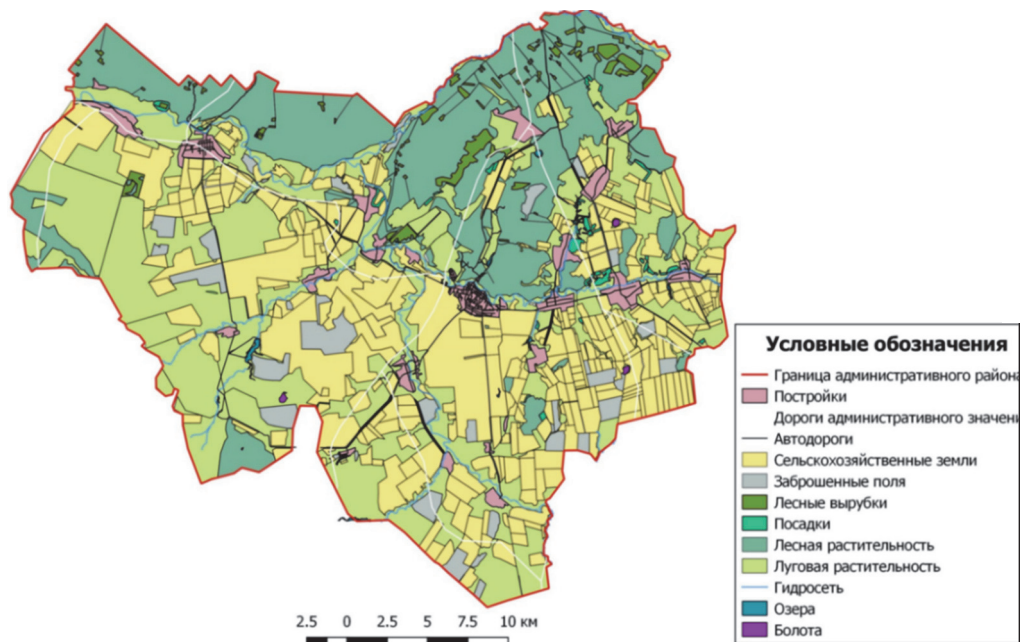


Рис. 2. Использование земель Неверкинского района

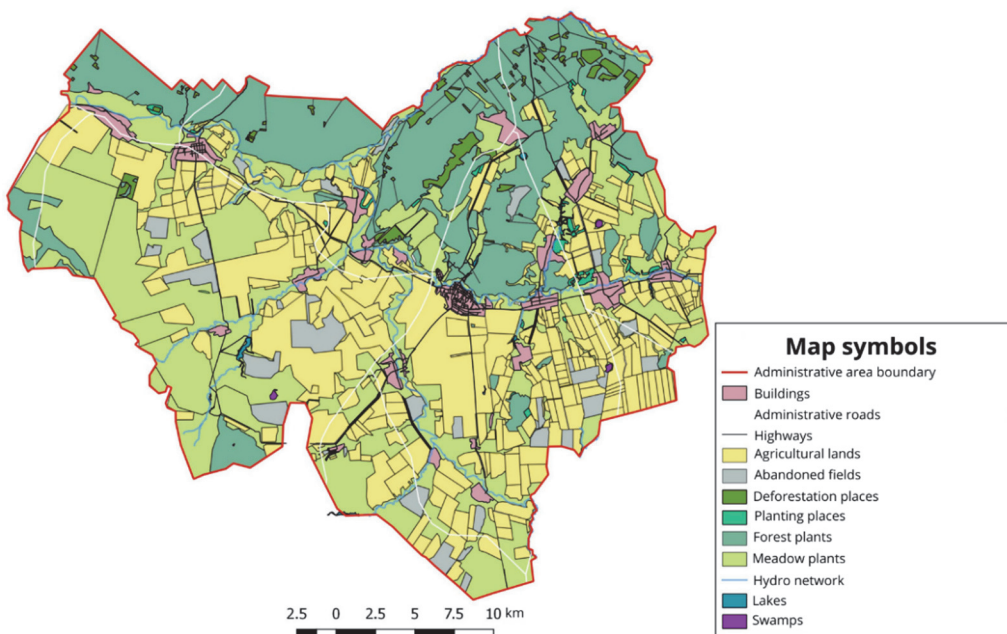


Figure 2. Use of land in the Neverkinsky district

³ Колбовский Е.Ю. *Ландшафтное планирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений*. М.: Академия, 2008. 336 с.



Рис. 3. Расположение элементов экологического каркаса и туристско-рекреационной системы в планировании культурного ландшафта

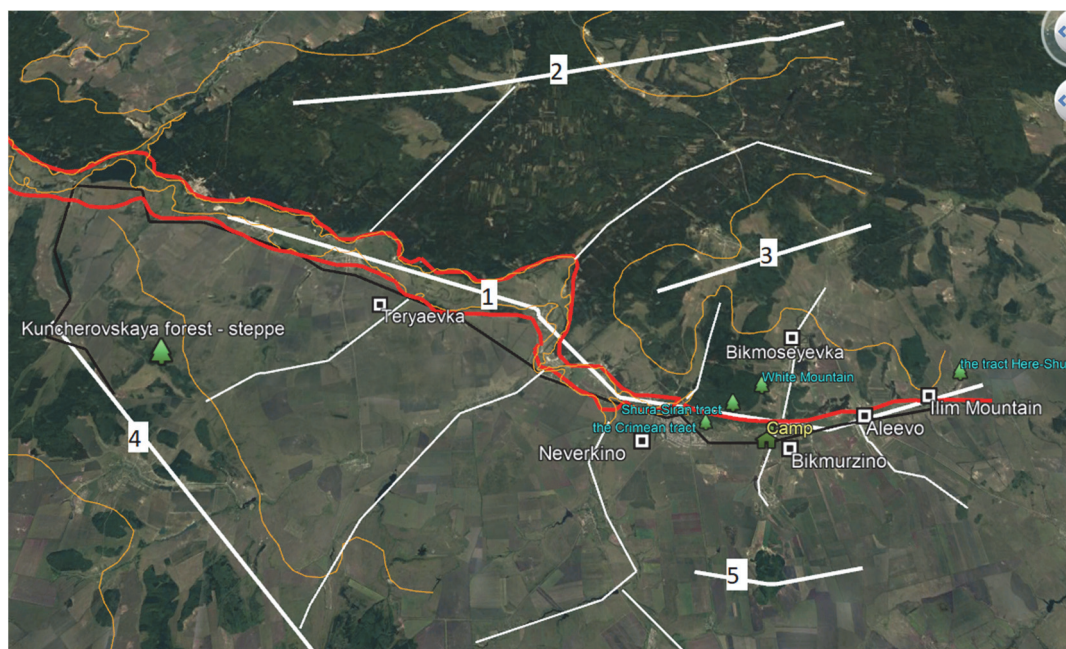


Figure 3. The location of the elements of the ecological framework and the tourist and recreational system in the planning of the cultural landscape

Комплексные исследования культурного ландшафта показали, что зона экологического равновесия долины р. Илим-Кадады (1) может использоваться как туристско-рекреационной зона и выполнять функции сохранения природно-культурного наследия. Изучение этнических особенностей и традиционной культуры жителей сел [6] позволило сделать вывод, что основными ядрами (функциональными центрами) этой зоны могут являться с. Неверкино, Бик-

мурзино, Алеево, Илим-Гора, Бикмосеевка и Теряевка (рис. 3). Село Неверкино является районным центром, здесь есть краеведческий музей, сельская картинная галерея, фольклорные коллективы (чувашский, мордовский, русский). Села Бикмурзино и Илим-Гора, жители которых бережно хранят наследие чувашской культуры, имеют свой фольклорный коллектив. В с. Алеево создан фольклорный татарский коллектив, на базе которого проводят традиционные мероприятия. Бикмосеевка – татарское село, расположенное в живописном урочище на склоне оврага, знаменито производством лимонада. Село Теряевка в настоящее время не имеет постоянных жителей, но может быть отнесено к объектам исторического наследия, так как в селе сохранились элементы старинной усадьбы конца XIX в. дворян Иконниковых.

В состав туристско-рекреационной зоны входят объекты природного наследия. Основными являются объекты, включенные в список региональных (урочище Шура-Сиран) и федеральных (Кунчеровская лесостепь) особо охраняемых природных территорий. Кроме этого, считаем необходимым включить в природное наследие урочища Тут-Шеи и Крым, которые обладают высоким биоразнообразием и отражают уникальные свойства природы Приволжской возвышенности. Возможная специализация планируемой туристско-рекреационной системы – экскурсионный туризм, самостоятельная рекреация.

Заключение

Важнейшей задачей краеустройства с целью устойчивого развития является сохранение природного, культурного и исторического наследия. Сельский ландшафт, сложившийся в результате гармоничного взаимодействия этнической культуры с природным окружением, можно рассматривать как исторический культурный ландшафт и объект наследия регионального уровня. Эффективным способом сохранения наследия при организации пространства является использование исторических культурных ландшафтов для развития туризма и рекреации. В основе проектирования культурного ландшафта для сохранения природно-культурного наследия лежит ландшафтное планирование. Экологический каркас сельской местности включает элементы дикой природы и исторические культурные ландшафты и может использоваться как туристско-рекреационная зона.

Список литературы

- [1] Колбовский Е.Ю. К проблеме ландшафтного краеустройства регионов // *Экология и жизнь*. 1998. № 3. С. 15–24.
- [2] Антипов А.Н. Ландшафтное планирование: принципы, методы, европейский и российский опыт. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2002. 141 с.
- [3] Ямашкин А.А., Артемова С.Н., Новикова Л.А., Леонова Н.А., Алексеева Н.С. Ландшафтная карта и пространственные закономерности природной дифференциации Пензенской области // *Проблемы региональной экологии*. 2011. № 1. С. 49–56.
- [4] Артемова С.Н., Иконников Д.С., Ломов С.П. Общая характеристика развития и динамики ландшафтов Верхнего Посурья и Примокшанья в голоцене // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. 2017. № 3 (19). С. 91–106. <http://doi.org/10.21685/2307-9150-2017-3-9>

- [5] Иконников Д.С., Артемова С.Н. Скотоводческо-земледельческая стадия хозяйственного освоения ландшафтов Пензенской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Гуманитарные науки. 2018. № 4 (48). С. 89–100. <http://doi.org/10.21685/2072-3024-2018-4-9>
- [6] Артемова С.Н., Асташкина А.С. Традиции народов Неверкинского района в культурном ландшафте Пензенской области // Региональные аспекты географических исследований и образования: сборник статей по материалам XVI Всероссийской научно-практической конференции. Пенза, 2021. С. 43–49.

References

- [1] Kolbovsky EYu. On the problem of landscape regional planning. *Ecology and Life*. 1998;(3):15–24. (In Russ.)
- [2] Antipov AN. *Landscape planning: principles, methods, European and Russian experience*. Irkutsk: Institute of Geography SB RAS Publ.; 2002. (In Russ.)
- [3] Yamashkin AA, Artemov SN, Novikova LA, Leonov NA, Alexeeva NS. Landscape map and spatial patterns of natural differentiation of the Penza Region. *Problems of Regional Ecology*. 2011;(1):49–56. (In Russ.)
- [4] Artemov SN, Ikonnikov DS, Lomov SP. General description of the development and dynamics of landscapes Upper Posure and Primocene in the Holocene. *News of Higher Educational Institutions. Volga Region. Natural Sciences*. 2017;(3(19)): 91–106. (In Russ.) <http://doi.org/10.21685/2307-9150-2017-3-9>
- [5] Ikonnikov DS, Artemova SN. Cattle-breeding and agricultural stage of economic development of landscapes of the Penza Region. *News of Higher Educational Institutions. Volga Region. Humanities*. 2018;(4(48)):89–100. (In Russ.) <http://doi.org/10.21685/2072-3024-2018-4-9>
- [6] Artemova SN, Astashkina AS. Traditions of the peoples of the Neverkinsky district in the cultural landscape of the Penza Region. *Regional Aspects of Geographical Research and Education: Collection of Articles based on the Materials of the 16th All-Russian Scientific and Practical Conference*. Penza; 2021 (In Russ.)

Сведения об авторе:

Артемова Серафима Николаевна, кандидат географических наук, доцент кафедры «География», Пензенский государственный университет, Российская Федерация, 440026, Пенза, ул. Красная, д. 40. ORCID: 0000-0002-0529-2132, eLIBRARY SPIN-код: 5522-3529. E-mail: art-serafima@yandex.ru

Bio note:

Serafima N. Artemova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Geography Department, Penza State University, 40 Krasnaya St, Penza, 440026, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0529-2132, eLIBRARY SPIN-code: 5522-3529. E-mail: art-serafima@yandex.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-1-86-91

УДК 504.064

Научное сообщение / Scientific report

Предварительные результаты оценки транспортной нагрузки на кампус РУДН и Юго-Западный лесопарк

М.М. Редина , А.П. Хаустов  *Российский университет дружбы народов, Москва, Россия*✉ khaustov-ap@rudn.ru

Аннотация. Приводятся предварительные оценки транспортного загрязнения территории кампуса РУДН (Москва) и прилегающего лесопарка. Эти объекты находятся в условиях интенсивного воздействия автотрасс. Нагрузка оценивается на основе данных системы экологического мониторинга, действующей с 2017 г., сведений учета транспортных средств на автодорогах, с применением удельных показателей выбросов (сложившийся опыт). Территория рассматривается как репрезентативный экспериментальный полигон для изучения и моделирования потоков различных видов и форм загрязнителей в системе «атмосфера – почвы – растения», а также потоков парниковых газов. Такое разнообразие и плотность информации позволяют достоверно выявлять зоны влияния транспортных потоков на территорию и моделировать миграцию загрязняющих веществ. В центре внимания – продукты износа шин, асфальта, в том числе выбросы двигателей: твердые частицы и полициклические ароматические углеводороды. Полученные результаты свидетельствуют о значительном уровне нагрузки и в целом соответствуют современным оценкам суммарных транспортных нагрузок в Москве.

Ключевые слова: мониторинг окружающей среды, Российский университет дружбы народов, РУДН, транспортная нагрузка, твердые частицы, полициклические ароматические углеводороды, ПАУ


История статьи: поступила в редакцию 18.01.2022; принята к публикации 30.01.2022.

Для цитирования: Редина М.М., Хаустов А.П. Предварительные результаты оценки транспортной нагрузки на кампус РУДН и Юго-Западный лесопарк // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 1. С. 86–91. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-86-91>

First results of assessment of transport pressure on the RUDN University campus and the South-West Forest Park

Margarita M. Redina , Aleksandr P. Khaustov  

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

 khaustov-ap@rudn.ru

Abstract. Preliminary results of the evaluation of transport pollution of the RUDN University campus (Moscow) and adjacent forest park are presented. These objects are under the conditions of intensive road and highway impact. The assessment of the load is carried out on the basis of data from the environmental monitoring system in operation since 2017, information from the accounting of vehicles on highways, using specific emission indicators (established experience). The territory is considered as a representative experimental ground for studying and modeling the flows of various types and forms of pollutants in the “atmosphere – soil – plants” system, as well as greenhouse gas flows. Such a variety and density of materials make it possible to reliably identify areas of influence of traffic flows on the territory and simulate the migration of pollutants. The focus is on tire wear products, asphalt, as well as engine emissions: solid particles and polycyclic aromatic hydrocarbons. The results obtained indicate a significant level of load and generally correspond to modern estimates of total transport loads in Moscow.

Keywords: environmental monitoring, Peoples' Friendship University of Russia, RUDN University, transport load, solid particles, polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs

Article history: received 18.01.2022; accepted 30.01.2022.

For citation: Redina MM, Khaustov AP. First results of assessment of transport pressure on the RUDN University campus and the South-West Forest Park. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(1):86–91. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-86-91>

Введение

Транспортная система города и автотранспортные средства (АТС) – признанные лидеры в загрязнении атмосферы крупных городов. Так, для Москвы их вклад составляет не менее 90 %¹. По данным начала 2022 г., средняя нагрузка автотранспорта на почвенный покров по выбросам вредных веществ от АТС составляет 1,2 кг/м² в год². Поскольку методика этих оценок не указана, требуется подтверждение результатов.

Среди основных компонентов выбросов – оксиды углерода, азота, серы, твердые частицы (ТЧ) различного размера и состава, нитрозамины, широкий спектр углеводородов (замещенных, незамещенных, алифатических, ароматических). Оценки массопотоков и геохимической активности поллютантов проводятся на основе инструментальных (непосредственные замеры на стендах, данные экологического мониторинга) или расчетных методов. В последнем случае применяются алгоритмы из официальных методик, а также опре-

¹ Экологическая карта районов Москвы. URL: <https://mwmoskva.ru/ekologicheskaya-karta-moskvy.html> (дата обращения: 10.12.2021).

² Там же.

деленные на основе сложившейся практики удельные показатели выбросов – в расчете на 1 км пробега АТС, на единицу площади автодороги, на единицу мощности двигателя и т. д. Безусловно, расчетные методы менее точны, являются укрупненными, ориентируются на типовые источники выбросов. Их преимущество – относительная дешевизна и быстрота расчета. Для определения точности таких оценок необходимо их сопоставление с экспериментальными данными. Настоящее сообщение демонстрирует результаты первого этапа исследований: расчет выбросов ТЧ и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) – одной из наиболее токсичных групп поллютантов. Их поступление в окружающую среду частично обусловлено транспортом на ТЧ за счет процессов адсорбции комплексообразования.

Материалы и методы

Объект исследования – территория кампуса РУДН и прилегающего Юго-Западного лесопарка в Юго-Западном округе Москвы. Площадь территории 114 га; она окружена автодорогами (Ленинский пр-кт, ул. Саморы Машелы, ул. Академика Опарина) и пересекается ул. Миклухо-Макляя. На основе натурных наблюдений (данные учета автомобилей весной 2019 г.) и данных камер дорожного движения суммарная годовая нагрузка составляет более 70 млн АТС/год на пяти участках: 1 – ул. Миклухо-Макляя (1000 м); 2 – Ленинский пр-кт (1000 м, северная часть до пересечения с ул. Миклухо-Макляя); 3 – Ленинский пр-кт (1180 м, южная часть, после пересечения с ул. Миклухо-Макляя); 4 – ул. Саморы Машела (430 м); 5 – ул. Академика Опарина (1100 м). В совокупности дорожная сеть протяженностью 4,7 км создает мощнейшую круглосуточную генерацию выбросов автоволнового характера [1].

Оценки выбросов ТЧ от истирания дорожного полотна, от истирания шин, от выбросов с отработанными газами и выделяющихся при торможении, а также оценки выбросов ПАУ получены с использованием удельных характеристик, приведенных в [2–5].

Результаты и обсуждение

В результате расчета поступления загрязняющих веществ от вышеперечисленных источников получены оценки, приведенные в таблице. ПАУ в результате транспортной активности поступают в окружающую среду как в газообразной форме (часть комплекса ПАУ – летучие вещества в составе выбросов отработанных газов), так и на ТЧ, что потребовало расчета их количества на первом этапе.

Таким образом, суммарная масса ТЧ, оцененная расчетными методами, составляет 320,66 т/год, а масса ПАУ – 216,3 кг/год. Эти оценки можно сопоставить с масштабами изучаемой территории: при отсутствии рассеивания примесей за счет атмосферного переноса за ее пределы на каждый квадратный метр территории могло бы оседать около 0,28 кг ТЧ и 0,19 г ПАУ ежегодно. Ориентируясь на приведенные данные для Москвы³, можно считать,

³ Экологическая карта районов Москвы. URL: <https://mwmoskva.ru/ekologicheskaya-karta-moskvy.html> (дата обращения: 10.12.2021).

что это около 23,33 и 0,0158 % от суммарных поступлений поллютантов в почвы соответственно, что в принципе реалистично. При этом подчеркнем: даже столь низкая доля ПАУ в реальности представляет значительную нагрузку за счет их высокой токсичности. Среди выбросов ПАУ преобладают газообразные вещества в составе отработанных газов двигателей внутреннего сгорания (53,6 %), а также ПАУ на частицах, поступающих от истирания дорожного полотна (42,9 %).

Предварительная оценка поступления ТЧ и ПАУ

Характеристика	Участки				
	1	2	3	4	5
Ширина дорожного полотна, м	14,5	35,0	35,0	8,5	8,5
Количество АТС/год	7 812 769	28 519 834	27 107 788	1 576 800	5 142 120
Выбросы ТЧ, т/год, в том числе:	33,57	122,54	137,32	2,94	24,29
– с отработанными газами	0,10	0,37	0,41	0,01	0,07
– от истирания шин	1,46	5,33	5,97	0,13	1,06
– при торможении	0,20	0,72	0,68	0,04	0,13
– от истирания дорожного полотна	31,8	116,13	130,25	2,76	23,03
Выбросы ПАУ	22,64	82,63	92,68	1,96	16,39

Preliminary evaluation of emission of particulate matter and PAHs

Characteristic	Road segments				
	1	2	3	4	5
Width of the roadway, m	14.5	35.0	35.0	8.5	8.5
Number of vehicles/year	7 812 769	28 519 834	27 107 788	1 576 800	5 142 120
PM emissions, t/year, including:	33.57	122.54	137.32	2.94	24.29
– with exhaust gases	0.10	0.37	0.41	0.01	0.07
– from tire abrasion	1.46	5.33	5.97	0.13	1.06
– at braking	0.20	0.72	0.68	0.04	0.13
– from abrasion of the roadway	31.8	116.13	130.25	2.76	23.03
PAHs emissions	22.64	82.63	92.68	1.96	16.39

Заключение

Полученные оценки свидетельствуют о весьма существенных уровнях загрязнения. Однако это укрупненные оценки; формируются ли такие уровни загрязнения в реальности, можно установить на основе экспериментальных данных. Система импактного экологического мониторинга [6–8] позволяет верифицировать расчетные оценки данными измерений накопления поллютантов (ТЧ) в снеге. Значительный вклад в загрязнение вносят ПАУ и другие поллютанты – липофильные химические соединения, сорбируемые ТЧ от истирания дорожного полотна. Этот источник поставляет в атмосферу максимальное количество ТЧ (94,8 %). Таким образом, даже при условии замены значительной доли АТС на электротранспорт, транспортная система города продолжит оставаться одним из наиболее заметных источников загрязнения атмосферы города.

Список литературы

- [1] Силаева П.Ю., Хаустов А.П. Транспортная нагрузка на кампус РУДН // Потаповские чтения – 2019: сб. материалов ежегодной Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Александра Дмитриевича Потапова. М.: Изд-во МИСИ – МГСУ, 2019. С. 142–147. URL: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> (дата обращения: 19.12.2021).
- [2] Азаров В.К., Гайсин С.В., Кутенёв В.Ф. Концепция разработки универсальной методики объективной оценки комплексной безопасности автомобиля по обеспечению безопасности водителя, пассажиров и пешеходов // Журнал автомобильных инженеров. 2017. № 1 (102). С. 44–48.
- [3] Кутенев В.Ф., Степанов В.В., Азаров В.К. О реальном выбросе твердых частиц автомобильным транспортом // Журнал автомобильных инженеров. 2013. № 4 (81). С. 45–47.
- [4] Ho K.F., Ho S.S.H., Lee S.C., Cheng Y., Chow J.C., Watson J.G., Louie P.K.K., Tian L. Emissions of gas- and particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Shing Mun Tunnel, Hong Kong // *Atmospheric Environment*. 2009. Vol. 43. No 40. Pp. 6343–6351. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.09.025>
- [5] Knecht U., Elliehausen H.J., Judas W., Woitowitz H.J. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in abraded particles of brake and clutch linings // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 1987. Vol. 28. No 3. Pp. 227–236. <http://doi.org/10.1080/03067318708081864>
- [6] Боева Д.В., Хаустов А.П. Оценка влияния автотранспорта на территорию кампуса Российского университета дружбы народов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26. № 4. С. 419–430. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2018-26-4-419-430>
- [7] Хаустов А.П., Редина М.М., Алейникова А.М., Мамаджанов Р.Х., Силаева П.Ю. Проект экологического мониторинга кампуса Российского университета дружбы народов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 4. С. 562–584. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2017-25-4-562-584>
- [8] Khaustov A.P., Kenzhin Zh.D., Redina M.M., Aleinikova A.M. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil – plant system as affected by motor vehicles in urban environment // *Eurasian Soil Science*. 2021. Vol. 54. No. 7. Pp. 1107–1118. <http://doi.org/10.1134/S1064229321070061>

References

- [1] Silaeva P.Yu, Khaustov A.P. Transport load on the PFUR campus. *Potapov Readings – 2019: Materials of the Annual All-Russian Scientific and Practical Conference Dedicated to the Memory of Doctor of Technical Sciences, Professor A.D. Potapov*. Moscow: MISI – MGSU Publ.; 2019. p. 142–147. (In Russ.) Available from: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa> (accessed: 19.12.2021).
- [2] Azarov VK, Gaisin SV, Kutenev VF. The concept of developing a universal methodology for an objective assessment of the integrated safety of a car to ensure the safety of a driver, passengers, and pedestrians. *Automotive Engineers Journal*. 2017;(1(102)):44–48. (In Russ.)
- [3] Kutenev VF, Stepanov VV, Azarov VK. On the real emission of solid particles by road transport. *Automotive Engineers Journal*. 2013;(4(81)):45–47. (In Russ.)
- [4] Ho KF, Ho SSH, Lee SC, Cheng Y, Chow JC, Watson JG, Louie PKK, Tian L. Emissions of gas- and particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the

- Shing Mun Tunnel, Hong Kong. *Atmospheric Environment*. 2009;43(40):6343–6351. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.09.025>
- [5] Knecht U, Elliehausen HJ, Judas W, Woitowitz HJ. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in abraded particles of brake and clutch linings. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 1987;28(3):227–236. <http://doi.org/10.1080/03067318708081864>
- [6] Boeva DV, Khaustov AP. Assessing the impact of vehicles on the campus of the Peoples' Friendship University of Russia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2018;26(4):419–430. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2018-26-4-419-430>
- [7] Khaustov AP, Redina MM, Aleinikova AM, Mamajanov RKh, Silaeva PYu. The project of environmental monitoring of the campus of the Peoples' Friendship University of Russia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2017;25(4):562–584. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2017-25-4-562-584>
- [8] Khaustov AP, Kenzhin ZhD, Redina MM, Aleinikova AM. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil – plant system as affected by motor vehicles in urban environment. *Eurasian Soil Science*. 2021;54(7):1107–1118. <http://doi.org/10.1134/S1064229321070061>

Сведения об авторах:

Редина Маргарита Михайловна, доктор экономических наук, доцент, профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-3169-0142; eLIBRARY SPIN-код: 2496-8157. E-mail: redina-mm@rudn.ru

Хаустов Александр Петрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ведущий специалист Института экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-5338-3960; eLIBRARY SPIN-код: 7358-5798. E-mail: khaustov-ap@rudn.ru

Bio notes:

Margarita M. Redina, Dr.Sc. (Econ.), Associate Professor, Professor of the Department of Environmental Security and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-3169-0142; eLIBRARY SPIN-code: 2496-8157. E-mail: redina-mm@rudn.ru


Aleksandr P. Khaustov, Dr.Sc. (Geol.), Professor, chief specialist, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-5338-3960; eLIBRARY SPIN-code: 7358-5798. E-mail: khaustov-ap@rudn.ru

DOI 10.22363/2313-2310-2022-30-1-92-99

UDC 608:574.64

Research article / Научная статья

Methodological aspects of a new method for determining the mass of oil in bottom sediments of water bodies

Vladislava V. Perminova  , Danil S. Vorobiev , Yulia A. Frank *National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia* vladaperm18@yandex.ru

Abstract. A method is proposed for determining the mass of oil pollution per unit area of bottom sediments of water bodies, which makes it possible to associate pollution not only with the concentration of pollutants, but also with the area of the reservoir. The approach relates to the field of environmental protection, in particular to the analytical control of the content of oil pollution in mineral, organogenic and mixed bottom sediments. It can be used for environmental monitoring of polluted water bodies, for assessing the damage caused to a water body, and for planning treatment works. The method for determining the mass of oil pollution per unit area of bottom sediments of water bodies includes sampling, drying the sample to an air-dry state, extraction of oil products from bottom sediments, chromatographic separation of oil products from associated organic compounds of other classes, quantitative determination of oil products by absorption intensity in the infrared spectrum. A survey of 88 oil-contaminated reservoirs within the Samotlor oil field in the north of Russia was carried out, in which the proposed method was tested.


Keywords: oil products, bottom sediments, water body

Acknowledgements and Funding. The reported study was funded by RFBR, project No. 20-34-90076.

Article history: received 26.07.2021; accepted 10.12.2021.

For citation: Perminova VV, Vorobiev DS, Frank YuA. Methodological aspects of a new method for determining the mass of oil in bottom sediments of water bodies. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(1):92–99. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-92-99>

Методологические аспекты нового метода определения массы нефти в донных отложениях водных объектов

В.В. Перминова  , Д.С. Воробьев , Ю.А. Франк *Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия* vladaperm18@yandex.ru

Аннотация. Предложен способ определения массы нефтезагрязнений на единицу площади донных отложений водных объектов, позволяющий ассоциировать загрязненность не только с концентрацией загрязняющих веществ, но и с площадью водоема.

Способ относится к области охраны окружающей среды, в частности к аналитическому контролю содержания нефтяных загрязнений в минеральных, органогенных и смешанных донных отложениях. Он может быть использован для экологического мониторинга загрязненных водоемов, оценки ущерба, нанесенного водному объекту, и планирования очистных работ. Способ определения массы нефтяного загрязнения на единицу площади донных отложений водоемов включает отбор проб, высушивание пробы до воздушно-сухого состояния, извлечение нефтепродуктов из донных отложений, хроматографическое отделение нефтепродуктов от сопутствующих органических соединений других классов, количественное определение нефтепродуктов по интенсивности поглощения в инфракрасной области спектра. Проведено обследование 88 нефтезагрязненных водоемов в пределах Самотлорского нефтяного месторождения на севере России, в рамках которого предложенный способ апробирован.

Ключевые слова: нефтепродукты, донные отложения, водный объект

Благодарности и финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-90076.

История статьи: поступила в редакцию 26.07.2021; принята к публикации 10.12.2021.

Для цитирования: *Perminova V.V., Vorobiev D.S., Frank Yu.A.* Methodological aspects of a new method for determining the mass of oil in bottom sediments of water bodies // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 1. С. 92–99. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-1-92-99>

Introduction

Assessment of the ecological state of oil-polluted water bodies is a key factor in the development of measures for their cleaning and regeneration of biodiversity. The state of water bodies during long or accidental inflow of oil hydrocarbons is largely determined by the level of pollution of bottom sediments [1]. It is in the bottom sediments where the accumulation of oil by organic matter occurs, and when the bottom sediments stir up under mechanical impact (wind impact, removal of bottom sediments), the process of “secondary pollution” of the water phase is triggered [2]. In bottom sediments, oil hydrocarbons undergo biochemical degradation, which ensures natural restoration of the reservoir. However, in small, relatively stable lakes in oil-producing regions of the Russian Federation, in conditions of low temperatures, lack of oxygen and photo-oxidation, the degradation of oil and oil products occurs extremely slowly, and water bodies completely lose their fishery and recreational importance.

Despite the fact that oil-polluted bottom sediments have an uncertain legal status in Russian environmental legislation [3], the importance of taking into account their state is reflected in the methodological guidelines of the Ministry of Natural Resources of Russia, according to which environmental monitoring of bottom sediments of water bodies on land is an integral part of the general environmental monitoring of water bodies intended for their study and protection.¹

¹ Act of Ministries and Departments “Guidelines for the Implementation of State Monitoring of Water Bodies in Terms of Organizing and Conducting Observations of the Content of Pollutants in the Bottom Sediments of Water Bodies” dated 24.02.2014 No. 112. *Bulletin of normative acts of federal executive bodies*. 29.09.2014. No. 39. (In Russ.)

It is known that objective control of oil pollution can be carried out only if there is an experimentally substantiated hygienic standard for oil hydrocarbons in the form of their maximum permissible concentration. The problem of the maximum permissible concentration for the content of oil products for bottom sediments is urgent. Often, researchers use maximum permissible concentrations approved for soils to work with bottom sediments of water bodies. These decisions, on the one hand, are forced, since the absolute majority of the Russian Federation regions do not have regional standards regulating the content of oil and oil products in the bottom sediments of water bodies. On the other hand, they remain a topic for discussion, since soils and bottom sediments have different genesis and differ in physical and chemical parameters. Standards for bottom sediments of water bodies are in force in St. Petersburg, the Nenets and Khanty-Mansiisk Autonomous Districts, active participation in the development of such standards is carried out by individual scientific groups, for example, in the Republic of Tatarstan [4].

The main regulatory document which is used to calculate damage to a water body is the methodology for calculating the amount of damage caused to water bodies as a result of violation of water legislation, introduced by the Order of the Minprirody of Russia. The methodology also reflects the need to take into account bottom oil pollution, however, it does not regulate the process of determining oil at the bottom of a water body, while explaining in sufficient detail the assessment of the pollution of the surface of a reservoir by an oil slick. Currently, when assessing oil pollution of bottom sediments of water bodies, only the concentration of oil or oil products in the composition of sediments is used, which is estimated in grams of oil (oil products) per kilogram of air-dry state of bottom sediments (g/kg, mg/kg, etc.). Chemical analysis of samples for the carbon content of oil is a reliable method, but methodically insufficient for assessing the pollution of bottom sediments of reservoirs with oil, expressed in absolute mass in a water body. With the initial data in the form of pollution concentration, it is impossible to estimate the volumes of oil that are at the bottom of the water body, which makes the engineering cleaning affairs more difficult and distorts data on the amount of damage caused.

In the Russian Federation, there are several regional standards related to bottom sediments: the standard for the city of St. Petersburg, which is based on the standards and criteria proposed by the Dutch Environmental Protection Agency;² governmental decree of Khanty-Mansiisk Autonomous District – Yugra; the standard for the permissible residual content of petroleum hydrocarbons in bottom sediments of water bodies of the Nenets Autonomous District; governmental decree of Khanty-Mansiisk Autonomous District – Yugra (2018). The last one, from January 1, 2022, enters the standard of permissible residual content of oil and oil products in bottom sediments.

All the unsolved problems in the field of ecological regulation of bottom sediments of surface water bodies gives rise to the search for new approaches in assessing the ecological state of oil-polluted water bodies. The purpose of this study was to develop a new method for determining the mass of oil at the bottom of the reservoir, expressed in the amount of pollution per unit area of bottom sediments.

² Regional Standard. Norms and criteria for assessing the pollution of bottom sediments in water bodies of Saint Petersburg. Saint Petersburg; 1996. (In Russ.)

Materials and methods

The methods for determining oil products in bottom sediments, in a generalized form, include the following mandatory steps: sampling bottom sediments, drying the sample to an air-dry state, extracting oil products and determining the concentration of pollutants. As a rule, sampling is regulated and should be carried out by a sampling device. Bottom sediment samples are characterized by the presence of a certain sampling area. As we know, compulsory accounting of the sampling area is used in hydrobiological research to determine the quantitative indicators of food organisms per unit area. Similarly, our proposed method³ includes: 1) fixing the sampling area; 2) weighing the entire sample after the drying step.

After determining the content of the mass concentration of oil pollution in the analyzed sample of bottom sediments, C_f , g/kg, this indicator is compared with the established regional background value for this type of bottom sediments, or with the standard for the permissible residual content of oil and oil products in bottom sediments C_f , g/kg. If the value of $C_x > C_f$, then anthropogenic pollutants are most likely present in the bottom sediments, and then the oil content C_0 , g, in the entire sample of bottom sediments is calculated using following formula:

$$C_s = C_0 / S_n = Mn(C_x C_f) / (1000 S_n),$$

Mn – the mass of the entire sediment sample at point n , g; C_0 – the mass of petroleum products in the entire sediment sample from point n , g; S_n – the area of seizure of the bottom sediment instrument when sampling, m^2 ; C – the mass concentration of petroleum products measured by the instrument, g/kg; C_f – the fuel mass concentration of the specified regional background values for this type of bottom sediment or the allowable residue of the sediment in sediment, g/kg.

Table 1

Calculation of the oil mass per 1 m^2 organogenic bottom sediments

Subject of measurement	Measure	Calculation
The area of the sampled bottom sediments	m^2	0.025
Weight of the whole sample in air-dry state	g	478.0
The concentration of oil in bottom sediments	g/kg	38.5
Regional standard for organogenic bottom sediments ⁴	g/kg	4.0
Oil mass in the selected sample of known weight with a specific area	g	$16.491 = (38.5 - 4.0)478 / 1000$
Oil mass per 1 m^2	g/m^2	$659.64 = 16.491 / 0.025$

We conducted a survey of 88 oil-contaminated water bodies within the Samotlor oil field, North Russia. For selection sediment samples used corer Petersen capture area $1/80 m^2$ and sampler for peat deposits P 04.09 (EIJKELKAMP, Netherlands) with a sample volume of 0.5 liters. To determine the type of bottom sediments was analysed organic matter content gravimetrically. The total oil content was determined by infrared spectrophotometry. Application example is listed in Table 1.

³ Vorobev DS, Perminova VV, Pokrovskii OS. *Method for determining the mass of oil pollution per unit area of bottom sediments of water bodies*. Patent RU2711119. Application No 2019113925; date of filing: 08.05.2019; date of publication: 15.01.2020. Bull. No 2. (In Russ.)

⁴ Decree of the Government of Khanty-Mansiisk Autonomous District – Yugra No 432-p of November 2018. (In Russ.) Available from: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/8600201811300004> (accessed: 20.08.2021).

Results

A surface water body – an unnamed lake on the territory of the Nizhnevartovsk region of the Khanty-Mansiisk Autonomous District – Yugra, with an area of 15.4583 hectares – was examined.

According to the terms of reference, the survey of the reservoir was carried out at 8 stations and 8 samples of bottom sediments were taken to determine the content of oil products. The depths at the survey points varied from 1.5 to 3.5 m. The average depth was 2.0 m. Samples were taken with a Petersen bottom grab, with a capture area of $1/80 \text{ m}^2$. Each sample consisted of two bottom grabs, which corresponded to the sampling area (Sn) $2 / 80 \text{ m}^2 = 0.025 \text{ m}^2$. The average content of oil products in the lake was $6.6901 \pm 1.1058 \text{ g/kg}$. All bottom sediments were represented by peat of varying degrees of decomposition, with a “loss on ignition” (LOI) of 71.4–91.6%. The calculations are presented in Table 2.

Table 2

Calculation of the mass of oil in the bottom sediments of an unnamed lake

Substances, units of measurement		Sampling points for bottom sediments							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	$Sn, \text{ m}^2$	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
2	$Mn, \text{ g}$	56.69	20.69	67.68	32.56	34.93	38.63	40.7	21.61
3	$Cx, \text{ g/kg}$	5.568	5.570	12.056	3.828	7.311	2.129	9.245	7.814
4	$Cf, \text{ g/kg}$	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
5	$C0, \text{ g}$	0.089	0.032	0.545	0	0.116	0	0.213	0.082
6	$Cs, \text{ g/m}^2$	3.556	1.299	21.809	0	4.626	0	8.539	3.297
7	$Cs, \text{ t/ha}$	0.0356	0.013	0.2181	0	0.0463	0	0.0854	0.033

The arithmetic mean value of the excess Cs oil content in the lake was $5.3908 \pm 2.5448 \text{ g/m}^2$ ($0.0539 \pm 0.0254 \text{ t/ha}$). When multiplying this indicator by the area of the lake (15.4583 ha), we obtain the mass of oil at the bottom of the reservoir – 0.8332 ton.

Discussion

The proposed method makes it possible to calculate the amount of oil products at the bottom of the reservoir. A particularly important step in the application of the method is weighing each sample of bottom sediments in a complete sampled volume, after the stage of drying to the possibility to determine the concentration of petroleum hydrocarbons (and not just taking a sample for chemical analysis). There is experience of conducting the survey and cleaning the Lake Shchuchye located beyond the Arctic Circle in the Komi Republic from oil, in 2004–2006 [5]. During conducting the work, the weighing of each sample of bottom sediments in an air-dry state was not carried out, which does not allow the calculations to be carried out using the proposed method.

The data that an unnamed lake (Nizhnevartovsk district of the Khanty-Mansiisk Autonomous District – Yugra), with an area of 15.45 ha, contains 0.83 t of oil, allow us to classify the reservoir according to the degree of pollution, and also take this important information into account when engineering cleaning affairs. The next step is to adapt the information on the mass content of oil in bot-

tom sediments into the systems for classifying water bodies by the degree of pollution by oil and oil products. So, generally accepted in world practice, as well as successfully applied in Russia are “Dutch sheets,” according to which there are 4 regulatory levels [6], depending on the concentration of pollutants, and not on the amount (weight) of pollution. The Order of the Minprirody of Russia “On Approval of Instructions for Determining the Lower Level of an Oil and Oil Product Spill for Classifying an Accidental Spill as Emergency Situations” is in force, which regulates the values of the lower level of an oil and oil product spill for classifying an accidental spill as an emergency. For surface water bodies (except for swamps), the indicator for light oil products is from 0.5 to 1 t, for heavy oil products from 1 to 1.5 t, depending on the category of water bodies, the water area is not less than 1 hectare. The methodology approved by order⁵ makes it possible to assess the situation by the total oil content in the reservoir, measured in tons without reference to background concentrations. The force of the order is relevant for emergency situations, but most water bodies with oil-polluted sediments are characterized by chronic pollution, positioned as a ‘historical heritage’ [7]. The results obtained by the proposed method must be synchronized with the existing classifications of bottom sediment contamination, which will significantly expand the approaches to assessing the ecological state of water bodies polluted with oil and oil products.

Conclusion

The proposed method for determining the mass of oil pollution per unit area of bottom sediments of water bodies makes it possible to carry out calculations necessary not only to assess the degree of pollution of the bottom of a water body, but also to determine the amount of damage caused to a water body. The method has commercial potential; therefore, it is patented, that also confirms its modernity and originality.⁶ This algorithm is convenient to use when developing projects of technical documentation for the cleaning of water bodies from oil and oil products. With the development of methods for cleaning bottom sediments of water bodies, more attention will be paid to the aspects of rationing the content of these pollutants.

References

- [1] Galiulin RV, Bashkin VN, Galiulina RA. Hygienic regulation of hydrocarbons in bottom sediments of aquatic ecosystems. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2014; 84(5):426–429. (In Russ.)
- [2] Panicheva LP, Kremleva TA, Volkova SS. Accumulation of oil products by bottom sediments in background water bodies of Western Siberia. *Tyumen State University Herald*. 2013;(12):204–211. (In Russ.)

⁵ Vorobev DS, Perminova VV, Pokrovskii OS. *Method for determining the mass of oil pollution per unit area of bottom sediments of water bodies*. Patent RU2711119. Application No 2019113925; date of filing: 08.05.2019; date of publication: 15.01.2020. Bull. No 2. (In Russ.)

⁶ Ibid.

- [3] Agakhanyants PF, Agranova YuS. Assessment of the state of bottom sediments in order to make a decision on environmental dredging in the Russian Federation. *Zdorov'e – Osnova Chelovecheskogo Potentsiala: Problemy i Puti Ikh Resheniya*. 2018;13(2):744–753. (In Russ.)
- [4] Stepanova NYu, Latypova VZ, Anokhina OK. Environmental regulation of the content of pollutants in bottom sediments. *Metody Ekologicheskikh Issledovaniy*. 2007;(4):42–49. (In Russ.)
- [5] Lushnikov SV, Vorobev DS. Cleaning bottom sediments from oil (experimental results). *Ekologiya i Promyshlennost' Rossii*. 2006;(10):11–13. (In Russ.)
- [6] Stepanova NYu. Review of existing approaches to standardization of bottom sediment quality. *Biology Bulletin Reviews*. 2014;134(6):605–613. (In Russ.)
- [7] Frank YuA, Lushnikov SV, Vorobev DS, Mongolina TA, Lukyantseva LV, Noskov YuA. On the need for an integrated approach to the survey of oil-contaminated water bodies for making managerial and technological decisions on their cleaning. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*, 2009;(3):64–71. (In Russ.)

Список литературы

- [1] Галиулин Р.В., Башкин В.Н., Галиулина Р.А. Гигиеническое нормирование углеводородов в донных отложениях водных экосистем // Вестник Российской академии наук. 2014. Т. 84. № 5. С. 426–429.
- [2] Паничева Л.П., Кремлева Т.А., Волкова С.С. Аккумуляция нефтепродуктов донными отложениями в фоновых водоемах Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. 2013. № 12. С. 204–211.
- [3] Агаханянц П.Ф., Агранова Ю.С. Оценка состояния донных отложений в целях принятия решения о природоохранном дноуглублении в Российской Федерации // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2018. Т. 13. № 2. С. 744–753.
- [4] Степанова Н.Ю., Латыпова В.З., Анохина О.К. Экологическое нормирование содержания загрязняющих веществ в донных отложениях // Методы экологических исследований. 2007. № 4. С. 42–49.
- [5] Лушников С.В., Воробьев Д.С. Очистка донных отложений от нефти (результаты экспериментальных работ) // Экология и промышленность России. 2006. № 10. С. 11–13.
- [6] Степанова Н.Ю. Обзор существующих подходов к нормированию качества донных отложений // Успехи современной биологии. 2014. Т. 134. № 6. С. 605–613.
- [7] Франк Ю.А., Лушников С.В., Воробьев Д.С., Монголина Т.А., Лукьянцева Л.В., Носков Ю.А. О необходимости комплексного подхода к обследованию нефтезагрязненных водных объектов для принятия управленческих и технологических решений по их очистке // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2009. № 3. С. 64–71.

Bio notes:

Vladislava V. Perminova, postgraduate student, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Biological Institute, National Research Tomsk State University, 36 Lenin Prospekt, Tomsk, 634050, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-5991-9455. E-mail: vladaperm18@yandex.ru

Danil S. Vorobiev, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Biological Institute, National Research Tomsk State University, 36 Lenin Prospekt, Tomsk, 634050, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4397-4406, eLIBRARY SPIN-code: 2837-9800. E-mail: danilvorobiev@yandex.ru

Yulia A. Frank, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Biological Institute, National Research Tomsk State University, 36 Lenin Prospekt, Tomsk, 634050, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6347-4009. E-mail: yulia.a.frank@gmail.com

Сведения об авторах:

Перминова Владислава Владимировна, аспирант кафедры ихтиологии и гидробиологии, Биологический институт, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Российская Федерация, 634050, Томск, пр-кт Ленина, д. 36. ORCID: 0000-0002-5991-9455. E-mail: vladaperm18@yandex.ru

Воробьев Данил Сергеевич, доктор биологических наук, доцент, Биологический институт, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Российская Федерация, 634050, Томск, пр-кт Ленина, д. 36. ORCID: 0000-0003-4397-4406, eLIBRARY SPIN-код: 2837-9800. E-mail: danilvorobiev@yandex.ru

Франк Юлия Александровна, кандидат биологических наук, доцент, Биологический институт, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Российская Федерация, 634050, Томск, пр-кт Ленина, д. 36. ORCID: 0000-0001-6347-4009. E-mail: yulia.a.frank@gmail.com