ISSN 2079-7877

Географический вестник
= Geographical bulletin

Выпуск 2/2026

Научный рецензируемый журнал

Основан в 2005 году. Выходит 4 раза в год

Geographical Bulletin

Issue 2/2026

Scientific Journal

Founded in 2005. Published 4 times a year

УЧРЕДИТЕЛЬ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (ПГНИУ)

FOUNDER
Perm State University

1.6.12. Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (географические науки)
1.6.13. Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география (географические науки)
1.6.16. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия (географические науки)
1.6.18. Науки об атмосфере и климате (географические науки)
1.6.20. Геоинформатика, картография (географические науки)
1.6.21. Геоэкология (географические науки)

Издание включено в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

Environmental Science:
Environmental Science (miscellaneous)
Nature and Landscape Conservation
Water Science and Technology
Atmospheric Science
Ecological Modeling
Ecology

Social Sciences:
Geography, Planning and Development
Tourism, Leisure and Hospitality Management

Included in the list of peer-reviewed scientific publications of the Higher Attestation Commission (VAK) of the Russian Federation, where major scientific results of doctor's and candidate's dissertations are to be published

Главный редактор
Зырянов Александр Иванович, д.г.н., профессор, заведующий кафедрой туризма ПГНИУ

Editor-in-Chief
Aleksandr I. Zyrianov, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Tourism, Perm State University

Адрес учредителя и издателя:
614068, Пермский край, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Адрес редакции:
614068, Пермский край, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15,
Географический факультет
Тел. +7(342)239-66-01, 7(342)239-64-41
E-mail: geo_vestnik@psu.ru
Сайт: http://press.psu.ru/index.php/geogr/index

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свид. о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-66784 от 08.08.2016 г.

Address of the founder and publisher:
15, Bukireva st., Perm, Russia, 614068

Address of the editorial board:
15, Bukireva st., Perm, Russia, 614068,
The Faculty of Geography
Tel. +7(342)239-66-01, +7(342)239-64-41
E-mail: geo_vestnik@psu.ru
Web-site: http://press.psu.ru/index.php/geogr/index

The journal was registered in the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media (Roskomnadzor).
The mass media registration certificate PI № FS77-66784 dd. August 08, 2016.

© Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2026

© Perm State University, 2026

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Зырянов Александр Иванович, д.г.н., проф., заведующий кафедрой туризма географического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета (Пермь, Россия)

Анимица Евгений Георгиевич, д.г.н., проф., профессор кафедры региональной, муниципальной экономики и управления Уральского государственного экономического университета (Екатеринбург, Россия)

Добролюбов Сергей Анатольевич, д.г.н., проф., академик РАН, декан географического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (Москва, Россия)

Дружинин Александр Георгиевич, д.г.н., проф. Южного федерального университета (Ростов-на-Дону, Россия)

Дьяконов Кирилл Николаевич, д.г.н., проф. кафедры физической географии и ландшафтоведения Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, член-корреспондент РАН (Москва, Россия)

Ембуу Батчулуун, д.г.н., проф. кафедры географии Школы математики и естественных наук Монгольского национального университета образования (Улан-Батор, Монголия)

Коноплев Алексей Владимирович, д.б.н., проф., заместитель директора института радиоактивности окружающей среды Фукусимского университета (Фукусима, Япония)

Мазбаев Орденбек Блисбекович, д.г.н., проф., профессор кафедры туризма Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, независимый директор АО «Институт географии и водной безопасности» (Астана, Республика Казахстан)

Мухаббатов Холназар Мухаббатович, д.г.н., проф., профессор Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни (Душанбе, Таджикистан)

Нефёдова Татьяна Григорьевна, д.г.н., ведущий научный сотрудник отдела социально-экономической географии Института географии РАН (Москва, Россия)

Чалов Роман Сергеевич, д.г.н., проф. кафедры гидрологии суши Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (Москва, Россия)

EDITORIAL COUNCIL

Aleksandr I. Zyrianov, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Tourism of the Geographical Faculty of the Perm State University (PSU) (Perm, Russia)

Evgeny G. Animitsa, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Regional, Municipal Economics and Governance, Ural State University of Economics (Ekaterinburg, Russia)

Sergey A. Dobrolyubov, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Academician of the RAS, Dean of the Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Alexander G. Druzhinin, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russia)

Kirill N. Diakonov, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Physical Geography and Landscape Studies of the Lomonosov Moscow State University, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Batchuluun Yembuu, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Department of Geography School of Mathematics and Natural Sciences Mongolian National University of Education (Ulaanbaatar, Mongolia)

Aleksei V. Konoplev, Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice Director of the Institute of Environmental Radioactivity of Fukushima University (Fukushima, Japan)

Mazbayev Ordenbek Blisbekovich, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Tourism of the L. N. Gumilyov Eurasian National University, Independent Director of the JSC ‘Institute of Geography and Water Security’ (Astana, Republic of Kazakhstan)

Kholnazar M. Mukhabatov, Doctor of Geographical Sciences, Professor Tajik State Pedagogical University named after Sadriddin Aini (Dushanbe, Republic of Tajikistan)

Tatyana G. Nefedova, Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher of the Department of Socio-Economic Geography of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Roman S. Chalov, Doctor of Geographical Sciences, Professor, of the Department of Land Hydrology of the Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Бармин Александр Николаевич, д.г.н., проф., декан геолого-географического факультета Астраханского государственного университета (Астрахань, Россия)

Бузмаков Сергей Алексеевич, д.г.н., проф., заведующий кафедрой биогеоценологии и охраны природы ПГНИУ (Пермь, Россия)

Кадебская Ольга Ивановна, д.г.н., Кунгурская лаборатория-стационар Горного института УрО РАН Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН (Пермь, Россия)

Калинин Николай Александрович, д.г.н., проф., заведующий кафедрой метеорологии и охраны атмосферы ПГНИУ (Пермь, Россия)

Лепихин Анатолий Павлович, д.г.н., проф., заведующий лаборатории проблем гидрологии суши Горного института УрО РАН; профессор кафедры картографии и геоинформатики ПГНИУ (Пермь, Россия)

Назаров Николай Николаевич, д.г.н., проф., ведущий научный сотрудник Лаборатории палеогеографии и геоморфологии Тихоокеанского института географии ДВО РАН (Владивосток, Россия)

Переведенцев Юрий Петрович, д.г.н., проф. Казанского (Приволжского) федерального университета (Казань, Россия)

Погорелов Анатолий Валерьевич, д.г.н., проф., заведующий кафедрой геоинформатики Кубанского государственного университета (Краснодар, Россия)

Пьянков Сергей Васильевич, д.г.н., проф., заведующий кафедрой картографии и геоинформатики ПГНИУ (Пермь, Россия)

Чернов Алексей Владимирович, д.г.н., ведущий научный сотрудник, доцент НИЛ эрозии почв и русловых процессов Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (Москва, Россия)

Шихов Андрей Николаевич, д.г.н., профессор кафедры картографии и геоинформатики ПГНИУ (Пермь, Россия)

EDITORIAL BOARD

Alexander N. Barmin, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Dean of the Department of Geology and Geography, Astrakhan State University (Astrakhan, Russia)

Sergey A. Buzmakov, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Biogeocenology and Environmental Protection, PSU (Perm, Russia)

Olga I. Kadebskaya, Doctor of Geographical Sciences, Head of the Kungur laboratory, Mining Insitute of Ural Branch of RAS (Perm, Russia)

Nikolay A. Kalinin, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Meteorology and Air Protection, PSU (Perm, Russia)

Anatoly P. Lepikhin, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Terrestrial Hydrology Problems of the Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of Cartography and Geoinformatics of PSU (Perm, Russia)

Nikolay N. Nazarov, Doctorof Geographical Sciences, Professor, Leading Researcher, Laboratory of Paleogeography and Geomorphology, Pacific Geographical Institute, Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences (Vladivostok, Russia)

Yuri P. Perevedencev, Doctor of Geographical Sciences, Professor of Kazan (Volga Region) Federal University (Kazan, Russia)

Anatoly V. Pogorelov, Doctor of Geographical Sciences**,** Professor, Head of the Department of Geoinformatics, Kuban State University (Krasnodar, Russia)

Sergey V. Piankov, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Cartography and Geoinformatics of PSU (Perm, Russia)

Alexey V. Chernov, Doctor of Geographical Sciences, Leading researcher, Associate Professor of the NIL of Soil Erosion and Riverbed Processes of the Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Andrey N. Shikhov, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Cartography and Geoinformatics of PSU (Perm, Russia)

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ	6	**PHYSICAL GEOGRAPHY, LANDSCAPES AND GEOMORPHOLOGY**
Пинской В. Н., Маханцева В. А., Шаев И. А., Чернышева Е. В., Борисов А. В. Температурный режим перегнойно-темногумусовых почв Приэльбрусья	6	Pinskoy V. N., Makhantceva V. A., Shaev I. A., Chernysheva E. V., Borisov A. V. The temperature regime of umbric leptosols in the Elbrus region
Ищенко М. А., Паршин Д. О. Особенности распространения и морфометрические характеристики гривного рельефа юга Обь-Иртышского междуречья	20	Ishchenko M. A., Parshin D. O. Distribution features and morphometric characteristics of the ridge relief in the south of the Ob-Irtysh interfluve
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ И ПОЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ	32	**ECONOMIC, SOCIAL AND POLITICAL GEOGRAPHY**
Ковалев Ю. Ю., Степанов А. В. Климатическая политика и низкоуглеродная трансформация в странах Центра, Полупериферии и Периферии мирового хозяйства (на примере стран «Группы 7», БРИКС и НРС)	32	Kovalev Yu. Yu., Stepanov A. V. Climate policy and low-carbon transformation in the countries of the Core, Semi-periphery, and Periphery of the world economy (using the example of the G7, BRICS countries, and LDCs)
Субботина Т. В., Усольцев А. Д. Пермская агломерация: обоснование, анализ и картографирование социально-экономического развития	46	Subbotina T. V., Usoltsev A. D. Perm agglomeration: justification, analysis, and maps of socio-economic development
Шувалова О. В. Полимасштабный анализ современной территориальной организации участвовавших в эвакуации из Москвы во время Великой Отечественной войны на восток страны предприятий	61	Shuvalova O.V. Multi-scale analysis of the modern territorial organization of enterprises that participated in the Great Patriotic War evacuation
Шерин Е. А. Развитие железнодорожных транспортных коридоров Азиатской России	75	Sherin E. A. Development of railway transport corridors in Asian Russia
ГИДРОЛОГИЯ	84	**HYDROLOGY**
Спирин Ю. А., Зотов С. И., Таран В. С. Оценка уровня химической загрязненности воды в бассейне реки Анграпы Калининградской области	84	Spirin Y. A., Zotov S. I., Taran V. S. Assessing the level of chemical water pollution in the Angrapa River basin, Kaliningrad Region
Кудяков Э. Х., Нестерова Н. В., Землянскова А. А., Никитина П. А., Макарьева О. М. Анализ условий формирования и моделирование дождевых паводков в бассейне реки Детрин (Магаданская область)	95	Kudyakov E. Kh., Nesterova N. V., Zemlianskova A. A., Nikitina P. A., Makarieva O. M. Rain floods in the Detrin river basin (Magadan region): analysis in the formation conditions and modeling

МЕТЕОРОЛОГИЯ 110 **METEOROLOGY**

Крючков А. Д., Поморцева А. А., Сидоров И. А. 110 Kryuchkov A. D., Pomortseva A. A., Sidorov I. A.
Особенности восстановления полей пространственного распределения характеристик снежного покрова на территории Пермского края с помощью инструментов интерполяции в ГИС-приложениях
Reconstruction of spatial distribution fields of snow cover characteristics in Perm Krai using interpolation tools in GIS applications

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ 117 **ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT**

Гатина Е. Л., Зиньковская И. И., Санников П. Ю., Четыркина В. В., Бронникова П. В., Киршина А. В. 117 Gatina E. L., Zinicovscaia I. I., Sannikov P. Yu., Chetyrkina V. V., Bronnikova P. V., Kirshina A. V.
Накопление атмосферных выпадений потенциально токсичных элементов во мхах города Губахи
Bioaccumulation of potentially toxic elements atmospheric deposition in mosses of the town of Gubakha

Перевощикова А. А., Митракова Н. В., Бачурин Т. С., Кобелев Н. А. 133 Perevoshchikova A. A., Mitrakova N. V., Bachurin T. S., Kobelev N. A.
Исследование устойчивости дерново-подзолистой почвы средней тайги к засолению NaCl
NaCl salinization resistance of soddy-podzolic soil in the middle taiga

РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ И ТУРИЗМ 145 **RECREATIONAL GEOGRAPHY AND TOURISM**

Будаева Д. Г., Еремко З. С., Лубсанова Н. Б., Дымбрылова С. Б., Ботоева Н. Б., Андреева А. М., Хребтова Т. А., Максанова Л. Б.-Ж. 145 Budaeva D. G., Eremko Z. S., Lubsanova N. B., Dymbrylova S. B., Botoeva N. B., Andreeva A. M., Khrebtova T. A., Maksanova L. B.-Zh.
Пространственный анализ и ключевые аспекты развития ледово-снежного туризма на озере Байкал
Spatial analysis and key aspects of ice and snow tourism development on Lake Baikal

Зырянов А. И., Зырянова И. С., Косвинцева Е. Н., Лучников А. С., Мышлявцева С. Э. 160 Zyrianov A. I., Zyrianova I. S., Kosvintseva E. N., Luchnikov A. S., Myshliavtseva S. E.
Геоконцепция туристской тропы горнолыжного комплекса «Губаха»
Geoconcept of a tourist trail at the Gubakha Ski Resort

Яковенко И. М., Страчкова Н. В. 174 Yakovenko I. M., Strachkova N. V.
Оценка социально-экономической среды Приазовья для целей туристско-рекреационного освоения
Assessment of the socio-economic environment of the Azov Sea region for the purposes of tourist and recreational development

Александрова А. Ю. 186 Aleksandrova A. Yu.
Методологические ограничения и практические вызовы измерения туристской емкости территории
Methodological limitations and practical challenges in measuring the tourism carrying capacity of a destination

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ
Научная статья
УДК 911.52: 551.525: 58.056
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-6-19
EDN: UWBUGA

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПЕРЕГНОЙНО-ТЕМНОГУМУСОВЫХ ПОЧВ ПРИЭЛЬБРУСЬЯ

Виктор Николаевич Пинской ✉, Виктория Александровна Маханцева, Игорь Александрович Шаев, Елена Владиславовна Чернышева, Александр Владимирович Борисов
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук, г. Пущино, Россия
✉ pinskoy@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-7463-5186, SPIN-код: 6354-2516, РИНЦ AuthorID: 800772

Аннотация. Изучена годовая динамика температуры перегнойно-темногумусовых почв альпийской зоны Центрального Кавказа в зависимости от экспозиции и крутизны склонов, проективного покрытия, щебнистости и состава фитоценозов. Объекты исследования располагались на высотах 2680, 2940, 3100 м на склонах северной и южной экспозиций. Установлено, что на склоне южной экспозиции высотный градиент не влияет на температуру почв, поскольку определяющим фактором являются видовой состав растительности и высота травостоя. Преобладание в растительном покрове группы граминоидов с мощным проективным покрытием обуславливает снижение максимальной температуры в летний период и уменьшение количества дней с отрицательной температурой в холодное время года. На склоне северной экспозиции значения средних годовых температур почв снижались по мере увеличения абсолютной высоты. Различия температур воздуха и температур почв (на глубине 10 см) на склоне северной экспозиции менее выражены по сравнению со склоном южной экспозиции. Температурные экстремумы почв в летний и зимний период тесно связаны со скелетностью почв: высокая доля камней и редкое проективное покрытие вызывают наибольшую вариабельность температурного режима. В нижней части склона связь годового хода температуры почв в большей степени обусловлена экспозицией склона, в то время как в привершинной области эта зависимость менее выражена. Для летнего периода выявлена синхронная динамика суточного хода температур воздуха и почвы, которая не фиксировалась в холодное время года.

Ключевые слова: экспозиция склона, температура почв, альпийская зона, Приэльбрусье, состав растительности, длительно сезоннопромерзающий климат, интенсивный выпас

Финансирование. Полевые работы проводились в рамках Госзадания № 122040500036-9.

Благодарности. Авторы выражают признательность Магомедову К. М. за помощь в организации экспедиционных работ.

Для цитирования: Пинской В. Н., Маханцева В. А., Шаев И. А., Чернышева Е. В., Борисов А. В. Температурный режим перегнойно-темногумусовых почв Приэльбрусья // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 6–19. EDN: UWBUGA DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-6-19

PHYSICAL GEOGRAPHY, LANDSCAPES AND GEOMORPHOLOGY
Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-6-19
EDN: UWBUGA

THE TEMPERATURE REGIME OF UMBRIC LEPTOSOLS IN THE ELBRUS REGION

Viktor N. Pinskoy[1]✉, Viktoria A. Makhantceva[1], Igor A. Shaev[1], Elena V. Chernysheva[1], Alexander V. Borisov[1]
[1] Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia
✉ pinskoy@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-7463-5186, SPIN-code: 6354-2516, eLibrary AuthorID: 800772

Abstract. The annual temperature dynamics of humus-rich soils in the alpine zone of the Central Caucasus were studied depending on slope aspect and steepness, soil skeleton, plant projective cover, and the composition of phytocenoses. The studied sites are located on north- and south-facing slopes at altitudes of 2,680, 2,940, and 3,100 m. It has been found that on the south-facing slope, the altitudinal gradient does not affect soil temperature: the determining factor is the species composition of the vegetation and the height of the grass stand. The dominance in the vegetation of the graminoid group with a dense projective cover leads to a decrease in the maximum soil temperature in the summer and a reduction in the number of days with negative temperatures in the cold season. On the north-facing slope, mean annual soil temperatures decrease with increasing absolute altitude. The differences between air and soil temperatures (at

© Пинской В. Н., Маханцева В. А., Шаев И. А., Чернышева Е. В., Борисов А. В., 2026

Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

a depth of 10 cm) on the north-facing slope are less pronounced compared to the south-facing slope. Soil temperature extremes in the summer and winter periods are closely related to soil skeleton: a high proportion of stones and sparse projective cover cause the greatest variability in the temperature regime. In the lower part of the slope, the annual variation in soil temperature is less influenced by the slope's exposure, while in the upper part, this dependence is more pronounced. For the summer period, synchronous dynamics of the daily course of air and soil temperatures have been revealed, which was not registered in the cold season.

Keywords: slope exposure, soil temperature, alpine zone, Elbrus region, vegetation composition, long-term seasonally freezing climate, intensive grazing

Funding. The field work was carried out as part of state assignment No. 122040500036-9.

Acknowledgments. The authors are grateful to K. M. Magomedov for his help in organizing the expedition work.

For citation: Pinskoy V. N., Makhantceva V. A., Shaev I. A., Chernysheva E. V., Borisov A. V. The temperature regime of umbric leptosols in the Elbrus region. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 6–19. EDN: UWBUGA DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-6-19

Введение

Начиная с В. В. Докучаева, исследователи рассматривали климат как один из определяющих факторов почвообразования [5; 20; 24]. Климат определяется набором погодных характеристик, где температура является одним из важнейших факторов [18], влияющих на теплообеспечение почв за счет солнечной радиации, поглощенной и преобразованной поверхностью почвы в тепло [15]. Впервые понятие климата почв выдвинул П. А. Костычев (1886). Он рассматривал его как преломление атмосферного климата через специфические особенности и свойства почвы [14]. Изменения температуры в различных почвах могут быть связаны с неоднородным органоминеральным составом, пористостью, плотностью, сложением и т.д. [3; 31].

К внешним условиям, влияющим на изменение температуры почв, относятся: рельеф (перераспределение тепла в зависимости от экспозиции склонов) [20; 39], растительность (высота растений, сомкнутость крон и проективное покрытие) [35], высота снежного покрова (является основным фактором изменения средней годовой температуры в положительную сторону в промерзающих регионах) [17], сведение леса [9; 11], выпас скота [23; 25; 36; 41], техногенное влияние (городская среда, отвалы в зонах добычи полезных ископаемых и т.д.) [21; 26], а также деятельность почвенной биоты [38]. В зависимости от объекта исследования перечисленные факторы и особенности могут вызывать различные изменения температурного режима почв в пределах небольшой области [40].

В настоящее время заметен недостаток данных годового климатического мониторинга горных экосистем в различных геоэкологических условиях. Это связано с труднодоступностью объектов наблюдения, высокой степенью вариабельности внешних факторов и наличием специфических климат-формирующих условий участков.

Независимые температурные характеристики почв, полученные при помощи автономного наблюдения, в первую очередь необходимы для установления более точных границ почвенных климатических фаций [28], продолжительности вегетационного периода [16], а также при изучении биологической активности почв и оценке динамики органического вещества [2; 10].

В этой работе предпринята попытка оценить влияние абсолютной высоты, экспозиции и крутизны склона, скелетности почв, состава травостоя и проективного покрытия, а также интенсивности выпаса на изменение температурного режима перегнойно-темногумусовых почв альпийского пояса в северо-восточном Приэльбрусье.

Материалы и методы

Район исследования. Объекты расположены на горе Сирх, находящейся на отроге хребта Ташлысырт (Центральный Кавказ, северо-восточная часть Приэльбрусья) (рис. 1). Северный и южный склоны горы достаточно протяженные (более 1000 м), сглаженные, без выходов скальных пород, что позволило выбрать участки, различающиеся лишь абсолютной высотой. Нами выбрано три участка, приуроченных к разным высотам. На отмеченных высотах в почвенном покрове преобладают перегнойно-темногумусовые почвы разной мощности и степени скелетности. Исследование почв осуществлялось на склонах южной (рис. 1 а, в, д) и северной (рис. 1 б, г, е) экспозиций.

В высшей точке катены на склоне северной экспозиции обширные площади занимали скальные выходы, поэтому найти участок с почвенным слоем удалось на площадке с несколько большей крутизной, чем на южном склоне, при этом абсолютная высота была практически одинаковой (3096 и 3094 м соответственно). Асимметричность макросклонов горы Сирх проявлялась и в средней точке катены, но в меньшей степени. В наиболее низкой точке катены тестовые площадки располагались в практически однотипных геоморфологических условиях (табл. 1).

Район исследования характеризуется средней годовой температурой воздуха – 1,14° С (на высоте 3000 м) и годовой суммой осадков 2000–2200 мм [34]. Почвообразующая порода представлена элюво-делювием известковистых песчаников.

Таблица 1
Table 1

Расположение площадок и особенности склонов
Site locations and slope features

Ключевой участок	*Высота, м*	*Ориентация склонов*	*Крутизна склонов, °*	*Координаты*
«2680 Юг»	2688	Юго-запад	37	43.43957, 42.522708
«2680 Север»	2679	Северо-восток	33	43.44009, 42.523224
«2940 Юг»	2944	Юго-юго-восток	26	43.44907, 42.528577
«2940 Север»	2937	Северо-восток	38	43.449655, 42.528784
«3100 Юг»	3094	Юго-юго-восток	32	43.449789, 42.523425
«3100 Север»	3096	Северо-северо-запад	52	43.450056, 42.52328

В почвенном покрове преобладают перегнойно-темногумусовые почвы (отдел органоаккумулятивных почв) [22]. Содержание $CaCO_3$ составляет менее 0,6 %. Также в этих почвах отмечается слабокислая среда (pH 5,7–5,9). Относительно высокие значения потери при прокаливании (ППП): в слое 0–10 см этот показатель нередко превышал 20 %. При этом содержание Сорг (определяли методом по Тюрину) варьировало в пределах 8–10 % [37]. Поскольку почвы соответствуют длительно-промерзающей почвенно-климатической фации и развиваются при отрицательной средней годовой температуре – категория E по классификации климатов Кёппена [33] (рис. 2), то основная масса почв верхних горизонтов состоит из растительных остатков разной степени разложения, в которых содержания физ. глины менее 10 % (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Скелетность и гранулометрический состав почв
Soil skeleton and granulometric composition of soils

Объект	*Глубина, см*	*Скелетность, %*	*Содержание фракций (мм), %*						
			1–0,25	*0,25–0,05*	*0,05–0,01*	*0,01–0,005*	*0,005–0,001*	*<0,01*	*<0,001*
«2680 Юг»	0–10	3,3	12	58	22	4	3	8	1
	10–20		11	62	17	6	4	10	1
«2680 Север»	0–10	3,8	18	57	17	2	4	8	1
	10–20		16	53	14	9	7	16	1
«2940 Юг»	0–10	26,6	33	43	18	1	3	6	1
	10–20	23,2	28	42	23	1	5	7	1
«2940 Север»	0–10	16,4	23	49	19	3	5	10	1
	10–20	60,8	22	54	10	8	5	14	1
«3100 Юг»	0–10	78,7	20	68	6	0	3	7	3
	10–20	69,1	23	59	9	1	4	9	4
«3100 Север»	0–12	91,1	25	58	10	1	3	8	3

Сбор данных. Для осуществления годового мониторинга температуры почв было выбрано 3 высотных уровня – 3100, 2940, 2680 м. На каждом высотном уровне выбрано два ключевых участка на склонах северной и южной экспозиций (ключевые участки «3100 Север», «3100 Юг», «2940 Север», «2940 Юг» и т.д.). На каждом ключевом участке были заложены почвенные разрезы. Места заложения разрезов соответствовали наиболее типичным почвенным разностям (установлено с помощью серии прокопок). В одном метре от почвенных разрезов в почву были установлены логгеры TR-2V (DS1923-F5) на глубину 10 см. Частота съемки составляла 4 замера в сутки, таким образом было получено более 2000 записей с каждого логгера. Дата установки логгеров: 22 августа 2023 г. Дата окончания измерений: 3 августа 2024 г. Температурные данные сняты программой TR Complex.

Суточные замеры температуры воздуха в Приэльбрусье на высоте 3000 м были взяты с сайта mountain-forecast.com, количество температурных съемок составляло 8 замеров в сутки. Данные получены за 2022–2023 гг. [34].

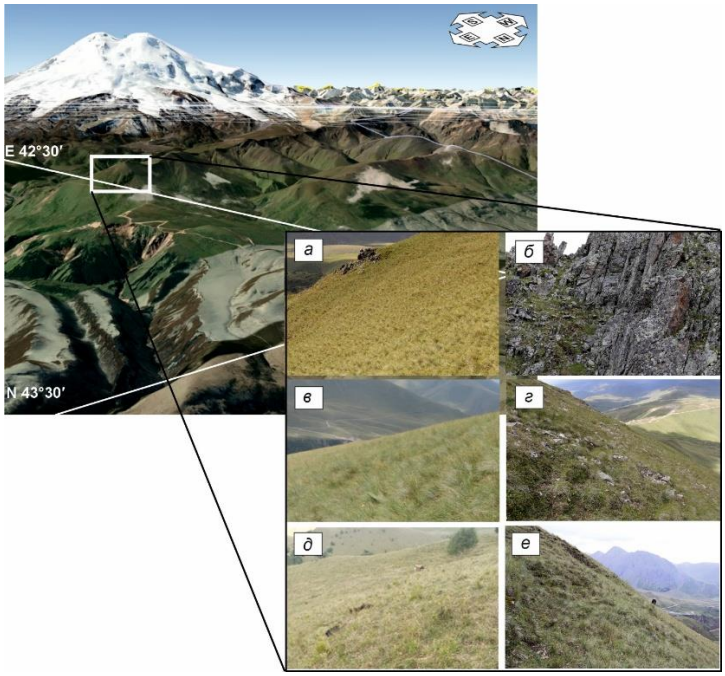


Рис. 1. Снимок Приэльбрусья с северо-востока (программа Google Earth Pro) и фото участков:
3100 м склон южной (а) и северной (б) экспозиции; 2940 м склон южной (в) и северной (г) экспозиции;
2680 м склон южной (д) и северной (е) экспозиции
Fig. 1. An image of the Elbrus region from the northeast (Google Earth Pro program) and photos of the sites:
3,100 m slope of the southern (а) and northern (б) exposures; 2,940 m slope of the southern (в) and northern (г) exposures; 2,680 m slope of the southern (д) and northern (е) exposures

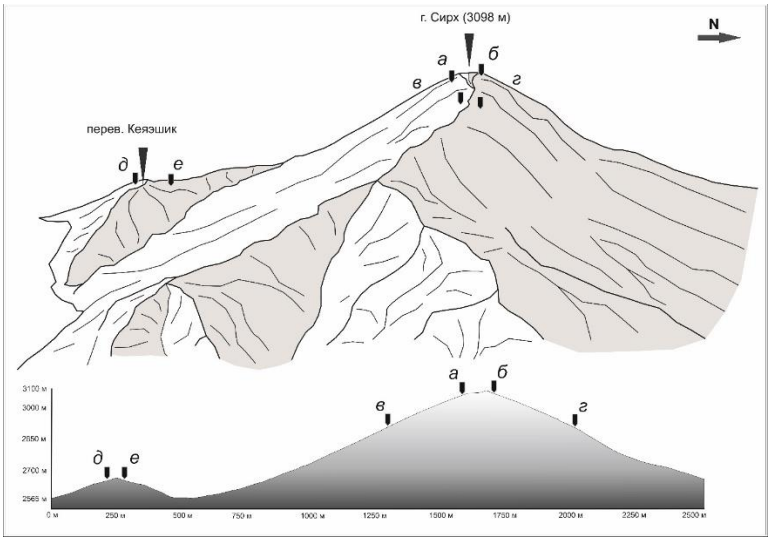


Рис. 2. Карта-схема с расположением объектов.
3100 м склон южной (а) и северной (б) экспозиции; 2940 м склон южной (в) и северной (г) экспозиции;
2680 м склон южной (д) и северной (е) экспозиции
Fig. 2. Schematic map with the location of the objects.
3,100 m slope of the southern (а) and northern (б) exposures; 2,940 m slope of the southern (в) and northern (г) exposures; 2,680 m slope of the southern (д) and northern (е) exposures

В пределах каждого ключевого участка на прилегающей к почвенному разрезу территории проводили геоботаническое описание. Дата проведения: 3–4 августа 2024 г. Площадки закладывали размером 5×5 м (25 м^2). Выявляли флористический состав, оценивали общее и частное проективное покрытие [7]. Площадки располагались на склонах северной и южной экспозиций в местах установки логгеров. Альфа-разнообразие растительности оценивалось через видовое богатство (индекс Шеннона). Индекс Шеннона рассчитывался по формуле (1):

$$H = -\sum_{i=1}^{k} p_i * \log_2 p_i, \quad (1)$$

где H – индекс видового разнообразия; p_i – доля i-го вида в сообществе.

Распределение по функциональным группам оценивалось на основе суммарной доли проективного покрытия видов, относящихся к группам, от общего проективного покрытия яруса. Дополнительно проведен анализ сходства площадок, расположенных на одной высоте, но на склонах разных экспозиций, на основе коэффициента флористического сходства Жаккара (K_j) [27] по формуле (2):

$$K_j = C/(A+B-C)*100\ \%, \quad (2)$$

где A и B – число видов в первом и втором описаниях соответственно; C – число общих видов для этой пары описаний.

Определение скелетности почв осуществлялось путем просеивания 1 л образца через сито 1 мм (все камни более 1 мм учитывали как почвенный скелет), массу просеянной почвы оценивали после прокаливания при 105° С. Скелетность выражена в процентах от общей массы [29]. Скелетность определяли послойно. На объектах «2680 Север» и «2680 Юг» отбор образцов осуществлялся каждые 20 см до глубины 60 см. На объекте «2940 Север» мощность профиля составила 40 см, на объекте «2940 Юг» достигала 50 см, отбор образцов производился с каждых 10 см профиля. На участке «3100 Север» почвенный покров был фрагментарным, а мощность не превышала 12 см, на объекте «3100 Юг» образцы отбирали послойно каждые 10 см до глубины 20 см. Определение скелетности почв частично проводили в полевых условиях, где при естественной влажности осуществлялось просеивание грунта через сито 7 мм. Крупные камни взвешивали. Фракцию <7 мм просеивали в лаборатории после подсушивания. Вес почвы учитывали после высушивания при 105° С.

Статистическую обработку проводили в программах Statistica, TR Complex, Excel.

Результаты

Годовая динамика температур воздуха и почв. Максимальная температура воздуха (**T_{max}**) на высоте 3000 м составляла 16° С (15 и 26 августа 2022 г.) (рис. 3). Минимальная температура воздуха была зафиксирована 16 февраля 2023 г. и равнялась –24° С (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Температурные характеристики воздуха и почв в высотном градиенте и по экспозициям склонов
Temperature characteristics of air and soils in the altitudinal gradient and by slope exposures

Объект	$T_{ср}$	*Количество дней с температурой*			*САТ*		T_{min}, °С	T_{max}, °С
		<0°С	*0–10° С*	*>10° С*	*>0° С*	*>10° С*		
«2680 Юг»	5,2	65	204	97	1981	1260	–3,5	16,6
«2680 Север»	3,9	83	195	88	1487	1044	–1,0	14,6
«2940 Юг»	5,4	29	249	88	1980	1062	–3,4	14,6
«2940 Север»	2,5	102	223	41	1185	475	–4,9	12,7
«3100 Юг»	5,1	69	196	100	2048	1284	–8,5	19,1
«3100 Север»	0,4	179	168	19	889	224	–14,0	12,7
Температура воздуха (3000 м)	–1,14	211	116	38	992	458	–24,0	16,0

Максимально прогретым до глубины 10 см оказался почвенный слой на объекте «3100 Юг» (рис. 3 а). По данным логгера, 1 сентября 2023 г. температура почвы составляла +19,1° С. Несколько ниже оказалась максимальная температура почвы ключевого участка «2680 Юг», здесь 16 июля 2024 г. температура почвы составляла +14,9° С (рис. 3 д). Выше по склону на объекте «2940 Юг» в самый жаркий период температура почвы была ниже на 1,4° С (1 сентября 2023 г.) (рис. 3 в).

Наиболее значимо влияние высоты на снижение температуры почвы в летний период проявляется на склоне северной экспозиции. Здесь максимальная температура отмечена на участке «2680 Север» (14,6° С 14 июля 2023 г.) (рис. 3 е), в то время как на участках «2940 Север» (17 июля 2023 г.) (рис. 3 г) и «3100 Север» (8 июля 2023 г.) (рис. 3 б) максимальная температура достигала 12,7° С. В горной части РСО – Алания, как приводится в Кадастре селевой опасности Юга Европейской части России [6], к настоящему времени выявлено 145 селевых бассейнов. Общая площадь пораженности селями приблизительно равна 2165 км^2, что составляет 25 % от всей площади республики.

Изменение минимальных годовых температур (**T_{min}**) почв в высотном градиенте было в целом аналогично изменениям максимальных положительных температур. Так, максимальная по модулю температура отмечена на участке «3100 Север» (–14° С 14 января 2024 г.). Далее вниз по склону T_{min} быстро растет до –4,9° С на участке

«2940 Север» (15–16 января и 6–11 февраля 2024 г.) и до –1° С на участке «2680 Север» (31 января, 5–13 февраля 2024 г.) соответственно.

В пределах совокупности исследуемых участков минимальная температура зафиксирована на склоне южной экспозиции участка «3100 Юг», где этот показатель составлял –8,5° С (14 января 2024 г.). Разница в T_{min} на участках «2940 Юг» и «2680 Юг» составляла 0,1° С (участок «2680 Юг» более холодный). Минимальные температуры для участка «2680 Юг» (–3,5° С) зафиксированы 5–6 февраля, для участка «2940 Юг» (–3,4° С) – 6 февраля 2024 г.

Средняя годовая температура (**$T_{ср}$**) воздуха на высоте 3000 м была отрицательной в период 2022–2023 гг. и составляла –1,14° С, в то время как средняя температура почвы за весь период наблюдений 2023–2024 гг. была положительной. Расчет средних температур по количеству дней и сумм активных температур производился с учетом среднего значения полученных данных для отсутствующих дней августа (5–22 августа), тем самым используемые данные нельзя назвать абсолютно точными, но предел погрешности на фоне годовых сумм температур незначителен.

На склоне южной экспозиции средняя температура почвы за период наблюдений была максимальной на участке «2940 Юг». Наибольшее количество дней с температурой выше 10° С было отмечено на участке «3100 Юг» (100 дней), тогда как $T_{ср}$ была здесь самой низкой.

Так же как и средняя годовая температура, количество дней с температурой >10° С уменьшалось с высотой на склоне северной экспозиции. Обратная тенденция отмечена для количества дней с температурой <0° С. Исключением на склоне северной экспозиции являлся ключевой участок «2940 Север», где количество дней с температурой 0–10° С было максимальным – 223 дня.

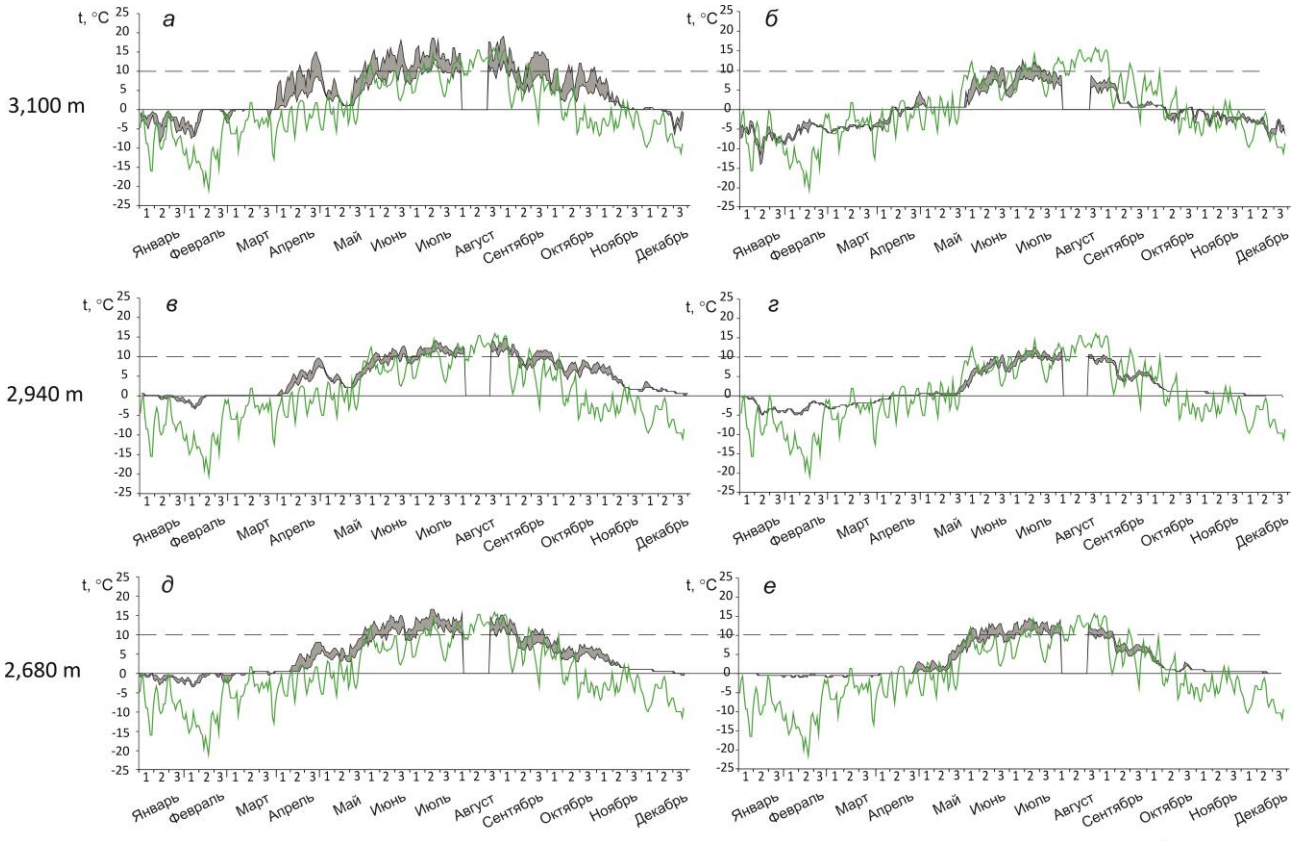


Рис. 3. Температура воздуха на высоте 3000 м (за 2022–2023 гг.) (показана зеленым на всех графиках) и диапазон колебаний срочных температур за сутки в почвах на глубине 10 см (за 2023–2024 гг.):
а – 3100 Юг; б – 3100 Север; в – 2940 Юг; г – 2940 Север; д – 2680 Юг; е – 2680 Север.
Цифрами (1, 2, 3) показаны декады месяцев
Fig. 3. Air temperature at an altitude of 3,000 m (for 2022–2023) (shown in green on all graphs) and the range of daily temperature fluctuations in soils at a depth of 10 cm (for 2023–2024):
а – 3,100 South; б – 3,100 North; в – 2,940 South; г – 2,940 North; д – 2,680 South; е – 2,680 North.
The numbers (1, 2, 3) show the decades of the months

Суммы активных температур **(САТ)** воздуха и почв >0° С и >10° С рассчитывали по сумме средних суточных температур. Значение САТ воздуха >0° С составило 992° С, а САТ >10° С – 458° С, значения САТ >0° С и >10° С на склоне южной экспозиции были выше в 1,6–1,9 раза. На участках склона северной экспозиции САТ

>0° С и >10° С уменьшалась пропорционально увеличению высоты (табл. 3). Также следует отметить, что на высоте 3100 м зафиксированы как максимальные, так и минимальные суммы температур: >0° С и >10° С. Минимальная сумма активных температур обнаружена на участке «3100 Север» (САТ >0–889° С; САТ >10–224° С), а максимум – на участке «3100 Юг» (САТ >0–2048° С; САТ >10–1284° С).

Растительный покров площадок. При описании растительного покрова учитывали численность основных групп: Граминоиды (растения семейств *Juncaceae, Cyperaceae, Gramineae*); Разнотравье (травянистые растения всех семейств, за исключением *Juncaceae, Cyperaceae, Gramineae, Leguminosae*); Бобовые (травянистые семейства *Leguminosae*); Папоротники (растения отдела *Polypodiophyta*); Плауны (растения отдела *Lycopodiophyta*); Листопадные (листопадные кустарнички и кустарники всех семейств); Вечнозеленые (вечнозеленые кустарнички и кустарники всех семейств).

Общее проективное покрытие на склоне южной экспозиции на площадках 2680 и 2940 м составило 80 %, в то время как выше по склону на площадке 3100 м этот показатель уменьшался на 10 % (табл. 4). На склоне северной экспозиции динамика снижения проективного покрытия с увеличением высоты н.у.м. более выражена: «2680 Север» – 70 %, «2940 Север» – 60 %, «3100 Север» – 10 %.

Таблица 4
Table 4

Видовое богатство и общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса фитоценозов по склонам и вариантам
Species richness and total projective cover of the grass and shrub layer of phytocenoses by slopes and variants

Объект	*Название биогеоценоза (БГЦ)*	*Видовое богатство (число видов на площадке), шт.*	*Индекс Шеннона*	*Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса, %*
«2680 Юг»	манжетко-осоковый луг	25	1,31	80
«2680 Север»	манжетко-пестро-овсянницевый луг	37	2,29	70
«2940 Юг»	пестроовсянницевый луг	39	1,50	80
«2940 Север»	бруснично-разнотравный луг	32	1,41	60
«3100 Юг»	разнотравный альпийский луг	28	2,23	70
«3100 Север»	единичная растительность	19	0,25	10

Максимальное видовое разнообразие растений было обнаружено на площадке «2940 Юг» (39 видов). На площадке «3100 Юг» видовое разнообразие было ниже (28 видов), индекс Шеннона составлял 2,23. Высокая численность видов (37 видов) и максимальный индекс Шеннона (2,29) в пределах исследуемой горы были выявлены на площадке «2680 Север». Далее вверх по склону эти параметры снижались до минимальных значений.

Распределение по функциональным группам оценивалось на основе суммарной доли проективного покрытия от общей площади, на которой измерялось проективное покрытие. [8]. На склоне южной экспозиции на площадках «2680 Юг» и «3100 Юг» доминировало разнотравье, основное различие заключалось в том, что на первой площадке 37 % составляли граминоиды, а на второй площадке более 17 % составляли бобовые (рис. 4). Остальные группы характеризовались незначительным вкладом в проективное покрытие. Максимальная доля растений-граминоидов была зафиксирована на площадке «2940 Юг» – 84,6 %. Как и в случае склона южной экспозиции, на северном склоне доля разнотравных видов растений преобладала на площадках «2680 Север» и «3100 Север», где на площадке «3100 Север» их доля составляла 98,8 %. Наиболее разнообразными по составу группами оказались площадки «2680 Север» и «2940 Север». На них были обнаружены листопадные кустарнички и кустарники (на площадке «2940 Север» доля кустарничков составляла 63,9 %), а также группа граминоидов.

Для площадок, расположенных на одной высоте на склонах северной и южной экспозиций, измерен коэффициент флористического сходства Жаккара [27; 32]. Показано, что флористическое сходство между площадками «2680 Юг» и «2680 Север» является наибольшим и составляет 48 %. В то же время на площадках, расположенных выше (2940 и 3100 м), коэффициент Жаккара для противоположных склонов составил 27 %, что свидетельствует о низкой флористической однородности. При этом необходимо рассматривать все 6 фитоценозов на отмеченных площадках как самостоятельные сообщества.

Скелетность почв. Наибольшая доля камней была обнаружена в образце, отобранном с участка «3100 Север» (рис. 5). Здесь доминирует фракция камней ≥7 мм (более 90 %). На противоположном склоне, на участке «3100 Юг», доля крупных камней также составляла значительную часть образца. Важно отметить, что в нижней части катены на высоте 2680 м доля камней в верхних горизонтах не превышала 4 %. Из диаграммы также следует, что с высотой увеличивается скелетность почв и уменьшается мощность почвенного профиля. Закономерного распределения камней по профилю на объекте 2940 обнаружено не было.

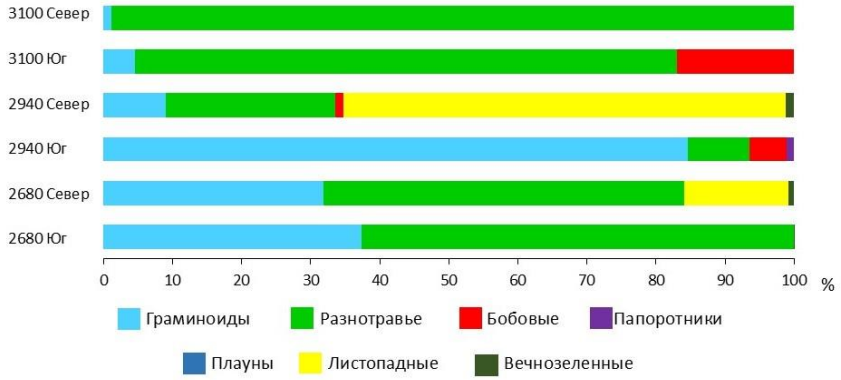


Рис. 4. Функциональные группы видового состава растительности в % от проективного покрытия
Fig. 4. Functional groups of vegetation species composition in % of the projective cover

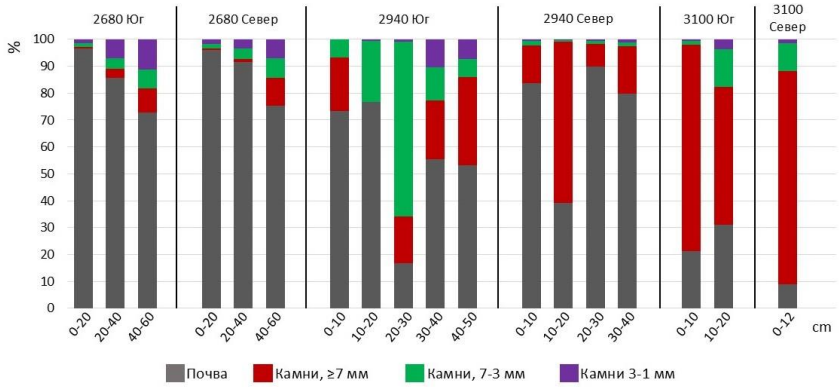


Рис. 5. Доля мелкозема (≤1 мм) и различных фракций камней в % от общей массы по профилю почв
Fig. 5. The proportion of fine earth (≤1 mm) and various stone fractions in % of the total mass according to the soil profile

Обсуждение

Суточная динамика максимальных и минимальных температур воздуха и почвы. Из литературы известно, что в исследуемых широтах максимум дневной температуры воздуха наблюдается ближе к 14–15 часам, в то время как минимум приходится на 5–6 часов утра. Эта закономерность проявляется в условиях устойчивой ясной погоды [12]. Мы попытались оценить суточные колебания максимальных и минимальных температур почв, которые должны значимо отличаться в ночное и дневное время относительно температуры воздуха. Установлено, что максимальная температура почв в зимний период приходится на 14–18 часов, а в летний на 10–14 часов, реже – 18 часов. Максимальная отрицательная температура в зимний период отмечена в 2–6 часов, в то время как в летний период минимум был в 6 утра, реже – в 2 часа. В летний период максимум температур воздуха приходился на 12–16 часов, реже – на 18, а минимум – на 2–6 часов. В зимний период максимальная и минимальная температуры воздуха могли колебаться независимо от времени суток.

Влияние экспозиции на температурный режим почв. Наиболее значимое различие в теплообеспеченности почв на склонах северной и южной экспозиций было зафиксировано на высоте 3100 м. Различия средней годовой температуры по склонам северной и южной экспозиций уменьшались с уменьшением высоты.

На участке «2680 Север» средняя месячная температура почв в январе составляла –0,3° С, в то время как на объекте «2680 Юг» (где, вероятно, не было снега) она равнялась –1,1° С. На участках, расположенных выше, средняя месячная температура января была ниже на склоне северной экспозиции. Установить высоту снежного покрова и длительность его залегания не удалось. Согласно имеющимся в открытом доступе космоснимкам района исследований, в холодное время года на южном склоне снеговой покров большую часть зимы фрагментарен или отсутствует, в то время как на северном склоне наличие снега хорошо выражено. Вероятно, такая ситуация характерна для большей части зимы.

Во всех случаях переход через 0° С после отрицательных температур (весной) на склоне южной экспозиции был быстрее относительно северных участков. Но здесь также не было обнаружено закономерности в зависимости от высоты.

Влияние крутизны склона на температурный режим почв. Известно, что чем круче склон южной экспозиции, тем больше на него поступает солнечной радиации. Обратная закономерность установлена для склона северной экспозиции [12; 29]. На участках северной экспозиции крутизна склона исследуемого горного массива увеличивалась с высотой от 33 до 52°, а температура закономерно снижалась. Максимальный уклон (32–37°) на склоне южной экспозиции был зафиксирован на участках «2680 Юг» и «3100 Юг», на этих участках также T_{max} составляла 16,6–19,1° С. На участке «2940 Юг» крутизна склона составляла 26°, а T_{max} – 14,6° С.

Влияние растительности на температурный режим почв. Значительное влияние на теплообеспеченность почв оказывает проективное покрытие и высота травостоя. Это влияние в первую очередь сказывается через изменение альбедо. На участке «3100 Юг» проективное покрытие составляло всего 70 %, а высота травостоя не превышала 20 см. Открытый грунт на этом участке уже в апреле характеризовался положительной температурой: +6° С (выше на 2° С относительно «2940 Юг» и на 4° С «2680 Юг»). В большинстве месяцев с положительной средней месячной температурой участок «3100 Юг» оставался наиболее прогретым.

Почвы на ключевом участке «2940 Юг» в меньшей степени прогреваются в июне-августе, при этом в холодное время года температура почв здесь была выше, чем в почвах на высотах 2680 и 3100 м. Мы полагаем, что это связано с высокой задернованностью участка пестроовсянницевого луга и с высокой долей граминоидов (высотой достигающих 40 см) в составе фитоценозов.

В отличие от южного склона, на склоне северной экспозиции растительность в меньшей степени влияет на температурный режим почв, который в данном случае определяется абсолютной высотой. Доля граминоидов на участках северного склона закономерно уменьшалась с высотой, как и высота травостоя, общее проективное покрытие и индекс Шеннона.

Влияние интенсивного выпаса. На изменение высоты травостоя и проективного покрытия в значительной мере влияет сезонный интенсивный выпас скота, который отмечен на всех участках. При этом наиболее низкая пастбищная нагрузка отмечена на площадке «2940 Юг», где доминируют граминоиды. Скот крайне неохотно поедает злаковое высокотравье с высоким содержанием кремния и предпочитает пастись на участках, где в составе фитоценоза преобладают двудольные [1]. Следует отметить, что на площадке «2940 Юг» также отмечено наиболее высокое проективное покрытие и наличие ветоши на поверхности почвы. На остальных участках преобладало разнотравье со следами интенсивного выпаса. Таким образом, выявлена обратная зависимость между высотой травостоя, проективным покрытием и наличием ветоши, с одной стороны, и интенсивностью выпаса – с другой, что отражается на величине альбедо и годовом ходе температур.

Влияние скелетности на температурный режим почв. Температурный режим почв в большой степени определяется наличием камней, высокая доля которых может влиять на повышение теплопроводности почв [6]. Наибольшая скелетность почв отмечена на участках «3100 Юг» и «3100 Север»: 78,7 и 91,1 % камней от общей массы. Можно предполагать, что высокая скелетность в определенной мере повлияла на более широкий размах колебаний температуры почвы.

Статистическую обработку большинства полученных параметров по 6 площадкам анализировали при помощи метода главных компонент ***(МГК)***. Метод главных компонент строился на основе 17 векторов, расположенных на двухмерной оси, где каждый вектор объясняет вклад в первую и вторую главные компоненты (рис. 6). Из диаграммы следует, что основной вклад в различие объектов на левую и правую полуось оказывает положительная и отрицательная температура. Это хорошо заметно по широкому разделению на точечной диаграмме объектов «3100 Север» и «3100 Юг».

Основной вклад в распределение точек в нижней полуоси оказали влияние крутизны склона с тесной корреляцией максимальных положительных температур (T_{max}), а также доля разнотравья, в то время как определяющими векторами верхней полуоси оказались количество дней с температурой 0–10° С (которые составляют большую часть года), видовое разнообразие растительного сообщества и листопадные кустарнички (процентное отношение которых было максимальным на объекте «2940 Север»). Стоит обратить внимание на уменьшение разрыва по экспозициям между участками 2940 м относительно 3100 м. На участках 2940 м были выявлены близкие значения по таким векторам, как индекс Шеннона, видовое богатство, количество дней пребывания почв при температуре в пределах 0–10° С, T_{max}, T_{min} и т.д.

Минимальное влияние экспозиции склона зафиксировано на участках на высоте 2680 м, в нижней точке исследуемой катены. Вероятно, подобный эффект в определенной мере вызван особенностями локальных климатических условий в синклинальной области. Так, согласно концепции А. И. Воейкова, дневной нагрев и ночное охлаждение являются наибольшими для положительных форм (возвышенностей) и наименьшими для отрицательных форм рельефа (долин) [4]. Характерно, что вектор высоты над у.м. не является определяющим фактором в изменении теплообеспечнности почв альпийского пояса и не имеет тесных связей с другими заданными параметрами (рис. 6).

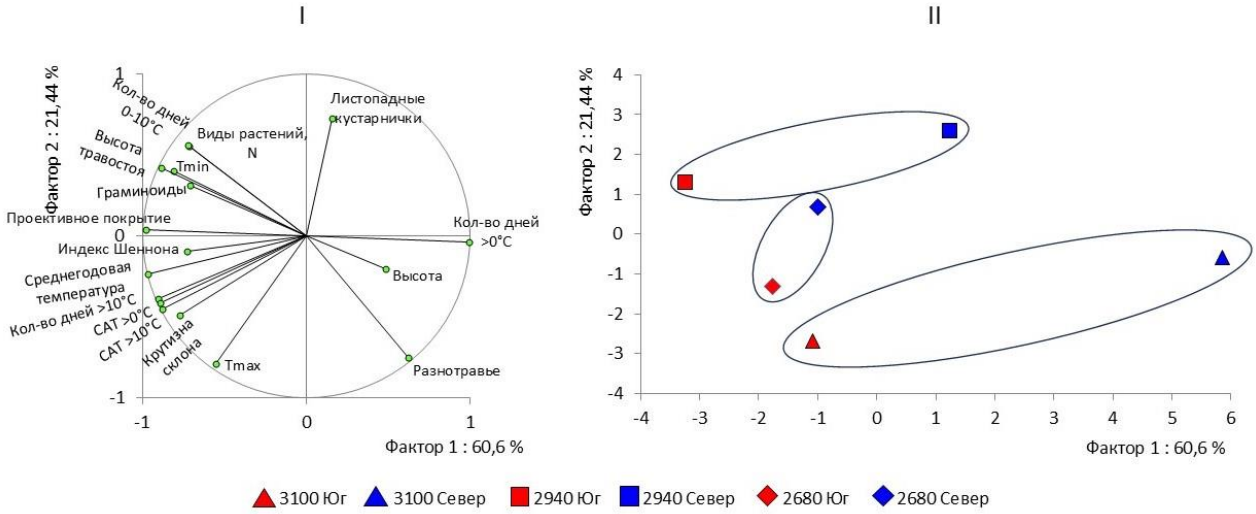


Рис. 6. Векторная диаграмма (I) и диаграмма рассеивания (II), иллюстрирующие вклад различных климатических и почвенных параметров в различие объектов по экспозициям
Fig. 6. Vector diagram (I) and scattering diagram (II) illustrating the contribution of various climatic and soil parameters to the difference of the objects by exposures

Выводы

Основное влияние на различия температурного режима почв альпийской зоны в Приэльбрусье оказывает экспозиция склона. Фактор высоты на склоне южной экспозиции в пределах 2680–3100 м не является значимым в изменении теплообеспеченности почв. В то же время на склоне северной экспозиции с увеличением абсолютной высоты отмечено закономерное снижение средней годовой температуры почв, количества дней с температурой >10° С, сумм активных температур >0 и >10° С и других показателей.

На склоне южной экспозиции на высоте 3100 м в летний период температура почвы была на 3° С выше температуры воздуха, тогда как в зимний период минимальная температура почвы на глубине 10 см достигала –12,7° С при температуре воздуха –24° С.

Различия температур на склонах разной экспозиции наиболее заметны на высоте 3100 м, в меньшей степени проявляются на участках 2940 м и наименее выражены в нижней точке катены на высотах 2680 м. Помимо абсолютной высоты, в динамику средних годовых температур почв заметный вклад вносит скелетность почв: чем выше доля камней, тем более значительными становятся температурные экстремумы.

Видовой состав растительности, высота травостоя и проективное покрытие оказывают значительное влияние на температурный режим почв. Высокая доля непоедаемого скотом злакового высокотравья обеспечивает более высокое альбедо, что влияет на уменьшение температурных экстремумов в летний и зимний периоды. На участках с преобладанием разнотравья скот пасется особенно интенсивно, что вызывает уменьшение высоты травостоя и проективного покрытия, а также приводит к более контрастному годовому ходу температур.

Библиографический список

1. *Абатурова Б. Д.* Разнокачественность пастбищного кормового ресурса и его разделение комплексом растительноядных млекопитающих при совместной пастьбе // Аридные экосистемы. 2024. Т. 30, № 2(99). С. 73–80. DOI: 10.24412/1993-3916-2024-2-73-80 EDN: EMLDJM

2. *Аветисян М. Г.* Трансформация органического вещества и биогенных элементов почв, вызванная антропогенной деятельностью // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2018. № 4. С. 34–38. EDN: YRVSMX

3. *Архангельская Т. А.* Температурный режим комплексного почвенного покрова. М.: ГЕОС, 2012. 282 с. EDN: TRZZOJ

4. *Воейков А. И.* Метеорология. Ч. 1. Проблемы температуры почвы. Типы вертикального распределения ее и отношение к температуре воздуха. СПб: Картогр. заведение А. Ильина, 1903. 224 с.

5. *Докучаев В. В.* Материалы к оценке земель Нижегородской губернии. Естественно-историческая часть. Отчет Нижегородскому губернскому земству. Вып. 1: Главные моменты в истории оценок земель Европейской России, с классификацией русских почв. СПб: Тип. Евдокимова, 1886. 391 с.

6. *Захаров А. В., Маховер С. Э.* Влияние гранулометрического состава на теплопроводность песчаного грунта // Construction and Geotechnics. 2020. Т. 11, № 2. С. 19–27. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.2.02 EDN: ROVIYE

7. *Зернов А. С., Алексеев Ю. Е., Онипченко В. Г.* Определитель сосудистых растений Карачаево-Черкесской республики. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. 459 с. EDN: YTPSGQ

8. *Ипатов В. С., Мирин Д. М.* Описание фитоценоза: методические рекомендации. СПб: СПбГУ, 2008. 70 с.

9. *Казеев К. Ш. Солдатов В. П., Шхапацев А. К., Шевченко Н. Е., Грабенко Е. А., Ермолаева О. Ю., Колесников С. И.* Изменение свойств дерново-карбонатных почв после сплошной рубки в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение. 2021. Т, 4. № 4. С. 426–436. DOI: 10.31857/S0024114821040069 EDN: NAMHYY

10. *Казеев К. Ш., Овдиенко Р. В., Колесников С. И., Вальков В. Ф.* Особенности распределения микроорганизмов в горно-луговых почвах Кавказского биосферного заповедника // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2003. №. 2. С. 82–85. EDN: HYRVNH

11. *Казеев К. Ш., Тер-Мисакянц Т. А., Кузнецова Ю. С., Поляков А. И., Кутузова И. В., Мазанко М. С., Колесников С. И.* Влияние вырубки леса на биологические свойства горных почв Западного Кавказа // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 82. С. 187–197. EDN: PGKYMH

12. *Кондратьев К. Я.* Актинометрия. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 692 с.

13. *Кондратьев К. Я., Пивоварова З. И., Федоров М. П.* Радиационный режим наклонных поверхностей / ред. П. Я. Кондратьев. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 215 с.

14. *Костычев П. А.* Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства. Ч. 1. Образование чернозема. СПб: Девриен А. Ф., 1886. 230 с.

15. *Кузнецов Б. Ф., Клибанова Ю. Ю.* Физические основы и математическая модель возникновения радиационных заморозков // Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса: мат. Всерос. науч.-практ. конф. (Иркутск, 15–16 ноября 2018 г.). Иркутск, 2018. С. 186–194. EDN: YXYIKL

16. *Курашев А. С.* Антэкология злаков альпийского пояса северо-западного Кавказа // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2012. Т. 117, № 2. С. 56–64. EDN: PLQWSR

17. *Махатков И. Д., Ермолов Ю. В.* Особенности температурного режима лесных почв северной тайги Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2019. Т. 2, № 4. С. 4–15. DOI: 10.31251/pos.v2i4.105 EDN: PHNETM

18. *Мохов И. И.* Климат // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал : сайт. URL: https://bigenc.ru/c/klimat-780c32/?v=7756332 (дата обращения: 06.07.2023)

19. *Неуструев С. С.* Элементы географии почвы / под ред. Л. И. Прасолова. Посмертное изд. М.; Л.: Гос. с.-х. изд-во, 1930. 240 с.

20. *Пинской В. Н., Каширская Н. Н., Идрисов И. А., Ельцов М. В., Борисов А. В.* Почвы земледельческих террас на карбонатных породах Восточного Кавказа // Региональные геосистемы. 2022. Т. 46, № 1. С. 5–13. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-5-13 EDN: BVHJCL

21. *Подрезова Ю. А.* Современное изменение климата в центральной и южной части лесостепной зоны Русской равнины // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 2(73). С. 105–115. DOI: 10.17072/2079-7877-2025-2-105-115 EDN: MNLLOZ

22. Полевой определитель почв / под ред. Н. Б. Хитрова. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.

23. *Пономаренко Е. А., Коломина Т. М.* Воздействие выпаса скота на биоценозы Приольхонья и острова Ольхон (озеро Байкал) // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: мат. IX междунар. научно-практ. конф. (Иркутск, 21–22 мая 2020 г.). Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского, 2020. С. 107–115. EDN: FMTYYE

24. Почвоведение: учеб. для вузов по спец. «Агрохимия и почвоведение» / И. С. Кауричев, Н. П. Панов, Н. Н. Розов [и др.]; под ред. И. С. Кауричева. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1989. 718 с.

25. *Русанов А. М.* Влияние антропогенных нагрузок на период биологической активности и гумус черноземов // Вестник Оренбургского государственного университета. 1999. № 2. С. 59–65. EDN: HVHSCJ

26. *Семина И. С., Андроханов В. А.* Исследования температурного режима эмбриозёмов на отвалах Калтанского угольного разреза // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 5. С. 189–195. EDN: NCTWHV

27. *Тиходеева М. Ю., Лебедева В. Х.* Практическая геоботаника (анализ состава растительных сообществ): учеб. пособие. СПб: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2015. 166 с.

28. *Урусевская И. С., Алябина И. О., Шоба С. А.* Почвенно-географическое районирование как научное направление и основа рационального землепользования // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1020–1035. DOI: 10.7868/S0032180X15090129 EDN: UDEUOX

29. Физико-химические методы исследования почв / под ред. Н. Г. Зырина, Д. С. Орлова. М.: МГУ, 1980. 382 с.

30. *Шульгин А. М.* Климат почвы и его регулирование. Л.: Гидрометеоиздат, 1967. 302 с.

31. *Farouki O.* Thermal properties of soils. Vol. 81, No 1. Hanover, NH: US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 1981. 136 p.

32. *Jaccard P.* Nouvelles recherches sur la distribution florale // Bulletin de la Société vaudoise des Sciences Naturelles. 1908. Vol. 44. P. 223–270.

33. *Köppen W.* Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt // Geographische Zeitschrift. 1900. Vol. 6. P. 593–611.

34. Mountain-forecast : website. URL: https://www.mountain-forecast.com (дата обращения: 10.09.2025)

35. *Ni J., Cheng Y., Wang Q., Ng C. W. W., Garg A.* Effects of vegetation on soil temperature and water content: Field monitoring and numerical modelling // Journal of Hydrology. 2019. Vol. 571. P. 494–502. DOI: 10.29133/yyutbd.754479

36. *Odriozola I., García-Baquero G., Laskurain N. A., Aldezabal A.* Livestock grazing modifies the effect of environmental factors on soil temperature and water content in a temperate grassland // Geoderma. 2014. Vol. 235. P. 347–354. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.08.002

37. *Petrosyan A. A., Chernysheva E. V., Pinskoy V. N., Borisov A. V.* Comparison of methods for determining microbial biomass in organo-accumulative mountainous soils of the Caucasus // Eurasian Soil Science. 2024. Vol. 57, No 12. P. 2122–2133 (in Russ.). DOI: 10.1134/S1064229324602208 EDN: TEAPSV

38. *Ryckeboer J., Mergaert J., Vaes K., Klammer S., De Clercq D., Coosemans J., Swings J. A.* Survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes // Annals of microbiology. 2003. Vol. 53, No. 4. P. 349–410.

39. *Sokolova G. G.* The influence of terrain altitude, slope exposure and slope degree on plant spatial distribution // Acta Biologica Sibirica. 2016. Vol. 2, No 3. P. 34–45. DOI: 10.14258/abs.v2i3.1453 EDN: XQNNHR

40. *Trask J. C., Devine S. M., Fogg G. E.* Soil temperature survey in a mountain basin // Geoderma. 2020. Vol. 367. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114202 EDN: POFULI

41. *Yan Y., Yan R., Chen J., Xin X., Eldridge D. J., Shao C., Xu L.* Grazing modulates soil temperature and moisture in a Eurasian steppe // Agricultural and Forest Meteorology. 2018. Vol. 262. P. 157–165. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.07.011 EDN: YJOHED

References

1. Abaturoy B. D. Variability of grassland forage resources and their division by a complex of herbivorous mammals in the case of joint grazing. *Arid Ecosystems*, 2024, vol. 30, no 2(99), pp. 73–80. (In Russ.) DOI: 10.24412/1993-3916-2024-2-73-80

2. Avetisyan M. G. Transformation of organic matter and soil nutrients caused by anthropogenic activity. Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geoekologiya, 2018, no. 4, pp. 34–38. (In Russ.)

3. Arkhangel'skaya T. A. *Temperaturnyi rezhim kompleksnogo pochvennogo pokrova* [The temperature regime of the complex soil cover]. Moscow: GEOS, 2012. 282 p. (In Russ.)

4. Voeikov A. I. *Meteorologiya. Ch. 1. Problemy temperatury pochvy. Tipy vertikal'nogo raspredeleniya ee i otnoshenie k temperature vozdukha.* [Meteorology. Part 1. Problems of soil temperature. Types of its vertical distribution and relation to air temperature]. Saint Petersburg: Kartogr. zavedenie A. Il′ina, 1903. 224 p. (In Russ.)

5. Dokuchaev V. V. *Materialy k otsenke zemel' Nizhegorodskoj gubernii. Estestvenno-istoricheskaya chast'. Otchet Nizhegorodskomu gubernskomu zemstvu. Vyp. 1: Glavnye momenty v istorii otsenok zemel' Evropejskoj Rossii, s klassifikatsiej russkikh pochv* [Materials for assessing the lands of the Nizhny Novgorod province. The natural historical part. Report to the Nizhny Novgorod Provincial Zemstvo. Issue 1: The main moments in the history of land assessments in European Russia, with the classification of Russian soils]. Saint Petersburg: Type. Evdokimova, 1886. 391 p. (In Russ.)

6. Zakharov A. V., Makhover S. E. The effect grain-size composition on thermal conductivity of sandy soils. *Construction and Geotechnics*, 2020, vol. 11, no. 2, pp. 19–27. (In Russ.) DOI: 15593/2224-9826/2020.2.02

7. Zernov A. S., Alekseev Yu. E., Onipchenko V. G. *Opredelitel' sosudistykh rastenii Karachaevo-Cherkesskoi respubliki* [Determinant of vascular plants of the Karachay-Cherkess Republic]. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdanii KMK, 2015. 459 p. (In Russ.)

8. Ipatov V. S., Mirin D. M. *Opisanie fitotsenoza: metodicheskie rekomendatsii* [Description of phytocenosis: methodological recommendations]. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University, 2008. 70 p. (In Russ.)

9. Kazeev K. Sh. Soldatov V. P., Shkhapatsev A. K., Shevchenko N. E., Grabenko E. A., Ermolaeva O. Yu., Kolesnikov S. I. Changes in the properties of calcareous soils after clearcutting in the coniferous-deciduous forests of the northwestern caucasus. Lesovedenie, 2021, vol. 4, no. 4, pp. 426–436. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0024114821040069

10. Kazeev K. Sh. Ovdienko R. V., Kolesnikov S. I., Valkov V. F. Osobennosti raspredeleniya mikroorganizmov v gorno-lugovykh pochvakh Kavkazskogo biosfernogo zapovednika [Features of the distribution of microorganisms in mountain meadow soils of the Caucasian Biosphere Reserve]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki*, 2003, no. 2, pp. 82–85. (In Russ.)

11. Kazeev K. Sh., Ter-Misakyants T. A., Kuznetsova Yu. S., Polyakov A. I., Kutuzova I. V., Mazanko M. S., Kolesnikov S. I. Vliyanie vyrubki lesa na biologicheskie svoistva gornykh pochv Zapadnogo Kavkaza [The influence of deforestation on the biological properties of mountain soils in the Western Caucasus]. *Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*, 2012, no. 82, pp. 187–197. (In Russ.)

12. Kondratiev K. Ya. *Aktinometriya* [Actinometry]. Leningrad: Gydrometeoizdat, 1965. 692 p. (In Russ.)

13. Kondratiev K. Ya., Pivovarova Z. I., Fedorov M. P. *Radiatsionnyj rezhim naklonnykh poverkhnostej* [Radiation regime of inclined surfaces]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1965. 215 p (In Russ.)

14. Kostychev P. A. *Pochvy chernozemnoj oblasti Rossii, ikh proiskhozhdenie, sostav i svojstva. Ch. 1. Obrazovanie chernozema* [Soils of the chernozem region of Russia, their origin, composition and properties. Part 1. Formation of chernozem]. Saint Petersburg: Devrien A. F., 1886. 230 p. (In Russ.)

15. Kuznetsov B. F., Klibanova Yu. Y. Fizicheskie osnovy i matematicheskaya model′ vozniknoveniya radiatsionnykh zamorozkov [Physical foundations and mathematical model of the occurrence of radiation frosts]. In *Problemy i perspektivy ustojchivogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: Materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. (Irkutsk, 15–16 noyabrya 2018 g.).* Irkutsk, 2018, pp. 186–194. (In Russ.)

16. Kurashev A. S. Antekologiya zlakov al'piiskogo poyasa severo-zapadnogo Kavkaza [Antecology of cereals of the Alpine belt of the north-western Caucasus]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdel biologicheskii*, 2012, vol. 117, no. 2, pp. 56–64. (In Russ.)

17. Makhatkov I. D., Ermolov Yu. V. Spatial variation of the root zone layer temperature in the northern taiga of West Siberia. *The Journal of Soils and Environment.* 2019, vol. 2(4), pp. 4–15. DOI: 10.31251/pos.v2i4.105. (In Russ.)

18. Mokhov I. I. *Klimat. Bol'shaya rossijskaya entsiklopediya: nauchno-obrazovatel'nyj portal* [Climate. Great Russian Encyclopedia: scientific and educational portal]. (In Russ.) URL: https://bigenc.ru/c/klimat-780c32/?v=7756332 (Accessed 7 June 2023).

19. Neustruev S. S. *Elementy geografii pochvy.* [Elements of soil geography]. Leningrad: Gosudarstvennoe sel'skokhozyaistvennoe izdatel'stvo, 1930. 240 p. (In Russ.)

20. Pinskoy V. N., Kashirskaya N. N., Idrisov I. A., Yeltsov M. V., Borisov A. V. Soils of agricultural terraces on carbonate rocks of the Eastern Caucasus. *Regional geosystems*, 2022, vol. 46, no. 1, pp. 5–13. (In Russ.) DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-5-13

21. Podrezova Yu. A. Modern climate change in the central and southern partsof the forest-steppe zone of the Russian Plain. *Geographical Bulletin*, 2025, no. 2(73), pp. 105–115. (In Russ.) DOI: 10.17072/2079-7877-2025-2-105-115

22. *Polevoi opredelitel' pochv / pod red. N. B. Khitrov* [Field soil determinant / edited by N. B. Khitrov]. Moscow: Pochvennyi institut imeni V. V. Dokuchaeva, 2008. 182 p. (In Russ.)

23. Ponomarenko E. A., Kolomina T. M. Vozdeistvie vypasa skota na biotsenozy Priol'khon'ya i ostrova Ol'khon (ozero Baikal) [The impact of cattle grazing on the biocenoses of the Volga region and Olkhon Island (Lake Baikal)]. In *Klimat, ekologiya, sel'skoe khozyaistvo Evrazii, Materialy IX mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Irkutsk, 21–22 maya 2020 goda. p. Molodezhnyi: Irkutskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet im. A.A. Ezhevskogo*, 2020, pp. 107–115. (In Russ.)

24. Kaurichev I. S., Panov N. P. Pink N. N., Stratonovich M. V. Fokin A. D. *Pochvovedenie: ucheb. dlya vuzov po spets "Agrokhimiya i pochvovedenie"* [Soil science: textbook. for universities on spec. "Agrochemistry and soil science"]. Moscow: Agropromizdat, 1989. 718 p. (In Russ.)

25. Rusanov A. M. Vliyanie antropogennykh nagruzok na period biologicheskoi aktivnosti i gumus chernozemov [Influence of anthropogenic loads on the period of biological activity and humus of chernozems]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 1999, no. 2, pp. 59–65. (In Russ.)

26. Semina I. S., Androkhanov V. A. Issledovaniya temperaturnogo rezhima embriozemov na otvalakh Kaltanskogo ugol'nogo razreza [Studies of the temperature regime of embryozems in the dumps of the Kaltan coal mine]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, 2010, no. 5, pp. 189–195. (In Russ.)

27. Tichodeeva M. Yu., Lebedeva V. H. *Prakticheskaya geobotanika (analiz sostava rastitel'nykh soobshchestv): uchebnoe posobie* [Practical geobotany (analysis of the composition of plant communities): studies. Stipend]. Saint Petersburg: Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta, 2015. 166 p. (In Russ.)

28. Urusevskaya I. S., Alyabina I. O., Shoba S. A. Soil-geographical zoning as a scientific direction and the basis of rational land use. *Eurasian soil science*, 2015, no 9, pp. 1020–1035. (In Russ.) DOI: 10.7868/S0032180X15090129

29. *Fiziko-khimicheskie metody issledovaniya pochv / pod red. N. G. Zyrina, D. S. Orlova* [Physico-chemical methods of soil research / edited by N. G. Zyrin, D. S. Orlov]. Moscow: MGU, 1980. 382 p. (In Russ.)

30. Shulgin A. M. *Klimat pochvy i ego regulirovanie* [Soil climate and its regulation]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1967. 302 p. (In Russ.)

31 Farouki O. Thermal properties of soils, vol. 81, no 1. Hanover, NH: US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 1981. 136 p.

32. Jaccard P. Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences Naturelles*, 1908, vyp. 44, pp. 223–270.

33. Köppen W. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. *Geographische Zeitschrift*, 1900, vol. 6, pp. 593–611.

34. *Mountain-forecast*: website. URL: https://www.mountain-forecast.com/ (Accessed 10 September 2025).

35. Ni J., Cheng Y., Wang Q., Ng C. W. W., Garg A. Effects of vegetation on soil temperature and water content: Field monitoring and numerical modelling. *Journal of Hydrology*, 2019, vol. 571, pp. 494–502. DOI: 10.29133/yyutbd.754479

36. Odriozola I., García-Baquero G., Laskurain N. A., Aldezabal A. Livestock grazing modifies the effect of environmental factors on soil temperature and water content in a temperate grassland. *Geoderma*, 2014, vol. 235, pp. 347–354. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.08.002

37. Petrosyan A. A., Chernysheva E. V., Pinskoy V. N., Borisov A. V. Comparison of methods for determining microbial biomass in organo-accumulative mountainous soils of the Caucasus. *Eurasian Soil Science*, 2024, vol. 57, no 12, pp. 2122–2133 (in Russ.). DOI: 10.1134/S1064229324602208

38. Ryckeboer J., Mergaert J., Vaes K., Klammer S., De Clercq D., Coosemans J., Swings J. A. Survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. *Annals of microbiology*, 2003, vol. 53, no. 4, pp. 349–410.

39. Sokolova G. G. The influence of terrain altitude, slope exposure and slope degree on plant spatial distiribution. *Acta Biologica Sibirica*, 2016, vol. 2, no 3, pp. 34–45. DOI: 10.14258/abs.v2i3.1453

40. Trask J. C., Devine S. M., Fogg G. E. Soil temperature survey in a mountain basin. *Geoderma*, 2020, vol. 367. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114202

41. Yan Y., Yan R., Chen J., Xin X., Eldridge D. J., Shao C., Xu L. Grazing modulates soil temperature and moisture in a Eurasian steppe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018, vol. 262, pp. 157–165. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.07.011

Статья поступила в редакцию: 12.11.25, одобрена после рецензирования: 22.01.26, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 12 November 2025; approved after review: 22 January 2026; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах
Виктор Николаевич Пинской
Кандидат географических наук,
научный сотрудник
лаборатории археологического почвоведения,
Институт физико-химических и биологических
проблем почвоведения Российской академии наук;
142290, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2
ORCID: 0000-0002-7463-5186, SPIN-код: 6354-2516,
РИНЦ AuthorID: 800772

Information about the authors
Viktor N. Pinskoy
Candidate of Geographical Sciences,
Researcher, Laboratory of Archaeological Soil Science,
Institute of Physicochemical and Biological Problems
in Soil Science of the Russian Academy of Sciences;
2, Institutskaya st., Pushchino, 142290, Russia
ORCID: 0000-0002-7463-5186, SPIN-code: 6354-2516,
eLibrary AuthorID: 800772

e-mail: pinskoy@inbox.ru

Виктория Александровна Маханцева
Младший научный сотрудник лаборатории карбомониторинга наземных экосистем, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук; 142290, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2
ORCID: 0000-0001-5252-391X, SPIN-код: 6946-2635, РИНЦ AuthorID: 926799

Victoria A. Makhantceva
Junior Researcher, Laboratory of Carbon Monitoring of Terrestrial Ecosystems, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences; 2, Institutskaya st., Pushchino, 142290, Russia
ORCID: 0000-0001-5252-391X, SPIN-code: 6946-2635, eLibrary AuthorID: 926799

e-mail: victoriamakhantceva@gmail.com

Игорь Алексеевич Шаев
Кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории археологического почвоведения, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук; 142290, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2
ORCID: 0009-0006-9990-967X, SPIN-код: 4039-6124, РИНЦ AuthorID: 1267562

Igor A. Shaev
Candidate of Biological Sciences, Researcher, Laboratory of Archaeological Soil Science, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences; 2, Institutskaya st., Pushchino, 142290, Russia
ORCID: 0009-0006-9990-967X, SPIN-code: 4039-6124, eLibrary AuthorID: 1267562

e-mail: algimantas444@mail.ru

Елена Владиславовна Чернышева
Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории археологического почвоведения, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук; 142290, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2
ORCID: 0000-0002-8526-4798, SPIN-код: 9076-9791, РИНЦ AuthorID: 761467

Elena V. Chernysheva
Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Archaeological Soil Science, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences; 2, Institutskaya st., Pushchino, 142290, Russia
ORCID: 0000-0002-8526-4798, SPIN-code: 9076-9791, eLibrary AuthorID: 761467

e-mail: chernysheva1988@gmail.com

Александр Владимирович Борисов
Кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией археологического почвоведения, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук; 142290, г. Пущино, ул. Институтская, д. 2
ORCID: 0000-0001-5031-7477, SPIN-код: 3472-8123, РИНЦ AuthorID: 76360

Alexander V. Borisov
Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Archaeological Soil Science, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences; 2, Institutskaya st., Pushchino, 142290, Russia
ORCID: 0000-0001-5031-7477, SPIN-code: 3472-8123, eLibrary AuthorID: 76360

e-mail: a.v.borisovv@gmail.com

Вклад авторов
Пинской В. Н. – обработка материалов, написание статьи.
Маханцева В. А. – геоботаническое описание.
Шаев И. А. – редактирование текста статьи.
Чернышева Е. В. – почвенные анализы.
Борисов А. В. – идея, организация экспедиции.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors
Viktor N. Pinskoy – processing of the materials; writing of the article.
Victoria A. Makhantceva – geobotanical description.
Igor A. Shaev – text editing.
Elena V. Chernysheva – soil analyses.
Alexander V. Borisov– the idea; organization of the expedition.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Научная статья
УДК 551.89(571.1)
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-20-31
EDN: WPNIKN

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРИВНОГО РЕЛЬЕФА ЮГА ОБЬ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Марк Андреевич Ищенко ✉, Даниил Олегович Паршин
Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
✉ ischenkom1998@gmail.com

Аннотация. В пределах юга Западной Сибири широкое распространение получили комплексы эоловых гряд северо-восточной ориентации, именуемых гривами. Их возраст соотносится с концом позднего неоплейстоцена. Целью данного исследования является выявление морфологических особенностей и пространственных закономерностей в развитии гривного рельефа на территории юга Обь-Иртышского междуречья как одной из самых характерных зон распространения данных форм. Для достижения цели акцент был сделан на использовании морфометрического анализа, применение которого осуществлялось посредством работы с цифровой моделью рельефа FABDEM в геоинформационной среде QGIS.

В результате проделанной работы дано уточнение и описание ранее обозначенных ареалов гривного рельефа, выявлены и обоснованы пространственные и морфометрические закономерности внутри ареалов и для всего комплекса рассматриваемой территории. Пространственный анализ показал как широкий спектр конфигураций самого гривного рельефа, так и комбинаций морфометрических характеристик для разных его участков. Была выявлена слабая вариативность северо-восточных ветров, влияющих на направления эолового морфогенеза, а также сильное воздействие на них увалов Приобского плато и приподнятой Васюганской равнины. Коэффициент корреляции Пирсона продемонстрировал средне-слабую общую взаимосвязь между основными характеристиками.

Полученные результаты позволяют дополнить представления о механизмах формирования гривного рельефа и обозначить сложность и метахронность его развития, выраженную пространственную дифференциацию объемов материала, более сложную динамику эолового морфогенеза для участков в районе озера Чаны, а также к югу и юго-востоку от него.

Ключевые слова: гривы, гривный рельеф, морфометрический анализ, древние эоловые системы, Барабинская низменность

Для цитирования: Ищенко М. А., Паршин Д. О. Особенности распространения и морфометрические характеристики гривного рельефа юга Обь-Иртышского междуречья // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 20–31. EDN: WPNIKN DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-20-31

Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-20-31
EDN: WPNIKN

DISTRIBUTION FEATURES AND MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE RIDGE RELIEF IN THE SOUTH OF THE OB-IRTYSH INTERFLUVE

Mark A. Ishchenko [1]✉, Daniil O. Parshin[1]
[1, 2] St Petersburg State University, St Petersburg, Russia
✉ ischenkom1998@gmail.com

Abstract. A widespread feature of the south of Western Siberia is sets of northeast-oriented aeolian ridges, called “griva,” formed at the end of the Late Pleistocene. This study aims to identify morphological features and spatial patterns in the development of the ridge relief in the south of the Ob-Irtysh interfluve. To achieve this goal, morphometric analysis was performed using the FABDEM digital terrain model in the QGIS geoinformation environment.

We have clarified and described previously discovered areas, identified and substantiated spatial and morphometric patterns both within particular areas and for the whole set of the ridges. Spatial analysis has shown a wide range of configurations of the “griva” relief on the whole as well as of the combinations of morphometric characteristics

© Ищенко М. А., Паршин Д. О., 2026

Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

for different parts of it. The study has revealed a low variability of northeast winds affecting the directions of aeolian morphogenesis and also a strong influence of the Ob Plateau slopes and the elevated Vasyugan Plain on them. The Pearson correlation coefficient demonstrated a medium-weak overall relationship between the main characteristics.

The results obtained expand the understanding of the mechanisms underlying the formation of ridge relief and reveal the complexity and metachronism of its development, demonstrate pronounced spatial differentiation of the material volumes and more complex dynamics of aeolian morphogenesis for the area of Lake Chany itself, as well as to the south and southeast of it.

Keywords: ridges, "griva" relief, morphometric analysis, ancient aeolian systems, Baraba Steppe

For citation: Ishchenko M. A., Parshin D. O. Distribution features and morphometric characteristics of the ridge relief in the south of the Ob-Irtysh interfluve. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 20–31. EDN: WPNIKN DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-20-31

Введение

Среди многообразия древних мезоформ юга Западной Сибири особое место занимают широко распространенные комплексы прямолинейных пологих песчаных гряд северо-восточной ориентации, известных в литературе как «гривы». Их возраст соотносится с концом позднего неоплейстоцена [9]. Сложившийся в настоящее время консенсус в отношении ведущей роли эолового фактора в вопросе генезиса [3; 4; 9; 16] позволяет рассматривать данные образования в качестве древних дюн, представляющих собой полноценную эоловую систему, подчиненную тем же законам и механизмам, что и аналоги в более аридных регионах.

Одним из ключевых подходов при изучении подобных систем является морфометрический анализ, включающий как математическое описание морфологических особенностей отдельных дюн, так и выявление закономерностей изменения численных параметров в их группах. Вместе с разными подходами к дешифрированию целевых форм рельефа он продолжает быть актуальным и реализуется применимо к линейным дюнам [21; 27], бэровским буграм с применением ГИС- и статистического анализа [6], самим гривам целевой области [20] и другим линейным формам иного генезиса [29].

В пределах южной половины Обь-Иртышского междуречья, включающей Барабинскую и Кулундинскую низменности, а также часть Приобского плато, участки гривного рельефа занимают до 60 % площади, характеризуясь высокой плотностью форм и их заметным морфологическим разнообразием. Данные особенности делают территорию наиболее подходящей для осуществления количественного анализа, предполагающего, наряду с выявлением общих трендов, учет многообразных отклонений как потенциальной опоры для уточнения механизма образования грив.

За более чем столетнюю историю изучения гривного рельефа разные исследователи, описывая количественные характеристики, приводили крайне разнящиеся сведения. Так, если И. В. Пилькевич [16] определяет ширину грив в пределах от 300–400 до 1500 м, И. А. Волков поднимает нижнюю границу до 700 м [3]. Длина грив чановского района согласно Л. А. Орловой [12] достигает 20–25 км, что близко к значениям, приводимым Б. Ф. Петровым [15] для Барабинской низменности в целом – 10–20 км, но противоречит другим специалистам [1; 16], в работах которых длина не превышает нескольких километров. На фоне этого несоответствия в отношении вариативности высот большинство авторов сходятся на диапазоне 5–15 м.

Такой разброс связан с крайней неоднородностью внутри группы грив, а также их отличиями от комплекса к комплексу. Вследствие этого указание тех или иных значений необходимо приводить с привязкой к конкретной группе грив. С этой целью были осуществлены [14] районирование и индексация ареалов гривного рельефа для всей территории юга Западной Сибири. В данной работе рассматриваются восточные, расположенные на Обь-Иртышском междуречье, ареалы: Чановский (*Chan*), Карасуский (*Kar*), Бурлинский (*Burl*). Включение в выборку Верхнеиртышского комплекса (*UpIr*) обусловлено его расположением западнее (перед изучаемой территорией по направлению образовавших гривы в рамках поддерживаемой нами гипотезы ветров) и предположением о единстве процесса формирования для всех указанных ареалов.

Данное исследование посвящено дешифрированию форм гривного рельефа в обозначенных областях, уточнению зон его распространения, описанию, сбору и анализу морфометрических характеристик гряд, выявлению особенностей и закономерностей с целью определения возможных признаков относительно генезиса и развития комплексов грив в контексте окружающей территории.

Материалы и методы

Особенности региона и объекта исследования. Зона изучения (рис. 1) занимает обширные аккумулятивные равнины южной половины Обь-Иртышского междуречья – Барабинскую и северную часть Кулундинской низменности. Для территории характерно развитие многочисленных разноразмерных озерных котловин разнообразного происхождения и возраста наряду со слабой развитостью гидрографической сети.

Тенденция к относительному опусканию большей части района (на фоне воздымания Алтайского орогена и, в частности, Приобского плато) в течение неотектонического этапа [1] определила специфику геологического строения данных морфоструктур: основания равнин сложены миоценовыми глинами павлодарской и таволжанской свит [5], на которых с размывом залегают озерные и аллювиальные образования четвертичного периода, в свою очередь перекрытые маломощным (до 12 м) чехлом лессоидов позднего неоплейстоцена [18].

Ставя задачи, связанные с изучением морфологии и пространственного распространения гривного рельефа, необходимо отметить, что точных критериев для термина «грива» не установлено. Вследствие этого под гривным рельефом авторами статьи понимается *комплекс явно выраженных в рельефе вытянутых пологих линейных гряд шириной от 300 до 600 м, а также аналогичных линейных форм реже меньшей или большей ширины, с длиной до 20 км*.

Важно отметить, что понятие «гривно-ложбинный рельеф» (в дальнейшем ГЛР) является частным понятием, поскольку как по нашим наблюдениям, так и по наблюдениям других авторов [7; 10] гривный рельеф может быть представлен даже единичными формами. Называемые гривами комплексы палеодюн иной морфологии [9; 11], распространенные и на сопредельных территориях, в данной работе не рассматриваются.

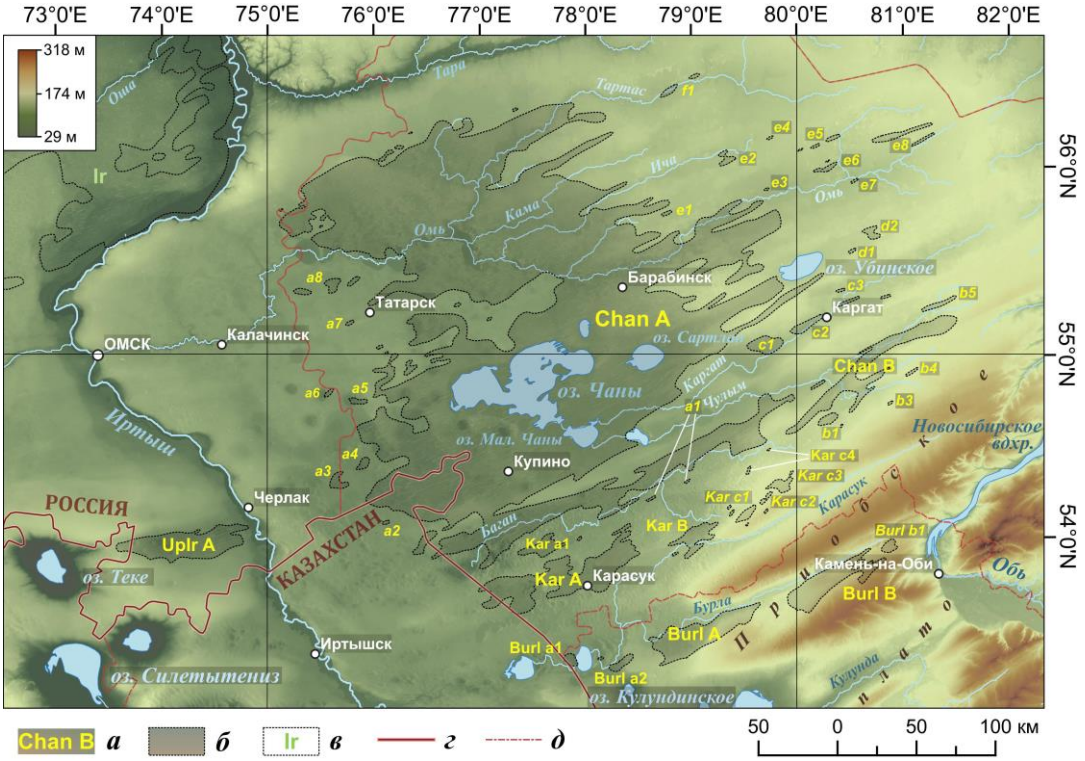


Рис. 1. Ареалы распространения гривного рельефа на территории юга Обь-Иртышского междуречья и левобережья Иртыша юго-востока Омской области с заданной индексаций:
а – индексы ареалов; б – границы ареалов; в – границы и индексы ареалов, не рассматриваемых в данной статье; г – границы стран; д – границы адм. единиц 1-го порядка.
Границы рассматриваемых ареалов даны с уточнениями (см. след. раздел)
Fig. 1. Ridge relief areas in the south of the Ob-Irtysh interfluve and the left bank of the Irtysh in the southeast of the Omsk region with a given indexation:
а – indexes of areas; б – boundaries of areas; в – boundaries and indexes of areas not considered in this article; г – borders of countries; д – borders of administrative divisions.
The boundaries of the considered areas are specified (see next section)

Материалы и методы. Для проведения работ за основу была взята цифровая модель рельефа (в дальнейшем ЦМР) FABDEM с пространственным разрешением 30 м [28], которая, по заявлению авторов, в отличие от более ранних ЦМР (SRTM и ASTER GDEM и лежащей в основе Copernicus DEM), содержит меньше высотных искажений, вызванных постройками и древесной растительностью.

Все работы проводилась в программном пакете QGIS. Начальная обработка осуществлялась с помощью набора инструментов модуля WhiteToolBox [23], заранее предустановленного в среде используемой ГИС.

В частности, открытые инструменты DevFromMeanElev (DEV) и DiffFromMeanElev (DIFF) [30], имеющие сходный результат с высокочастотной фильтрацией и являющиеся метриками локальной топографический позиции [25], позволили более явно выделить локальные высотные максимумы, тем самым сделав более выраженной как морфологию грив, так и переходы между ними и к смежным пространствам. Эмпирическим путем было выявлено, что DEV лучше, нежели DIFF, показывает данные переходы.

Для дифференциации значений полученных растров и вычисления векторных данных использовались классификация с обучением и реклассификация по таблице. Обилие сопряженных с гривами форм, сложная конфигурация самого гривного рельефа, а также недостаточная точность результатов классификации в совокупности с возможностями уточнения контуров гряд с помощью использования одновременно

преобразованных растров и мультимасштабных снимков сервисов GoogleMap, «Яндекс Карты», BingMap определили включение масштабных работ по ручной корректировке и дешифрированию контуров грив на основе ранее полученных векторных данных.

Выбранный комплексный метод, несмотря на значительно увеличившиеся времязатраты, в процессе показал положительные результаты (рис. 2), минимизируя, например, проблемы автоматизированного дешифрирования слабовыраженных на ЦМР форм [19] и значительно уточняя методологию дешифрирования грив на космоснимках по площадям пашен и пастбищ [17], а также в ситуациях, где по градиенту растительности, по наличию склоновых микроформ и внегривных мезоформ переход от ложбины или равнины к склону гривы почти неразличим.

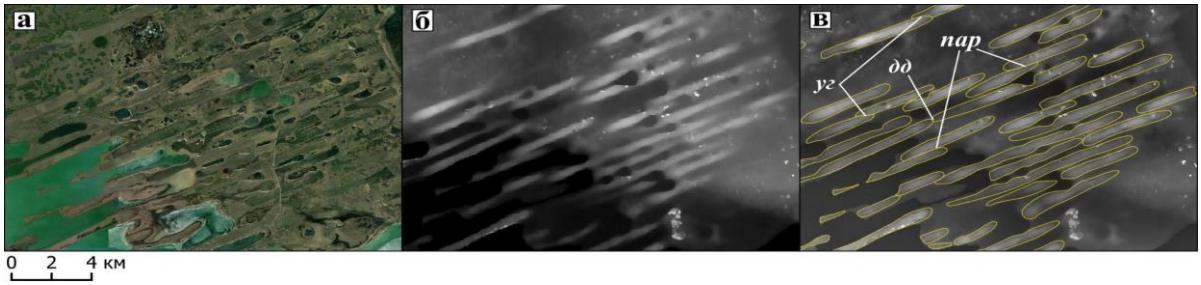


Рис. 2. Примеры результатов выделения гривного рельефа на участок вокруг села Зюзя:
а – спутниковый снимок ESRI Satellite, б – ЦМР,
в – выделенные гривы с наложением на результат работы DevFromMeanElev.
Примеры сомкнутости/примыкания грив: дд – друг за другом, пар – параллельно, уг – «углами»
Fig. 2. Examples of the highlighting of ridge relief in the area around the village of Zyuzya:
а – satellite image of ESRI Satellite, б – DEM,
в – highlighted ridges superimposed on the result obtained with the use of the DevFromMeanElev.
Examples of the closeness/adjacency of ridges: дд – one behind another, пар – parallel, уг – adjoining at “corners”

В дальнейшем автоматическим способом с последующей ручной корректировкой строились осевые линии грив, что позволило для каждой отдельно взятой гряды рассчитать ее длину и азимут. Методом построения на осевой линии точек с шагом 300 м между и 150 м от начала и конца самой линии (значения подобраны эмпирически), а затем перпендикуляров от них до контура гряды были рассчитаны средние, максимальные, минимальные значения ширины каждой гривы. По соотношению показателей длины и ширины были определены коэффициенты удлинения (1):

$$E = L/W, \quad (1)$$

где L – длина гривы; W – средняя ширина гривы.

Для самих полигональных объектов грив рассчитывались значения площади, зональная статистика по ЦМР, включающая среднюю, максимальную, минимальную высоты. Задавалась классификация типа гривы, исходя из ее формы – имеются ли какие-то отхождения от наиболее распространенной вытянутой овальной формы; смежного расположения с другими гривами – сомкнуты/касаются параллельно, друг за другом, углами; имеется ли нарушенность формы гривы в поперечном или продольном профиле, которая в подавляющем числе случаев имеет видимый абразионный генезис под действием существующих озер или существовавших в прошлом факторов в пределах палеоозерных котловин.

Расчет высот грив производился методом вырезания из исходной ЦМР занятых гривами участков, заполнением вырезанных участков средними значениями окрестного рельефа с последующим вычислением высоты грив через вычитание из значений исходной ЦМР значений растра с заполненными пустотами с учетом эмпирически вычисленной поправки на особенности работы инструмента заполнения, равной ~1 м. С помощью зональной статистики из результирующего растра извлекались значения средней, максимальной, минимальной и большинства высот.

С целью минимизации влияния на вычисляемые значения высот приподошвенной части гряд осуществлялся расчет высот по осевой линии. Для этого на ней с шагом в 200 м между и 100 м от начала и конца линии строились точки, из которых брались значения ЦМР, и методом объединения атрибутов по расположению внутри полигона каждой гривы находились аналогичные прошлому шагу значения высот.

Необходимо отметить, что ЦМР FABDEM на исследуемых территориях полностью не очищена от артефактов после удаления древесной растительности. С учетом расположения Чановского гривного ареала в пределах нескольких геоботанических зон [13] возрастает роль искажения средних значений высот. Изучение спутниковых снимков и их сопоставление с ЦМР показало, что лишь единичные гривы полностью заняты древесным покровом, тогда как более распространены локальные артефакты, искажающие верхние значения, но вносящие ограниченный вклад в значения средних высот по гребню (табл. 1).

В силу отсутствия на FABDEM данных по батиметрии озер, расположенные ниже уреза воды части грив в вопросах определения форм и вычисления морфометрических характеристик учтены не были.

Завершение процесса полуавтоматического выделения грив в пределах исследуемой области позволило уточнить границы четырех обозначенных для исследования ареалов гривного рельефа.

Разделение ареала гривного рельефа Обь-Иртышского междуречья В. А. Николаева и соавторов на три типа: чановский, барабинский, тармакульский [10], исходя из приуроченности к особенностям рельефа, выраженности грив и межгривных понижений, которую можно рассматривать как функцию морфометрического анализа, а также степени фронтального развития, легло в основу идеи дифференцировать крупный чановский ареал на семь типов с целью осуществления внутреннего сравнительного анализа. Особенности и распространение каждого типа представлены в следующем разделе.

Таблица 1
Table 1

Примеры влияния очаговых артефактов ЦМР на показатели средней и максимальной высот
Examples of the impact of focal DEM artifacts on the average and maximum elevation values

Название	*Координаты*	*% покрытия древесной растительностью вдоль осевой линии*	*Значения с артефактами*			*Значения с очищенными артефактами*		
			ср. высота (м)	*макс. высота (м)*	*СКО*	*ср. высота (м)*	*макс. высота (м)*	*СКО*
Грива (деревня Квашнино)	55.006763, 77.826141	8 %	5,78	13,3	2,37	5,27	7,7	1,42
Грива Кирилловская	55.073150, 77.887282	14 %	3,76	5,93	1,35	3,73	5,35	1,3
Грива Казанцева	55.082103, 77.662256	1,7 %	5,85	10,5	2,55	5,82	9,6	2,5

На основе преобразованных с помощью инструмента DevFromMeanElev участков ЦМР на юге Барабинской низменности и севере Кулундинской низменности были выделены границы распространения поперечных и параболических дюн, бугристых песков, крупных палеоозерных котловин – определены зоны их наложения на ареалы гривного рельефа. Создание графиков и диаграмм, расчет коэффициента корреляции осуществлялись с помощью библиотек Matplotlib, SciPy и GeoPandas на языке программирования Python в среде Jupyter Notebook.

Результаты

Основные положения. Общее количество выделенных в результате проведенных работ грив составило около 4 тыс. для южной части Обь-Иртышского междуречья и 131 для ареала *UpIr*. Их средние морфометрические характеристики в рамках каждого ареала и субареала представлены в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Данные площади и средние значения основных морфометрических показателей для каждого субареала
Area data and average values of the main morphometric indicators for each subarea

Ареал	*Суб-ареал*	*Площадь ($км^2$)*	*Кол-во грив*	*Средняя длина (км)*	*Средний азимут (°)*	*Средняя ширина (м)*	*Средняя высота по гребню (м)*	$E_{ср.}$
Chan	A	39300	3221	3,29	64,1	422	3	7,73
	a1-8	270	29	2,58	65,49	524	2,44	5,14
	c-f	606	43	3,86	62,98	385	2	10,64
	B	960	66	3,06	56,25	384	2,6	8,39
	b1-5	136	14	3,85	55	341	2,4	11,46
Kar	A	1630	244	2,87	63,36	442	2,3	6,52
	a1	180	23	2,42	60,79	555	3,2	4,61
	B	250	51	2,64	51	451	3	5,71
	c1-c4	178	32	2,18	41,27	406	1,9	5,41
Burl	a1-2	122	10	3,15	67,2	455	2,5	6,93
	A	930	125	2,77	54,91	379	2,4	7,52
	B	710	89	3,76	51,34	363	2,7	10,57
	b1	53	7	3,42	60,58	421	2,5	8,31
UpIr		1060	131	3,75	73,29	499	3	7,36

Анализ полученных выборок показал, что разные величины для тех или иных морфометрических характеристик применимо к разным ареалам и субареалам могут иметь свои особенности распределения (рис. 3), что делает усредненные величины слабо репрезентативными.

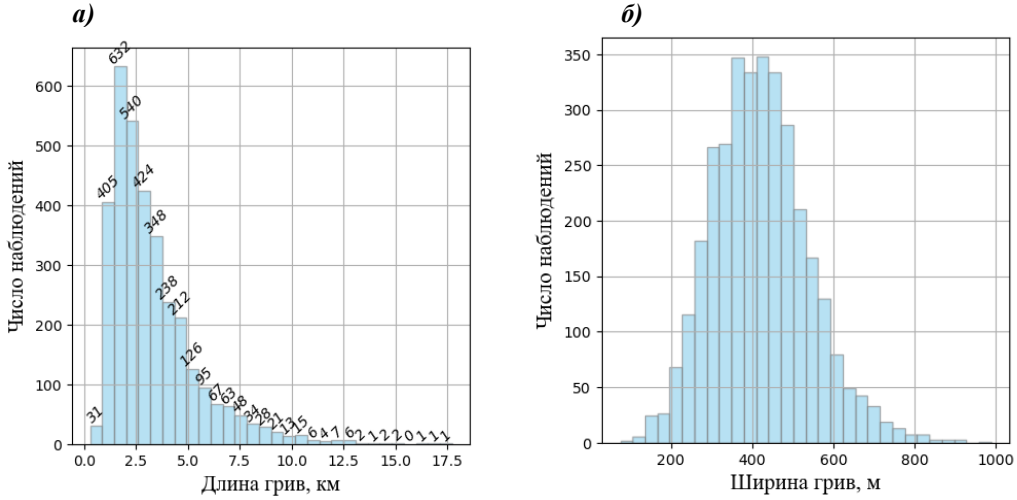


Рис. 3. Графики частоты значений длины (а) и ширины (б) для ареала Chan
Fig. 3. Frequency plots of length (a) and width (б) values for the Chan area

Указанный фактор делает необходимым подробное рассмотрение особенностей полученных данных в контексте ареалов и субареалов.

Чановский ареал (Chan). *Chan A* занимает обширную территорию бессточной части Барабинской низменности от границы Омской и Новосибирской областей до долготы озера Убинское, включая средний и нижний бассейн реки Омь. В северо-восточном направлении субареал участками линейно вытягивается, чаще тяготея к ложбинам и долинам рек. Похожая специфика расположения справедлива множеству небольших полей и единичных грив – *Chan c1-3, d1-2, e1-8, f1*.

Самый южный участок, отделенный от остального субареала локальным возвышением, развивается вдоль реки Баган, где с юга граничит или совместно развивается с полями иного типа дюн (рис. 4). В верховьях реки Чулым фрагментируется с выделением обособленного субареала *Chan B*.

Расположенные западнее *Chan A* отдельные поля могут развиваться как в контексте других дюнных полей (*Chan a3-4*), на восточных бортах озерных котловин (*Chan a5-6*), так и самодостаточно (*Chan a7-8*).

В контексте обозначенной в прошлом разделе классификации необходимо провести краткое описание основных особенностей выделенных нами 7 типов гривного рельефа (рис. 4).

Типы ABCa/b – приурочены к котловине озер Чаны, включая гипсометрические уровни таких озер, как Мал. Чаны, Яркуль, Тухлое, Чебаклы. В основу лег чановский тип по В. А. Николаеву [10]. Являются продолжением двух других районов: *A* и *B*.

Тип A – эталонный ГЛР. Сильно выраженное фронтальное развитие, более слабое продольное. По В. А. Николаеву [10], участок барабинского типа. Включает подтип *ABCa*, представленный выраженными фронтами грив по восточному побережью озера Чаны (включая Юдинский плёс) и участки на западном берегу, где они приурочены к связанным котловинам более мелких озер. Вне озерных котловин представлен несколькими ансамблями ГЛР, среди которых выделяется комплекс из нескольких идущих друг за другом фронтов ГРЛ в районе городов Барабинск и Куйбышев.

Семнадцать процентов гряд имеют ширину меньше 300 или больше 600 м. 50 % имеют искажение контура за счет боковой или реже поперечной нарушенности озерными котловинами. Последнее наиболее выражено на восточных берегах озер Чаны (включая Юдинский плёс) и Мал. Чаны, в том числе ниже уровня воды, что видно на ЦМР котловин этих озер [8]. Треть грив имеет примыкание тем или иным образом.

Расположенные южнее широты 55°30′ и относящиеся к *типу A* гривы образуют правильный рисунок, отличаются большей средней (в дальнейшем ср.) высотой в широком диапазоне – от 3 до 7 м (участками). Севернее значение ср. высот начинает неравномерно падать, на широте 56° правильный рисунок искажается и осложняется бóльшим количеством коротких, низких, узких грив.

Тип B – по В. А. Николаеву [10]. Также участок барабинского типа – менее выраженное фронтальное развитие, более выраженное продольное, общая плотность уменьшается с сохранением как участков высокой плотности, так и с появлением редких одиночных грив. Развивается вместе (где-то «поочередно») с участками типа *A/ABCa*, развивая магистральные участки фронтов, на севере – осуществляя плавный переход между типами *A* и *D*.

На крайнем участке *Chan A* к западу-юго-западу от озера Чаны выражен крупный участок выделяющихся своей шириной грив (от 600 до 850 м) при диапазонах длин 2–13 км и ср. высот 2–5,7 м. В остальных частях только 23 % гряд находится вне диапазона 300–600 м. Распространены примыкания параллельно и «углами».

В пределах северной акватории озера Чаны вне фронтов грив типа *ABCa* форма гряд сильно нарушена, по ЦМР дна [8] прослеживаются затопленные участки, одна грива полностью затоплена. Общее кол-во грив с абразионными нарушениями в пределах котловины Чанов и др. составляет 46 %, вне – 21 %.

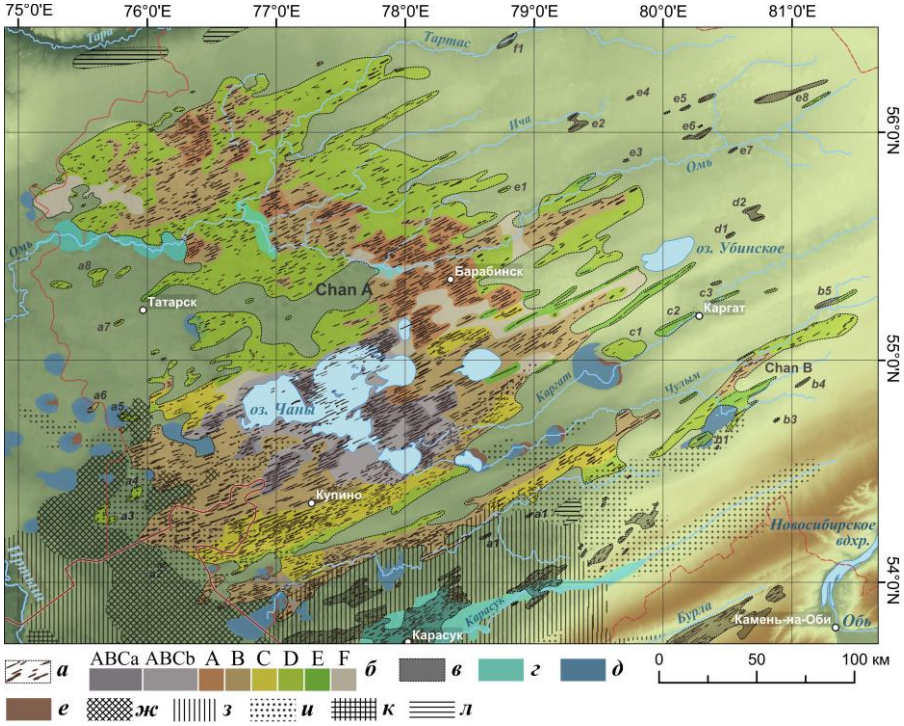


Рис. 4. Карта дифференциации ареала Chan и смежных эоловых форм;
а – гривы, б – выделенные районы Chan (см. описание в тексте); в – другие ареалы гривного рельефа и отдельные восточные участки Chan A; г – озеровидные расширения и древние долины; д – крупные палеоозерные котловины вне ареалов гривного рельефа; е – крупные эоловые структуры; зоны распространения параболических дюн (ж), поперечных дюн (з), дюн неправильной формы и бугристых песков (и), поперечных дюн с наложенными продольными (к), линейных дюн (гривы) (л)
Fig. 4. A map of the differentiation of the Chan range and adjacent aeolian forms;
а – ridges, б – selected Chan areas (see description in the text); в – other areas of the ridge relief and selected eastern parts of Chan A; г – lake-like extensions and ancient river valleys; д – large paleolake basins outside the areas of the ridge relief; е – large aeolian structures; distribution zones of parabolic dunes (ж), transverse dunes (з), irregularly shaped dunes and hummocky sands (и), transverse dunes with superimposed linear dunes (к), linear dunes (griva) (л)

Тип C аналогичен *типу B*, развит вне крупных озерных котловин, выделяется присутствием большого количества (до 45 %) низких (ср. высота – 1,9 м) и коротких (ср. длина – 1,7 км) грив с средней шириной ~300 м, расположенных отдельными массивами или «вперемешку» с более высокими, длинными, широкими гривами. Нарушения очертания контуров гряд имеют единицы за исключением участка к северо-западу от озера Сартлан, для которого они выражены для 50 % гряд и который можно рассматривать как переходный с *ABCa* тип. Очагами распространена сомкнутость углами.

Тип D – по Николаеву тармакульский тип – представлен обширными участками в подавляющем числе обособленных грив. Длина от 1 до 3,5 км, в районе Венгерово 3 ед. 6–7,8 км, встречаются отдельные длинные гривы в тяготеющих к Васюганской равнине участках – до 4–6 км. На центральном западном участке гривы в среднем выше (3–5,5 м), на восточных участках, включая *Chan B*, они ниже 3 м, за исключением редких экземпляров. Ширина стандартная, в среднем течении р. Тартас выделяется участок грив с шириной 600–840 м, на востоке единичные гривы – до 1 км. Только ~17 % относящихся к *типу D* гряд имеют абразионные нарушения. Встречаются редкие примеры сомкнутости под углом или параллельно.

Тип E – тяготеющие к восточной части субареалов *Chan A* и центра *Chan B* цепочки расположенных друг за другом и отдельных грив. Цепочки могут быть представлены короткими (от 2 км) гривами и включать длинные (до 16 км) гряды, обособленные гряды – от 4 до 10 км. Ширина редко превышает 400 м, высота – 3 м. Нарушения контуров отсутствуют. Для расположенных параллельно цепочек может наблюдаться сильное различие по

азимутам. Например, к югу и западу от оз. Убинского расположены две цепочки грив, где вторая цепочка накладывается на котловину озера [2], с диапазонами 51–56 и 63,5–64,7° соответственно.

Tun F – гривный рельеф отсутствует либо выражен крайне слабо.

Для всего субареала *Chan A* наблюдается магистрально изменение азимутов с уменьшением значений с запада на восток и с юга на север.

Севернее Барабинска с юга на север от 59–66 до 57–65°, от 65 на западе до 61° на востоке. Для протяженной части субареала на линии «оз. Чаны – оз. Убинское» наблюдается изменение диапазонов азимутов от 67–72 на западе до 59–64° на востоке. Для южного фрагмента субареала вдоль р. Баган – от 69–76 до 52–58°. Для обоих фрагментов изменения особо выражены в юго-восточных участках.

К западу от поселков Табулга и Чистоозёрное встречаются отдельные или участки копьевидных и вытянутых параболических палеодюн, иногда переходящих в следом идущие гривы. Также группа копьевидных палеодюн прослеживается к югу от оз. Сартлан.

Относящиеся к субареалам *Chan c1-3, d1-2, e1-8, f1* гривы в основном имеют длины 2,5–5,5 км (макс. 7,5 км), ср. высоты от 1 до 3,7 м (макс. 6 м), ширину 200–500 м, для 5 гряд – от 550 до 730 м. Могут быть как одиночные гряды, так и образовываться небольшие комплексы в фронтальном развитии или друг за другом – не более 3–4 единиц. Примыкания и искажения контуров отсутствуют.

Верхнеиртышский ареал (UpIr). Расположен в понижении. На западе начинается в районе русско-казахской границы у села Алабота. Немного расширяясь на юг, продолжается цельным массивом в северо-восточном направлении и заканчивается между селами Каразюк и Дробышево, упираясь в границу 1-й и 2-й надпойменных террас Иртыша. К западу-юго-западу расположена обширная котловина оз. Теке. На соседних водоразделах слабо прослеживаются поперечные и иной формы дюны.

В западной части ареала наблюдается три фронта грив, разделенных озерами Кумдыколь и Алабота. Выражены следы абразии гряд. Восточная часть ареала для наиболее выраженных грив имеет одновременно фронтальное и шахматное распространение. Много примыкающих под углом и расположенных друг за другом грив. Почти для всех озерных котловин отмечается вклинивание в «тело» гряд.

Имеется закономерность по морфометрическим характеристикам. Наиболее длинные гривы (до 8–12 км) связаны с восточной частью ареала и небольшим участком фронта на западе. Для первой группы также характерны несколько большие значения по ср. высоте (4–6,5 м) и ширине (до 550–800 м), тогда как во второй группе встречаются широкие и короткие, высокие и короткие гряды.

Бурлинский ареал (Burl). Полностью расположен в северо-западной части Алтайского края. Начинается фрагментарно в районе оз. Большое Топольное (*Burl a1*) и с. Бурла (*Burl a2*), соседствуя с приуроченными к озерным котловинам серповидными и поперечными дюнами.

Субареал *Burl A* начинается в районе озер Песчаное, Хомутиное, Кабанье, с. Камыши и по левобережью р. Бурлы, несколько сужаясь, продолжается до района с. Хабары. Прослеживается явная закономерность в изменении азимута: на северо-западных участках значения колеблются в основном в диапазоне 59–63°, гряды всего восточного и юго-восточного, тяготеющего к нижней части склона увала Приобского плато, фрагмента ареала имеют значения азимута в диапазоне 57–50°.

По размерным характеристикам можно выделить только восточную оконечность субареала, где наиболее длинные гривы (6–9,6 км) обладают минимальной по меркам подобной длины грив шириной (~300 м). Единичные гривы имеют нарушения контурами озер. На северо-западе фронт грив есть явные абразионные нарушения озерами Хомутиное и Песчаное.

Субареал *Burl B* начинается широким фронтом к востоку от села Плёсо-Курья, планомерно сужаясь простирается вдоль левой стороны ленточного бора в пойме р. Бурлы до с. Высокая Грива. Для северо-западного участка субареала прослеживается визуальное сходство с полями классических линейных дюн: длинные слабо изгибающиеся гряды с выраженными между ними ложбинами шириной 1–1,5 значения от ширины самих дюн. Также для этого участка в рамках субареала справедливы наибольшие значения по длине (9–16 км) и меньшие значения по ширине (230–350 м, 1 ед. – ~500 м), диапазон высот (3–4 м).

В остальных частях комплексы длиной 4–10 км грив разделены фронтами и комплексами более коротких. Для южной стороны субареала прослеживается изменение азимутов от меньших значений к большим (от 44–45 до 50–52°) – гривы расположены вдоль очередного гипсометрического уровня увала. Для восточной части справедливо плавное изменение азимутов от 52–56 до 56°, 1 ед. – 65°.

Небольшой обособленный комплекс из 7 грив *Burl b1* расположен к юго-востоку от с. Прыганка. Для него наблюдаются наибольшие значения азимутов (57–62°, 1 ед. – 64°), средние значения длин (2,8–4,7 км, 1 ед. – 1,7 км) и ср. высоты – 2,5 м, диапазон ширины в 300–540 м.

Для всего ареала *Burl* характерно малое количество сомкнутых каким-либо образом грив.

Карасукский ареал (Kar). Ареал *Kar* соседствует, участками накладывается с обширными ареалами развития переходящих друг в друга полей параболических и поперечных древних дюн; на востоке и на западе – с ареалами закрепленных бугристых песков; в приуроченных к низовьям р. Карасук озерно-болотных котловинах – с палеодюнами неправильной формы.

Основной массив субареала *Kar A* начинается на российско-казахской границе, простираясь сначала по обе стороны, а затем южнее границы Баганского и Карасукского районов Новосибирской области.

Поле гряд активно развито как в фронтальном, так и в продольном направлениях. Состоит из нескольких крупных скоплений и небольших участков с заметным рассредоточением грив. Для субареала прослеживается главенствующий диапазон азимутов в 58–66°, где более восточной части соответствуют преимущественно меньшие значения. Отдельные фрагменты в самой западной части субареала выделяются значениями азимутов в 69–72° и более. По другим показателям зависимостей не прослеживается. Можно выделить лишь редкие, длиной до 9 км гривы с обычной для окрестности ср. высотой 2,6–4,2 м. Более длинные гривы находятся на западе и центре-юго-востоке, более высокие – на западном, восточном краях, очагами в центральной части.

Субареал *Kar B* расположен к западу и северо-западу от пос. Краснoозёрское. Представлен крупным скоплением грив. Характерен диапазон азимутов 47–60°, широкий охват по всем остальным значениям, выделяется две гривы длиной 9,4 и 7,5 км и ср. высотой до 5 м.

Располагаясь на значительной части незанятых другими палео-дюнами зоны развития долин рек Карасук и Баганёнок, субареалы *Kar A* и *B* содержат гривы со следами абразионной деформации в местах контакта с активными руслами рек и озерами. Для 2-го субареала характерна большая доля сомкнутых грив: параллельно и углом. Субареал *Kar a1* расположен к юго-западу от с. Баган. Развит на фоне поля поперечных дюн, что усложняет выделение контуров гряд.

Для *Kar c1-3* характерны рассредоточенность и изменение азимутов от 41 до 33°. Второе закономерно связано с расположением на северном борту концевой части увала. Гряды короткие (1,6–2,6 км), небольшие значения ср. высот (1,6–2,5 м, 1 ед. – 4 м).

Для всех субареалов кроме *Kar c1-3* справедливы отдельные, реже – группами, гривы со значительно меньшим азимутом, чем окрестный массив – 38–45°.

Обсуждение

Вычисление коэффициента корреляции Пирсона как наиболее простого способа оценки зависимости между значениями длины, ср. высоты и ср. ширины показало (табл. 3) присутствие чаще слабой, реже средней зависимости между разными значениями как по ареалам, так и в контексте дифференциации *Chan A*.

Таблица 3
Table 3

Значения коэффициента корреляции Пирсона
по трем парам морфометрических показателей для каждого субареала
Pearson correlation coefficient values for three pairs of morphometric indicators for each subarea

	UpIr	*Kar*	*Burl*	*Burl*	*Chan A (по типам)*						
					ABCa	*ABCb*	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*
Ср. высота (м) к длине (км)	0,62	0,30	0,42	0,47	0,50	0,61	0,43	0,52	0,56	0,33	0,08
Ср. высота (м) к ср. ширине (м)	0,52	0,55	0,37	0,55	0,61	0,67	0,57	0,62	0,68	0,42	0,31
Ср. ширина (м) к длине (км)	0,60	0,37	0,09	0,45	0,48	0,42	0,44	0,49	0,50	0,49	0,28

Возможной причиной отсутствия явных корреляций между показателями может являться относительная метахронность формирования ареалов, а также их составляющих. Малые формы могут рассматриваться в качестве наиболее молодых образований, в противоположность этому крупные гривы являются зрелыми формами. Одновременно с этим дифференциация по размерным характеристикам может свидетельствовать о сложной специфике процесса переноса и аккумуляции материала для синхронно образовавшихся форм. Не исключена справедливость обоих утверждений.

Периодическая неэффективность применения некоторых соотношений чаще наблюдается для сложных эоловых скоплений, занимающих значительные площади [26], что связано с усложнением ветрового режима. Результаты корреляции для грив подтверждают данную особенность, демонстрируя наибольшие значения коэффициента Пирсона для участков типов А – С внутри *Chan A*, в значительной части состоящих из полуобособленных участков гривных фронтов и других комплексов, а также для ареала *UpIr*, для которого прослеживается исключительная среди рассмотренных ареалов динамика увеличения размерных характеристик при переходе от водораздела к пойме Иртыша.

Немаловажную роль в понимании количественных характеристик играют локальные гипсометрические особенности поверхности – перепады высот, определяющие возникновение турбулентных движений воздушных масс. Поверхность Барабинской низменности неоднородна, гривный рельеф тяготеет к переходным зонам, расположенным близ глобальных водоразделов, и часто наиболее выражен в местах локальных водоразделов, бортов котловин.

Среди ареалов наибольшие значения коэффициента Пирсона наблюдаются для соотношения высоты и ширины, что определяется стремлением дюн к равновесию в процессе формирования – при нарастании высоты начинает увеличиваться и ширина [22]. Установленная связь позволяет предположить, что в основе образования грив лежат механизмы, характерные для прямолинейных дюн в аридных регионах.

Представляя собой линейные формы, гривы в процессе формирования требуют меньшего количества материала, нежели морфологически иные типы дюн. Дефицит материала может быть объяснением небольших высот подавляющего числа грив [24].

Особенности расположения и размеров грив указывают на необходимость рассмотрения их в контексте многокомпонентного дюнного поля (рис. 4). При этом, если гривам к югу и юго-западу от Барабинска предшествуют иные эоловые формы, гривы северной части *Chan* граничат с зонами дефляции, т.е. источниками материала. Такая неоднородность в строении поля подчеркивает более сложную динамику эолового геоморфогенеза в районе к юго-востоку и югу от оз. Чаны.

Закономерности изменения азимутов осей грив демонстрируют слабовыраженную вариативность доминирующих северо-восточных ветров, в особенности в восточных и юго-восточных областях, где оказывают моделирующее действие увалы Приобского плато, а к северо-востоку – долины Васюганской равнины.

Длина и ширина грив в пределах котловины оз. Чаны сильно искажены абразионной деятельностью водоема на разных стадиях своего существования. Сохранность подошвенной части грив может говорить о резком повышении уровня озера в прошлом. Нарушенность грив небольшими озерными котловинами, изначально формировавшимися парагенетически с гривами [9], и отдельными речными руслами в других частях ареалов также говорит об обширных процессах, внесших коррективы в геоморфологическую картину региона после завершения образования гривного рельефа.

Присутствие разного рода примыканий между гривами может быть функцией продолжительности процесса, для продольных и угловых примыканий – увеличение объема и дифференциации переносимого материала. Вместе с выраженным диапазоном ориентаций грив это может указывать на многостадийность аккумуляции.

Выводы

Составлено подробное описание границ и особенностей распространения гривного рельефа на территории юга Обь-Иртышского междуречья.

Процесс аккумуляции был сложен, вероятно, имел метахронный характер для разных участков, что объясняет слабую статистическую связь между показателями в большинстве ареалов. В условиях холодного климата источниками значительной части материала были более древние дюны и осушенные в процессе аридизации участки речных долин, а также многочисленные, в том числе крупные, озерные котловины.

Гривные ареалы участками развиваются самодостаточно, большая часть формировалась в контексте сложных дюнных полей, где гривы являются, предположительно, более молодыми эоловыми формами, образованными в условиях сильных северо-восточных ветров и малого количества материала. Реконструируемые по осям грив азимуты ветров слабо менялись от юго-запада к северо-востоку. Увалы Приобского плато оказывали выраженное моделирующее действие на конфигурацию гривных полей.

Для грив внутри ареалов свойственно расположение одиночно, фронтами, а также иными сложными комплексами.

Актуальным направлением исследования является более углубленный анализ статистических показателей и рассмотрение морфометрических характеристик ареалов гривного рельефа в других частях Западной Сибири.

Библиографический список

1. *Архипов С. А.* История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. Западно-Сибирская равнина / под ред. С. А. Архипова, В. В. Вдовина, Б. В. Мизерова и др. М.: изд-во «Наука», 1970. 280 с.

2. *Берг Л. С.* Климат и жизнь / под ред. Л. С. Берга. М.: Гос. изд-во, 1922. 196 с.

3. *Волков И. А., Волкова В. С., Задкова И. И.* Покровные лёссовидные отложения и палеогеография юго-запада Западной Сибири в плиоцен-четвертичное время. Новосибирск: Наука, 1969. 331 с.

4. *Волков И. А.* Роль эолового фактора в эволюции рельефа // Проблемы экзогенного рельефообразования. М.: Наука, 1976. Т. 1. С. 264–289.

5. Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т. 2. Западная Сибирь / под. ред. В. П. Орлова. СПб: изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 477 с.

6. *Гоников Т. В.* Использование космической съемки для изучения количественных закономерностей морфологической структуры грядово-волнистых ландшафтов Северного Прикаспия // Исследование Земли из космоса. 2019. № 1. С. 38–46. DOI: 10.31857/S0205-96142019138-46 EDN: QVQBOY

7. *Гросвальд М. Г.* Евразийские гидросферные катастрофы и оледенение Арктики. М.: Научный мир, 1999. 120 с. ISBN: 5-89176-067-3 EDN: PBUPKQ

8. *Зиновьев А. Т., Дьяченко А. В., Кондакова О. В.* Моделирование термогидродинамических процессов в озере Чаны // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. Т. 4. С. 86–92. DOI: 10.33764/2618-981X-2022-4-86-92 EDN: KOKZDQ

9. *Зыкина В. С., Зыкин В. С., Маликова Е. Л.* Лёссово-почвенная последовательность и эоловый рельеф плейстоцена Западной Сибири: хронология и особенности их формирования // Геоморфология и палеогеография. 2024. № 55(2). С. 34–62. DOI: 10.31857/S2949178924020029 EDN: POMXAO

10. *Николаев В. А., Пилькевич И. В., Пучкова Д. В.* Природа гривного рельефа южных равнин Западной Сибири // История развития речных долин и проблемы мелиорации земель. Западная Сибирь и Средняя Азия. 1979. С. 166–178.

11. Новосибирская область. Топографическая карта. Листы N-43-72, N-44-61 / 1:100000 / ФГУП ГосГисЦентр, 2001 : сайт. URL: http://www.etomesto.ru/map-novosibirsk_topographic-map (дата обращения: 01.08.2025)

12. *Орлова Л. А.* Голоцен Барабы: Стратиграфия и радиоуглеродная хронология. Новосибирск: Наука, 1990. 128 с.

13. *Панадиади А. Д.* Барабинская низменность. М.: Гос. изд-во геогр. лит., 1952. 232 с.

14. *Паршин Д. О., Ищенко М. А.* О происхождении гривно-ложбинного рельефа юга Западной Сибири // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 2(69). С. 36–49. DOI: 10.17072/2079-7877-2024-2-36-49

15. *Петров Б. Ф.* Происхождение рельефа Барабы // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 1948. № 12. С. 93–97. DOI: 10.17072/2079-7877-2024-2-36-49 EDN: MPQTOP

16. Рельеф Западно-Сибирской равнины / под ред. А. А. Земцова, Б. В. Мизерова, В. А. Николаева и др. Новосибирск: Наука, 1988. 192 с.

17. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения / *А. Н. Шихов, А. П. Герасимов, А. И. Пономарчук, Е. С. Перминов.* Пермь: Издательский центр Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2020. 191 с. ISBN: 978-5-7944-3476-7 EDN: SJOODT

18. Унифицированная стратиграфическая схема четвертичных отложений Западно-Сибирской равнины / под ред. В. С. Волкова, А. Е. Бабушкина. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2000. 64 с.

19. *Чупина Д. А.* Автоматическое выделение форм и комплексов рельефа на основе морфометрического ГИС-анализа (на примере Венгеровского района Новосибирской области) // Геоморфология. 2014. № 3. С. 43–50. EDN: SNLMGJ

20. *Чупина Д. А., Зольников И. Д.* Геоинформационное картографирование форм и типов рельефа на основе морфометрического анализа // Геодезия и картография. 2016. № 6. С. 35–43. DOI: 10.22389/0016-7126-2016-912-6-35-43 EDN: WFSOBT

21. *Fischer L. M., Sommer C., Fitzsimmons K. E.* An open-source GIS approach to understanding dunefield morphologic variability at Kati Thanda (Lake Eyre), Central Australia // Frontiers in Earth Science. 2023. Vol. 11. DOI: 10.3389/feart.2023.1196244 EDN: FUTPMP

22. *Lancaster N.* Aspects of the morphometry of linear dunes of the Namib Desert // South African Journal of Science. 1981. Vol. 77. P. 366–368.

23. *Lindsay J.* The Whitebox Geospatial Analysis Tools project and open-access GIS // Proceedings of the GIS Research UK 22nd Annual Conference: conference materials (Glasgow, 16–18 April 2014). Glasgow, 2014.

24. *Ma F., Lü P., Cao M.* The Effects of Wind Regime and Sand Supply on the Coexistence of Barchans and Linear Dunes in China's Qaidam Basin // Frontiers in Earth Science. 2022. Vol. 10. P. 1–14. DOI: 10.3389/feart.2022.897640 EDN: XRYPSS

25. *Newman D. R., Lindsay J. B., Cockburn J. M. H.* Evaluating metrics of local topographic position for multiscale geomorphometric analysis // Geomorphology. 2018. No. 312. P. 40–50. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.04.003 EDN: VFWAQI

26. *Telbisz T., Keszler O.* DEM-based morphometry of large-scale sand dune patterns in the Grand Erg Oriental (Northern Sahara Desert, Africa) // Arabian Journal of Geosciences. 2018. Vol. 11. Art. 382. DOI: 10.1007/s12517-018-3738-5 EDN: NRDUXG

27. *Telfer M. W., Fyfe R. M., Lewin S.* Automated mapping of linear dunefield morphometric parameters from remotely-sensed data // Aeolian Research. 2015. No. 19. P. 215–224. DOI: 10.1016/j.aeolia.2015.03.001

28. *Uhe P., Hawker L., Paulo L., Sosa J., Sampson C., Neal J.* FABDEM – A 30m global map of elevation with forests and buildings removed // EGU General Assembly 2022: conference materials (Vienna, 23–27 May 2022). Vienna, 2022. DOI: 10.5194/egusphere-egu22-8994

29. *Wang S., Wu Q., Ward D.* Automated delineation and characterization of drumlins using a localized contour tree approach // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2017. No. 62. P. 144–156. DOI: 10.1016/j.jag.2017.06.006

30. *Wilson J., Gallant J.* Terrain Analysis: Principles and Applications. John Wiley & Sons, 2000. 520 p.

References

1. Arkhipov S. A. *Istoriya razvitiya rel'efa Sibiri i Dal'nego Vostoka. Zapadno-Sibirskaya ravnina* [The history of the development of the relief of Siberia and the Far East. The West Siberian Plain]. Moscow: izdatel'stvo «Nauka», 1970. 280 p. (In Russ.)

2. Berg L. S. *Klimat i zhizn'* [Climate and life]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo, 1922. 196 p. (In Russ.)

3. Volkov I. A., Volkova V. S., Zadkova I. I. *Pokrovnye lessovidnye otlozheniya i paleogeografiya yugo-zapada Zapadnoi Sibiri v pliotsen-chetvertichnoe Vremya* [Covering loess deposits and paleogeography of the south-west of Western Siberia during the Pliocene-Quaternary period]. Novosibirsk: Nauka, 1969. 331 p. (In Russ.)

4. Volkov I. A. Rol'eolovogo faktora v evolyutsii rel'efa [The role of the aeolian factor in the evolution of the landscape]. *Problemy ekzogennogo rel'efoobrazovaniya*. Moskva: Nauka, 1976, vol 1, pp. 264–289. (In Russ.)

5. *Geologiya i poleznye iskopaemye Rossii / pod red. V. P. Orlov* [Geology and Minerals of Russia / edited by V. P. Orlov]. V shesti tomakh. T. 2. Zapadnaya Sibir'. Saint Petersburg: izdatel'stvo VSEGEI, 2000. 477 p. (In Russ.)

6. Gonikov T. V. using remote sensing to studying quantitative properties of ridge landscapes morphological structure in the Caspian Lowland. *Issledovanie zemli iz kosmosa*, 2019, no 1, pp. 38–46. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0205-96142019138-46

7. Grosval'd M. G. *Evraziiskie gidrosfernye katastrofy i oledenenie Arktiki* [Eurasian Hydrosphere Disasters and Arctic Glaciation]. Moscow: Nauchnyi mir, 1999. 120 p. (In Russ.)

8. Zinoviev A. T, Dyachenko A. V., Kondakova O. V. Modeling of thermohydrodynamic processes in Lake Chany. *Interekspo Geo-Sibir'*, 2022, vol. 4, pp. 86–92. (In Russ.) DOI: 10.33764/2618-981X-2022-4-86-92

9. Zykina V. S., Zykin V. S., Malikova E. L. Pleistocene loess-soil sequence and aeolian relief of Western Siberia: chronology and features of their formation. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*, 2024, no. 55(2), pp. 34–62. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2949178924020029

10. Nikolaev V. A., Pil'kevich I. V., Puchkova D. V. Priroda grivnogo rel'efa yuzhnykh ravnin Zapadnoi Sibiri [The nature of the ridge relief in the southern plains of Western Siberia]. *Istoriya razvitiya rechnykh dolin i problemy melioratsii zemel'. Zapadnaya Sibir' i Srednyaya Aziya*. 1979, pp. 166–178. (In Russ.)

11. *Novosibirskaya oblast'. Topograficheskaya karta. Listy N-43-72, N-44-61 / 1:100000 / FGUP GosGisTSentr, 2001* [Novosibirskaya oblast'. Topograficheskaya karta. Listy N-43-72, N-44-61 / 1:100000 / FGUP GosGisTSentr, 2001]. URL: http://www.etomesto.ru/map-novosibirsk_topographic-map (Accessed 1 August 2025). (In Russ.)

12. Orlova L. A. *Golotsen Baraby: Stratigrafiya i radiouglerodnaya khronologiya* [The Holocene of the Baraba: Stratigraphy and Radiocarbon Chronology]. Novosibirsk: Nauka, 1990. 128 p. (In Russ.)

13. Panadiadi A. D. *Barabinskaya nizmennost'* [Barabinsk lowland]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo geograficheskoi literatury, 1952. 232 p. (In Russ.)

14. Parshin D. O., Ishchenko M. A. About the genesis of the ridge-hollow relief in the south of Western Siberia. *Geographical Bulletin*, 2024, no. 2(69), pp. 36–49. (In Russ.) DOI: 10.17072/2079-7877-2024-2-36-49

15. Petrov B. F. Proiskhozhdenie rel'efa Baraby [The origin of the Baraba relief]. *Byulleten' komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*, 1948, no. 12, pp. 93–97. (In Russ.)

16. *Rel'ef Zapadno-Sibirskoi ravniny / pod red. A. A. Zemtsov, B. V. Mizerov, V. A. Nikolaev i dr* [Relief of the West Siberian Plain / edited by A. A. Zemtsov, B. V. Mizerov, V. A. Nikolaev, et al.]. Novosibirsk: Nauka, 1988. 192 p. (In Russ.)

17. *Tematicheskoe deshifrirovanie i interpretatsiya kosmicheskikh snimkov srednego i vysokogo prostranstvennogo razresheniya* / *Shikhov A. N., Gerasimov A. P., Ponomarchuk A. I., Perminova E. S.* [Thematic interpretation and analysis of medium and high spatial resolution satellite images]. Perm: Izdatel'skii tsentr Permskogo gosudarstvennogo natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta, 2020. 191 p. (In Russ.)

18. *Unifitsirovannaya stratigraficheskaya skhema chetvertichnykh otlozhenii Zapadno-Sibirskoi ravniny / pod red. V. S. Volkova, A. E. Babushkin* [Unified Stratigraphic Scheme of Quaternary Deposits in the West Siberian Plain / edited by V. S. Volkov and A. E. Babushkin]. Novosibirsk: SNIIGGiMS, 2000. 64 p. (In Russ.)

19. Choupina D. A. An automatic identification of landforms and their complexes based on GIS analysis of morphometric parameters (Vengerovsk area of Novosibirsk region as an example). *Geomorphology*, 2014, no. 3, pp. 43–50. (In Russ.) DOI: 10.15356/0435-4281-2014-3-43-50

20. Choupina D. A., Zolnikov I. D. GIS-mapping of form and types of relief based on morphometric analysis. Geodeziya i kartografiya, 2016, no. 6, pp. 35–43. (In Russ.) DOI: 10.22389/0016-7126-2016-912-6-35-43

21. Fischer L. M., Sommer C., Fitzsimmons K. E. An open-source GIS approach to understanding dunefield morphologic variability at Kati Thanda (Lake Eyre), Central Australia. *Frontiers in Earth Science*, 2023, vol 11. DOI: 10.3389/feart.2023.1196244

22. Lancaster N. Aspects of the morphometry of linear dunes of the Namib Desert. *South African Journal of Science*, 1981, vol. 77, pp. 366–368.

23. Lindsay J. The Whitebox Geospatial Analysis Tools project and open-access GIS. In *Proceedings of the GIS Research UK 22nd Annual Conference* (Glasgow, 16–18 April 2014). Glasgow, 2014.

24. Ma F., Lü P., Cao M. The Effects of Wind Regime and Sand Supply on the Coexistence of Barchans and Linear Dunes in China's Qaidam Basin. *Frontiers in Earth Science*, 2022, vol. 10, pp. 1–14. DOI: 10.3389/feart.2022.897640

25. Newman D. R., Lindsay J. B., Cockburn J. M. H. Evaluating metrics of local topographic position for multiscale geomorphometric analysis. *Geomorphology*, 2018, no. 312, pp. 40–50. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.04.003

26. Telbisz T., Keszler O. DEM-based morphometry of large-scale sand dune patterns in the Grand Erg Oriental (Northern Sahara Desert, Africa). *Arabian Journal of Geosciences*, 2018, vol. 11, art. 382. DOI: 10.1007/s12517-018-3738-5

27. Telfer M. W., Fyfe R. M., Lewin S. Automated mapping of linear dunefield morphometric parameters from remotely-sensed data. *Aeolian Research*, 2015, no. 19, pp. 215–224. DOI: 10.1016/j.aeolia.2015.03.001

28. Uhe P., Hawker L., Paulo L., Sosa J., Sampson C., Neal J. FABDEM – A 30m global map of elevation with forests and buildings removed. In *EGU General Assembly 2022*. (Vienna, 23–27 May 2022). Vienna, 2022. DOI: 10.5194/egusphere-egu22-8994

29. Wang S., Wu Q., Ward D. Automated delineation and characterization of drumlins using a localized contour tree approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2017, no. 62, pp. 144–156. DOI: 10.1016/j.jag.2017.06.006

30. Wilson J., Gallant J. Terrain Analysis: Principles and Applicationsю John Wiley & Sons, 2000. 520 p.

Статья поступила в редакцию: 15.09.25, одобрена после рецензирования: 26.01.26, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 15 September 2025; approved after review: 26 January 2026; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах

Марк Андреевич Ищенко
Магистр географических наук, Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет;
127299, Россия, г. Москва, ул. Бол. Академическая, д. 18А

Information about the authors

Mark A. Ishchenko
Master of Geographical Sciences, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University;
18A, Bolshaya Akademicheskaya st., Moscow, 127299, Russia

e-mail: ischenkom1998@gmail.com

Даниил Олегович Паршин
Аспирант кафедры геоморфологии, Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет;
194363, Россия, г. Санкт-Петербург, Толубеевский проезд, д. 24

Daniil O. Parshin
Postgraduate Student, Department of Geomorphology, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University;
24, Tolubeevskii proezd, St. Petersburg, 194363, Russia

e-mail: dannparshin@yandex.ru

Вклад авторов

Ищенко М. А. – идея статьи, обработка геоданных и создание картографических изображений, сбор и обработка литературных источников, написание статьи.

Паршин Д. О. – сбор и обработка литературных источников, анализ полученных данных, написание статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Mark A. Ishchenko – the idea of the article; geodata processing and creation of cartographic images; collection and processing of literary sources; writing of the article.

Daniil O. Parshin – collection and processing of literary sources; analysis of the received data; writing of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ И ПОЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ
Научная статья
УДК 911.7
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-32-45
EDN: XAAYLW

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА И НИЗКОУГЛЕРОДНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В СТРАНАХ ЦЕНТРА, ПОЛУПЕРИФЕРИИ И ПЕРИФЕРИИ МИРОВОГО ХОЗЯЙСТВА (НА ПРИМЕРЕ СТРАН «ГРУППЫ 7», БРИКС И НРС)

Юрий Юрьевич Ковалев[1] ✉, **Анатолий Владиславович Степанов**[2]
[1] Институт географии Российской академии наук, г. Москва, Россия
[2] Уральский Федеральный университет им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
✉ yykowaljow@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена анализу пространственных различий в выбросах парниковых газов и климатической политике стран глобального Центра, Полупериферии и Периферии в контексте целей Парижского соглашения. Глобальное изменение климата усиливает природно-общественные дисбалансы и формирует режим климатической несправедливости, при котором государства с наименьшим вкладом в эмиссии сталкиваются с наибольшими последствиями климатического кризиса. Методологическую основу исследования составляют геосистемный подход и миро-системная теория, что позволяет выявить связь между уровнем развития, структурой хозяйства и траекториями низкоуглеродной трансформации. Используя статистику международных организаций и национальные климатические документы, проводится сравнительный анализ динамики эмиссий, развития низкоуглеродных технологий и институциональной зрелости климатической политики. Результаты исследования показывают глубокую дифференциацию между тремя группами стран: сокращение выбросов и технологическое лидерство в Центре, двойная стратегия индустриального роста и модернизации в Полупериферии, а также доминирование адаптационных мер при ограниченных ресурсах в Периферии. Делается вывод, что глобальная низкоуглеродная трансформация остается неоднородной, а снижение климатической асимметрии требует усиления международной кооперации, расширения климатического финансирования и выравнивания доступа к технологиям.

Ключевые слова: глобальный Центр, Периферия, Полупериферия, глобальное изменения климата, климатическая политика, низкоуглеродная трансформация

Финансирование. Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии Российской академии наук «Социально-экономическое пространство России в условиях глобальных трансформаций: внутренние и внешние вызовы», FMWS-2024-0008

Для цитирования: Ковалев Ю. Ю., Степанов А. В. Климатическая политика и низкоуглеродная трансформация в странах Центра, Полупериферии и Периферии мирового хозяйства (на примере стран «Группы 7», БРИКС и НРС) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 32–45. EDN: XAAYLW DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-32-45

ECONOMIC, SOCIAL AND POLITICAL GEOGRAPHY
Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-32-45
EDN: XAAYLW

CLIMATE POLICY AND LOW-CARBON TRANSFORMATION IN THE COUNTRIES OF THE CORE, SEMI-PERIPHERY, AND PERIPHERY OF THE WORLD ECONOMY (USING THE EXAMPLE OF THE G7, BRICS COUNTRIES, AND LDCS)

Yuri Yu. Kovalev[1]✉, **Anatoliy V. Stepanov**[2]
[1] Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2] Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia
✉ yykowaljow@gmail.com

Abstract. The article examines spatial differences in greenhouse gas emissions and climate policy among the countries of the global Core, Semi-periphery, and Periphery in the context of the Paris Agreement goals. Global climate change intensifies socio-environmental imbalances and creates the regime of climate injustice, in which states with the

© Ковалев Ю. Ю., Степанов А. В., 2026

Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

smallest contribution to emissions face the most severe consequences of the climate crisis. The methodological framework of the study is based on the geosystem approach and world-systems theory, enabling an analysis of how the levels of development, economic structures, and institutional capacities shape national low-carbon transition pathways. Using data from international organizations and national climate documents, the study provides a comparative assessment of emission dynamics, low-carbon technology development, and the institutional maturity of climate governance. The research results highlight pronounced differentiation among the three groups of countries: emission reductions and technological leadership in the Core; a dual strategy of industrial growth and modernization in the Semi-periphery; predominance of adaptation measures under resource constraints in the Periphery. The study concludes that the global low-carbon transition remains uneven, and reducing climate asymmetries requires enhanced international cooperation, expanded climate finance, and more equitable access to technologies.

Keywords: global Core, Periphery, Semi-periphery, global climate change, climate policy, low-carbon transformation

Funding. This study was carried out within the framework of the state assignment theme of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, "Russia's Socio-Economic Space under Global Transformations: Internal and External Challenges" (FMWS-2024-0008)

For citation: Kovalev Yu. Yu., Stepanov A. V. Climate policy and low-carbon transformation in the countries of the Core, Semi-periphery, and Periphery of the world economy (using the example of the G7, BRICS countries, and LDCs). *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 32–45. EDN: XAAYLW DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-32-45

Введение

Глобальное изменение климата (ГИК) представляет собой один из ключевых вызовов для современного человечества. Его воздействие носит комплексный характер и охватывает все компоненты геосферы, включая их пространственную дифференциацию. Вариации физических параметров атмосферы, находящихся в диалектической взаимосвязи с другими элементами географической оболочки (закон целостности С. В. Калесника), обусловливают масштабные качественные преобразования природно-общественных систем (геосистем). Эти изменения проявляются как в длительных, относительно инерционных процессах (деградация криосферы, трансформация биогеоценозов, повышение уровня Мирового океана, эрозия почв), так и в форме усиления экстремальных проявлений климата, выражающихся в росте частоты и интенсивности опасных погодных явлений (ОПЯ) – температурных аномалий, ураганов, лесных пожаров, катастрофических наводнений, ливневых осадков и др. По оценкам ООН, совокупный экономический ущерб от ОПЯ с 2000 г. превысил 3 трлн долл. [6].

Рост концентрации парниковых газов (ПГ) в атмосфере признан международным сообществом основной причиной глобального потепления. В 1950–2025 годы концентрация диоксида углерода (CO_2) увеличивалась по экспоненциальной траектории, достигнув уровня 425 ppm [35]. Сокращение эмиссий ПГ рассматривается как необходимое условие стабилизации глобального климата. В этой связи декарбонизация мировой экономики и переход к низкоуглеродному развитию признаются безальтернативными направлениями трансформации. По состоянию на 2025 г. 137 стран заявили о намерении достичь углеродной нейтральности в период 2030–2100 гг. В РКИК ООН зарегистрировано 195 национальных ОНУВ (определяемых на национальном уровне вкладов) и 68 СНУР (стратегий низкоуглеродного развития) [26]. Глобальные инвестиции в низкоуглеродные технологии в 2022 г. достигли 1,15 трлн долл. [16].

Глобальное изменение климата и международная климатическая политика характеризуются выраженной пространственной спецификой, определяемой совокупностью географических, экономических, социальных, политических, идеологических, технических, культурных факторов. Географическое положение, степень климатической уязвимости, уровень экономического и технологического развития, институциональные особенности, включенность в международное разделение труда, а также демографический и гуманитарный потенциал прямо влияют на климатическую политику государств. Сравнительный анализ национальных стратегий в рамках Парижского соглашения позволяет выявить определенные закономерности пространственного изоморфизма и условно выделить три группы стран: глобальный Центр, Полупериферию, Периферию.

К странам глобального Центра (глобального Севера) относятся наиболее экономически развитые государства, в первую очередь члены «Группы 7» (G7). Периферию составляют наименее развитые страны (НРС, 44 государства). Между ними располагается обширная и неоднородная группа Полупериферии, среди которой особое место занимают страны БРИКС (Россия, Индия, Китай, Бразилия, ЮАР).

Цель исследования – анализ пространственной динамики и отраслевой структуры выбросов ПГ в странах глобального Центра, Полупериферии, Периферии, а также оценка их достижений в сфере низкоуглеродной трансформации с учетом институциональных и структурных факторов в контексте целей Парижского соглашения.

Гипотеза исследования заключается в том, что эмиссии ПГ и показатели низкоуглеродной трансформации стран различных геоэкономических групп напрямую связаны с динамикой экономического развития и отражают доминирующий тип хозяйства. Полупериферический характер развития стран БРИКС обусловливает сходство структуры секторальных выбросов и формирует их отличие от стран Центра и Периферии. Процессы

декарбонизации при этом приобретают национальную специфику, детерминированную совокупностью экономико-географических и политических факторов.

Предмет исследования – пространственные аспекты низкоуглеродной трансформации в странах глобального Центра, Полупериферии, Периферии.

Материалы и методы

Теоретическую основу исследования составляют геосистемный подход к анализу причин, последствий и возможных решений глобальной климатической проблемы, а также миро-системная теория И. Валлерстайна [1]. С момента формирования международной климатической политики ее развитие характеризуется противоречием между глобальным Севером (Центром) и глобальным Югом (Периферией) [25]. Данные отношения формируют динамику мирового развития. Климатическая политика представляет собой синтез системных и «антисистемных» (по И. Валлерстайну [1]) процессов, которые, несмотря на конфликтный характер, могут способствовать снижению асимметрий развития между Центром, Полупериферией, Периферией. Она оказывает позитивное влияние на процессы социально-экономической модернизации, что проявляется, в частности, в росте числа природно-климатических проектов в странах Периферии и в увеличении мощностей возобновляемой энергетики: в 1990–2025 гг. установленная мощность ветровой и солнечной энергетики в группе НРС возросла на 5900 % [29]. Вместе с тем наблюдаются и обратные процессы – аутсорсинг выбросов ПГ из стран Центра в государства Периферии и Полупериферии, а также эксплуатация их ресурсов для нужд «зеленой экономики» Центра.

Вторым теоретическим основанием исследования выступает геосистемный подход, рассматривающий территорию как природно-социальную систему, объединяющую природные и общественные компоненты через потоки вещества, энергии и информации [7]. Глобальные макроструктуры – Центр, Полупериферия, Периферия – формируются на базе сходных геосистемных образований, в которых проявляются последствия климатического кризиса, вызванного деятельностью человека (рис. 1). Геосистемы обладают свойствами эмерджентности, самоорганизации и коэволюции, что позволяет качественно преобразовывать систему на различных уровнях [31]. В этом контексте низкоуглеродная и безуглеродная трансформация хозяйства, а также мероприятия по сохранению и восстановлению экосистем (прежде всего лесов) выполняют двойную функцию: инструмент достижения углеродной нейтральности и механизм коэволюции природы и общества, обеспечивающий устойчивое развитие.

Методическую базу исследования составляет структурно-аналитический подход, опирающийся на систему качественных и количественных индикаторов, отражающих процессы низкоуглеродной трансформации макрорегиональных природно-социальных геосистем. Дополнительно используется метод контекстного анализа, позволяющий выявить цели и особенности климатической политики стран глобального Центра, Полупериферии, Периферии.

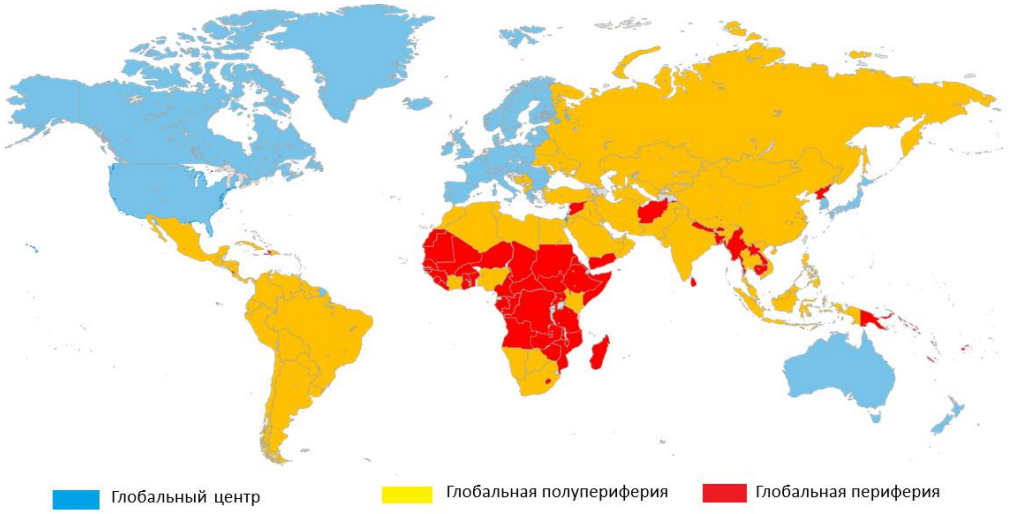


Рис. 1. Государства глобального Центра, Периферии, Полупериферии мирового хозяйства
Fig. 1. States of the global Core, Periphery, Semi-periphery of the world economy

Качественные показатели:

1. Нормативно-правовая база (законы, стратегии климатических мероприятий);
2. Международные договоры и конвенции (включая Парижское соглашение);
3. Наличие цели по достижению углеродной нейтральности;
4. Государственная идеология в области низкоуглеродного развития и ее реализация;
5. Национальные системы регулирования углеродных выбросов (углеродный налог, торговля квотами, углеродные биржи).

Количественные показатели:

1. Число патентов на природоохранные и низкоуглеродные технологии;
2. Объем и динамика производства энергии из низкоуглеродных источников (%);
3. Количество установок по улавливанию и хранению углерода;
4. Динамика площади лесов как естественных поглотителей ПГ.

Анализ указанных показателей позволяет реконструировать траектории низкоуглеродного развития, выявить сильные и слабые стороны национальных стратегий декарбонизации, а также определить факторы, влияющие на скорость, отраслевую специфику и направления низкоуглеродной трансформации, включая перспективы достижения целей Парижского соглашения.

Эмпирическую базу исследования составили статистические данные Всемирного банка (World Bank), Международного энергетического агентства (IEA), Всемирной организации интеллектуальной собственности, национальные программы по климатической политике стран G7, ЕС, БРИКС, НРС (ОНУВ и СНУР), а также данные портала *Our World in Data*. Для оценки приоритетных направлений и мероприятий национальной климатической политики использованы государственные программы и стратегии низкоуглеродного развития стран глобального Центра, Полупериферии, Периферии. Теоретико-методологическая дискуссия опирается на работы зарубежных авторов – А. Гупты [17], О. Эденхофера [14], Л. Ярмарк [19], Г. Макдональда [22], Н. Раймера [27], Б. Совокул [33], Д. Кастел-Квинтана [10], П. Чиновсокого [11]. В российском научном дискурсе вопросы направлений и целей климатической политики и низкоуглеродного развития рассматриваются в работах А. Г. Сахарова, И. В. Андронова, Ю. А. Русаковой, В. М. Жорниста, А. Д. Несмашного, М. В. Харкевича, И. А. Сафранчука [2; 8; 9].

Результаты

Максимальная Международная климатическая политика формируется вокруг двух ключевых направлений:

1. Смягчение (митигация) – сокращение эмиссий парниковых газов (ПГ) и снижение масштабов глобального изменения климата;

2. Адаптация – приспособление природно-общественных систем к неизбежным последствиям климатических изменений.

Выбор приоритетов в пользу того или иного направления имеет выраженную пространственную специфику и отражает глобальную асимметрию причин и последствий ГИК. Страны глобального Центра выступают основными источниками климатических изменений: их совокупная доля в исторических и современных выбросах ПГ составляет около 60 %. Напротив, государства глобальной Периферии несут наибольшую нагрузку климатических рисков. По оценкам, около 90 % жертв глобального изменения климата в 1970–2020 гг. приходилось на страны глобального Юга [13]. На группу наименее развитых стран (НРС), формирующих ядро Периферии, приходится 36 % мировых климатических беженцев [18], при том, что их совокупная доля в глобальных выбросах ПГ не превышает 3,5 %.

Эта диспропорция отражает феномен глобальной климатической несправедливости и во многом предопределяет специфику климатической политики Центра и Периферии. Для стран Центра приоритетом становится декарбонизация национальных экономик и развитие сектора отрицательных эмиссий (включая технологии улавливания и хранения углерода, CCS). Для государств Периферии ключевыми задачами выступают адаптация населения и геосистем к последствиям глобального потепления, а также повышение устойчивости инфраструктуры и социально-экономических систем к климатическим рискам.

Современная территориальная структура эмиссий парниковых газов (ПГ) является результатом мирового хозяйственного развития последних трех десятилетий (табл. 1). Этот период характеризовался усилением процессов глобализации: рост международной торговли, иностранных инвестиций и технологического обмена обусловил ускоренный экономический рост государств Азии. Их доля в мировом промышленном производстве, энергетике и транспорте существенно увеличилась, в то время как доля стран Центра сократилась. Данные изменения нашли отражение в динамике эмиссий ПГ: доля стран «Группы семи» в глобальных выбросах снизилась с 33 % в 1990 г. до 22,7 % в 2010 г. и 17,2 % в 2022 г., тогда как доля развивающихся стран и стран с переходной экономикой выросла до 73,5 % [37]. В целом на 19 крупнейших экономик мира, включая страны ЕС и Африканского Союза (G20), приходится около 70 % мировых выбросов ПГ. Высокая концентрация эмиссий в ограниченном числе государств является фундаментальной характеристикой современной географии глобальной климатической политики.

Хронологический анализ эмиссий CO_2 на страновом уровне отражает историческую смену лидеров, демонстрирующую пространственную миграцию «полюса» экономической мощи. Так, почти весь XIX в. мировым лидером по выбросам CO_2 была Великобритания (до 1890 г.). Ее доля в 1850 г. составляла 62,2 %, однако к 1900 г. снизилась до 20,3 % при одновременном росте доли США (35,7 %), Германии (17 %), Франции (6,6 %) [28]. В 1890–2004 гг. лидерство принадлежало США, однако в 2004 г. оно перешло к Китаю, который с тех пор удерживает первое место. На долю КНР в 2022 г. приходилось 26 % мировых выбросов, что в 2,5 раза превышало

показатели США. Доли других стран Центра (Германия, Великобритания, Франция) существенно снизились и в настоящее время редко превышают 1 % глобальных выбросов.

С начала 1990-х гг. в странах Центра наблюдается устойчивая тенденция сокращения эмиссий ПГ. В 1990–2022 годы выбросы снизились в Великобритании на 39 %, в ФРГ – на 29,5 %, в Италии – на 21,5 %, во Франции – на 21 % [28]. Исключение составляют США и Канада, где эмиссии незначительно возросли. Наиболее существенное сокращение произошло в промышленном секторе: если в целом выбросы CO_2 в странах G7 снизились на 6 %, то в индустриальном секторе – в среднем на 22 %, а в Великобритании, Италии, ФРГ – более чем на 40 %. Исследователи отмечают, что снижение эмиссий в США и других странах Центра во многом связано с масштабным аутсорсингом промышленного производства в новые индустриальные регионы и последующим импортом готовой продукции [15]. В результате большинство стран Центра стали нетто-импортерами ПГ: их реальные выбросы на 20 % выше официальных показателей, что эквивалентно дополнительным 2640 млн т [28].

Таблица 1
Table 1

Абсолютные и относительные выбросы ПГ по группировкам стран мира в 2022 г. [37]
Absolute and relative GHG emissions by groups of countries in the world in 2022 [37]

Региональные и межрегиональные группировки стран	*Объем эмиссий ПГ (млрд т эквивалента CO_2)*	*Доля в мире, %*	*Объемы эмиссий ПГ на 1 жителя, т/чел.*
Страны «Большой двадцатки»: 19 стран + ЕС и Африканский Союз	35998	69,4	7
Высокоразвитые страны (Центр)	11891	23	14,2
Страны «Группы 7»	8926,7	17,2	11,3
Развивающиеся страны (Полупериферия)	38101	73,5	3,7
Страны БРИКС (состав 2022 г.)	21488	41,4	6,1
Наименее развитые страны мира (Периферия)	1846	3,5	1,5
Мир	51838	100	6,3

В странах Полупериферии, особенно в БРИКС, в тот же период наблюдалась противоположная динамика. За исключением России, выбросы ПГ значительно возросли: в КНР – на 33,4 %, в Индии – на 30,4 %, в Бразилии – на 11,1 %, в ЮАР – на 81 % [28]. В России, напротив, эмиссии сократились на 20,2 % вследствие деиндустриализации и экономического кризиса 1990-х гг.

В государствах Периферии контрасты оказались еще более выраженными. Особенно быстро росли выбросы CO_2 в странах НРС, что объясняется увеличением потребления ископаемого топлива в энергетике, транспорте и других секторах, а также общим ускорением хозяйственной динамики. Наибольший прирост зафиксирован в Эфиопии (+69,5 %), Бангладеш (+68,8 %), Чаде (+63,3 %) и ряде других государств [28]. В среднем прирост эмиссий в группе НРС составил 43,9 %, что значительно превышает аналогичные показатели для стран G7 и БРИКС.

Важной чертой современной географии эмиссий является их **секторальная структура**. В странах G7 и БРИКС основным источником выбросов является энергетика (41 и 44 % соответственно). В государствах Периферии значение энергетического сектора невелико (около 2 % в среднем), тогда как ведущую роль играет сельское хозяйство (30 %), а также сектор землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ) – 16 %. Это отражает аграрный характер экономик Периферии, где значительная часть ВВП и занятости сосредоточена в сельском хозяйстве. В странах БРИКС заметен индустриальный профиль: на промышленность в 2023 г. приходилось 24 % выбросов, что вдвое превышает показатель G7 и в семь раз – среднее значение НРС [27]. В структуре эмиссий G7 важное место занимает транспортный сектор, который в США вышел на первое место: в 2023 г. его доля составила около 30 % (1961 млн т эквивалента CO_2). Такая специфика объясняется преобладанием индивидуального автотранспорта, слабым развитием общественных перевозок и ограниченным использованием альтернативных видов транспорта [20].

Сокращение эмиссий ПГ является центральным элементом глобальной климатической политики. Согласно Парижскому соглашению 2015 г., мировое сообщество поставило задачу не допустить повышения глобальной температуры более чем на 1,5° С к 2100 г. Основным инструментом достижения этой цели выступает глубокая декарбонизация экономики и переход к низкоуглеродной модели развития. Большинство стран Центра, Полупериферии, Периферии заявили о намерении достичь углеродной нейтральности к середине XXI в. (рис. 2).

Современная климатическая политика имеет выраженные региональные и национальные различия. В каждой группе стран можно выделить лидеров и аутсайдеров. Наиболее последовательная климатическая стратегия реализуется Европейским союзом, а также рядом стран НРС и малыми островными государствами (SIDS).

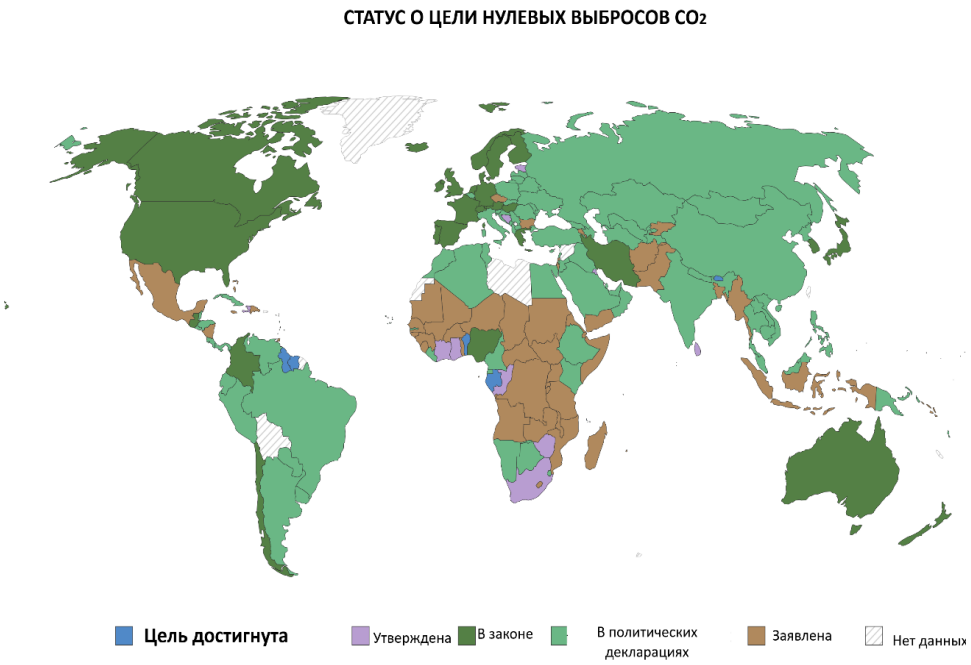


Рис. 2. Цели нулевых выбросов государств мира [24]
Fig. 2. Zero emission targets of the states across the world [24]

Принятый Европейской комиссией в 2019 г. курс на климатическую нейтральность к 2050 г. закреплен в ключевых стратегических документах ЕС. До 2030 г. планируется сокращение выбросов ПГ на 60 % [24]. Для достижения этой цели мобилизованы значительные финансовые ресурсы, прежде всего в энергетический сектор, на который приходится основная часть выбросов. Доля низкоуглеродных и возобновляемых источников в структуре электроэнергетики ЕС растет с начала 2000-х гг. и достигла в 2024 г. 73,1 % [21]. По сравнению с 1990 годом этот показатель увеличился на 25 % [21] (табл. 2). В Германии доля низкоуглеродных источников возросла вдвое (с 31,3 до 63,2 %), в Италии – в 2,5 раза (с 15,3 до 40,6 %) [21]. Помимо декарбонизации, в США и Канаде реализуются проекты по улавливанию и хранению углекислого газа (CCS). Параллельно с этим в странах G7 и ЕС отмечается рост площади лесов как естественных поглотителей ПГ: в 1990–2020 гг. она увеличилась на 2 % в США, на 11 % в Великобритании, на 22 % в среднем по ЕС [30].

Тренды низкоуглеродной трансформации хозяйств стран ЕС в целом остаются стабильными. Однако текущая смена политических элит, наблюдаемая во многих европейских странах, может привести к корректировке национальных политических курсов, что потенциально окажет негативное влияние на глобальную климатическую повестку. Кроме того, деятельность климатических общественных движений (*Fridays for Future, Extinction Rebellion*), ранее воспринимавшихся как значимый фактор давления «снизу», сегодня все чаще рассматривается политическими элитами Запада как раздражающий и неудобный элемент. Реакция правосудия на акции экологических активистов становится все более жесткой. Так, известная активистка Г. Тунберг, ранее пользовавшаяся широкой поддержкой, в настоящее время сталкивается с угрозой запрета на въезд в Германию в связи с ее публичной позицией по палестино-израильскому конфликту [3].

Климатические стратегии других стран Центра, за исключением ЕС (США, Япония, Канады, Республики Корея), отличаются меньшей амбициозностью и последовательностью, во многом оставаясь зависимыми от внутриполитической конъюнктуры. В рейтинге стран по уровню усилий по выполнению Парижского соглашения (67 государств) Республика Корея занимала 63-е место, Канада – 62-е, Япония – 58-е, США – 57-е [12]. Тем не менее данные государства сохраняют лидирующие позиции в инновационной сфере, особенно в разработке природоохранных и низкоуглеродных технологий, несмотря на усиливающуюся конкуренцию со стороны Китая (США – 2-е место, Япония – 3-е, Канада – 10-е) [38].

Особенности климатической политики стран Полупериферии ярко проявляются на примере государств БРИКС. Подобно ЕС и США, они являются ключевыми акторами международной климатической дипломатии. С 2011 г. страны БРИКС вырабатывают согласованную позицию в международных переговорах, опираясь на принцип «общей, но дифференцированной ответственности». Данный подход подразумевает приоритет экономического роста, решение внутренних социальных проблем и повышение уровня жизни населения [3]. В отличие от стран Центра, большинство государств БРИКС допускает рост выбросов парниковых газов до 2030 г., сочетая его с масштабными программами низкоуглеродной модернизации. Согласно национальным стратегиям, доля солнечной, ветровой и гидроэнергии (малые ГЭС) в энергетическом балансе к 2030 г. должна составить: в

ЮАР – 9 %, Бразилии – 23 %, Китае – 35 %, Индии – 40 % [24]. Наряду с этим активно модернизируется городская и транспортная инфраструктура, повышается энергоэффективность, внедряются «чистые» технологии.

Таблица 2
Table 2

Низкоуглеродная трансформация и климатическая политика ЕС и отдельных стран группы 7 в 2023 г. [24]
Low-carbon transformation and climate policy of the EU and selected G7 countries in 2023 [24]

Регион, страна	*Институциональные и структурные условия декарбонизации и низкоуглеродной трансформации*	*Доля НУ источников в производстве электроэнергии, %*	*Изменение 1990–2023 гг., %*	*Число действующих проектов CCS 2024 г.*	*Число природохранных патентов от заявителей*	
					1990	*2023*
ЕС	Зеленая сделка 2019 г., климатическая нейтральность к 2050 г. Главными инструментами ее осуществления являются: 1. Торговля сертификатами на выбросы ПГ; 2. Внедрение ВИЭ, повышение энерго- и ресурсоэффективности национальных экономики; 3. Введение углеродных пошлин на импортные товары; 4. Расширение лесных массивов и парков, что одновременно способствует смягчению последствий изменения климата. Система регулирования углерода: есть.	73,1	28	1	783	1790
США	Инфраструктурный закон (1,2 трлн долл), сокращение выбросов на 50–52 % от уровня 2005 г. Климатическая нейтральность к 2050 г. Система регулирования углерода: только на уровне штатов.	41,4	10,6	19	1719	3868
Канада	Рамочная программа «Чистый рост и изменение климата» (2016 г.), «о нулевых эмиссиях» (29.06.2021 г.). Сокращение эмиссий в 2030 г. на 40–45 % к уровню 2005 г., климатическая нейтральность к 2050 г. Сектора – транспорт (100 % к 2035 г.) Система регулирования углерода: есть.	80,6	3,2	7	104	282
Япония	Сокращение выбросов на 46 % от уровня 2013 г. Климатическая нейтральность к 2050 г. Система регулирования углерода: есть.	33,1	–2, 5	0	3218	3679
Велико-британия	Закон об изменении климата (2008), сокращение выбросов ПГ к 2030 г. не менее чем на 68 % по сравнению с уровнем 1990 г.; на 80 % к 2050 г. Климатическая нейтральность к 2050 г. Система регулирования углерода: есть.	60	37,9	0	355	412

Китай выступает мировым лидером в области экологических преобразований. На его долю в 2023 г. приходилось около 70 % зарегистрированных природоохранных патентов и порядка 40 % глобальных мощностей солнечной и ветровой энергетики. В 2022 г. объем произведенной «зеленой» электроэнергии в КНР достиг 1189 ТВт·ч, что почти вдвое превышало показатели США, находящихся на втором месте [29]. Площадь лесов Китая увеличилась на 40 % по сравнению с 1990 г., что вывело страну на первое место в мире по этому

индикатору [30]. Согласно прогнозам, Китай достигнет пика выбросов ПГ до 2030 г. и обеспечит углеродную нейтральность к заявленному сроку [4].

Россия заметно отстает от других стран БРИКС в темпах низкоуглеродной модернизации. В российском дискурсе по-прежнему преобладает скептическая риторика в отношении низкоуглеродных технологий (за исключением атомной энергетики). Многие новые технологические и поведенческие модели воспринимаются как угроза национальной экономике, а не как ответ на климатические вызовы. Вместе с тем в институциональной сфере зафиксированы позитивные изменения:

1. Утверждена *Стратегия социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.* (2021 г.);
2. Принят федеральный закон *«Об ограничении выбросов парниковых газов»* (2021 г.);
3. Создан национальный реестр углеродных единиц (2022 г.);
4. Введен закон о проведении эксперимента по ограничению выбросов в отдельных субъектах РФ (2022 г.);
5. Принята *Климатическая доктрина РФ* (2023 г.) [24].

Эти меры могут стать институциональной основой для ускорения процессов низкоуглеродной трансформации в перспективе (табл. 3).

Страны Периферии являются наиболее уязвимыми к последствиям глобального потепления. При минимальном антропогенном воздействии на атмосферу именно они в наибольшей степени испытывают негативные последствия климатических изменений. Существующие экономические, социальные, политические проблемы наименее развитых стран (НРС) серьезно затрудняют процессы адаптации и формирования территориальной резилиентности [5]. Тем не менее государства Периферии активно участвуют в формировании международного климатического режима и реализуют национальные климатические инициативы. В отличие от стран Центра и Полупериферии, в странах НРС практически отсутствует НИОКР в области природоохранных технологий, а также не созданы тарифные системы регулирования углерода. Их отсутствие, однако, не снижает усилия этих стран по достижению ими целей глобальной климатической политики.

Знаковым этапом стало принятие Парижского соглашения, которое закрепило обязательство всех стран, независимо от уровня их социально-экономического развития, предпринимать меры по сокращению выбросов парниковых газов (ПГ). В соответствии с абзацем 2 статьи 4 соглашения каждая страна разрабатывает и направляет в Секретариат РКИК ООН национально определяемые вклады (ОНУВ, NDC). Таким образом, впервые НРС также приняли юридически зафиксированные цели по смягчению последствий изменения климата.

В 2015–2025 гг. в НРС наблюдался рост институциональной и законодательной активности в области климатической политики. В ряде стран (Мьянма, Камбоджа, Бутан, Либерия, Сомали и др.) были утверждены национальные стратегии и программы по сокращению выбросов ПГ и адаптации к климатическим изменениям [23]. Наибольшая часть нормативных актов относится к энергетике (28 %). Данный сектор является приоритетным для большинства стран группы: почти половина населения НРС не имеет доступа к электроэнергии (47,2 %), а в сельской местности этот показатель достигает 97 % [36]. В условиях отсутствия значительных запасов ископаемых энергоресурсов решение проблемы возможно на основе развития возобновляемой энергетики (ВИЭ). Интеграция стратегий устойчивого развития и декарбонизации в рамках ОНУВ становится ключевым инструментом модернизационной политики.

При этом структура международного климатического финансирования демонстрирует явный дисбаланс: 52 % средств направляется на сокращение выбросов ПГ, тогда как на адаптацию приходится лишь 27 % [15; 34], несмотря на ее доминирующее значение в национальных стратегиях всех НРС. Сегодня в 20 странах группы действуют законы о поддержке ВИЭ (в частности, в Гамбии и Лесото с 2013 г.). В ряде государств ВИЭ уже стали значимыми источниками энергии: в 2019 г. их доля составила 18 % в Мавритании (248 ГВт·ч), 8 % в Буркина-Фасо, 4,6 % в Сомали, что превышает показатели некоторых государств ЕС [29]. Тувалу поставило цель достичь 100 % генерации электроэнергии из солнечных и ветровых источников к 2030 г. [24].

Вторым по числу правовых актов направлением является охрана природы (21 %). Значительное количество законов связано с лесным хозяйством, что особенно характерно для стран с крупными лесными массивами (ДР Конго, Замбия, Того). Восстановление и сохранение лесов способствует не только сокращению выбросов ПГ, но и социально-экономическому развитию. Так, доход Руанды от экологического туризма составляет около 200 млн долл. в год, а Кении – 3,5 млрд долл. [32].

По состоянию на сентябрь 2025 г. 43 из 44 НРС представили свои ОНУВ в Секретариат РКИК ООН (исключение – Йемен). Анализ документов показывает, что у 90 % стран группы сформулированы количественные цели климатической политики и определены пути их достижения; отсутствие конкретных показателей характерно лишь для Южного Судана и Восточного Тимора [24]. При прогнозируемом абсолютном росте выбросов ПГ к 2030 г. все НРС обязались сократить объем эмиссий на 3–90 % по сравнению с траекторией business as usual. Более того, все государства группы заявили о намерении достичь углеродной нейтральности к 2050 г. (Мавритания и Непал – к 2030 и 2045 гг. соответственно).

Таблица 3
Table 3

Низкоуглеродная трансформация и цели климатической политики стран БРИКС в 2023 г. [21; 24]
Low-carbon transformation and BRICS countries' climate policy goals in 2023 [21; 24]

Регион, страна	*Цели климатической политики*	*Доля НУ источников в производстве электро-энергии, %*	*Абсолютное изменение 1990–2023 гг., %*	*Число действующих проектов CCS 2024 г.*	*Число природохранных патентов от заявителей*	
					1990	*2023*
Китай	Строительство экологической цивилизации, создание общества общего будущего; пик выбросов 2030 г.; достижение углеродной нейтральности 2060 г.; снижение выбросов на единицу ВВП на 65 % (2030 г.); увеличение площади лесов на 6 млрд $м^3$ (2030 г.). Система регулирование углерода: есть.	35	+14,3	14	79	37895
Индия	Реализация концепции «LIFE» – «образ жизни для окружающей среды»; снижение выбросов на единицу ВВП на 45 % (2030 г.); доля «чистой электроэнергии» 50 % (2030 г.); увеличение поглотительной способности экосистем до 2,5–3 млрд т экв. CO_2; адаптация территорий и секторов хозяйства к климатическим изменениям; достижение климатической нейтральности (2070 г.). Система регулирование углерода: нет.	23,3	–2	0	1	499
Бразилия	Сокращение выбросов на 50 % (2030 г.); достижение климатической нейтральности (2050 г.); увеличение площади охраняемых территорий; национальный план адаптации. Система регулирование углерода: нет.	88,2	+3	1	41	94
Россия	Сокращение выбросов к 2030 г. до 70 % относительно уровня 1990 г. с учетом максимально возможной поглощающей способности лесов и иных экосистем и при условии устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития Российской Федерации; климатическая нейтральность (2060 г.). Система регулирование углерода: нет.	36,7	+10,4	0	1111 (СССР)	55
ЮАР	Мероприятия по адаптации страны к ГИК (расходы 4 % ВВП страны); выбросы к 2025 г. не будут превышать 510 млн т экв. CO_2, к 2030 г. – не более 420 млн т. Система регулирование углерода: есть.	12,6	+7	0	51	9

ОНУВ НРС фиксируют две траектории климатической политики:

1. Unconditional – ориентация преимущественно на собственные ресурсы;

2. Conditional – стратегия, предполагающая масштабную финансовую и технологическую поддержку со стороны мирового сообщества.

Во втором случае степень сокращения ПГ значительно превышает показатели «безусловных» обязательств, что подчеркивает ключевую роль климатического финансирования в обеспечении низкоуглеродного развития государств Периферии.

Восстановление климатической справедливости между глобальным Севером и Югом по-прежнему остается недостижимой целью для населения наименее развитых стран (НРС). Адекватное климатическое финансирование могло бы стать важным фактором социально-экономического развития и модернизации НРС, обеспечив реализацию широкого спектра проектов в области «зеленой» энергетики, круговой экономики, устойчивого сельского хозяйства и промышленного производства. При условии достаточной финансовой поддержки цели устойчивого развития (ЦУР 2030 г.) получили бы значительно более высокие шансы на достижение.

Таблица 4
Table 4

Цели климатической политики и климатические проекты стран группы НРС [21; 24; 30]
Climate policy goals and climate projects of LDCs [21; 24; 30]

Страна	*Сокращения выбросов ПГ от прогнозируемого уровня выбросов без климатических мероприятий (BAU-business-as-usual) к 2030 г.*	*Доля НУ источников в производстве электроэнерги, %*	*Абсолютное изменение 2000–2023 гг.*	*Выпуск углеродных единиц, млн шт. всего*	*Изменение площади лесов 1990–2023 гг., %*
1	2	3	4	5	6
Афганистан	13,6 % МП, НВ	86,6	+22	–	0
Ангола	35 % БМП и 50 % МП, НВ	76,4	+13,2	0,2	–16
Бангладеш	5 % БМП и 15 % МП, НВ	2	–3,8	49,7	–2
Бенин	9 % и –12,8 %, КН	3	+3	0,8	–35
Буркино-Фасо	–7 % и –11,6 %, НВ	17,3	–8,3	1,1	–19
Бурунди	–3 % и 20 %, НВ	69,2	–30,7	3,6	+1
Гамбия	50 %, НВ	0	0	0,1	–41
Гвинея	13 %, НВ	74,8	+24,2	0,02	–15
Гвинея-Бисау	10 % и 30 %, НВ	0	0	0,5	–11
Гаити	5 % и 26 %, НВ	18,8	–33	0,1	–9
Джибути	40 % и 60 %, НВ	35	+35	–	+4
Замбия	25 % и 47 %, НВ	–	–	28	–5
Йемен	–	16,9	+16,9	–	0
Камбоджа	42 %, НВ	40,7	+25,5	63	–27
Коморские о-ва	23 %, НВ	0	0	0,015	–29
ДР Конго	21 % и 28 %, НВ	100	0	42,4	–16
Кирибати	13 % и 49 %, НВ	25	25	–	0
Лаос	60 %, НВ	76,7	–13,1	6,6	–7
Лесото	10 % и 35 %, НВ	100	0	0,2	0
Либерия	15 %, НВ	33,3	33,3	0,03	–11
Мадагаскар	14 % и 32 %, НВ	35,2	–28,7	7	–9
Малави	6 % и 45 %	55,6	+5,5	22,5	–36
Мали	40 %, НВ	42,6	+16,2	1,7	0
Мавритания	11 % и 92 %, НВ	27,4	+20,3	0,9	–34
Мозамбик	–40 млн т, НВ	83,6	–16,2	3,7	–15
Мьянма	25 % и 50 %	40,2	+3,5	7,5	–27
Непал	–25 %, НВ	100	0	7,4	+5
Нигер	12,5 % и 45 %, НВ	2,5	+2,5	0,1	–44
Руанда	16 % и 22 %, НВ	56,6	–5,9	12,4	–13
Сенегал	7 % и 29 %, НВ	21,7	+18,3	2,1	–13
Сьерра-Леоне	10 % и 25 %	95,2	+84,1	3,9	–19
Соломоновы о-ва	30 % и 45 %	19	+19	0,2	–1
Сомали	30 % МП, НВ	19,5	+19,5	2,7	–28
Судан	–	70	+20	0,3	–
Танзания	–	25,5	–61	8,3	–20
Восточный Тимор	–	0	0	0,2	–4

Окончание таблицы 4
End of table 4

1	2	3	4	5	6
Того	20,5 % и 50,5 %, НВ	20,6	–35	1,7	–11
Тувалу	–	–	–	–	0
Уганда	22 %, НВ	97,3	–2	43,9	–35
Чад	18,2 % и 71 %, НВ	5	5	0,06	–36
ЦАР	5 % и 25 %, НВ	100	+20 %	0,2	–4
Эритрея	12 % и 38,8 %, НВ	11,3	+11,3	0,7	–
Эфиопия	14 % и 69 %, НВ	100	+1,1	12	–
Юж. Судан	–	89	–10,4	–	–

Примечание: МП – с международной поддержкой, БМП – без международной поддержки, НВ – нулевые выбросы к 2050 г., КН – климатическая нейтральность.
Note: МП – with international support, БМП – without international support, НВ – zero emissions by 2050, КН – climate neutrality.

Альтернативным источником финансирования мероприятий по адаптации и сокращению выбросов ПГ является торговля углеродными единицами в рамках Парижского соглашения. В 2024 г. страны Периферии реализовали более 654 млн углеродных единиц государствам Центра и Полупериферии, что составило свыше 10 % мирового объема. Существенную роль в институционализации этого механизма играет инициатива Africa Carbon Markets Initiative, которая к 2050 г. планирует продажу порядка 1,5 млрд углеродных сертификатов на сумму около 120 млрд долл. Более 70 % проектов в данной сфере ориентировано на охрану и расширение лесных массивов. Однако, несмотря на такие усилия, площадь лесов в большинстве стран Периферии продолжает сокращаться (табл. 4).

Выводы

Современная архитектура глобальной климатической политики демонстрирует глубокую асимметрию между странами Центра, Полупериферии, Периферии. Европейский Союз и ряд развитых государств сохраняют статус лидеров низкоуглеродной трансформации, однако политическая нестабильность и рост внутреннего скепсиса в отношении климатической повестки способны замедлить достигнутый прогресс. США, Япония, Канада, Республика Корея, несмотря на технологическое лидерство, остаются менее амбициозными в реализации международных климатических обязательств.

Страны Полупериферии, в первую очередь объединенные в формате БРИКС, занимают промежуточное положение: с одной стороны, они выступают активными участниками климатической дипломатии, с другой – их национальные стратегии зачастую ориентированы на сохранение экономического роста и допускают дальнейший рост выбросов в среднесрочной перспективе. Наиболее показателен пример Китая, который одновременно является крупнейшим источником эмиссий и мировым лидером в развитии низкоуглеродных технологий. Россия, в свою очередь, демонстрирует отставание по темпам декарбонизации, но закладывает институциональные основы для возможного ускорения данного процесса.

Наименее развитые страны остаются наиболее уязвимыми к последствиям глобального потепления. При минимальном вкладе в глобальные выбросы они вынуждены нести основное бремя климатических рисков, что усугубляется ограниченными финансовыми и институциональными ресурсами. Несмотря на активизацию законодательной базы и внедрение программ адаптации, потенциал климатической политики НРС напрямую зависит от масштабов внешнего финансирования и доступа к международным углеродным рынкам.

Таким образом, будущее глобальной климатической политики определяется не только техническим прогрессом и институциональными реформами, но и степенью готовности мирового сообщества преодолеть существующее неравенство между Севером и Югом. Успех низкоуглеродной трансформации возможен лишь при условии консолидации усилий всех групп стран и обеспечения справедливого распределения климатических ресурсов, включая технологии, инвестиции и доступ к рынкам углеродных единиц.

Библиографический список

1. *Валлерстайн И.* Мир-система Модерна. Т. IV. Триумф центристского либерализма, 1789–1914. М.: Русский фонд содействия образованию и науке, 2016. 496 с.

2. *Жорнист В. М., Несмашный А. Д., Харкевич М. В., Сафранчук И. А.* Дифференциация государств по климатической амбициозности: влияние на мировую политику // Вестник международных организаций. 2022. Т. 17, № 1. С. 163–182. DOI: 10.17323/1996-7845-2022-01-08 EDN: WZPVXW

3. *Ковалев Ю. Ю., Поршнева О. С.* Страны БРИКС в международной климатической политике // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Международные отношения. 2021. Т. 21, № 1. С. 64–78. DOI: 10.22363/2313-0660-2021-21-1-64-78 EDN: YUJIDQ

4. *Ковалев Ю. Ю.* Изменение климата и политика декарбонизации в странах глобального Севера и Юга: пространственный анализ // Современные тенденции низкоуглеродного развития: глобальные и региональные аспекты. Материалы международной научной конференции (Грозный, 28 июня – 1 июля 2023 г.). Грозный, 2023. С. 50–60. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.52.38.007 EDN: LNCKMC

5. *Ковалев Ю. Ю., Степанов А. В., Илюшкина М. Ю., Бурнасов А. С.* Группа наименее развитых стран (НРС) в международной климатической политике // Вестник международных организаций. 2024. Т. 19, № 1. С. 201–219. DOI: 10.17323/1996-7845-2024-02-09 EDN: DJUVPP

6. Новости ООН. Из-за климатического кризиса мир теряет 16 млн долларов в час: сайт. URL: https://news.un.org/ru/story/2024/07/1453846 (дата обращения: 5.07.2024)

7. *Ретеюм А. Ю., Снытко В. А.* Концепция геосистем в современном ландшафтоведении // Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития: мат. XII междунар. ландшафтной конф. (Тюмень-Тобольск, 22–25 августа 2017 г.). Тюмень, 2017. Т. 1. С. 24–27. EDN: ZHBTKH

8. *Русакова Ю. А.* Проблемы международной экологической безопасности и поиск дипломатических путей их преодоления на современном этапе (на примере современных переговоров по климату): дис. … канд. ист. наук / Моск. гос. ин-т междунар. отношений. М., 2016. 199 с. EDN: BMYUKZ

9. *Сахаров А. Г., Андронова И. В.* Вклад БРИКС в глобальные усилия по переходу к устойчивым моделям потребления и производства // Вестник международных организаций. 2021. Т. 16, № 1. С. 7–28. DOI: 10.17323/1996-7845-2021-01-01 EDN: ATZFAF

10. *Castells-Quintana D, Lopez-Uribe M, McDermot T.* The role of climate in development. Fankhauser S. and McDermott T. (Eds.) // The Economics of Climate-Resilient Development. London, 2016. P. 15–32.

11. *Chinowsky P., Hayles C., Schweikert A.* Climate change: comparative impact on developing and developed countries // Engineering Project Organization Journal. 2011. Vol. 1. P. 67–80.

12. Climate Change Performance Index. Ranking 2022: website. URL: https://ccpi.org/ranking (дата обращения: 15.06.2024)

13. Climate Equality: A planet for the 99 %: website. URL: https://www.oxfam.org/en/research/climate-equality-planet-99 (дата обращения: 18.05.2025)

14. *Edenhofer O., Jacob M.* Klimapolitik: Ziele, Konflikte, Lösungen. München: C. H. Beck, 2019. 144 p.

15. *Feffer J.* Klimapolitik im Zeitalter der Milliardäre. Le Monde diplomatique. URL: https://monde-diplomatique.de/artikel/!5812871 (дата обращения: 16.06.2025)

16. Global Landscape of Climate Finance 2023: website. URL: https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/global-landscape-of-climate-finance-2023/ (дата обращения: 05.10.2024)

17. *Gupta J.* A history of international climate change policy. Wiley Interdisciplinary Reviews // Climate Change. 2010. Vol. 1. No. 1(5). P. 636–653.

18. IDMC Data Portal: website. URL: https://www.internal-displacement.org/database/displacement-data/ (дата обращения: 16.05.2025).

19. *Jahrmarkt L.* Internationales Klimaschutzrecht. Der Weg zu einem Weltklimavertrag im Sinne gemeinsamer, aber differenzierter Verantwortlichkeit. Baden-Baden: Nomos Verlag, 2016. 417 p.

20. *Kovalev Y. Y, Stepanov A. V., Ilyushkina M. Yu., Burnasov A.* US Climate Policy: Features of Evolution and Current State // Proceedings of Topical Issues in International Political Geography (TIPG 2022). 2024. P. 547–562. DOI: 10.1007/978-3-031-50407-5_45

21. Low Carbon power: Monitor the Transition to Low Carbon Energy (2023) : website. URL: https://lowcarbonpower.org (дата обращения: 16.05.2025)

22. *MacDonald G.* Climate, Capital, Conflict: Geographies of Success or Failure in the Twenty-First Century // Annals of the American Association of Geographers. 2020. No. 110(6). P. 2011–2031. DOI: 10.1080/24694452.2020.1800300 EDN: DYVWUY

23. *Nachmany M., Abeysinghe A., Barakat S.* Climate change legislation in the least developing countries // Trends in Climate Change Legislation. 2017. P. 59–82.

24. NDC's Countries of the World. UNFCCC. website. Available at. URL: https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/Pages/All.aspx (дата обращения: 25.05.2025).

25. *Otto D.* Entstehung und Ausdifferenzierung des UN-Klimaregimes // Handbuch Globale Klimapolitik. Paderborn. 2017. P. 260–300.

26. Race to Net Zero: Carbon Neutral Goals by Country: website. URL: https://www.visualcapitalist.com/sp/race-to-net-zero-carbon-neutral-goals-by-country/ (дата обращения: 05.05.2025)

27. *Reimer N.* Schlusskonferenzen. Geschichte und Zukunft der Klimadiplomatie. München: Oekom Verlag GmbH, 2015. 208 p.

28. *Ritchie H., Rosado P., Roser M.* CO_2 and Greenhouse Gas Emissions. URL: https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions (дата обращения: 17.05.2025)

29. *Ritchie H., Roser M., Rosado P.* Renewable Energy. 2020 OurWorldinData.org. URL: https://ourworldindata.org/renewable-energy (дата обращения: 18.08.2025)

30. *Ritchie H.* Forest area 2021. WorldinData.org. URL: https://ourworldindata.org/forest-area (accessed: 16.08.2025)

31. *Rotmans J., Loorbach D.* The practice of transition management: Examples and lessons from four distinct cases // Future. 2010. No. 42(3). P. 237–246.

32. *Schlindwein S.* Der Grüne Krieg. Wie in Afrika die Natur auf Kosten der Menschen geschützt wird- und was der Westen damit zu tun hat. Berlin: Ch. Links Verlag, 2023. 256 p.

33. *Sovacool B. K.* Climate change adaptation and the Least Developed Countries Fund (LDCF): Qualitative insights from policy implementation in the Asia-Pacific // Climatic Change. 2017. No. 140. P. 209–226. DOI: 10.1007/s10584-016-1839-2 EDN: HIAVRF

34. Summary and recommendations of the fifth Biennial Assessment and Overview of Climate Finance Flows (2022). Report of the Conference of the Parties on its twenty-seventh session, held in Sharm el-Sheikh from 6 to 20 November 2022. UNFCCC : website. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cp2022_10R.pdf (дата обращения: 11.11.2023)

35. The Killing Curve//Scripps Institution of Oceanography // UC San Diego : website. URL: https://keelingcurve.ucsd.edu/ (дата обращения: 15.08.2025)

36. World Bank. Access to electricity (% of population): website. URL: https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS?view=chart&locations=XL (дата обращения: 8.07.2025)
37. World Bank. Total greenhouse gas emissions excluding LULUCF (Mt CO2e): website. URL: https://data.worldbank.org/indicator/EN.GHG.ALL.MT.CE.AR5 (дата обращения: 7.07.2025)
38. WIPO 2025: website. URL: https://www3.wipo.int/ipstats/IpsStatsResultvalue (дата обращения: 07.07.2025)

References

1. Vallerstain I. *Mir-sistema Moderna. T. IV. Triumf tsentristskogo liberalizma, 1789–1914* [The Modern World-System. Vol. IV. The Triumph of Centrist Liberalism, 1789–1914]. Moscow: Russkii fond sodeistviya obrazovaniyu i nauke, 2016. 496 p. (In Russ.)
2. Zhornist V., Nesmashnyi A., Kharkevich M., Safranchuk I. (2022). State Differentiation by Climate Ambition: Implications for World Politics. *International Organisations Research Journal*, 2022, vol. 17, no. 1, pp. 163–182. (In Russ.) DOI: 10.17323/1996-7845-2022-01-08
3. Kovalev Yu. Yu., Porshneva O. S. BRICS Countries in International Climate Policy. *Vestnik RUDN. International Relations*, 2021, vol. 2, no. 1, pp. 64–78. (In Russ.) DOI: 10.22363/2313-0660-2021-21-1-64-78
4. Kovalev Yu. Yu. Climate change and decarbonization policies in the global North and South: a spatial analysis. In *Sovremennye tendentsii nizkouglerodnogo razvitiya: global'nye i regional'nye aspekty. Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* (Groznyi, 28 iyunya–1 iyulya 2023 g.). Groznyi, 2023, pp. 50–60. (In Russ.) DOI: 10.26200/GSTOU.2023.52.38.007
5. Kovalev Y., Stepanov A., Ilyushkina M., Burnasov A. The Least Developed Countries (LDCs) in International Climate Policy. *International Organisations Research Journal*, 2024, vol. 19, no. 1, pp. 201–219. (In Russ.) DOI: 10.17323/1996-7845-2024-02-09
6. *Novosti OON. Iz-za klimaticheskogo krizisa mir teryaet 16 mln dollarov v chas* [UN News. The world loses $16 million per hour due to the climate crisis]. Novosti OON: website. (In Russ.) URL: https://news.un.org/ru/story/2024/07/1453846 (Accessed 5 Jule 2024).
7. Reteyum A. Yu., Snytko V. A. Kontseptsiya geosistem v sovremennom landshaftovedenii [The concept of geosystems in modern landscape science]. In *Landshaftovedenie: teoriya, metody, landshaftno-ekologicheskoe obespechenie prirodopol'zovaniya i ustoichivogo razvitiya. Materialy XII Mezhdunarodnoi Landshaftnoi konferentsii* (Tyumen–Tobolsk, 22–25 avgusta 2017 g.). Tyumen, 2017, vol. 1, pp. 24–27. (In Russ.)
8. Rusakova Yu. A. *Problemy mezhdunarodnoi ekologicheskoi bezopasnosti i poisk diplomaticheskikh putei ikh preodoleniya na sovremennom etape (na primere sovremennykh peregovorov po klimatu)* [Problems of international environmental security and the search for diplomatic ways to overcome them at the current stage (using the example of modern climate negotiations)]. D.Sc. dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi institut mezhdunarodnykh otnoshenii. Moscow, 2016. 199 p. (In Russ.)
9. Sakharov A., Andronova I. BRICS' Contribution to the Global Transition to Sustainable Consumption and Production Patterns. *International Organisations Research Journal*, 2021, vol. 16, no. 1, pp. 7–28. (In Russ.) DOI: 10.17323/1996-7845-2021-01-01
10. Castells-Quintana D, Lopez-Uribe M, McDermot T. The role of climate in development. Fankhauser S. and McDermott T. (Eds.). *The Economics of Climate-Resilient Development*. *London*, 2016, pp. 15–32.
11. Chinowsky P., Hayles C., Schweikert A. Climate change: comparative impact on developing and developed countries. *Engineering Project Organization Journal*, 2011, vol. 1, pp. 67–80.
12. Climate Change Performance Index. Ranking 2022: website. URL: https://ccpi.org/ranking (Accessed 15 June 2024).
13. Climate Equality: A planet for the 99%: website. URL: https://www.oxfam.org/en/research/climate-equality-planet-99 (Accessed 18 May 2025).
14. Edenhofer O., Jacob M. Klimapolitik: Ziele, Konflikte, Lösungen. München: C. H. Beck, 2019. 144 p.
15. Feffer J. Klimapolitik im Zeitalter der Milliardäre. Le Monde diplomatique: website. URL: https://monde-diplomatique.de/artikel/!5812871 (Accessed 16 June 2025)
16. Global Landscape of Climate Finance 2023: website. URL: https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/global-landscape-of-climate-finance-2023/ (Accessed 5 October 2024).
17. Gupta J. A history of international climate change policy. Wiley Interdisciplinary Reviews. *Climate Change*, 2010, vol. 1, no. 1(5), pp. 636–653.
18. IDMC Data Portal: website. URL: https://www.internal-displacement.org/database/displacement-data/ (Accessed 16 May 2025).
19. Jahrmarkt L. Internationales Klimaschutzrecht. Der Weg zu einem Weltklimavertrag im Sinne gemeinsamer, aber differenzierter Verantwortlichkeit. Baden-Baden: Nomos Verlag, 2016. 417 p.
20. Kovalev Y. Y, Stepanov A. V., Ilyushkina M. Yu., Burnasov A. US Climate Policy: Features of Evolution and Current State. *Proceedings of Topical Issues in International Political Geography (TIPG 2022)*, 2024, pp. 547–562. DOI: 10.1007/978-3-031-50407-5_45
21. Low Carbon power: Monitor the Transition to Low Carbon Energy (2023): website. URL: https://lowcarbonpower.org (Accessed 16 May 2025).
22. MacDonald G. Climate, Capital, Conflict: Geographies of Success or Failure in the Twenty-First Century. *Annals of the American Association of Geographers*, 2020, no. 110(6), pp. 2011–2031. DOI: 10.1080/24694452.2020.1800300
23. Nachmany M., Abeysinghe A., Barakat S. Climate change legislation in the least developing countries. *Trends in Climate Change Legislation*, 2017, pp. 59-82.
24. NDC's Countries of the World. UNFCCC. Available at: website. URL: https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/Pages/All.aspx (Accessed 25 May 2025).
25. Otto D. Entstehung und Ausdifferenzierung des UN-Klimaregimes. *Handbuch Globale Klimapolitik. Paderborn*, 2017, pp. 260–300.
26. Race to Net Zero: Carbon Neutral Goals by Country: website. URL: https://www.visualcapitalist.com/sp/race-to-net-zero-carbon-neutral-goals-by-country/ (Accessed 5 May 2025).

27. Reimer N. Schlusskonferenzen. Geschichte und Zukunft der Klimadiplomatie. München: Oekom Verlag GmbH, 2015. 208 p.
28. Ritchie H., Rosado P., Roser M. CO_2 and Greenhouse Gas Emissions: website. URL: ttps://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions (Accessed 17 May 2025).
29. Ritchie H., Roser M., Rosado P. Renewable Energy. 2020 OurWorldinData.org: website. URL: https://ourworldindata.org/renewable-energy (Accessed 18 Avgust 2025).
30. Ritchie H. Forest area 2021. WorldinData.org: website. URL: https://ourworldindata.org/forest-area (Accessed 16 Avgust 2025).
31. Rotmans J., Loorbach D. The practice of transition management: Examples and lessons from four distinct cases. *Future*, 2010, no. 42(3), pp. 237–246.
32. Schlindwein S. Der Grüne Krieg. Wie in Afrika die Natur auf Kosten der Menschen geschützt wird- und was der Westen damit zu tun hat. Berlin: Ch. Links Verlag, 2023. 256 p.
33. Sovacool B. .K. Climate change adaptation and the Least Developed Countries Fund (LDCF): Qualitative insights from policy implementation in the Asia-Pacific. *Climatic Change*, 2017, no. 140, pp. 209–226.
34. Summary and recommendations of the fifth Biennial Assessment and Overview of Climate Finance Flows (2022). Report of the Conference of the Parties on its twenty-seventh session, held in Sharm el-Sheikh from 6 to 20 November 2022. UNFCCC: website. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cp2022_10R.pdf (Accessed 11 November 2023).
35. The Killing Curve//Scripps Institution of Oceanography. UC San Diego: website. URL: https://keelingcurve.ucsd.edu/ (Accessed 15 Avgust 2025).
36. World Bank. Access to electricity (% of population): website. URL: https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS?view=chart&locations=XL (Accessed 8 Jule 2025
37. World Bank. Total greenhouse gas emissions excluding LULUCF (Mt CO2e): website URL: https://data.worldbank.org/indicator/EN.GHG.ALL.MT.CE.AR5 (Accessed 7 Jule 2025).
38. WIPO 2025: website. URL: https://www3.wipo.int/ipstats/IpsStatsResultvalue (Accessed 7 Jule 2025).

Статья поступила в редакцию: 29.08.25, одобрена после рецензирования: 20.11.25, принята к опубликованию: 11.06.26.
The article was submitted: 29 August 2025; approved after review: 20 November 2025; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах
Юрий Юрьевич Ковалев
Кандидат географических наук,
старший научный сотрудник
Институт географии Российской академии наук;
119017, г. Москва, Старомонентный переулок,
29 стр. 4

Information about the authors
Yuri Yu. Kovalev
Candidate of Geographical Sciences,
Senior Researcher, Institute of Geography of the
Russian Academy of Sciences;
29, bld. 4, Staromonentny pereulok, Moscow, 119017,
Russia

e-mail: yykowaljow@gmail.com

Анатолий Владиславович Степанов
Кандидат географических наук,
доцент кафедры востоковедения,
Уральский федеральный университет
им. Первого президента России Б. Н. Ельцина;
620007, Россия, Екатеринбург, ул. Ленина, 51

Anatoliy V. Stepanov
Candidate of Geographical Sciences,
Associate Professor, Department of Oriental Studies,
Ural Federal University named after the first President
of Russia B. N. Yeltsin;
51, Lenina st., Yekaterinburg, 620007, Russia

e-mail: av.stepanov@urfu.ru

Вклад авторов
Ковалев Ю. Ю. – идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, редактирование карт.
Степанов А. В. – идея, сбор материала, научное редактирование текста.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors
Yuri Yu. Kovalev – the idea; material collection; data processing; writing of the article; maps editing.
Anatoliy V. Stepanov – the idea; material collection; scientific editing.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Научная статья
УДК 911.375.52
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-46-60
EDN: YGKAER

ПЕРМСКАЯ АГЛОМЕРАЦИЯ: ОБОСНОВАНИЕ, АНАЛИЗ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Татьяна Васильевна Субботина ✉, **Артем Дмитриевич Усольцев**
Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
✉ ada@psu.ru, ORCID ID: 0000-0002-7224-8043

Аннотация. Тема агломераций в настоящее время довольно актуальна. В статье раскрываются сущность, понятие и критерии агломерации. Под агломерацией понимается интеграция крупного центра (ядра агломерации) с малыми, средними и большими городами-спутниками, а иногда и сельскими населенными пунктами, муниципалитетами, объединенными тесными связями, общей инфраструктурой и представляющими новую стадию эволюции системы расселения. На основе существующих и доработанных методик исследования агломераций проведены анализ и оценка социально-экономического развития Пермской агломерации. Так, система расселения характеризуется мелкоселенностью, невысокой плотностью населения. Наиболее высокий уровень урбанизации присущ Пермскому ГО, Краснокамскому и Добрянскому МО, а минимальный – Ильинскому и Пермскому МО. Ядро притягивает к себе большую часть населения (более 80 %), превращая периферию в пригород со спальными районами и повышая нагрузку на периферийную территорию. В агломерации сформированы транспортные коридоры, имеется регулярное транспортное сообщение (автомобильное – повсеместно, в некоторых случаях железнодорожное – Краснокамский, Кунгурский, Пермский МО, Пермский ГО). В агломерации есть различия в экономическом развитии. Наряду с многоотраслевой структурой центра агломерации в городах-спутниках в основном представлена одна или две отрасли промышленности. Существует в агломерации и дифференциация уровня жизни населения. В пределах агломерации заработная плата варьирует от 60 до 40 тыс. руб. Заболеваемость населения выше в центре, минимальное значение – в Ильинском МО, где и обеспеченность врачами самая низкая, и доступность медицинских учреждений ограничена. На основе интегральной оценки социально-экономического развития агломерации (данный показатель – 0,83 для «малой агломерации» и 0,71 для «большой агломерации») следует, что Пермская агломерация относится к числу крупнейших агломераций и имеет средний уровень развития. С одной стороны, существует относительно однородное социально-экономическое пространство. Но вместе с тем внутренняя составляющая экономической, социальной, экологической ситуации неоднородна. Различия, прежде всего, обусловлены недостаточным развитием транспортной инфраструктуры и осложнением экологической ситуации. Пермская агломерация соответствует основным критериям, но формирование ее еще не завершено.

Ключевые слова: агломерация, сущность, обоснование, оценка, социально-экономическое развитие, картографический метод

Для цитирования: Субботина Т. В., Усольцев А. Д. Пермская агломерация: обоснование, анализ и картографирование социально-экономического развития // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 46–60. EDN: YGKAER DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-46-60

Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-46-60
EDN: YGKAER

PERM AGGLOMERATION: JUSTIFICATION, ANALYSIS, AND MAPS OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT

Tatiana V. Subbotina ✉, **Artem D. Usoltsev**
Perm State University, Perm, Russia
✉ ada@psu.ru, ORCID: 0000-0002-7224-8043

Abstract. The article explores the essence, concept, and criteria of agglomeration. An agglomeration is defined as the integration of a large center (the agglomeration core) with small, medium-sized, and large satellite towns, and sometimes even rural settlements and municipalities, united by close ties and shared infrastructure, representing a new stage in the evolution of the settlement system. Based on existing and refined agglomeration research methods, the authors

© Субботина Т. В., Усольцев А. Д., 2026

Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

have analyzed and assessed the socio-economic development of the Perm agglomeration. The settlement system is characterized by sparse settlements and low population density. The highest level of urbanization was found in the Permsky Urban District (UD) as well as in the Krasnokamsky and Dobryansky Municipal Districts (MDs), while the lowest – in the Ilyinsky and Permsky Municipal Districts. The core attracts the majority of the population (over 80 %), transforming the periphery into suburbs with residential areas and increasing the burden on the peripheral territory. The agglomeration has transportation corridors and regular public transportation (automobile service is ubiquitous; rail service is available in the Krasnokamsky, Kungursky, and Permsky MDs, in Permsky UD). There are differences in economic development within the agglomeration: the agglomeration center is multi-industrial, whereas the satellite towns are primarily dominated by one or two industries. Standards of living also vary within the agglomeration, with wages ranging from 60,000 to 40,000 rubles. Morbidity is highest in the center, with the lowest rates in the Ilyinsky MD, where the supply of doctors is lowest and access to medical facilities is limited. Based on the integrated assessment of the agglomeration's socio-economic development (this indicator is 0.83 for the “small agglomeration” and 0.71 for the “large agglomeration”), it follows that the Perm agglomeration is among the largest agglomerations and is characterized by a moderate level of development. While its socio-economic space is relatively homogeneous, the internal economic, social, and environmental situation is heterogeneous. These differences are primarily due to the insufficient development of transport infrastructure and the deteriorating environmental situation. The Perm agglomeration meets the basic criteria, but its development is not yet complete.

Keywords: agglomeration, essence, justification, assessment, socio-economic development, cartographic method

For citation: Subbotina T. V., Usoltsev A. D. Perm agglomeration: justification, analysis, and maps of socio-economic development. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 46–60. EDN: YGKAER DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-46-60

Введение

Вопросы изучения городских агломераций в настоящее время находятся в фокусе внимания российских ученых [1; 4; 6; 8–10]. Однако до настоящего времени не сложилось единого мнения относительно понятия агломерации, подходов к определению ее состава и границ, оценки развития.

Обобщая опыт исследователей, под агломерацией следует понимать интеграцию крупного центра (ядра агломерации) с малыми, средними и большими городами-спутниками, а иногда и сельскими населенными пунктами, муниципалитетами. Главное условие их «союза» – объединение устойчивыми трудовыми, культурно-бытовыми и производственными связями, общей социальной и технической инфраструктурой. Это удобная и взаимовыгодная форма сотрудничества населения и органов власти, новая стадия эволюции системы расселения, когда сеть поселений превращается в природно-общественную систему, границы которой не всегда совпадают с административно-территориальным делением.

Кроме того, следует отметить критерии агломерации [4; 6; 9; 12]:

– наличие большого города-центра, компактность территории при высокой плотности городского населения, высотной и непрерывной застройки;

– наличие транспортных коридоров, обеспечивающих интенсивность и дальность трудовых и культурно-бытовых поездок;

– концентрация промышленного производства и трудовых ресурсов, интенсивность их связей с городом-центром;

– тесные связи – производственные, административные и организационно-хозяйственные, социально-бытовые, рекреационно-оздоровительные, необходимые для реализации ежедневных потребностей населения;

– целостность рынка труда, земли и услуг, формирование единого пространства.

В современных условиях развития следует отметить и такие критерии, как способность к быстрой адаптации к новым социально-экономическим реалиям и инновациям; единая информационная обеспеченность; стирание административных границ, наличие общих проектов развития и регулирующих органов.

Открытым остается вопрос определения состава и границ агломерации. Чаще всего ее границы определяются на основании временной транспортной доступности [4; 6; 12]. Однако следует учитывать и миграционные потоки, характер застройки, наружную рекламу и ряд других параметров. Разные подходы приводят к неоднозначности делимитации агломераций.

Часто географические границы агломераций, в том числе Пермской, не совпадают с административными, и задача их выделения с точки зрения географической науки не решена. Относительно Пермской агломерации существует несколько вариантов ее границ.

В данном исследовании в Пермской агломерации на основании удаленности населенных пунктов от ядра (города-центра) следует выделять «малую» и «большую» агломерации [14]. Состав первой – Пермский городской округ (ГО), ЗАТО «Звездный», населенные пункты Пермского и Краснокамского муниципальных округов (МО), расположенные в радиусе до 60 км от города-центра в пределах часовой доступности. Здесь наблюдаются реальные связи населения с центром и представлено регулярное транспортное сообщение. «Большая агломерация» помимо перечисленных включает населенные пункты Добрянского, Нытвенского, Оханского,

Ильинского, Кунгурского МО в пределах двухчасовой транспортной доступности с регулярным транспортным сообщением, но частично ограниченным числом рейсов.

Несмотря на единство территории и пространства Пермской агломерации, внутри нее существуют природные и социально-экономические различия, которые можно выявить с помощью картографического метода исследования. В его основе лежит социально-экономическая карта, позволяющая выявить территориальную дифференциацию развития агломерации.

Таким образом, целью исследования является выявление сущности и критериев агломерации, проведение покомпонентной и интегральной оценки потенциала развития Пермской агломерации, выявление диспропорций и территориальных различий его составляющих и соответствия определенным критериям развития.

Материалы и методы

При оценке формирования и развития агломерации следует обратить внимание на такие аспекты, как выделение границ, систему расселения, оценку ее сформированности, социально-экономического развития и объединить их с помощью картографической модели, являющейся средством исследования и демонстрации полученных результатов. С помощью социально-экономических карт становится возможным проследить динамику освоения территории, выявить потенциал и результаты хозяйственной деятельности человека, трансформацию природной среды, доступность для населения различных услуг, выявить их дифференциацию.

По мнению Н. Н. Баранского, «карта есть «альфа и омега» географии. От карты всякое исследование исходит и к карте приходит, с карты начинается и картой кончается» [2].

Тематика и классификация социально-экономических карт рассматривается в ряде работ [12; 13; 17].

В последнее время в картографии и социально-экономическом картировании появляется целый блок карт, выполняемых с помощью интернет-технологий – *электронных карт*. Это автоматизированное создание и использование карт на основе ГИС и баз картографических данных, информационно-картографическое моделирование геосистем [3; 5; 7; 15]. На основе сказанного в работе будет представлен ряд карт, характеризующих состояние и уровень развития Пермской агломерации.

В настоящее время для выделения агломераций и оценки уровня их развития разработано несколько методик.

При *оценке системы расселения* необходимо выявить роль ядра агломерации, характеристики системы расселения и уровня урбанизированности территории на основе следующих показателей: *индекса агломеративности* [11], *коэффициента развитости агломерации* [6], *коэффициента агломеративности* [6], характеризующих расселение внешней зоны агломерации, людность и структуру распределения населения в городских населенных пунктах, сформированность и развитость внешней среды.

Оценка уровня развития городской агломерации часто проводится на основе показателей, характеризующих целостность, сформированность и развитость городской агломерации (общая численность городского населения агломерации и его доля, плотность населения, доля занятых в экономике, плотность инвестиций в основные фонды, плотность автомобильных дорог, уровень жизни населения).

Кроме того, имеются методики, позволяющие дать *комплексную оценку совокупного потенциала* конкретной агломерации и отражающие интегральные индексы на основе частных показателей. О. Н. Цапиева, Д. А. Деневизюк, М. М. Агарагимов предлагают методику *интегральной оценки устойчивого развития территории* [16].

На наш взгляд, комплексная оценка развития городской агломерации должна включать демографические, социальные, экономические, экологические, институциональные показатели и отображать их сбалансированность (способность региона сохранять и повышать значение необходимых параметров качества жизни населения в пределах определенного уровня безопасности). Исходя из этого, в работе предлагается вариант авторской интегральной оценки развития агломерации.

Результаты

Процесс агломерирования в России и Пермском крае активизировался после 2007 г., когда Министерствами регионального развития и экономического развития РФ было заявлено 20 агломераций, в числе которых была и Пермская. Однако предварительная работа по ее формированию началась с 60-х гг. прошлого века, а официальный статус она получила в 2016 г.

Первоначально в ее состав входили г. Пермь и Пермский район. Далее осуществляется создание совместных (межмуниципальных) объектов транспортной, коммунальной и социальной инфраструктуры, координация градостроительной политики Перми и Пермского района. Создание новых кластеров, индустриальных парков, транспортно-логистических комплексов на въездных направлениях позволило в пространство урбосистемы включить Краснокамск. В связи с этим состав агломерации расширился – «малая агломерация» (табл. 1).

В дальнейшем при развитии транспорта и повышении транспортной доступности происходит расширение трудовых и культурно-бытовых связей, повышение миграционной активности, а также формируется «большая агломерация» (табл. 1).

Для определения уровня сформированности агломерации и ***оценки системы расселения*** были рассчитаны следующие показатели по двум вариантам.

Индекс агломеративности ($I_а$) [11], характеризующий уровень урбанизации и определяемый отношением численности городского населения внешней зоны к городскому населению всей агломерации, равен 0,14 (для «малой агломерации») и 0,12 – для «большой агломерации». При значении более 0,1 считается, что агломерационные процессы проходят нормально, и территория может претендовать на формирование агломерации, но говорить о ее «зрелости» еще рано. Таким образом, на основе оценки системы расселения Пермская агломерация находится в стадии формирования.

Коэффициент развитости агломерации ($К_{разв}$) [6] учитывает людность и структуру распределения населения в городских населенных пунктах, рассчитывается на основе численности городского населения агломерации и спутниковой зоны по формуле 1:

$$К_{разв}=P(M*m+N*n), \quad (1)$$

где P – численность населения городской агломерации (млн. чел.); M – число городов в городской агломерации; N – число поселений городского типа в городской агломерации; m – доля численности населения городов в численности населения городской агломерации; n – доля численности населения поселения городского типа в численности населения городской агломерации.

Для «малой агломерации» он равен 3,0, а для «большой агломерации» – 2,3. Пороговое значение данного показателя составляет более 1,0, следовательно, Пермская агломерация прошла порог развитости, но ее уровень ближе к низкому (табл. 1).

Коэффициент агломеративности ($К_а$) [6], как и предыдущий коэффициент, характеризует сформированность и развитость внешней среды. Он рассчитывается по формуле 2:

$$К_а=(N/S)*L, \quad (2)$$

где N – число городских населенных пунктов на территории агломерации; S – площадь территории агломерации, км^2; L – кратчайшее расстояние между городскими пунктами.

Для «малой» и «большой агломерации» он составил 0,1, что соответствует пороговому значению.

Пермская агломерация расположена на площади 21,5 тыс. км^2. Численность населения – 1450,9 тыс. чел. (57,8 % от краевой численности), из которых около 80 % проживает в центре (1026,9 тыс. чел., табл. 1), в то время как в 2024 г. в Добрянке проживало 28,3 тыс. чел., в Краснокамске – 51,9 тыс. чел., в Нытве – 16,2 тыс. чел., в Оханске – 6 тыс. чел., в Чёрмозе – 2,8 тыс. чел., в Кунгуре – 61,6 тыс. чел.

Агломерация, представляя общее пространство, имеет и территориальные различия, которые будут выявлены при анализе социально-экономических карт.

Демографическая ситуация не отличается большой подвижностью. По сравнению с 2016 годом численность населения увеличилась на 1 %, прежде всего за счет периферии (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Параметры развития Пермской агломерации в 2024 г.
Development parameters of the Perm agglomeration in 2024

Показатели	*Пермская агломерация*	
1	2	3
Год образования	2016 «малая агломерация»	2024 «большая агломерация»
Состав	*ГО:* Пермский, ЗАТО «Звездный», Краснокамский *МО:* Пермский	*ГО*: Пермский, ЗАТО «Звездный» *МО:* Краснокамский, Добрянский, Нытвенский, Кунгурский, Оханский, Ильинский, Пермский
Численность населения, тыс. чел.	1287,7	1450,9
Доля населения города-центра, %	80,6	70,7
Площадь, км^2	5610	21502
Число населенных пунктов, г/с	3/297	11/1000
Плотность населения, чел./ км2	229,9	67,5
Протяженность дорог, км	4653	6495
Плотность дорог, км/км^2	0,85	0,33
Удаленность от центра города, км	36,1	58,2
Временная удалённость от центра, мин.	50	150
Средние затраты на транспорт, руб.	до 100	более 250

Окончание таблицы 1
End of table 1

1	2	3
Коэффициент агломерированности, ед.	0,14	0,12
Индекс агломерированности, ед.	0,1	0,1
Коэффициент развитости, ед.	3,0	2,3
Индекс социально-экономического развития, балл	0,83	0,71

* При расчете показателей агломерации использовались материалы Территориального органа Федеральной статистики по Пермскому краю за 2015 и 2024 гг.
* The indicators were calculated based on materials from the Territorial Body of Federal Statistics for the Perm Territory for 2015 and 2024.

Анализируя систему расселения агломерации, следует отметить ее мелкоселенность, невысокую плотность населения – 67,5 чел. на 1 км^2 (в среднем по краю – 15 чел. на 1 км^2). В агломерации 11 городских и 1000 сельских населенных пунктов, средняя людность которых составляет 1305 человек. Более 80 % населения проживает в центре «малой агломерации» и 70,7 % – в центре «большой агломерации» (табл. 1, рис. 1).

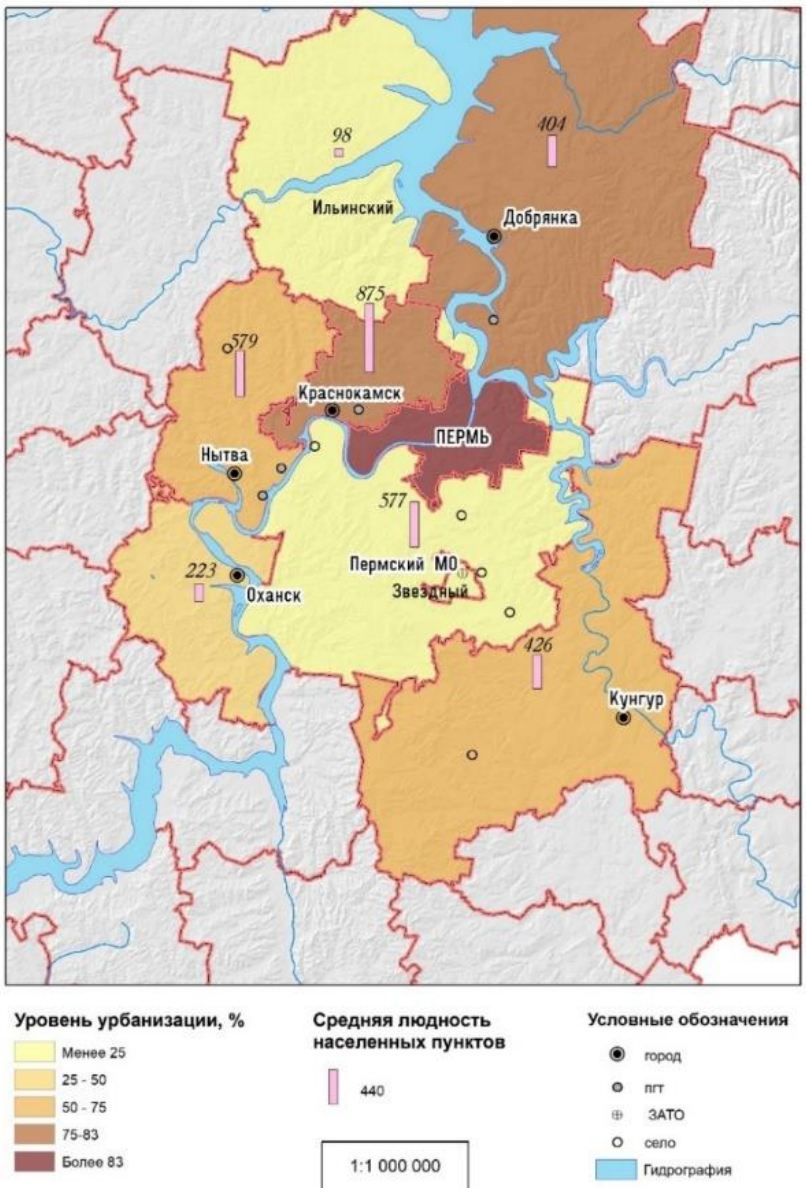


Рис. 1. Уровень урбанизации муниципальных образований и средняя людность населенных пунктов в составе Пермской агломерации в 2024 г.
Fig. 1. The level of urbanization of municipalities and the average population of settlements within the Perm agglomeration in 2024

Для характеристики ядра и внешней зоны агломерации были определены I_a – индекс агломеративности (0,14 – «малая агломерация» и 0,12 – «большая агломерация») и $K_{разв}$ – коэффициент развитости (3,0 – «малая агломерация» и 2,3 – «большая агломерация»), из чего следует, что распределение горожан по территории агломерации неравномерно, особенно в «большой агломерации». Наиболее высокий уровень урбанизации, кроме центра, присущ Краснокамскому и Добрянскому МО, а минимальный – Ильинскому и Пермскому МО. Это обусловлено недостаточным количеством городских поселений, особенно малых и отсутствием средних городов. В Пермском МО, занимающем второе по численности населения, городских поселений нет. Отсутствие собственного ядра лишает территорию самостоятельности.

Анализируя размещение населения агломерации (рис. 2), в целом следует отметить малую людность населенных пунктов. Кроме того, при характеристике расселения внешней зоны агломерации рассчитан коэффициент агломеративности ***(Ка)***. Для «малой» и «большой» агломерации он равен пороговому значению (0,1), что соответствует предъявляемым критериям, однако система расселения агломерации не оптимальна.

Минимальная людность – в Ильинском МО (людность населенных пунктов менее 100 чел., а их число превышает 180). В целом здесь отмечается и минимальная плотность населения.

Противоположная картина в Пермском, Краснокамском, Кунгурском МО, где при значительном числе населенных пунктов отмечается относительно высокая их людность и плотность населения.

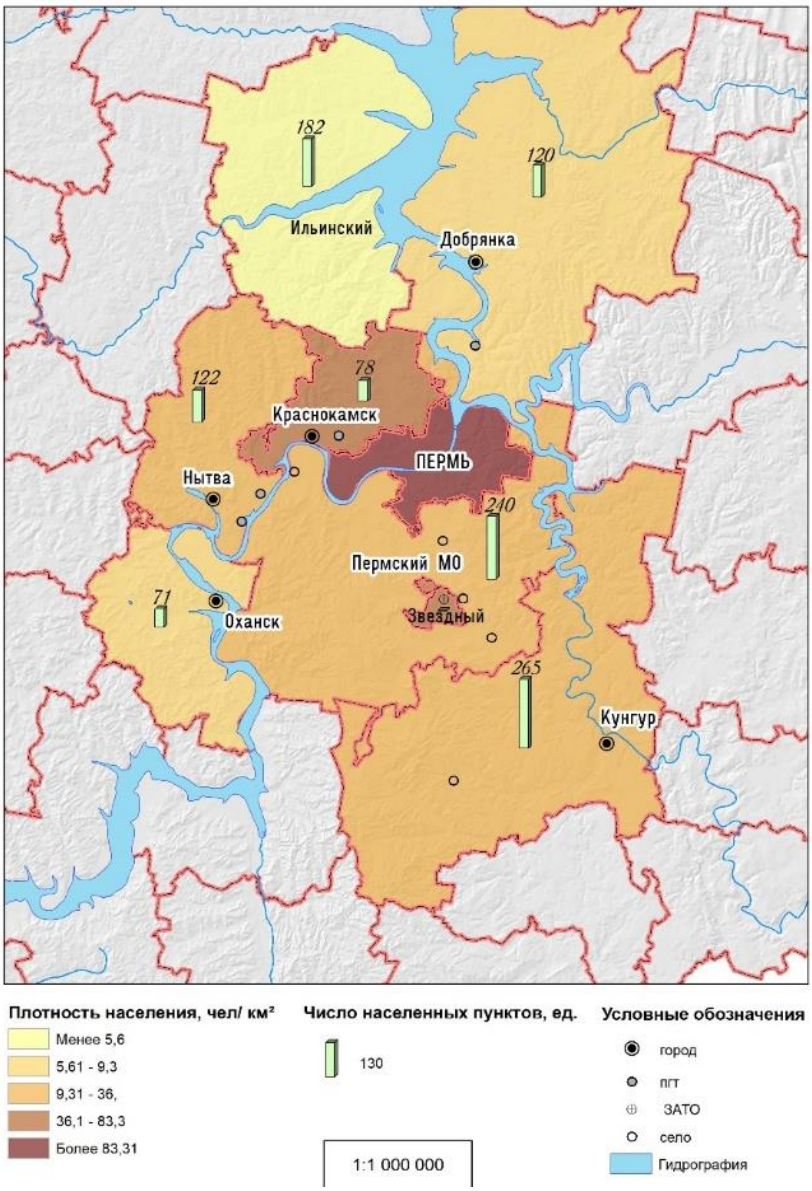


Рис. 2. Размещение населения муниципальных образований в составе Пермской агломерации в 2024 г.
Fig. 2. Population distribution in municipalities within the Perm agglomeration in 2024

В «малой агломерации» более высокая плотность и доступность территории, тесные связи ядра и периферии способствуют созданию единого общественного пространства. Однако система расселения не

отличается совершенством. Ядро притягивает к себе большую часть населения (что соответствует критерию агломерации), где и так проживает более 80 % населения агломерации, превращая периферию в пригород со спальными районами, соответственно, повышая нагрузку на периферийную территорию.

Следует отметить различия в транспортной доступности агломерации (рис. 3). Протяженность дорог в «малой агломерации» – 4653 км, а их плотность – 0,85 км/км^2, удаленность от центра – до 40 км. В то же время населенные пункты имеют регулярное автобусное сообщение с временными (около 1 часа) и стоимостными (60–80 руб., табл. 1) затратами.

В «большой агломерации» эти показатели равны 6495 км, 0,33 км/км^2, 58,2 км соответственно. Худшая ситуация в Оханском, Добрянском, Ильинском МО, где удаленность от центра – в пределах 100 км, плотность дорог – менее 0,2 км/км^2, рейсовое сообщение с большими интервалами, а также существенные временные (более 2 часов) и стоимостные (более 250 руб.) затраты. Помимо расстояния следует учитывать разделенность территории агломерации речными артериями (Кама, Чусовая), что снижает пропускную способность транспортных магистралей и увеличивает время в пути.

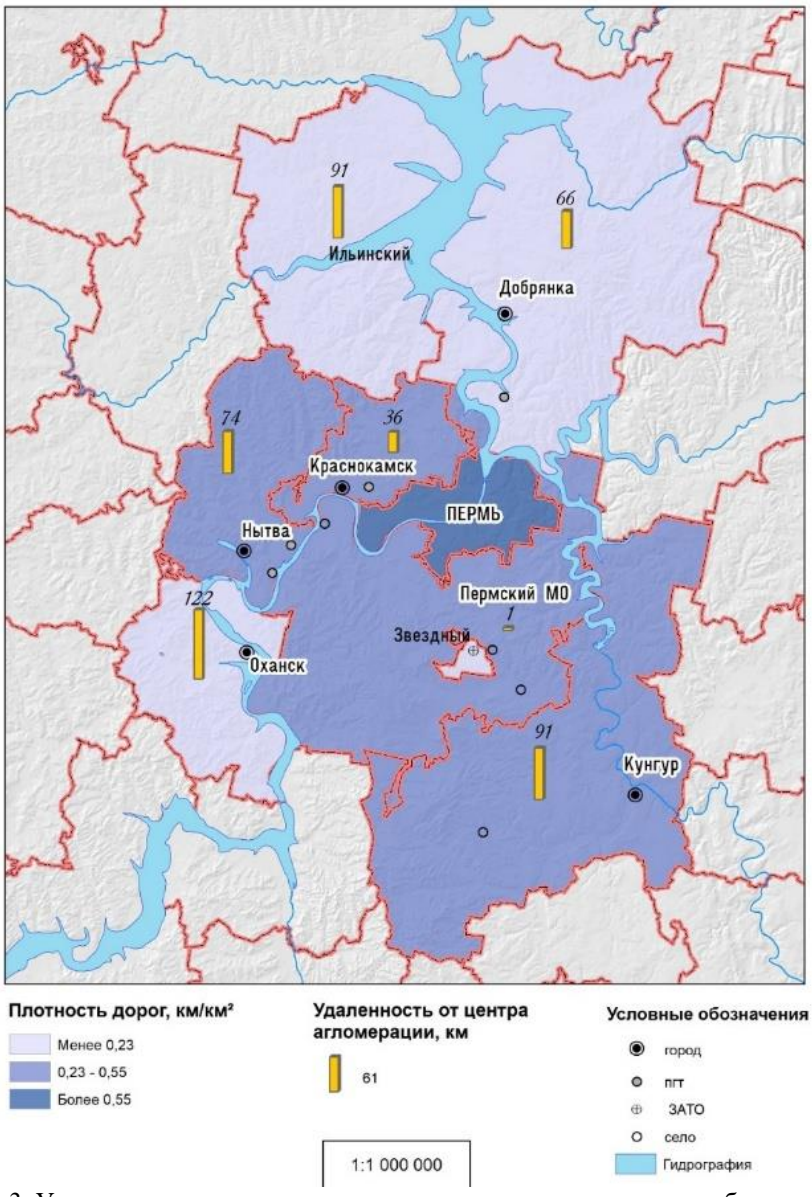


Рис. 3. Удаленность от центра и плотность дорог муниципальных образований в составе Пермской агломерации в 2024 г.

Fig. 3. Distance from the center and road density in municipalities within the Perm agglomeration in 2024

В целом в агломерации сформированы транспортные коридоры, имеется регулярное транспортное сообщение (автомобильное – повсеместно, в некоторых случаях железнодорожное – Краснокамский,

Кунгурский, Пермский МО и Пермский ГО), что способствует развитию связей для удовлетворения повседневных потребностей населения.

В агломерации есть различия в экономическом развитии. Рассматривая инвестиции в основной капитал, следует отметить относительно благоприятный Добрянский МО (60 тыс. руб. на 1 чел.) и отстающие Ильинский и Оханский МО (менее 10 тыс. руб. на 1 чел., рис. 4).

От инвестиций зависит развитие экономики. Наряду с многоотраслевой структурой центра агломерации в городах-спутниках в основном представлена одна или две отрасли промышленности.

Краснокамск специализируется на целлюлозно-бумажной промышленности и на машиностроении. На пищевой промышленности специализируются Кунгур и Нытва. В Добрянке представлена электроэнергетика и добыча нефти. Оханск и Чёрмоз не имеют четкой промышленной направленности. Это влияет на рентабельность предприятий и уровень безработицы: максимальный ее показатель – в Оханском и Нытвенском МО (1,23 %), а минимальный (0,39 %) – в Пермском ГО. Максимальная доля убыточных предприятий приходится на Ильинский МО (40 %, рис. 5).

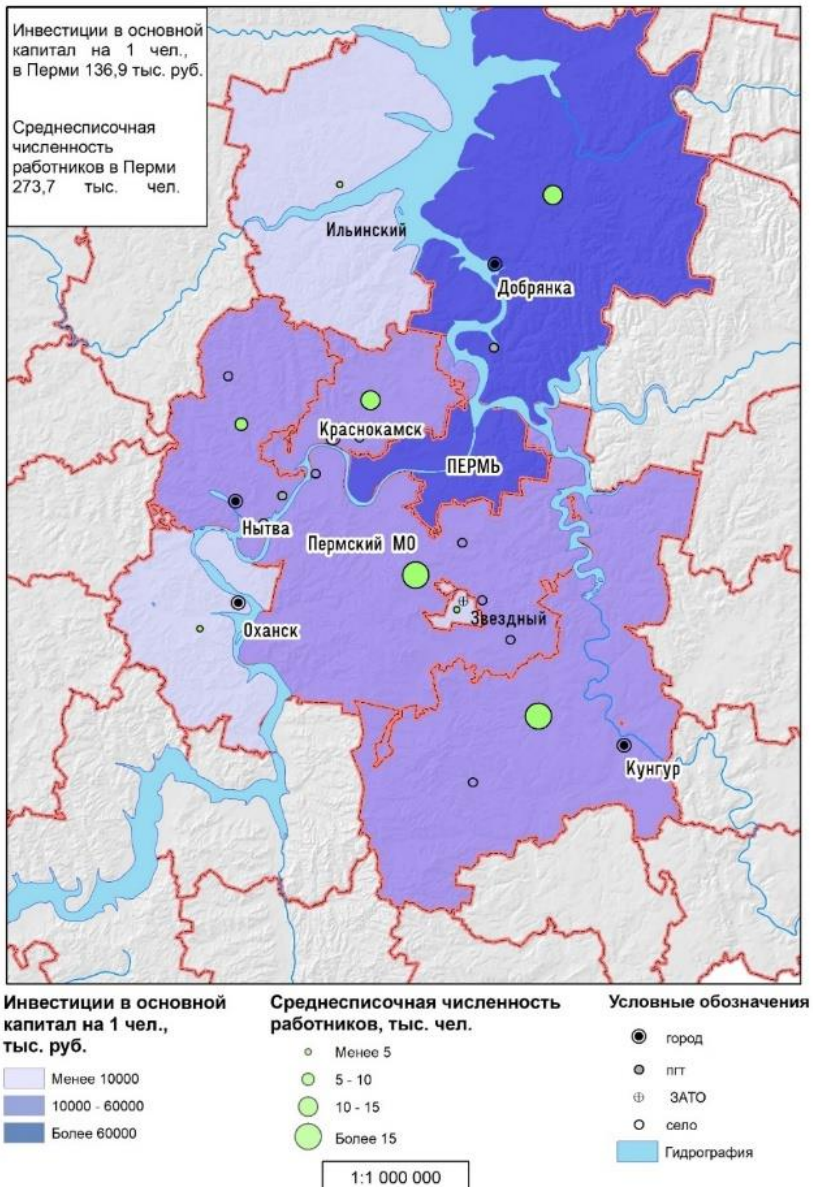


Рис. 4. Инвестиции в основной капитал и среднесписочная численность работников муниципальных образований в составе Пермской агломерации в 2024 г.
Fig. 4. Investments in fixed assets and the average number of employees in municipalities within the Perm agglomeration in 2024

От развития промышленности зависит строительство и обеспеченность населения жильем. Максимальная обеспеченность жилищным фондом – в Добрянке и Нытве (32 м^2 на 1 жителя), минимальная – в Кунгуре и Ильинском (менее 24 м^2) на 1 жителя (рис. 6). Это связано со строительством нового жилья (высокие показатели

в Добрянском и Пермском МО) и распространением частного сектора (Ильинский, Оханский, Кунгурский МО), где потребности населения невысокие.

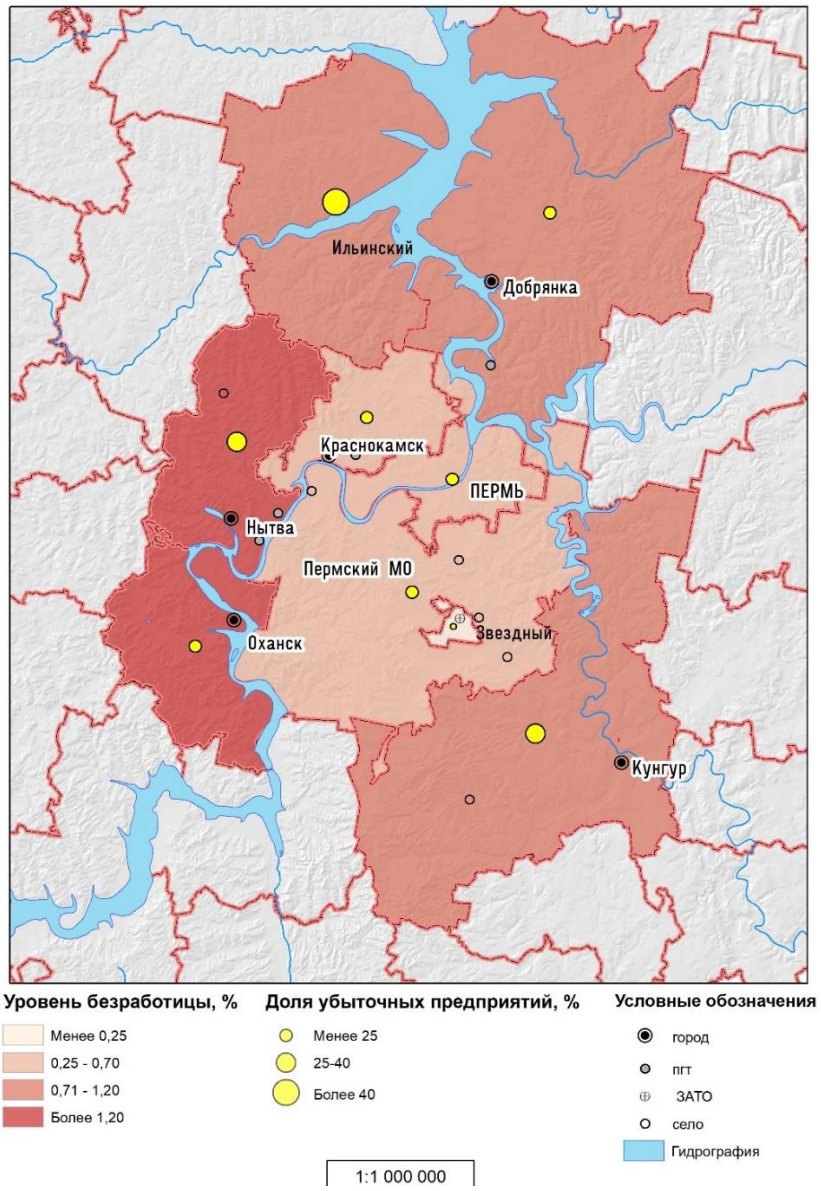


Рис. 5. Уровень безработицы и доля убыточных предприятий муниципальных образований в составе Пермской агломерации в 2024 г.
Fig. 5. Unemployment rate and share of unprofitable enterprises in municipalities within the Perm agglomeration in 2024

От набора промышленных предприятий зависит оплата труда и заработная плата. В пределах агломерации она варьирует от 60 тыс. руб. (Пермь, Добрянка, Краснокамск), а минимальная – менее 40 тыс. руб. (в Оханске). Траты населения выше в Перми, где оборот розничной торговли в расчете на 1 жителя составляет 130 тыс. руб., в то время как в Ильинском МО – 40 тыс. руб. (рис. 7).

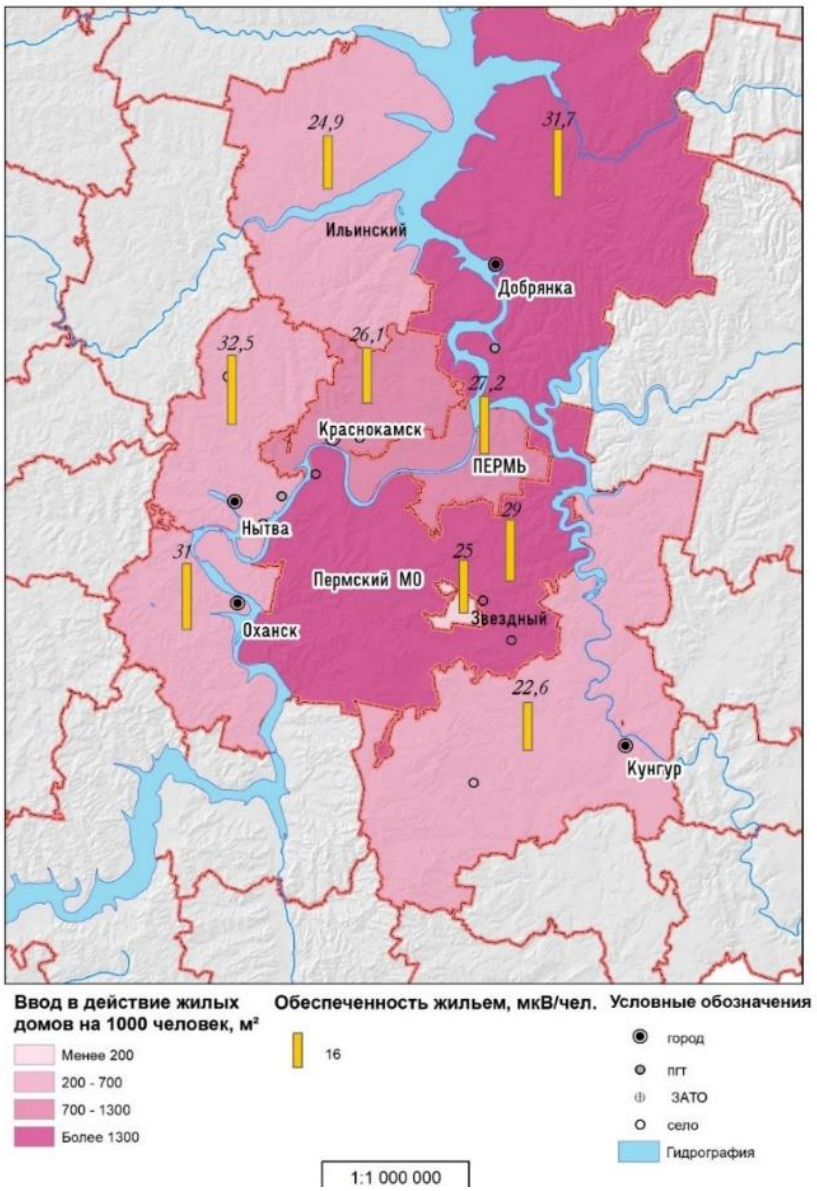


Рис. 6. Обеспеченность жильем и ввод в действие новых домов муниципальных образований в составе Пермской агломерации в 2024 г.
Fig. 6. Housing availability and commissioning of new buildings in municipalities within the Perm agglomeration in 2024

Результатом развития экономики и социальной сферы является здоровье населения, которое оценивается заболеваемостью. В данном случае заболеваемость выше в Пермском ГО, Пермском, Добрянском, Краснокамском МО (более 900 случаев на 1 тыс. чел), минимальное значение – в Ильинском МО, где и обеспеченность врачами самая низкая (менее 22 чел. на 10 тыс. чел.), и доступность медицинских учреждений ограничена (рис. 8).

Наряду с анализом отдельных направлений развития агломерации, следует обратить внимание на ***интегральную оценку уровня ее развития***. Данная оценка позволяет оценить различные аспекты развития агломерации, выявить соответствия определенным критериям развития, анализ его потенциала, дисбаланс и способность поддерживать стабильное функционирование урбосистемы на долгосрочной основе.

Так как агломерация представляет природно-общественную систему, при ее оценке необходимо учесть все составляющие развития. Интегральный показатель устойчивого развития может быть рассчитан на основе объединения различных параметров и показателей, относящихся к экономическим, социальным, институциональным, экологическим аспектам развития.

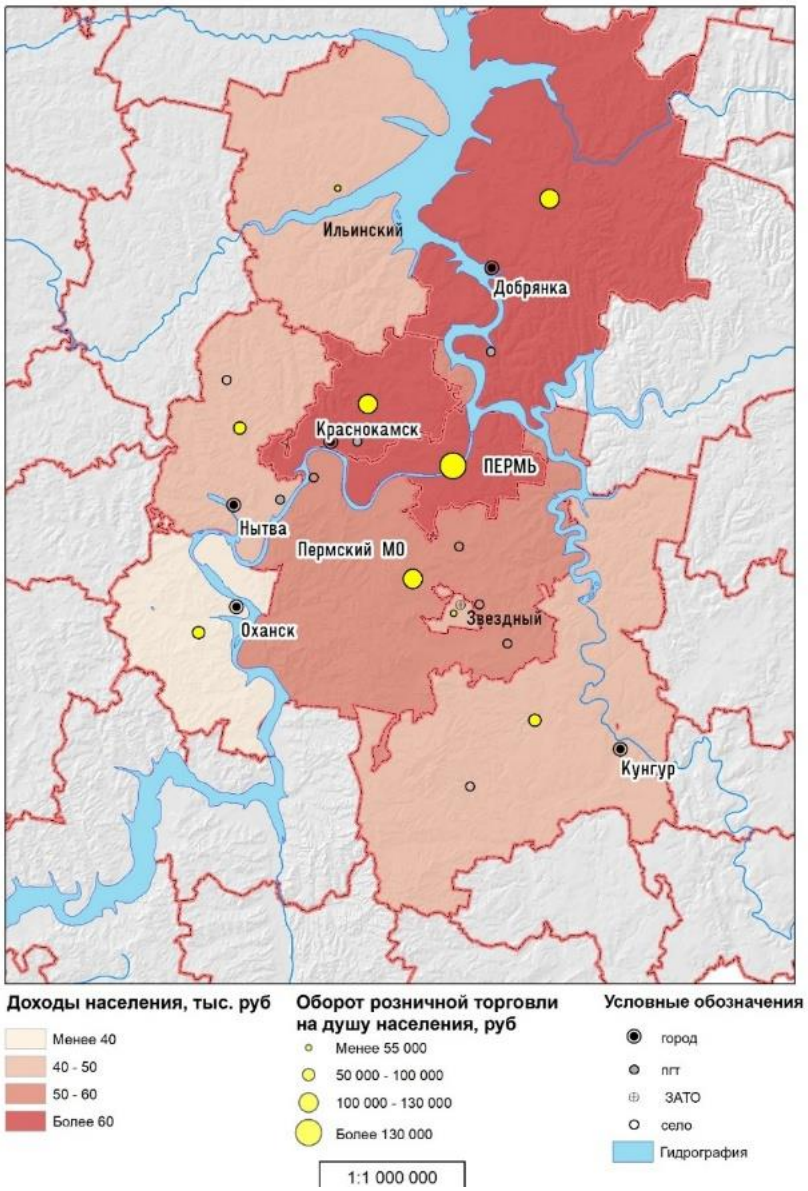


Рис. 7. Доходы населения и розничная торговля муниципальных образований в составе Пермской агломерации в 2024 г.

Fig. 7. Incomes of the population and retail trade in municipalities within the Perm agglomeration in 2024

При оценке использованы материалы Территориального органа государственной статистики по Пермскому краю за 2024 г. Статистика в основном представлена по муниципальным образованиям, что затрудняет адекватное оценивание состояния агломерации, границы которой не всегда совпадают с административными границами.

Первоначально был проведен отбор индикаторов развития. Для оценки экономической составляющей развития учитывались следующие параметры: ВВП, уровень занятости, рентабельность предприятий, инвестиции в основной капитал, темпы роста промышленности. Каждый показатель делился на соответствующий средний показатель по агломерации, после чего путем суммирования каждого частного нормированного показателя рассчитывалась оценка экономического развития агломерации.

Показатели оценки социальной составляющей развития – доступность социальных услуг, доходы населения, обеспеченность жильем, объектами социальной инфраструктуры, покупательная способность, здоровье населения. Алгоритм проведения оценки социальной, экологической, институциональной сфер аналогичен предыдущему.

При оценке экологической среды учитывались плотность населения и промышленных предприятий, доля зеленых насаждений, средний размер выброса загрязняющих веществ в атмосферу стационарного источника.

Управленческая сфера оценивалась на основе выполнения бюджета, наличия территориальных органов самоуправления.

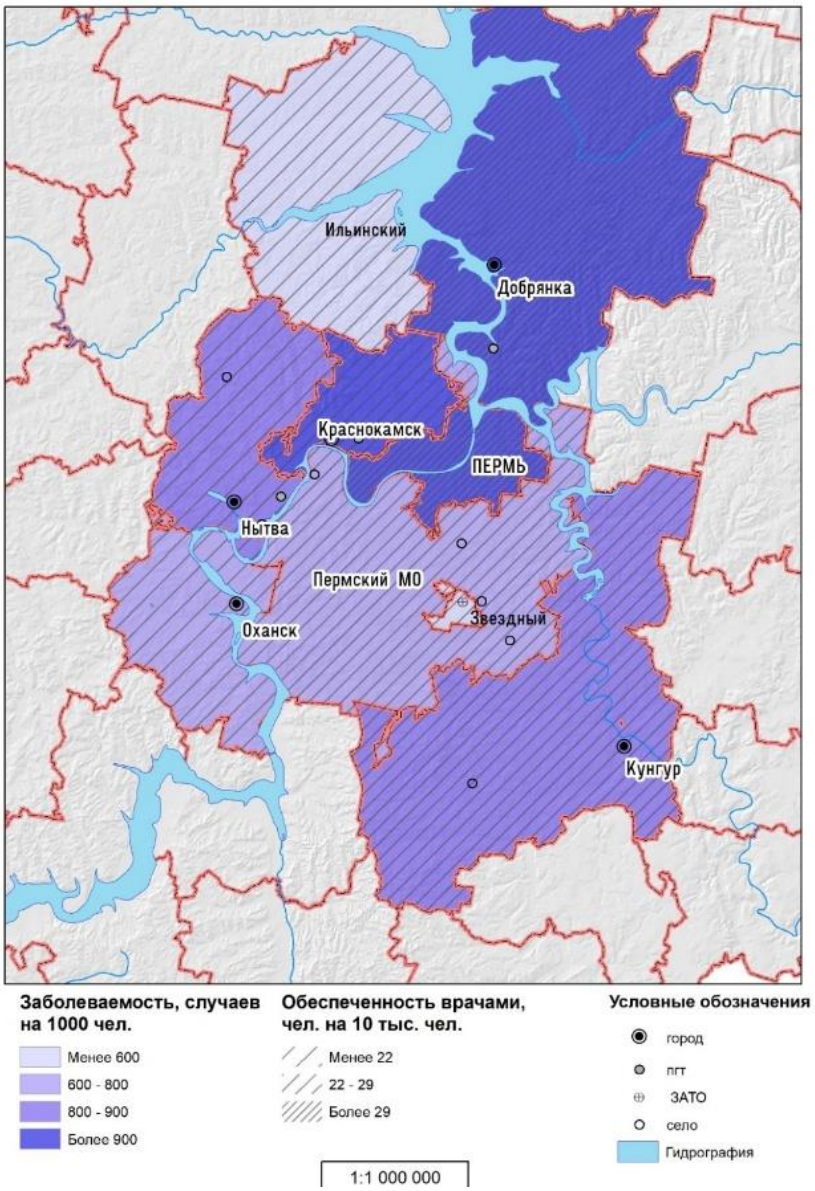


Рис. 8. Заболеваемость населения и кадровое обеспечение здравоохранения муниципальных образований в составе Пермской агломерации в 2024 г.

Fig. 8. Population morbidity and healthcare staffing in municipalities within the Perm agglomeration in 2024

Каждой частной оценке развития присваивался удельный вес (значимость) в общем развитии агломерации. Он определялся экспертным путем [16]:

$w_{экон}$ – экономическая подсистема – 0,3;

$w_{соц}$ – социально-демографическая подсистема – 0,3;

$w_{прир}$ – природно-экологическая подсистема – 0,2;

$w_{у}$ – институциональная подсистема – 0,2.

На основе частных оценок рассчитан индекс интегрального развития агломерации ***(Ipa)***:

$$Ipa = (I_{рс}*w_{с}+I_{рэ}*w_{э}+I_{рэк}*w_{эк}+I_{ру}*w_{у}), \quad (3)$$

где $I_{рс}$ – индекс развития социальной сферы; $I_{рэ}$ – индекс о развития экономики; $I_{рэк}$ – индекс развития экологической среды; $I_{ру}$ – индекс развития институциональной сферы.

В идеальном варианте, где все социальные, экономические, экологические, институциональные показатели достигают наилучших значений, индекс развития (***Ipa***) должен стремиться к 1. Для Пермской агломерации данный показатель – 0,83 для «малой агломерации» и 0,71 для «большой агломерации», что свидетельствует о некой разбалансированности развития и среднем уровне его устойчивости (табл. 1).

В «большой агломерации» дисбаланс проявляется во всех подсистемах: в транспортном и инфраструктурном обустройстве, в экономической, экологической, демографической ситуации. Особенно напряженная ситуация в Ильинском и Оханском МО, где ***Iра*** менее 0,5 (рис. 9).

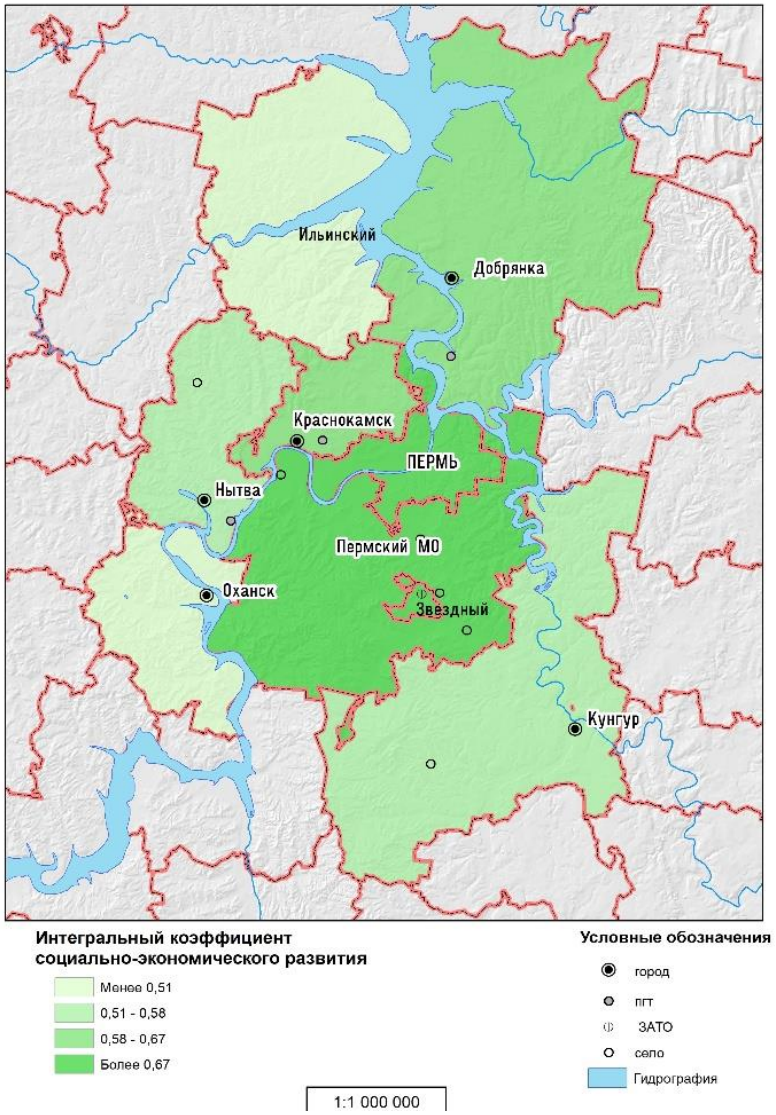


Рис. 9. Интегральная оценка социально-экономического развития муниципальных образований в составе Пермской агломерации в 2024 г.
Fig. 9. Integrated assessment of the socioeconomic development of the Perm agglomeration in 2024

Проведенный анализ свидетельствует о наличии достаточно противоречивой ситуации в агломерации. С одной стороны, существует относительно однородное социально-экономическое пространство. С другой стороны, внутренняя составляющая экономической, социальной, экологической ситуации неоднородна, особенно в «большой агломерации». Что касается «малой агломерации», здесь дисбаланс обусловлен недостаточным развитием транспортной инфраструктуры и осложнением экологической ситуации.

Проводя сопряженный анализ карт развития отдельных направлений и комплексной оценки развития агломерации, можно обосновать, за счет чего наблюдается данная рассогласованность.

Так, при низком уровне интегральной оценки развития (0,5 балла) на территории Ильинского МО следует отметить сложную транспортную ситуацию (водные препятствия, значительные затраты времени и средств, редкое автобусное сообщение), повлиявшую на систему расселения: мелкоселенность, низкий уровень урбанизации, низкую инвестиционную привлекательность, рентабельность предприятий, высокий уровень безработицы, заболеваемости населения.

Для Оханска и в целом Оханского МО р. Кама осложняет транспортную доступность населения и влияет в целом на развитие территории. Проблемы, прежде всего, касаются экономической сферы, доходов населения.

В то же время при высоких значениях интегральной оценки развития агломерации (Пермский МО) следует отметить неэффективную систему расселения при низком уровне урбанизации и отсутствии городов-центров

притяжения. В связи с этим данная территория превращается в спальный район г. Перми и «подчиняется» ее интересам, теряет самостоятельность и самодостаточность.

Средний уровень оценки развития территории Добрянского МО показывает, что при высокой инвестиционной привлекательности, высоких показателях рентабельности предприятий и доходах населения отмечается осложнение транспортной доступности из-за р. Чусовой, постоянных пробок на мосту через нее и низкой плотности дорог, а также повышенная заболеваемость, мелкоселенность и плотность населения.

На основе проведенной оценки можно сделать вывод, что Пермская агломерация соответствует основным критериям, но формирование ее еще не завершено.

В дальнейшем для эффективного развития агломерации, прежде всего, необходимо развитие транспорта, в том числе скоростных его видов: реализация проекта «Компактный город». Кроме того, важно строительство объектов социальной инфраструктуры, создание новых рабочих мест, формирование единого рынка земли. Для этого нужна административно-правовая база, обеспечивающая регулирование и управление развитием агломерации.

Выводы

В настоящее время интерес к агломерациям со временем повышается. Под агломерацией следует понимать компактную форму расселения с тесными хозяйственными, культурно-бытовыми связями. На ее формирование оказывает влияние ряд факторов, среди которых особое место будут занимать транспортная доступность, тесные связи и перемещение населения по территории.

На основе существующих и доработанных методик исследования агломераций проведены анализ и оценка социально-экономического развития Пермской агломерации, из которых следует, что процесс агломерирования проходит поступательно и последовательно. Пермская агломерация относится к числу крупнейших агломераций и имеет средний уровень развития и устойчивости. Для нее характерна высокая концентрация населения в центре, который активно притягивает к себе пригороды. Результаты исследования представлены на социально-экономических картах, демонстрирующих территориальную дифференциацию развития агломерации.

Библиографический список

1. *Антонов Е. В.* Городские агломерации: подходы к выделению и делимитации // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. 2020. № 13(1). С. 180–202. DOI: 10.23932/2542-0240-2020-13-1-10 EDN: UFLQBN

2. *Баранский Н. Н.* Экономическая география. Экономическая картография. М.: Географгиз, 1960. 452 с. EDN: VLVVKF

3. *Берлянт А. М.* Картографический метод исследования. М.: Изд-во МГУ, 1988. 251 с.

4. *Давидович В. Г., Гутман Г. В., Лаппо Г. М.* Вопросы развития городских агломераций в СССР. М.: Наука, 1964. 135 с.

5. *Жуков В. Т., Сербенюк С. Н., Тикунов В. С.* Математико-картографическое моделирование в географии. М.: Мысль, 1980. 224 с.

6. *Лаппо Г. М, Полян П. М., Селиванова Т. И.* Агломерации России в XXI веке // Вестник Фонда регионального развития Иркутской области. 2007. № 1. С. 45–52. EDN: CAYAHD

7. *Лурье И. К.* Основы геонформационного картографирования. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 424 с.

8. *Меркушев С. А., Николаев Р. С.* О развитии Пермской агломерации // Индустриальная цивилизация: прошлое или будущее России: Материалы III Пермского конгресса ученых-экономистов (Пермь, 17 февраля 2017 г.). Пермь, 2017. Т. 2. С. 50–54. EDN: YWUFXM

9. *Перцик Е. Н.* Проблемы развития городских агломераций // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 2. С. 63–69. EDN: KZUBVR

10. *Пивоваров Ю. Л.* Основы геоурбанистики: урбанизация и городские системы. М.: Гуманит. изд. Центр ВЛАДОС, 1999. 232 с.

11. *Полян П. М.* Территориальные структуры – урбанизация и расселение: теоретические подходы и методы изучения. М.: Новый хронограф, 2014. 348 с. ISBN: 978-5-94881-224-3 EDN: TAYFBZ

12. *Прохорова Е. А.* Географическое картографирование. М.: Географический факультет МГУ, 2009. 236 с. ISBN: 978-5-89575-170-1 EDN: QKJCHP

13. *Скалабан И. А.* Социальное картирование как метод анализа социально-территориального пространства // Журнал исследований социальной политики. 2012. Т. 10, № 1. С. 61–78. EDN: PAMOIF

14. *Субботина Т. В., Усольцев А. Д.* Делимитация границ и демографическая ситуация в Пермской городской агломерации // Статистика – главный информационный ресурс современного общества: сборник статей по мат. Всерос. науч.-практ. конф. (Пермь, 14–15 ноября 2024 г.). Пермь, 2024. С. 15–21.

15. *Тикунов В. С.* Геоинформатика. М.: МГУ, 2008. 361 с.

16. *Цапиева О. К., Деневизюк Д. А., Агарагимов М. М.* Интегральная оценка устойчивого развития города // Экономический анализ: теория и практика. 2007. № 20. С. 13–21. EDN: IAZAAV

17. *Яковлева С. И.* Социально-экономическая картография. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2003. 101 с. ISBN: 5-7609-0231-8 EDN: QKEISX

References

1. Antonov E.V. Urban Agglomerations: Approaches to the Allocation and Delimitation. *Outlines of Global Transformations: Politics, Economics, Law*, 2020, no. 13(1), pp. 180–202. (In Russ.) DOI: 10.23932/2542-0240-2020-13-1-10

2. Baranskii N. N. *Ekonomicheskaya geografiya. Ekonomicheskaya kartografiya* [Economic Geography. Economic Cartography]. Moscow: Geografgiz, 1960. 452 p. (In Russ.)

3. Berlyant A. M. *Kartograficheskii metod issledovaniya* [Cartographic Method of Research]. Moscow: Izd-vo MGU, 1988. 251 p. (In Russ.)
4. Davidovich V. G., Gutman G. V., Lappo G. M. *Voprosy razvitiya gorodskikh aglomeratsii v SSSR* [ssues of Development of Urban Agglomerations in the USSR]. Moscow: Nauka, 1964. 135 p. (In Russ.)
5. Zhukov V. T., Serbenyuk S. N., Tikunov V. S. *Matematiko-kartograficheskoe modelirovanie v geografii* [Mathematical and Cartographic Modeling in Geography]. Moscow: Mysl', 1980. 224 p. (In Russ.)
6. Lappo G. M, Polyan P. M., Selivanova T. I. Aglomeratsii Rossii v XXI veke [Agglomerations of Russia in the 21st Century].*Vestnik Fonda regional'nogo razvitiya Irkutskoi oblasti*, 2007, no. 1, pp. 45–52. (In Russ.)
7. Lur'e I. K. *Osnovy geonformatsionnogo kartografirovaniya* [Fundamentals of Geoinformation Mapping]. Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 2000. 424 p. (In Russ.)
8. Merkushev S. A., Nikolaev R. S. O razvitii Permskoi aglomeratsii [On the Development of the Perm Agglomeration]. In *Industrial'naya tsivilizatsiya: proshloe ili budushchee Rossii: Materialy III Permskogo kongressa uchenykh-ekonomistov (Perm', 17 fevralya 2017 g.)*. Perm', 2017, vol. 2, pp. 50–54. (In Russ.)
9. Pertsik E. N. Problemy razvitiya gorodskikh aglomeratsii [Problems of Urban Agglomerations Development]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*, 2009, no, 2, pp. 63–69. (In Russ.)
10. Pivovarov Yu. L. *Osnovy geourbanistiki: urbanizatsiya i gorodskie sistemy* [Fundamentals of Geourbanistics: Urbanization and Urban Systems]. Moscow: Gumanit. izd. Tsentr VLADOS, 1999. 232 p. (In Russ.)
11. Polyan P. M. *Territorial'nye struktury – urbanizatsiya i rasselenie: teoreticheskie podkhody i metody izucheniya* [Territorial Structures – Urbanization and Settlement: Theoretical Approaches and Methods of Study]. Moscow: Novyi khronograf, 2014. 348 p. (In Russ.)
12. Prokhorova E. A. *Geograficheskoe kartografirovanie* [Geographical Mapping]. Moscow: Geograficheskii fakul'tet MGU, 2009. 236 p. (In Russ.)
13. Skalaban I. A. Sotsial'noe kartirovanie kak metod analiza sotsial'no-territorial'nogo prostranstva [Social mapping as a method of analyzing socio-territorial space]. *Zhurnal issledovanii sotsial'noi politiki*, 2012, vol. 10, no. 1, pp. 61–78. (In Russ.)
14. Subbotina T. V., Usol'tsev A. D. Delimitatsiya granits i demograficheskaya situatsiya v Permskoi gorodskoi aglomeratsii [Delimitation of Borders and the Demographic Situation in the Perm Urban Agglomeration]. In *Statistika - glavnyi informatsionnyi resurs sovremennogo obshchestva: Sbornik statei po materialam Vseros. nauch.-prakt. konf. (Perm', 14–15 noyabrya 2024 g.)*. Perm', 2024, pp. 15–21. (In Russ.)
15. Tikunov V. S. *Geoinformatika* [Geoinformatics]. Moscow: MGU, 2008. 361 p. (In Russ.)
16. Tsapieva O. K., Denevizyuk D. A., Agaragimov M. M. Integral'naya otsenka ustoichivogo razvitiya goroda [Integral Assessment of Sustainable Urban Development]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika*, 2007, no. 20, pp. 13–21. (In Russ.)
17. Yakovleva S. I. *Sotsial'no-ekonomicheskaya kartografiya* [Socio-Economic Cartography]. Tver': Tver. gos. un-t, 2003. 101 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию: 12.11.25, одобрена после рецензирования: 28.01.26, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 12 November 2025; approved after review: 28 January 2026; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах
Татьяна Васильевна Субботина
Кандидат географических наук,
доцент кафедры социально-экономической географии,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15
ORCID ID: 0000-0002-7224-8043

Information about the authors
Tatiana V. Subbotina
Candidate of Geographical Sciences,
Associate Professor, Department of Human Geography,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia
ORCID ID: 0000-0002-7224-8043

e-mail: ada@psu.ru

Артем Дмитриевич Усольцев
Аспирант,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Artem D. Usoltsev
Postgraduate Student,
Department of Human Geography,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Вклад авторов

Субботина Т. В. – сбор и обработка материала, разработка карт, подбор и анализ литературных источников, написание статьи, редактирование статьи.

Усольцев А. Д. – сбор и обработка материала, составление и выполнение карт, оформление списка литературы и ссылок, написание статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Tatiana V. Subbotina – collection and processing of materials, development of maps, selection and analysis of literary sources, writing an article, editing an article.

Artem D. Usoltsev – collection and processing of materials, compilation and execution of maps, preparation of a list of literature and references, writing an article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Научная статья
УДК 911.3
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-61-74
EDN: SVEMFC

ПОЛИМАСШТАБНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ УЧАСТВОВАВШИХ В ЭВАКУАЦИИ ИЗ МОСКВЫ ВО ВРЕМЯ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ НА ВОСТОК СТРАНЫ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ольга Владимировна Шувалова ✉
Институт географии Российской академии наук, г. Москва, Россия
✉ dvigh@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7273-7461, ResearcherID: M-1040-2017, Scopus Author ID: 23395414000, eLibrary AuthorID: 613691

Аннотация. Москва, будучи в XX веке развитой в промышленном отношении, стала донором для создания ряда промышленных предприятий в регионах России. Толчком к этому процессу стала грамотная политика Государственного Комитета Обороны во время Великой Отечественной войны. Информационной базой нашего исследования стали его постановления. После возвращения в Москву в регионах осталось по одному или несколько предприятий на базе одного московского. Однако на рубеже XX–XXI веков большинство предприятий, подвергшихся эвакуации, в Москве прекратили свое существование. Цель исследования – выявить основные географические закономерности распределения московских промышленных предприятий по трем регионам – Поволжью, Уралу, Сибири – как в ходе их эвакуации во время Великой Отечественной войны, так и современные особенности. Исследование проводилось на двух географических уровнях: внутригородском – в Москве и макрорегиональном – по Поволжью, Уралу, Сибири. В работе применялись ГИС-метод, метод районирования, метод корреляционного анализа. Для выделения мест сосредоточения предприятий той или иной отрасли в Москве было проведено «сплошное» (по преимущественной отраслевой специализации предприятий) и «очаговое» (по одной уникальной для данного района специализации предприятий) районирование. «Очаговое» районирование дало лучший результат. В нем ярче видна корреляция исходных мест размещения предприятий в Москве и мест их назначения в макрорегионах. Эвакуация промышленных предприятий из Москвы осуществлялась в основном на Урал. Чаще всего это были машиностроительные предприятия. Предприятия авиастроительной и космической промышленности эвакуировались преимущественно в Поволжье. Место назначения эвакуации – в Поволжье, на Урал или в Сибирь – зависело не только от отрасли специализации московского предприятия, но и от его места расположения в городе.

Ключевые слова: территориальная организация, география промышленности, 80 лет Победе в Великой Отечественной войне, полимасштабный подход, территориально-производственные комплексы, территориальное планирование, региональная политика, неравномерность пространственного развития

Финансирование. Статья подготовлена по материалам исследований по теме Государственного задания Института географии Российской академии наук № FMWS-2024-0008 «Социально-экономическое пространство России в условиях глобальных трансформаций: внутренние и внешние вызовы».

Для цитирования: Шувалова О. В. Полимасштабный анализ современной территориальной организации участвовавших в эвакуации из Москвы во время Великой Отечественной войны на восток страны предприятий // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 61–74. EDN: SVEMFC DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-61-74

Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-61-74
EDN: SVEMFC

MULTI-SCALE ANALYSIS OF THE MODERN TERRITORIAL ORGANIZATION OF ENTERPRISES THAT PARTICIPATED IN THE GREAT PATRIOTIC WAR EVACUATION

Olga V. Shuvalova ✉
Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
✉ dvigh@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7273-7461, ResearcherID: M-1040-2017, Scopus Author ID: 23395414000, eLibrary AuthorID: 613691

© Шувалова О. В., 2026

Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Abstract. Moscow, which itself was a highly industrialized city in the 20th century, significantly contributed to industrial development in the Russian regions. The decisive role belonged to the State Defense Committee and its competent policy during the Great Patriotic War. The Committee's resolutions served as information base for this study. Moscow enterprises eventually returned to Moscow, but each had left one or more enterprises in the regions. By the turn of the millennium, most of the formerly evacuated enterprises had ceased to exist in Moscow. The study aims to identify the main geographical patterns of industrial relocation from Moscow to the regions – the Volga region, the Urals, and Siberia – both during the evacuation in the war period and at present. The study was conducted at two levels: intracity research (Moscow) and macroregional research (the Volga region, the Urals, and Siberia). The main methods employed were GIS method, zoning, and correlation analysis. The author created two zoning grids identifying the locations of enterprises of each industry in Moscow: "continuous" zoning, covering the entire territory of Moscow, with the identification of groups of enterprises that primarily specialize in certain fields; "cluster" zoning – with groups of enterprises that only specialize in one field within a certain district. Enterprises were moved from Moscow mainly to the Urals. Machine-building enterprises were in the majority. The study has found that the macroregion (destination) of evacuation – to the Volga region, the Urals, or Siberia – depended not only on the specialization of the Moscow enterprise but also on its location in the city.

Keywords: territorial organization, industrial geography, 80th anniversary of Victory in the Great Patriotic War, multi-scale approach, territorial-production complexes, territorial planning, regional policy, uneven spatial development

Funding. The article is based on research conducted by the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences under state assignment No. FMWS-2024-0008 'Russia's Socio-Economic Space in the Context of Global Transformations: Internal and External Challenges'.

For citation: Shuvalova O. V. Multi-scale analysis of the modern territorial organization of enterprises that participated in the Great Patriotic War evacuation. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 61–74. EDN: SVEMFC DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-61-74

Введение

Эвакуация предприятий Москвы во время Великой Отечественной войны, 80-летие Победы которой мы отметили в 2025 г., сыграла значительную роль в географии отраслей промышленности СССР и современной России. Эвакуация во многом определила производственные процессы, происходящие сегодня.

В XX–XXI веках жители нашей страны были свидетелями двух взаимоисключающих процессов, связанных с промышленностью Москвы. С одной стороны, Москва послужила стимулом развития производства не только в Столице, но и по всей стране, с другой – позже сама потеряла множество промышленных предприятий. Так, в годы Великой Отечественной войны из-за эвакуации произошел процесс расширения географии промышленности путем «отпочкования» новых предприятий от московских, но на рубеже XX и XXI вв. происходил процесс закрытия промышленных предприятий в самой Москве.

Уничтожение промышленных предприятий в Столице привело к потере источников дохода города, мест приложения труда, знаний, традиций. Москвичи сожалеют об уничтоженных объектах. Но теперь в условиях плотной городской застройки, во многом возникшей на месте бывших предприятий, строительство новых предприятий вызывает протест у москвичей.

Накануне Великой Отечественной войны Москва была одним из ведущих промышленных центров страны. Промышленность имела диверсифицированную структуру. В начале Великой Отечественной войны из-за приближения линии фронта к Москве из Столицы были эвакуированы сотни предприятий. Во многих случаях решающим фактором при определении места назначения служила уже сложившаяся специализация либо выраженные предпосылки: металлургическая база, магистральная железная дорога высокой пропускной способности, источники водоснабжения, трудовые ресурсы и т.д. Иногда эвакуация заводов шла на уже действовавшие в регионах предприятия, но часто заводы ехали практически «в чистое поле» – на площадки, где подобных заводов никогда не было. В 1943 году после перелома в ходе войны в пользу Советского Союза предприятия начали возвращаться в Москву. Однако в регионах они также продолжили свою работу. Таким образом, «дублеры» московских предприятий стали основой для развития ряда отраслей промышленности Поволжья, Урала, Сибири и других макрорегионов Советского Союза.

Цель исследования – выявить основные географические закономерности распределения московских промышленных предприятий по трем регионам – Поволжью, Уралу, Сибири – как в ходе их эвакуации во время Великой Отечественной войны, так и современные особенности.

В ходе исследования были поставлены следующие задачи:

– сформировать базу промышленных предприятий Москвы, эвакуированных в 1941 г.;

– дополнить эту базу данными о предприятиях-дублерах, возникших в регионах на базе московских предприятий в ходе Великой Отечественной войны;

– охарактеризовать территориальную структуру промышленности Москвы, сложившуюся к началу Великой Отечественной войны, провести районирование промышленных предприятий Москвы, которые принимали участие в эвакуации, по отраслям преимущественной специализации;

– оценить, каким образом распределялись московские предприятия по макрорегионам, существовала ли зависимость между местом сосредоточения предприятий в Москве и местом их назначения в регионах;

– узнать, воспроизводилась ли структура промышленности Москвы в регионах, и каково состояние дел сегодня.

Нами был изучен также прикладной аспект – какие из предприятий, которые в свое время были эвакуированы, а затем вернулись, оставив дублеры в регионах, смогли выжить в Москве в условиях кризиса на рубеже XX XXI вв., избежать застройки и дожить до наших дней, а какие – нет.

Исследований особенностей эвакуации промышленных предприятий в начале Великой Отечественной войны не так уж много. В основном они имеют исторический аспект. С точки зрения географических особенностей обращают на себя внимание работы Н. А. Вознесенского и Л. М. Кантора [3; 5].

Однако в современной научной периодике во всем мире активно обсуждается вопрос организации экономического пространства и методов его изучения, а именно чрезмерной концентрации населения в крупных городах, в том числе путем застройки промышленных территорий. На территориях, которые застраиваются жилыми и офисными комплексами, когда-то располагались предприятия, которые неимоверными усилиями спасали путем эвакуации во время Великой Отечественной войны.

В. Н. Лексин из Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук (РАН), изучив «Стратегию пространственного развития России» 2019 г., критикует ее. Он так характеризует смысл этой Стратегии: «Государственная политика должна способствовать трансформации пространства нашей страны в совокупность точек рыночно эффективных локалитетов, преимущественно связанных линиями вхождения в мировую экономику» [7]. В декабре 2024 года Правительством РФ была принята новая, но, по сути, по нашему мнению, схожая Стратегия, предусматривающая приоритетное развитие новых территориальных единиц – опорных населенных пунктов. В единый перечень опорных населенных пунктов вошло порядка 2 тыс. городов, поселков городского типа, рабочих поселков и сел, две железнодорожные станции в Самарской области и деревня в Иркутской области. Теперь они считаются перспективными центрами экономического роста. Однако подход строить государственную политику на базе ограниченного числа опорных населенных пунктов в необъятной России, мягко говоря, спорный.

Л. А. Безруков из Института географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения РАН обозначил две разные концепции территориального развития России [2]. В советское время проводилась в жизнь концепция расширения производительных сил и сдвига их на Восток. В современной России принята концепция сжатия интенсивно используемого пространства. Л. А. Безруков пишет о несправедливом характере перекачивания капитала из регионов, богатых ресурсами, например Сибири, в финансовые центры – прежде всего в Москву. Еще Н. Н. Баранский обращал внимание на парадокс несоответствия размещения дохода и потребления в условиях капитализма [1].

О гипертрофированной роли Москвы в социально-экономическом развитии России писали ученые Института географии РАН А. И. Трейвиш и Т. Г. Нефёдова, а также Н. Н. Михеева из Института народнохозяйственного прогнозирования РАН. Москва стягивает людские ресурсы, ухудшая положение в регионах. Этот процесс инерционен во времени, и его будет трудно остановить [8; 9; 12; 13]. Е. А. Коломак из Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН утверждает, что увеличение экономического значения крупных центров можно проследить не только на примере Москвы, но и, допустим, Новосибирска [6].

Наиболее полновесные работы о необходимости смягчения региональных диспропорций, что актуально и для России, выходят в Китае [23; 24; 31]. Это связано с наличием глобальных городов в Китае со сверхвысокой концентрацией населения, которые создают немало проблем [11].

Ранее мы говорили о Стратегии пространственного развития России и ее критике. Но ученые исследуют и Стратегию пространственного развития Китая [28; 30]. Теме рационального перераспределения экономических функций в рамках центр-периферийной модели посвящены работы следующих авторов [18; 21; 22; 24; 25; 26; 32]. Решения, предложенные этими авторами, не универсальны и не могут быть в чистом виде перенесены на российскую и, в частности, московскую почву.

Схожие стратегии пространственного развития по преодолению территориальных контрастов приняты не только в Китае, но и в Южной Корее. Интересна статья ученого из Корейского института исследований человеческих поселений, в которой приведен обзор мер региональной политики, изложенных в этих стратегиях [19]. Автор говорит о том, что рассредоточение производств по территории страны не противоречит тому, что Столица Сеул остается ключевым промышленным центром страны.

В связи с наметившимися процессами реиндустриализации в странах Запада очевидно мы будем наблюдать здесь всплеск исследований по географии промышленности. Одна из знаковых статей – статья 1993 г. профессора Парижского университета (Сорбонны) Бенко. Он рассказывает о том, как повлияла индустриализация и последующая деиндустриализация на территориально-организационную структуру экономики Франции. В частности, раскрываются причины возвышения Парижа [16]. В 2023 году вышла статья испанских авторов о роли электрификации в социально-экономическом развитии регионов Испании [29]. Наша работа 2025 года посвящена трансформации территориально-организационной структуры промышленности старопромышленного региона Рура в Германии после Второй мировой войны [14]. Специфику территориального развития Мексики в XX–XXI вв. рассматривает профессор Института географии Национального автономного университета Мексики Агилара. Он констатирует: из-за того, что в Мексике происходит неравномерное развитие по территории, промышленные предприятия Мексики концентрируются в столичном регионе [15].

Ученые из Сербии обращают внимание на то, что промышленность играла основную роль в экономике стран Восточной Европы, и именно в промышленном секторе наблюдался максимальный спад [27].

Ученые Института географии Венгерской академии наук [17] пишут, что Будапешт остается основным центром экономической, политической, культурной жизни, но, как и в Москве, из-за высокой стоимости недвижимости – земли и зданий – многие предприятия были вытеснены из центра города.

Очевидно, что сверхвысокая концентрация промышленности в одном месте, создающая предпосылки для неравномерного развития страны, также как и отсутствие промышленности в столицах, это две крайности, одинаково вредные для экономики страны. О нерациональности выхолащивания промышленности в Берлине пишет ученый Европейского университета Виадрина во Франкфурте-на-Одере в Германии профессор Крэтке. [20]. Он обращает внимание на то, что промышленность сохраняется во многих столицах западноевропейских стран, но не в Берлине. После воссоединения Германии произошло выхолащивание промышленности в городе, причем как из его восточной части, входившей в ГДР, так и из западной, входившей в ФРГ.

Проведенный анализ литературы показал: чтобы снизить неоднородность развития регионов необходима грамотная государственная политика по перераспределению производительных сил. Для понимания, к чему приведут государственные решения, полезны они или вредны, необходим учет исторического опыта. Исторический опыт создания предприятий-дублеров в период Великой Отечественной войны и сохранения основных предприятий в Столице очень актуален. Потому мы и провели данное исследование.

Материалы и методы

Первым этапом работы стало составление базы данных предприятий – московских предприятий, действовавших до Великой Отечественной войны, и производственных площадок в регионах, куда производили эвакуацию. Было учтено, действовал ли уже к тому времени в регионе эвакуации завод схожей специализации или был основан «с нуля».

Предприятий эвакуировалось много. Мы рассматривали только наиболее значимые для народного хозяйства страны предприятия. Поэтому информационной базой исследования стали Постановления Государственного Комитета Обороны об эвакуации оборудования с крупнейших московских предприятий. В них значились не только наименования эвакуируемых заводов, но и места назначения. В результате составлена база данных из 82 московских предприятий и 109 предприятий в регионах. Эти данные были отправной точкой для дальнейшей работы.

В базу промышленных предприятий Москвы, эвакуированных в 1941 г., мы включили следующие критерии – названия предприятия, точное место размещения, последняя отрасль специализации, насколько значимо то или иное предприятие для отрасли, работает ли оно в настоящее время.

В базу данных о возникших после эвакуации московских предприятий предприятиях-дублерах в регионах мы включили следующие критерии – названия предприятия, точное место размещения, название макрорегиона (Поволжье, Урал, Сибирь), население города, время создания предприятия, последняя отрасль специализации предприятия, значимо ли предприятие для своей отрасли, работает ли в настоящее время, если нет – подверглась ли территория предприятия коммерческой застройке.

В основном данные о предприятиях получены из интернет-источников, находящихся в открытом доступе. Это оцифрованные данные архивов, сайты предприятий, данные картографических интернет-сервисов, сведения из социальных сетей. Существенным источником информации о предприятиях стал сайт об истории оборонных предприятий в СССР [10]. Также мы пользовались Реестром действующих в России промышленных предприятий, который ведет Министерство торговли и промышленности [4].

История многих предприятий берет свое начало еще с дореволюционных времен. В советское время они не просто сохранялись, а развивались и преумножались. В настоящее время, к сожалению, многие из них уничтожены.

Второй этап работы состоял в следующем. Для того чтобы сопоставить места первоначального размещения предприятий в Москве с местами-макрорегионами (Поволжье, Урал, Сибирь), куда предприятия направлялись в 1941 г., сначала мы провели районирование московской промышленности по «доперестроечному» состоянию. Территориальная структура московской промышленности сохранялась с довоенных времен до последних лет существования СССР. В ходе исследования стало понятно, что одного подхода к районированию недостаточно, поскольку для решения разных задач уместны разные подходы. В результате появилось «очаговое» районирование. Назовем первый тип районирования условно «сплошное» районирование. Второй тип «очагового» районирования назовем «кластерное» районирование.

Установлено, что в Столице прослеживалось территориальное размежевание предприятий разных отраслей промышленности. Например, большие металлургические заводы были сконцентрированы у крупных грузовых станций железных дорог – за Савёловским и Курским вокзалами. Конструкторские бюро авиастроения и сборка самолетов «тяготели» к Ленинградскому проспекту – месту размещения первого в стране авиастроительного завода. До революции он назывался «Дукс», после революции – «Государственный авиационный завод № 1».

В качестве дальнейших примеров территориальной привязки предприятий одной отрасли можно сказать о следующем. Обращает на себя внимание число «говорящих» о промышленном назначении топонимов. Например, в Москве есть станции метро «Электрозаводская», «Авиамоторная», «Автозаводская».

Остановимся на этих получивших отражение в названиях станций метро заводах подробнее. Станция метро «Электрозаводская» связана с предприятиями, возникшими в связи с тем, что еще в 1914 г. из Риги в Москву было эвакуировано оборудование с завода «Проводник». Для завода было построено здание в неоготическом стиле. На заре становления советской власти завод сыграл важную роль в реализации плана по электрификации страны ГОЭЛРО. В 1939 году ряд производств был выделен в отдельные заводские предприятия Москвы, успешно существовавшие на протяжении десятилетий. В 2020 году территория у метро «Электрозаводская» была продана для застройки.

История названия станции «Авиамоторная» связана с тем, что в 1930 г. из состава Центрального аэрогидродинамического института (ЦАГИ) был выделен Центральный институт авиационного моторостроения (ЦИАМ), а в 1933 г. улица, на которой он расположен, получила название Авиамоторной. Этот институт до сих пор расположен в северной части современной Авиамоторной улицы. Южная часть Авиамоторной улицы не менее интересна, чем северная. Здесь на месте Дангауэровской слободки в конце 1920-х гг. для рабочих расположенных рядом заводов – Компрессор, Москабель, Серп и Молот, Радиоприбор и др. – был построен соцгородок в стиле конструктивизма. С другой стороны Авиамоторной улицы проектировалось создание комплекса промышленных предприятий под названием «Радиогородок». Предприятия специализировались на точной механике, приборостроении. До войны реализовать проект полностью не удалось. Введенные в строй предприятия Радиогородка были эвакуированы. После войны ввиду стратегической важности предприятия переключились на выпуск систем управления ракетной техникой – их уже не собирали в одной точке, а рассредоточили по городу, по стране. Тем не менее, например, до 2024 года по адресу Авиамоторная улица, дом 55 располагался Московский завод электромеханической аппаратуры – МЗЭМА. Согласно сообщениям в средствах массовой информации, территория завода продана под застройку.

От промышленной сути Автозаводской улицы, где раньше – до застройки коммерческими квадратными метрами – находился Завод имени Лихачёва, тоже практически осталось «одно название». В этой местности в советское время сложился куст предприятий автомобилестроительной промышленности. В этом же направлении располагался завод «Москвич». В двух шагах от Завода имени Лихачёва (ЗИЛ) находился Московский завод «Динамо», один из крупнейших заводов в Столице, специализировавшийся на выпуске электродвигателей. Подшипниковый, Шинный, Станкоинструментальный заводы находились также в непосредственной близости от ЗИЛа. К сожалению, современную известность этим площадкам приносят не производственные достижения, а ночные клубы типа ночного клуба «Мутабор», возникшего на месте Первого подшипникового завода, и бесконечные квадратные метры коммерческого жилья и офисов. Те районы компактного размещения промышленности, о которых мы говорим, остались в прошлом.

Но есть и отрасли, чьи предприятия были, напротив, рассредоточены по Москве. Например, текстильное производство тяготело к источникам воды и не концентрировалось в одном месте. Химическая промышленность в Москве, выпускавшая продукцию гражданского назначения, была представлена всего одним участвовавшим в эвакуации крупным предприятием – заводом «Красный богатырь», расположенным в районе Преображенской площади (по данным Постановлений Государственного Комитета Обороны). Поэтому ни в химической промышленности, ни в текстильной промышленности выделить предприятия в отдельные районы не представляется возможным.

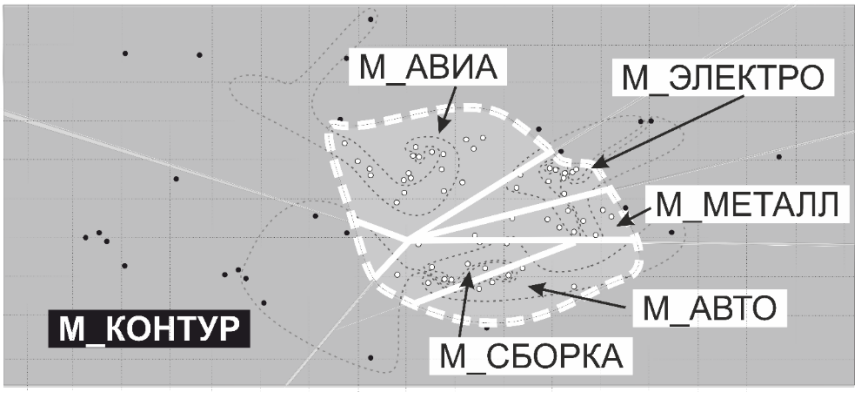


Рис. 1. Схема районов в Москве,
выделенных нами по схожести отраслевой специализации промышленных предприятий
Fig. 1. A map of industrial districts in Moscow identified by the author based on primarily specialization of enterprises in certain fields

Мы, следуя объективным показателям, разделили всю территорию Москвы на шесть районов с преимущественной специализацией на разных отраслях промышленности (рис. 1). Первая буква в названии района свидетельствует о принадлежности к Москве, далее следует краткое название принадлежности к отрасли.

1. Район с условным названием «М_АВИА», специализировавшийся на авиастроении и космической промышленности. Ось этого района, вокруг которой концентрируются предприятия авиастроения, образует Ленинградский проспект.

2. Район с условным названием «М_ЭЛЕКТРО», специализировавшийся на электронике и электротехнике, с концентрацией профильных предприятий в районе метро «Электрозаводская».

3. Район с условным названием «М_МЕТАЛЛ». В районе хоть и наблюдается диверсифицированная структура промышленности, но объединяет их то, что они являются металлоемкими производствами. Ось этого района проходит от железнодорожной станции «Москва-Товарная-Курская» до станции «Авиамоторная» вдоль шоссе Энтузиастов и включает в себя и бывший район Радиогородка.

4. Район с условным названием «М_АВТО», специализировавшийся на автомобилестроении. Ядро района образуют предприятия, расположенные около станций «Автозаводская», «Дубровка», «Угрешская» южной части Малого кольца Московской железной дороги – МЦК.

5. Район с условным названием «М_СБОРКА», специализировавшийся на прочем машиностроении. Речь идет о производстве агрегатов, сборочных предприятиях и др. Они были расположены в Замоскворечье.

6. Район с условным названием «М_КОНТУР» – район разрозненных удаленных от Центра предприятий, охватывающий по окружности всю Москву с диверсифицированной структурой промышленности.

Районы перечислены с Севера на Юг по часовой стрелке. Таким образом, данный способ районирования закрывает сплошь всю Москву без разрывов.

Второй способ районирования, в отличие от первого, носит «очаговый», «кластерный» характер. Цель этой «кластеризации» – выделить компактно расположенные предприятия не преимущественной, а исключительно одной специализации, включив их в определенную территориальную единицу. В каждый «кластер» вошло не менее пяти предприятий. В итоге на территории Москвы было выделено пять «кластеров» (рис. 2).

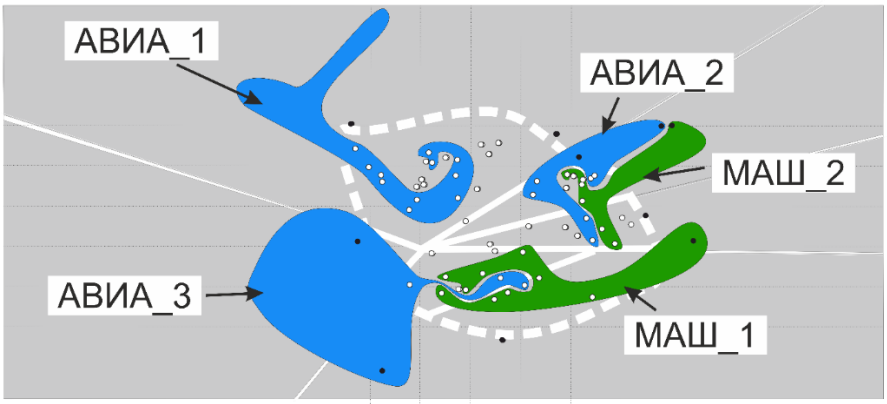


Рис. 2. Схема кластеров в Москве, выделенных нами по моноспециализации промышленных предприятий
Fig. 2. A map of industrial clusters in Moscow identified by the author based on the specialization in one field

Три «кластера», специализировавшихся на авиастроении и космической промышленности.

- «Кластер» с условным названием «АВИА_1» в районе Ленинградского проспекта. Здесь были расположены в основном авиастроительные конструкторские бюро с опытными производствами.

- «Кластер» с условным названием «АВИА_2» в районе станций «Электрозаводская», «Сортировочная», «Авиамоторная» Рязанского направления железной дороги. Здесь были расположены предприятия по производству агрегатов.

- «Кластер» с условным названием «АВИА_3» в районе Кутузовского проспекта со специализацией на радиотехнике.

Два «кластера», специализировавшихся на машиностроении (исключая предприятия авиастроения и космической промышленности), включая электронику и электротехнику, а также автомобилестроение.

- «Кластер» с условным названием «МАШ_1» вдоль южного сегмента Малого кольца Московской железной дороги от станции «Площадь Гагарина» до станции «Нижегородская». Предприятия специализировались на автомобилестроении, станкостроении.

- «Кластер» с условным названием «МАШ_2» в районе станций «Электрозаводская», «Сортировочная», «Авиамоторная» Рязанского направления железной дороги. Предприятия специализировались на выпуске электрооборудования, а также инструментов.

Куда же эвакуировались московские предприятия? В результате исследования выяснилось, что эвакуация московских промышленных предприятий шла по четырем основным макрорегионам: в Поволжье, на Урал, в Сибирь, а также в Среднюю Азию и Казахстан. В связи с тем, что практически невозможно добыть актуальную информацию об исследуемых нами предприятиях в Средней Азии и Казахстане, мы ограничились изучением территориальных особенностей работы эвакуированных предприятий Поволжья, Урала, Сибири.

Для выявления корреляции между местами размещения заводов в Москве и местами их назначения в регионах мы использовали ГИС-метод – метод наложения слоев информации. Мы нанесли в программе «R» все заводы – в Москве и в регионах – на координатную сетку. Каждому заводу были присвоены свои характеристики – критерии, указанные выше (последняя отрасль специализации предприятия, работает ли в настоящее время и другие). В итоге получилась многослойная схема. Переключение между слоями происходило по заданному критерию.

Результаты и их обсуждение

На рубеже XX–XXI веков число предприятий в Москве, которые принимали участие в эвакуации, сократилось на две трети – с 82 до 28 (табл. 1). Произошло сокращение более, чем в два раза числа предприятий по всем отраслям промышленности. Максимальный спад – на три четверти – наблюдался в машиностроении (за исключением авиастроительной промышленности) и текстильной промышленности.

Таблица 1
Table 1

Отраслевая структура промышленности Москвы в 1941 и 2025 гг., рассчитанная по числу предприятий
Sectoral structure of Moscow industry in 1941 and 2025, calculated by the number of enterprises

Годы	*Все предприятия*	*Оборонная промышленность*	*Авиастроение*	*Машиностроение*	*Металлургия*	*Текстильная промышленность*	*Химическая промышленность*	*Сумма*
	Число	*Доля*						
1941 г.	82	12 %	42 %	26 %	7 %	11 %	1 %	99 %
2025 г.	28	18 %	54 %	18 %	7 %	4 %	0 %	101 %

Произошло перераспределение промышленности между выделенными нами районами. Максимальное сокращение числа предприятий наблюдалось в районах «М_СБОРКА» и «М_АВТО», специализировавшихся на машиностроении – отрасли, в которой больше всего ощутились последствия кризиса после распада Советского Союза. Доля этих предприятий в этих двух районах в общем числе московских предприятий, принимавших участие в эвакуации, сократилась с 21 до 7 %. В настоящее время роль районов «М_СБОРКА» и «М_АВТО» в промышленном развитии Москвы ничтожна – там практически ничего не осталось.

В результате общего спада, произошедшего повсеместно в промышленности Москвы, и закрытия почти всех предприятий на Юге Москвы – в районах «М_СБОРКА» и «М_АВТО» – выросло значение района «М_АВИА», расположенного на Севере и Северо-Западе Москвы. В 2025 году он концентрировал 39 % предприятий Москвы (речь идет о предприятиях, которые подвергались эвакуации), а в советское время – 29 %. Именно здесь пока располагаются известные на весь мир конструкторские бюро с опытными производствами: Опытно-конструкторское бюро им. А. С. Яковлева, Московский машиностроительный завод им. С. В. Ильюшина, Машиностроительный завод им. П. О. Сухого. Стоит отметить, что уже запущен процесс перемещения указанных конструкторских бюро из района «М_АВИА» на другую площадку. Многие опытные производства этих конструкторских бюро на территории Москвы уже закрыты. На месте конструкторских бюро, украшавших Москву широкими зелеными зонами и малоэтажной застройкой, по имеющейся информации, появятся небоскребы.

Эвакуация оборудования с московских предприятий и создание заводов-дублеров во время Великой Отечественной войны привели к воспроизводству структуры обрабатывающей промышленности Москвы в регионах. Из Москвы оборудование было эвакуировано с 82 изученных нами завода. Местом назначения оборудования в Поволжье, на Урале, в Сибири стали 109 производственных площадок.

Часто в регионах не было промышленных площадок нужного размера для размещения московских предприятий-гигантов, поэтому заводы рассредотачивали по нескольким населенным пунктам [122, 130]. Так, оборудование с металлургического предприятия «Серп и Молот» (в 2011 г. прекратило свое существование, застроено жилыми и офисными комплексами) было размещено в 1941 г. на дореволюционных заводах в городах Урала (в одном макрорегионе) – в Магнитогорске (Челябинская область), Златоусте (Челябинская область), Нижнем Тагиле (Свердловская область), в Республике Башкортостан – в городе Белорецк, а также неподалеку от предгорий Урала – в г. Омутнинск (Кировская область). В полном составе они работают до сих пор.

Оборудование металлообрабатывающего предприятия «Москабельмет» (работает, но производство в основном перенесено в Московскую область) было распределено во время войны по всей стране (не в один макрорегион). Оно было отправлено на новые производственные площадки в Самару, Уфу, Екатеринбург, Томск. Там были созданы новые заводы, большинство из которых работает до сих пор, кроме Екатеринбурга и одного из двух кабельных заводов в Самаре.

География дочерних предприятий Первого подшипникового завода (в 2010 г. оборудование с завода перенесено в Тверь, согласно сообщениям в СМИ, территория продана под застройку) также широка. Эвакуация оборудования шла на новые промышленные площадки Саратова, Самары, Екатеринбурга, Томска. В Томске и

Екатеринбурге сейчас производство свернуто. В Самаре остаются профильные компании, но исторический завод в Самаре прекратил свое существование.

Автомобилестроительный Завод им. Лихачёва (последние автомобили были выпущены предприятием в 2016 г., в 2020 г. территория Завода им. Лихачёва (ЗИЛа) была застроена) в 1941 г. был эвакуирован также на промышленные площадки, на которых чаще всего ничего подобного раньше не выпускалось. В основном на Урал – в Пермь (не в «чистое поле», а на дореволюционные Мотовилихинские заводы), в Ирбит (Свердловская область), Миасс (Челябинская область), Челябинск, Шадринск (Курганская область), а также в один город Поволжья – Ульяновск. Оборудование ЗИЛа легло в основу заводов, известных сегодня во всем мире благодаря выпускаемой ими продукции. Среди них грузовые автомобили «Урал» (выпускаются в Миассе), автомобили УАЗ (выпускаются в Ульяновске) и другая продукция.

В регионах из 109 предприятий, судьба которых связана с эвакуацией оборудования с московских заводов-гигантов, до сих пор большинство работают (порядка 90 предприятий). Как отмечалось, в Москве предприятий, которые пережили войну и успешно работали в советское время, осталось мало. К сожалению, лишь предприятия в регионах напоминают о былой мощи многих прославленных московских предприятий.

В нашем исследовании была поставлена задача подтвердить взаимосвязь между местом сосредоточения предприятий в Москве и местом назначения их эвакуации в период Великой Отечественной войны, а также степень этой взаимосвязи численной корреляцией. Как было описано выше, для решения данной задачи мы провели два районирования промышленных предприятий Москвы – сплошное и очаговое («кластерное»).

Для начала мы попробовали дать количественную оценку того, прослеживается ли численная корреляция между местами расположения предприятий в Москве по выделенным нами районам с местами назначения эвакуации московских предприятий в макрорегионах – в Поволжье, на Урале, в Сибири. Оборудование с из одного выделенного нами района / «кластера» Москвы шло в один макрорегион или в разные? Для этого мы рассчитали стандартное отклонение (табл. 2). Формула стандартного отклонения представлена ниже (1).

$$б = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}}, \quad (1)$$

где б – стандартное отклонение; значение x – доля предприятий, эвакуированных в один макрорегион (в Поволжье, на Урал или в Сибирь) из одного района Москвы; $\bar{x}$ – среднее арифметическое всех значений x; n – количество макрорегионов (всего три – Поволжье, Урал и Сибирь).

Если оборудование распределялось равномерно по трем макрорегионам – шло в Поволжье, на Урал и в Сибирь – стандартное отклонение показывало меньшее значение. Если нет, и большинство предприятий было эвакуировано в один макрорегион, то показатели стандартного отклонения были выше.

В четырех районах из шести эвакуация большей частью шла в один из обозначенных макрорегионов, а именно на Урал. Речь идет об эвакуации промышленных предприятий из районов «М_СБОРКА» и «М_АВТО», а также «М_МЕТАЛЛ» и «М_ЭЛЕКТРО».

Мы проанализировали показатель стандартного отклонения не только по районам, но и по «кластерам» (табл. 2). Расчет по «кластерам» дал лучший результат. В нем ярче видна корреляция исходных мест размещения предприятий в Москве и мест их назначения в макрорегионах (рис. 3). В четырех «кластерах» из пяти эвакуация московских предприятий большей частью шла в один макрорегион. По данным таблицы 2 видно, что предприятия из «кластеров» «АВИА_1» и «АВИА_3» шли в Поволжье, из «кластеров» «МАШ_1» и «АВИА_2» – на Урал.

Конечно, стоит отметить, что случались ситуации, когда компактно размещенные на одной территории в Москве предприятия все же отправлялись не в один, а в несколько макрорегионов. Прежде всего это касается предприятий, размещенных на периферии города. Так, на территории района «М_КОНТУР» было расположено три предприятия – Лианозовский электромеханический завод (изначально был вагоностроительным заводом, потом перешёл на выпуск радиотехники), Тушинский машиностроительный завод (изначально на заводе производили истребители Як, затем на нем реализовывалась программа создания пилотируемых орбитальных кораблей многоразового использования «Буран», сейчас территория продана под застройку) и Московское машиностроительное предприятие им. В. В. Чернышёва (производились двигатели для самолетов конструкции Ильюшина, Лавочкина, Микояна, Сухого, Туполева, Яковлева). Эти заводы были эвакуированы в разные макрорегионы – в Миасс (Челябинская область, Урал), в Омск (Сибирь), в Казань (Республика Татарстан, Поволжье) соответственно, где работают до сих пор. Так, Омск стал крупным центром авиастроения и космической промышленности.

Таблица 2
Table 2

Доля предприятий, эвакуированных в разные макрорегионы России,
из выделенных нами районов и «кластеров» (их первоначального места размещения),
и степень неоднородности распределения предприятий по этим макрорегионам
The share of enterprises evacuated to different macroregions of Russia from the districts and "clusters"
(their original location) identified by the author; the degree of heterogeneity in the distribution of enterprises across these macroregions

Район/Кластер	*Число предприятий-дублёров в регионах*	*Доля макрорегионов*				*Стандартное отклонение*
		Поволжье	*Урал*	*Сибирь*	*Всего*	
По районам						
Район «М_АВИА»	29	45 %	28 %	28 %	101 %	10 %
Район «М_ЭЛЕКТРО»	11	27 %	45 %	27 %	99 %	10 %
Район «М_МЕТАЛЛ»	19	21 %	53 %	26 %	100 %	17 %
Район «М_СБОРКА»	15	20 %	60 %	20 %	100 %	23 %
Район «М_АВТО»	13	23 %	69 %	8 %	100 %	32 %
Район «М_КОНТУР»	22	23 %	45 %	32 %	100 %	11 %
Всего	109	28 %	47 %	25 %	100 %	12 %
По кластерам						
«Кластер» «АВИА_1»	26	54 %	23 %	23 %	100 %	18 %
«Кластер» «АВИА_2»	10	30 %	60 %	10 %	100 %	25 %
«Кластер» «АВИА_3»	9	56 %	44 %	0 %	100 %	29 %
«Кластер» «МАШ_1»	22	18 %	64 %	18 %	100 %	26 %
«Кластер» «МАШ_2»	8	25 %	38 %	38 %	101 %	7 %
Всего	76	37 %	45 %	18 %	100 %	14 %

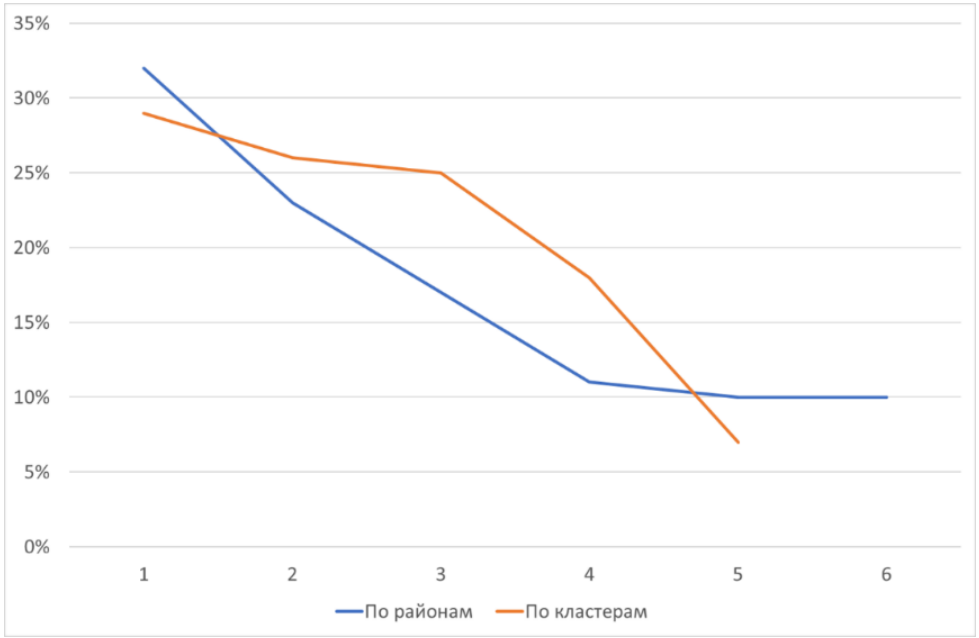


Рис. 3. Значения стандартного отклонения, ранжированные по убыванию, по районам и «кластерам» – рассчитано по данным табл. 2
Fig. 3. Standard deviation values, ranked in descending order, by districts and "clusters" – calculated based on data in Table 2

Нам необходимо было также посчитать, насколько воспроизводилась структура промышленности московских районов / «кластеров» в макрорегионах, не меняли ли предприятия специализацию после эвакуации. Для этого мы использовали индекс корреляции отраслевой структуры московских промышленных предприятий и отраслевой структуры предприятий-дублеров в макрорегионах (табл. 3).

Формула расчета корреляции представлена ниже (2).

$$Correl(X,Y) = \frac{\sum (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum (x-\bar{x})^2 \sum (y-\bar{y})^2}}, \quad (2)$$

где x – доля одной отрасли в отраслевой структуре промышленности среди московских предприятий, участвовавших в эвакуации из одного района; y – доля одной отрасли в отраслевой структуре промышленности среди предприятий-дублеров московских предприятий из одного района; $\bar{x}$ – среднее арифметическое всех значений x; $\bar{y}$ – среднее арифметическое всех значений y.

Индекс корреляции отраслевой структуры предприятий Москвы, участвовавших в эвакуации, с отраслевой структурой предприятий-дублеров московских заводов по всей России составил 0,83.

Специализация предприятий по районам Москвы и их дублеров воспроизводилась в регионах практически повсеместно (табл. 3). То есть предприятия после эвакуации из Москвы специализацию не меняли. Исключение составляли предприятия, которые эвакуировались из районов Москвы «М_СБОРКА» и «М_МЕТАЛЛ». Формально они в значительной степени поменяли свою специализацию, но в основном на смежные отрасли.

Таблица 3
Table 3

Воспроизводство отраслевой структуры (доли отраслей)
московских предприятий выделенных нами районов в макрорегионах
Reproduction in macroregions of the industrial structure (shares of industries)
of Moscow enterprises considered by districts

Отрасль	*Всего*		*Район «М_АВИА»*		*Район «М_ЭЛЕКТРО»*		*Район «М_МЕТАЛЛ»*		*Район «М_СБОРКА»*		*Район «М_АВТО»*		*Район «М_КОНТУР»*	
	Московские предприятия	*Предприятия-дублёры*	*Московские предприятия*	*Предприятия-дублёры*	*Московские предприятия*	*Предприятия-дублёры*	*Московские предприятия*	*Предприятия-дублёры*	*Московские предприятия*	*Предприятия-дублёры*	*Московские предприятия*	*Предприятия-дублёры*	*Московские предприятия*	*Предприятия-дублёры*
Число предприятий	82	109	24	29	10	11	10	19	11	15	6	13	21	22
	Доля отраслей, %													
Авиастроение	42	28	58	52	40	36	30	5	18	7	0	8	55	41
Машиностроение	26	31	8	24	20	27	30	32	55	40	100	77	10	9
Металлургия	7	14	8	3	0	0	30	53	9	7	0	15	0	5
Текстильная промышленность	11	5	4	0	30	18	0	0	18	7	0	0	15	9
Химическая промышленность	1	6	0	7	0	0	0	0	0	13	0	0	5	9
Остальные	12	17	21	14	10	18	10	11	0	27	0	0	15	27
Сумма	**99**	**101**	**99**	**100**	**100**	**99**	**100**	**101**	**100**	**101**	**100**	**100**	**100**	**100**
Индекс корреляции	0,83		0,90		0,89		0,70		0,59		0,98		0,90	

Обращает на себя внимание тот факт, что после эвакуации предприятий из района «М_МЕТАЛЛ» доля металлургии среди предприятий-дублеров в российских макрорегионах значительно выросла – с 30 % среди московских предприятий до 53 % среди предприятий-дублеров. Это объясняется тем, что на территории района «М_МЕТАЛЛ» в Москве находилось всего два металлургических завода, но очень крупных: металлургический завод «Серп и молот» и завод металлообработки «Москабель». Оборудование с этих московских металлургических заводов было установлено на множестве металлургических заводов по всей России.

Остановимся подробнее на том, в каких районах Москвы существовали крупные предприятия – такие, что эвакуация оборудования с них шла на несколько производственных площадок. Назовем возникновение серии предприятий-дублеров одного завода в Москве мультипликационным эффектом. По данным таблицы 3 видно, что эвакуация промышленных предприятий из района «М_МЕТАЛЛ» привела к удвоению их численности в макрорегионах – из десяти московских предприятий в макрорегионах было образовано девятнадцать предприятий-дублеров. Причины этого эффекта рассмотрены выше. Такой же мультипликационный эффект произошел после эвакуации московских промышленных предприятий из района «М_АВТО». Из шести предприятий, размещавшихся в этом районе Москвы, было создано 13 предприятий схожей специализации в макрорегионах. Это объясняется тем, что в районе «М_АВТО» было расположено еще два московских предприятия-гиганта – Завод им. Лихачёва (ЗИЛ) и Первый Государственный подшипниковый завод № 1 им. Л. М. Кагановича. Они и послужили основой для создания многих предприятий по всей стране.

Сравнение отраслевой структуры московских заводов, рассматриваемых в рамках «кластеров», и предприятий-дублеров этих заводов в регионах имело свою особенность (табл. 4). Специфика «кластеров» заключается в том, что исходным условием их выделения была моноспециализация предприятий. А после эвакуации заводы-дублеры могли поменять специализацию. В макрорегионах наблюдалась незначительная диверсификация отраслевой структуры. Например, предприятия из кластера «МАШ_1» при эвакуации в регионы дали начало предприятиям не только собственно машиностроения, но и металлургии, и химической промышленности. Однако, как показало исследование, практически везде отраслевая структура московской промышленности по выделенным нами «кластерам» воспроизводилась в макрорегионах.

Таблица 4
Table 4

Воспроизводство отраслевой структуры (доли отраслей) московских предприятий выделенных нами «кластеров» в макрорегионах
Reproduction in macroregions considered by clusters of Moscow enterprises from the “clusters” identified by the author

Отрасль	*Москва в целом*		*«Кластер» «АВИА_1»*		*«Кластер» «АВИА_2»*		*«Кластер» «АВИА_3»*		*«Кластер» «МАШ_1»*		*«Кластер» «МАШ_2»*	
	Московские предприятия	*Предприятия-дублёры*	*Московские предприятия*	*Предприятия-дублёры*	*Московские предприятия*	*Предприятия-дублёры*	*Московские предприятия*	*Предприятия-дублёры*	*Московские предприятия*	*Предприятия-дублёры*	*Московские предприятия*	*Предприятия-дублёры*
Число предприятий	52	76	17	26	9	10	8	9	12	22	6	9
Доля отраслей, %												
Авиастроение	65	38	100	69	100	40	100	56	0	5	0	11
Машиностроение	35	45	0	27	0	40	0	22	100	64	100	78
Металлургия	0	3	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0
Текстильная промышленность	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Химическая промышленность	0	4	0	0	0	0	0	22	0	5	0	0
Остальные	0	11	0	4	0	20	0	0	0	18	0	11
Сумма	**100**	**101**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**101**	**100**	**100**
Индекс корреляции	0,88		0,93		0,58		0,87		0,97		0,98	

Исключением стал «кластер» «АВИА_2». Помимо исходной специализации, доставшейся от московских предприятий (авиастроения и космической промышленности), среди предприятий-дублеров появились предприятия, специализирующиеся на других отраслях промышленности. Однако такое изменение специализации нельзя считать значительным. Новые производства в регионах имели близкую к исходной специализации, поскольку принадлежали смежным отраслям.

Впечатляет мультипликационный эффект предприятий «кластера» «МАШ_1». В макрорегионах было создано в два раза больше предприятий-дублеров московских предприятий. Здесь размещались упоминавшиеся выше заводы-гиганты – Завод им. Лихачёва (ЗИЛ) и Первый Государственный подшипниковый завод № 1 им. Л. М. Кагановича. Предприятия «кластера» «АВИА_1» также показали значительный мультипликационный эффект. Например, эвакуация оборудования с московского авиастроительного предприятия, возникшего на базе дореволюционного завода «Дукс», привела к созданию Ракетно-космического центра «Прогресс» в Самаре, а также к укреплению производственной базы Иркутского авиационного завода (создан еще до войны).

Выводы

Москва, став в XX веке очень развитой в промышленном отношении, явилась донором для создания промышленности регионов России. Толчком к этому процессу стала грамотная политика Государственного Комитета Обороны во время Великой Отечественной войны. Он организовал эвакуацию московских предприятий. Вернувшись в Москву, они оставили в регионах по одному или несколько предприятий на базе одного московского.

Однако на рубеже XX–XXI веков большинство предприятий, из тех, что подверглись эвакуации, в Москве прекратили свое существование. После распада Советского Союза Москва во многом была лишена ключевых для своих отраслей промышленных предприятий. Места скопления заводов перестали таковыми быть. Пока остается лишь сгусток предприятий авиационной промышленности на Севере Москвы. Кроме того, в Москве до сих пор существуют разбросанные по Столице отдельные предприятия машиностроительной отрасли. Следует отметить, что у московского машиностроения было собственное расположенное также в Москве производство металлургической продукции. Его исчезновение стало ударом для машиностроительной отрасли в целом. Были разрушены и другие производственные цепочки, выстраивавшиеся десятилетиями.

О былой мощи московских предприятий напоминают созданные в период эвакуации в Великую Отечественную войну предприятия в регионах России. Из 109 предприятий, промышленные площадки эвакуации которых фигурируют в Постановлениях Государственного Комитета Обороны, в регионах работает 89 предприятий.

Проведенное нами исследование на двух географических уровнях – внутригородском и макрорегиональном – позволяет установить взаимосвязь размещения предприятий в Москве с особенностями размещения их дублеров по территории России. Эвакуация промышленных предприятий из Москвы осуществлялась в основном на Урал. Большинство эвакуируемых предприятий в Москве было машиностроительными. Именно эвакуация машиностроительных предприятий определила основной вектор эвакуации – Урал. Однако не все предприятия шли на Урал. Место назначения эвакуации зависело от места расположения предприятия в городе. Так, много московских предприятий, расположенных в восточном направлении, в том числе машиностроительных, шли не на Урал, а в Поволжье. Как правило, авиастроительные предприятия также эвакуировались в Поволжье. Но и здесь были исключения. В восточном направлении Москвы размещались предприятия авиастроения и космической промышленности, выпускавшие не готовую продукцию, а агрегаты и авионику. Их эвакуировали в основном не в Поволжье, а на Урал.

Применение двух подходов районирования Москвы – сплошного и очагового («кластерного») – позволило получить численные результаты, дополняющие друг друга. Районирование по моноспециализации промышленных предприятий («кластерный» подход) позволяет более точно охарактеризовать связь между местами в Москве, из которых осуществлялась эвакуация, с местами в регионах России, куда эвакуировались промышленные предприятия. Однако для наиболее полного выделения географических закономерностей необходим и проведенный нами более широкий подход (сплошное районирование) – анализ всех предприятий.

Дискуссия

Иногда было сложно выявить основную специализацию предприятий. Ведь они выпускают значительные объемы неосновной продукции. Из открытых источников мы узнавали, какой продукции больше, и относили предприятие к той или иной отрасли.

Схожая ситуация и с изменением специализации предприятий. В исследовании были приняты некоторые допущения. Так, и в Москве, и в регионах после войны бывало, что предприятия меняли специализацию. Но предприятия никогда не меняли специализацию полностью. Их деятельность все равно была связана со смежными отраслями. В исследовании учитывалась действующая или последняя (если завод был уничтожен) специализация предприятий.

Библиографический список

1. *Баранский Н. Н.* Избранные труды: Становление советской экономической географии. М.: Мысль, 1980. 287 с.

2. *Безруков Л. А.* Образ экономики Сибири: влияние географических факторов и статистических искажений // Всероссийский экономический журнал ЭКО. 2013. № 1(463). С. 5–22. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2013-1-5-22 EDN: PUILPF

3. *Вознесенский Н. А.* Военная экономика СССР в период Отечественной войны. М.: Издательский дом «Экономическая газета», 2003. 381 с.

4. Государственная информационная система промышленности (ГИСП) : сайт. URL: https://gisp.gov.ru (дата обращения: 20.12.2025)

5. *Кантор Л. М.* Промышленность СССР в годы Великой Отечественной войны. СПб: Изд-во Санкт-Петербургского университета экономики и финансов, 1991. 93 с.

6. *Коломак Е. А., Шерубнёва А. И.* Оценка влияния агломерационных факторов на экономическую активность (микроэкономический анализ) // Экономика региона. 2023. Т. 19, № 3. С. 766–781. DOI: 10.17059/ekon.reg.2023-3-12 EDN: ZCZFDD

7. *Лексин В. Н.* Дороги, которые не мы выбираем (о правительственной «Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года») // Российский экономический журнал. 2019. № 3. С. 3–24. DOI: 10.33983/0130-9757-2019-3-3-24

8. *Михеева Н. Н.* Пространственная структура и направления модернизации экономики // Вызовы и политика пространственного развития России в XXI веке. Программы фундаментальных исследований Президиума Российской академии наук 2012–2019 / Российская академия наук. М.: Общество с ограниченной ответственностью Товарищество научных изданий КМК, 2020. С. 148–193. EDN: ZIXCVU

9. *Нефедова Т. Г., Трейвиш А. И., Шелудков А. В.* Полимасштабный подход к выявлению пространственного неравенства в России как стимула и тормоза развития // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 3. С. 289–309. DOI: 10.31857/S2587556622030128 EDN: FCOHMS

10. Оборонпром : сайт. URL: https://oboron-prom.ru/ (дата обращения: 20.12.2025)

11. *Родионова И. А.,* Калашников Д. Б. Китай в рейтингах крупнейших корпораций мира: трансформация модели участия в международном разделении труда // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. Т. 87, № 5. С. 666–676. DOI: 10.31857/S2587556623050072 EDN: WPBTIE

12. *Трейвиш А. И., Литвиненко Т. В.* Восточная Россия: уточнение понятия и некоторые особенности современного развития // Региональные исследования. 2014. № 3. С. 51–57. EDN: SYCOZV

13. *Трейвиш А. И.* Неравномерность и структурное разнообразие пространственного развития экономики как научная проблема и российская реальность // Пространственная экономика. 2019. Т. 15, № 4. С. 13–35. DOI: 10.14530/se.2019.4.013-035 EDN: MBIVCX

14. *Шувалова О. В.* Изменение территориальной структуры экономики земли Северный Рейн-Вестфалия с середины XX века // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2025. Т. 89, № 1. С. 122–136. DOI: 10.31857/S2587556625010095 EDN: CSEJMR

15. *Aguilar A. G.* Megaurbanization and industrial relocation in Mexico's central region // Urban Geography. 2002. Vol. 23, No. 7. P. 649–673. DOI: 10.2747/0272-3638.23.7.649

16. *Benko G.* Spatial dynamics in France: Past and present // GeoJournal. 1993. P. 289–299. DOI: 10.1007/BF00817383

17. *Egedy T., Kovács Z., Kondor A. C.* Metropolitan region building and territorial development in Budapest: The role of national policies // International Planning Studies. 2017. Vol. 22, No. 1. P. 14–29. DOI: 10.1080/13563475.2016.1219652 EDN: YWTPHH

18. *Jie G., Yong-chun Y., Bing-rong L.* Characteristics, models and mechanisms of manufacturing enterprises migrations of large cities in Western China since 1949: Taking Lanzhou as an example // Geographical Research. 2012. Vol. 31, No. 10. P. 1872–1886. DOI: 10.11821/yj2012100013

19. *Kim Y. W.* National territorial planning at the turn of the 21st century // GeoJournal. 2001. Vol. 53, No. 1. P. 5–15. DOI: 10.1023/A EDN: AZTMRV

20. *Kratke S.* Berlin: The metropolis as a production space // European Planning Studies. 2000. Vol. 8, No. 1. P. 7–27. DOI: 10.1080/096543100110901

21. *Li L., Ma Y.* Spatial-temporal pattern evolution of manufacturing geographical agglomeration and influencing factors of old industrial base: A case of Jilin Province, China // Chinese Geographical Science. 2015. Vol. 25, No. 4. P. 486–497. DOI: 10.1007/s11769-014-0730-1 EDN: DICFFN

22. *Liao H. F., Chan R. C. K.* Industrial relocation of Hong Kong manufacturing firms: Towards an expanding industrial space beyond the Pearl River Delta // GeoJournal. 2011. Vol. 76, No. 6. P. 623–639. DOI: 10.1007/s10708-009-9316-3 EDN: CXFMOH

23. *Liu Y., Zhou Y.* Territory spatial planning and national governance system in China // Land Use Policy. 2021. Vol. 102. P. 105288. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105288 EDN: ZDRXHP

24. *Lu D.* Objective and framework for territorial development in China // Chinese Geographical Science. 2009. Vol. 19, No. 3. P. 195–202. DOI: 10.1007/s11769-009-0195-9

25. *Lu L., Xu X.* The formation, evolution and optimazation of territorial structure in the southern China // Chinese Geographical Science. 2000. Vol. 10, No. 1. P. 44–51. DOI: 10.1007/s11769-009-0195-9 EDN: OTEDRU

26. *Mei L., Xu X., Chen M.* Regional evolution features and coordinated development strategies for Northeast China // Chinese Geographical Science. 2006. Vol. 16, No. 4. P. 378–382. DOI: 10.1007/s11769-006-0378-6

27. *Miletić R., Miljanović D., Todorović M.* Industrial cities in transition: Problem areas // Bulletin of the Serbian geographical society. 2009. Vol. 89, No. 3. P. 191–206. DOI: 10.2298/GSGD0903191M

28. *Ning Y., Yan Z.* The uneven development and spatial diffusion of Chinese central cities // Chinese Geographical Science. 1994. Vol. 4, No. 2. P. 119–128. DOI: 10.1007/BF02664294

29. *Garrués-Irurzun J., Iriarte-Goni I.* Rural electrification in Spain: territorial expansion and effects on the agricultural sector (c. 1900–c. 2000) // Rural History. 2023. Vol. 34, No. 2. P. 201–219. DOI: 10.1017/S0956793322000218 EDN: MJXGCK

30. *Wei Y. D.* Investment and regional development in post-Mao China // GeoJournal. 2000. Vol. 51, No. 3. P. 169–179. DOI: 10.1023/A EDN: AROKET

31. *Wu A.* Effects of industrial relocation on Chinese regional economic growth disparities: Based on system dynamics modeling // Chinese Geographical Science. 2014. Vol. 24, No. 6. P. 706–716. DOI: 10.1007/s11769-014-0664-7 EDN: TZLGTH

32. *Zhang P.* Revitalizing old industrial base of Northeast China: Process, policy and challenge // Chinese Geographical Science. 2008. Vol. 18, No. 2. P. 109–118. DOI: 10.1007/s11769-008-0109-2 EDN: IQLAVB

References

1. Baranskii N. N. *Izbrannye trudy: Stanovlenie sovetskoi ekonomicheskoi geografii* [Selected Works: The Formation of Soviet Economic Geography]. Moscow: Mysl', 1980. 287 p. (In Russ.)

2. Bezrukov L. A. The Image of the Siberian Economy: The Influence of Geographical Factors and Statistical Distortions. *Vserossiiskii ekonomicheskii zhurnal EKO*, 2013, no. 1(463), pp. 5–22. (In Russ.) DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2013-1-5-22

3. Voznesenskii N. A. *Voennaya ekonomika SSSR v period Otechestvennoi voiny* [The military economy of the USSR during the Patriotic War]. Moscow: Izdatel'skii dom «Ekonomicheskaya gazeta», 2003. 381 p. (In Russ.)

4. *Gosudarstvennaya informatsionnaya sistema promyshlennosti (GISP)* [State Industrial Information System (GISP)]. (In Russ.) URL: https://gisp.gov.ru (Accepted 20 December 2025).

5. Kantor L. M. *Promyshlennost' SSSR v gody Velikoi Otechestvennoi voiny* [The Soviet Union's Industry During the Great Patriotic War]. Saint Peterburg: Izd-vo Sankt-Peterburgskogo universiteta ekonomiki i finansov, 1991. 93 p. (In Russ.)

6. Kolomak E. A., Sherubneva A. I. Assessment of the Impact of Agglomeration Factors on the Economic Activity: Microeconomic Analysis. *Ekonomika regiona*, 2023, vol. 19, no. 3, pp. 766–781. (In Russ.) DOI: 10.17059/ekon.reg.2023-3-12

7. Leksin V. N. The roads that we do not choose (on the government "strategy of spatial development of the Russian federation for the period up to 2025"). *Russian Economic Journal*, 2019, no. 3, pp. 3–24. (In Russ.) DOI: 10.33983/0130-9757-2019-3-3-24

8. Mikheeva N. N. Prostranstvennaya struktura i napravleniya modernizatsii ekonomiki [Spatial structure and directions of economic modernization]. In *Vyzovy i politika prostranstvennogo razvitiya Rossii v XXI veke : Programmy fundamental'nykh issledovanii Prezidiuma Rossiiskoi akademii nauk 2012–2019. Rossiiskaya akademiya nauk. M.: Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu Tovarishchestvo nauchnykh izdanii KMK*, 2020, pp. 148–193. (In Russ.)

9. Nefedova T. G., Treivish1 A. I., Sheludkov A. V. A Multi-Scale Approach to Identifying Spatial Inequality in Russia as Incentive and Obstacle in Development. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2022, vol. 86, no. 3, pp. 289–309. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2587556622030128

10. *Oboronprom* [Oboronprom]. (In Russ.) URL: https://oboron-prom.ru/ (Accepted 20 December 2025).

11. Rodionova I. A., Kalashnikov D. B. China in the rankings of the world's largest corporations: shifts in its participation in the international division of labor. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2023, vol. 87, no. 5, pp. 666–676. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2587556623050072

12. Treivish A. I., Litvinenko T. V. Vostochnaya Rossiya: utochnenie ponyatiya i nekotorye osobennosti sovremennogo razvitiya [Eastern Russia: Clarification of the Concept and Some Features of Modern Development]. *Regional'nye issledovaniya*, 2014, no. 3, pp. 51–57. (In Russ.)

13. Treyvish A. I. Uneven and Structurally Diverse Spatial Development of Economy as a Scientific Problem and Russian Reality. *Spatial Economics*, 2019, vol. 15, no. 4, pp. 13–35. (In Russ.) DOI: 10.14530/se.2019.4.013-035

14. Shuvalova O. V. Changes in the Territorial Structure of the Economy of North Rhine-Westphalia since the Mid-20th Century. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2025, vol. 89, no. 1, pp. 122–136. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2587556625010095

15. Aguilar A. G. Megaurbanization and industrial relocation in Mexico's central region. *Urban Geography*, 2002, vol. 23, no. 7, pp. 649–673. DOI: 10.2747/0272-3638.23.7.649

16. Benko G. Spatial dynamics in France: Past and present. *GeoJournal*, 1993, pp. 289–299. DOI: 10.1007/BF00817383

17. Egedy T., Kovács Z., Kondor A. C. Metropolitan region building and territorial development in Budapest: The role of national policies. *International Planning Studies*, 2017, vol. 22, no. 1, pp. 14–29. DOI: 10.1080/13563475.2016.1219652

18. Jie G., Yong-chun Y., Bing-rong L. Characteristics, models and mechanisms of manufacturing enterprises migrations of large cities in Western China since 1949: Taking Lanzhou as an example. *Geographical Research*, 2012, vol. 31, no. 10, pp. 1872–1886. DOI: 10.11821/yj2012100013

19. Kim Y. W. National territorial planning at the turn of the 21st century. *GeoJournal*, 2001, vol. 53, no. 1, pp. 5–15. DOI: 10.1023/A:1015814205729

20. Kratke S. Berlin: The metropolis as a production space. *European Planning Studies*, 2000, vol. 8, no. 1, pp. 7–27. DOI: 10.1080/096543100110901

21. Li L., Ma Y. Spatial-temporal pattern evolution of manufacturing geographical agglomeration and influencing factors of old industrial base: A case of Jilin Province, China. *Chinese Geographical Science*, 2015, vol. 25, no. 4, pp. 486–497. DOI: 10.1007/s11769-014-0730-1

22. Liao H. F., Chan R. C. K. Industrial relocation of Hong Kong manufacturing firms: Towards an expanding industrial space beyond the Pearl River Delta. *GeoJournal*, 2011, vol. 76, no. 6, pp. 623–639. DOI: 10.1007/s10708-009-9316-3

23. Liu Y., Zhou Y. Territory spatial planning and national governance system in China. *Land Use Policy*, 2021, vol. 102, pp. 105288. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105288

24. Lu D. Objective and framework for territorial development in China. *Chinese Geographical Science*, 2009, vol. 19, no. 3, pp. 195–202. DOI: 10.1007/s11769-009-0195-9

25. Lu L., Xu X. The formation, evolution and optimazation of territorial structure in the southern China. *Chinese Geographical Science*, 2000, vol. 10, no. 1, pp. 44–51. DOI: 10.1007/s11769-000-0035-4

26. Mei L., Xu X., Chen M. Regional evolution features and coordinated development strategies for Northeast China . *Chinese Geographical Science*, 2006, vol. 16, no. 4, pp. 378–382. DOI: 10.1007/s11769-006-0378-6

27. Miletić R., Miljanović D., Todorović M. Industrial cities in transition: Problem areas. *Bulletin of the Serbian geographical society*, 2009, vol. 89, no. 3, pp. 191–206. DOI: 10.2298/GSGD0903191M

28. Ning Y., Yan Z. The uneven development and spatial diffusion of Chinese central cities. *Chinese Geographical Science*, 1994, vol, 4, no. 2, pp. 119–128. DOI: 10.1007/BF02664294

29. Garrués-Irurzun J., Iriarte-Goni I. Rural electrification in Spain: territorial expansion and effects on the agricultural sector (c. 1900–c. 2000). *Rural History*, 2023, vol. 34, no. 2, pp. 201–219. DOI: 10.1017/S0956793322000218

30. Wei Y. D. Investment and regional development in post-Mao China. *GeoJournal*, 2000, vol. 51, no. 3, pp. 169–179. DOI: 10.1023/A:1017580312644

31. Wu A. Effects of industrial relocation on Chinese regional economic growth disparities: Based on system dynamics modeling. *Chinese Geographical Science*, 2014, vol. 24, no. 6, pp. 706–716. DOI: 10.1007/s11769-014-0664-7

32. Zhang P. Revitalizing old industrial base of Northeast China: Process, policy and challenge. *Chinese Geographical Science*., 2008, vol. 18, no. 2, pp. 109–118. DOI: 10.1007/s11769-008-0109-2

Статья поступила в редакцию: 12.11.25, одобрена после рецензирования: 03.03.26, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 12 November 2025; approved after review: 03 March 2026; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторе
Ольга Владимировна Шувалова
Кандидат географических наук,
старший научный сотрудник,
Институт географии Российской академии наук;
119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29
ORCID: 0000-0002-7273-7461,
Researcher ID: M-1040-2017,
Scopus Author ID: 23395414000,
eLibrary AuthorID: 613691

Information about the author
Olga V. Shuvalova
Candidate of Geographical Sciences,
Senior Researcher, Institute of Geography
of the Russian Academy of Sciences;
29, Staromonetny pereulok, Moscow, 119017, Russia
ORCID: 0000-0002-7273-7461,
ResearcherID: M-1040-2017,
Scopus Author ID: 23395414000,
eLibrary AuthorID: 613691
e-mail: dvigh@mail.ru

Научная статья
УДК 911.3:33
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-75-83
EDN: QJLDPO

РАЗВИТИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ АЗИАТСКОЙ РОССИИ

Егор Александрович Шерин ✉
Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Россия
✉ egor-sherin@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7394-7401

Аннотация. Статья посвящена экономико-географическому анализу транспортной инфраструктуры Азиатской России, прежде всего железнодорожной и портовой. Указано значение железнодорожного вида транспорта для грузооборота России. Обозначены проблемные места современных железных дорог страны. Отмечена актуальность экономико-географического анализа развития железнодорожной инфраструктуры Азиатской России в связи с разворотом вектора сотрудничества страны «на восток». Перечислены все железнодорожные погранпереходы сибирско-дальневосточного участка государственной границы. Рассмотрены железнодорожные транспортные коридоры Азиатской России, как сформированные в настоящее время, так и железнодорожные линии, имеющие перспективу становления таковыми. Детально проанализированы перспективы развития Транссибирской, Байкало-Амурской, Амуро-Якутской, Северо-Сибирской магистралей, Тихоокеанской железной дороги, Северного широтного хода, железной дороги до Магадана, а также транспортных коридоров сквозь пограничные страны: Казахстан и Монголию. Проанализированы проекты планируемых железнодорожных магистралей Азиатской России, разобраны варианты их маршрутов, преимущества и недостатки. Рассмотрены конкретные проекты строительства и модернизации железнодорожной (в том числе погранпереходов) и портовой инфраструктуры. В связи с обнажившимися проблемами Восточного полигона российских железных дорог предложены альтернативные пути транспортировки самого массового груза Азиатской России – кузнецкого угля. Авторские рекомендации визуализированы на картосхеме железнодорожной инфраструктуры северной Евразии. Подняты вопросы приоритетности и целесообразности развития транспортных коридоров и железнодорожных проектов Азиатской России, в том числе предлагаемых в рамках данной работы.

Ключевые слова: железные дороги, погранпереходы, морские порты, транспортные коридоры, Азиатская Россия

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания FWEM–2026–0006 № 126020516552–3.

Для цитирования: Шерин Е. А. Развитие железнодорожных транспортных коридоров Азиатской России // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 75–83. EDN: QJLDPO DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-75-83[6]

Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-75-83
EDN: QJLDPO

DEVELOPMENT OF RAILWAY TRANSPORT CORRIDORS IN ASIAN RUSSIA

Egor A. Sherin ✉
V. B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia
✉ egor-sherin@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7394-7401

Abstract. The paper provides an economic and geographical analysis of the transport infrastructure of Asian Russia, primarily of the railway and port infrastructure. The importance of rail transport for Russian freight turnover is highlighted as well as the current problem areas of the country's railways. The relevance of an economic and geographical study into the development of Asian Russia's railway infrastructure is determined by the country's shifting its cooperation vector "to the east". The paper lists all railway border crossings of the Siberian-Far Eastern section of the state border. It examines railway transport corridors of Asian Russia, both those currently in place and railway lines having the potential to become such corridors. A detailed analysis covers the development prospects for the Trans-Siberian, Baikal-Amur, Amur-Yakutsk, North Siberian, Pacific, and Northern Latitudinal Railways, the railway to Magadan, and transport

© Шерин Е. А., 2026
Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

corridors through the bordering countries: Kazakhstan and Mongolia. The paper analyzes the projects of planned railway lines in Asian Russia, discusses their route options, advantages, and disadvantages. Specific projects for the construction and modernization of railway (including border crossings) and port infrastructure are studied. In view of the emerging problems of the Eastern Operating Domain of Russian railways, alternative routes for transporting Kuznetsk coal, which is the most common cargo in Asian Russia, are proposed. The author's recommendations are visualized on a map of the railway infrastructure of Northern Eurasia. The priority and feasibility of the development of transport corridors and railway projects in Asian Russia, including those proposed in this paper, are discussed.

Keywords: railways, border crossings, seaports, transport corridors, Asian Russia

Funding. The study was carried out as part of state assignment FWEM–2026–0006 No. 126020516552–3.

For citation: Sherin E. A. Development of railway transport corridors in Asian Russia. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 75–83. EDN: QJLDPO DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-75-83

Введение

Политические события 2022 года подтолкнули Россию к глобальному и стремительному развороту вектора сотрудничества «на восток», точнее в сторону стран глобального Юга. Предшествующие исследования показали, что до указанного года большая часть товарооборота Сибири приходилась на страны в западном направлении (55,2 % экспорта и 58,8 % импорта в 2021 г.) и на страны из списка недружественных государств и территорий (55,8 % экспорта и 51,4 % импорта) [13]. Теперь после практически полного закрытия европейского и североамериканского рынков ожидаемо этот огромный поток товаров пойдет в страны глобального Юга, то есть в пределах России – к погранпереходам на южной границе и к морским портам на востоке страны. Таким образом, мы видим возрастающее стратегическое положение Азиатской России вследствие происходящей трансформации из традиционно добывающего макрорегиона также и в транзитный.

Значение железнодорожного и трубопроводного видов транспорта для грузооборота России огромно. Их совокупная доля, по данным Министерства транспорта Российской Федерации, за 2021 и 2022 гг. составила 92,8 %. Между собой их доли сопоставимы и отличаются менее чем на 1,5 %. Однако в отличие от трубопроводного транспорта, чьи направления поставок не изменить без постройки нефте- и газопроводов (притом в условиях России достаточно протяженных), железнодорожный транспорт является более «мобильным», позволяющим как осуществлять поставки в обратном направлении, так и дополнять свою инфраструктуру постройкой соединительных веток. Таким образом, основным способом перенаправления транспортировки массовых грузов на большие расстояния для России является именно железнодорожный. Современная конфигурация железнодорожной сети России является результатом масштабных расширений и трансформаций в советскую и постсоветскую эпохи, однако на сегодня более 80 % общественных железных дорог страны построено еще в Российской империи.

В настоящее время мы можем отметить слабую развитость транспортной инфраструктуры Азиатской России, заключающуюся прежде всего в недостаточной пропускной способности Восточного полигона российских железных дорог (Байкало-Амурская магистраль, восток Транссибирской и Южно-Сибирской). Еще недавно транспортная система востока России уже работала на пределе своих возможностей, сейчас же после перенаправления на восток большого количества грузов, ранее шедших на запад, железнодорожная инфраструктура более не справляется с поставленными задачами. Расширение пропускной способности Транссибирской и Байкало-Амурской магистралей идет отстающими темпами. Строительство дополнительных путей на различных ветках позволило к 2025 г. увеличить пропускную способность Восточного полигона до 180 млн т в год. Однако этого недостаточно. Портовые мощности Азиатской России сейчас превышают пропускную способность железнодорожных подходов, и этот разрыв возрастает. На данный момент нехватка пропускной способности железнодорожных подходов оценивается в 95 млн т в год, а к 2027 г. она может достигнуть (с учетом текущих планов развития Восточного полигона) уже 187 млн т в год [11]. По мнению автора, данные показатели хоть и завышены, но дают наглядное представление о дефиците железнодорожных мощностей.

Перечисленные факты актуализируют экономико-географический анализ развития железнодорожной инфраструктуры Азиатской России. Экономико-географическое положение Азиатской России, занимающей огромное внутриконтинентальное и приморское пространство Северной Азии, предоставляет уникальные возможности создания международных транспортных коридоров, в первую очередь железнодорожных. В рамках данной работы будут рассмотрены перспективы развития трех широтных железнодорожных транспортных коридоров: Транссибирская (Транссиб), Байкало-Амурская (БАМ) магистрали и Тихоокеанская железная дорога; трех меридиональных: Амуро-Якутская магистраль, Трансказахстанский, Трансмонгольский коридоры; транспортные коридоры отдаленной перспективы: Северо-Сибирская магистраль (СевСиб), Северный широтный ход, железная дорога до Магадана. Под Азиатской Россией в работе понимается территория Сибири и Тихоокеанской России в общегеографическом толковании – Тюменская область с округами, Сибирский и Дальневосточный федеральные округа.

Результаты и их обсуждение

Железнодорожные погранпереходы. Сибирско-дальневосточный участок государственной границы имеет протяженность 10608,7 км (4209,3 км – с Китаем, 3485 км – с Монголией, 2875 км – с Казахстаном, 39,4 км – с КНДР), что составляет почти половину общероссийской сухопутной границы. Участок включает внешние границы 12 российских регионов, 7 из которых имеют действующие железнодорожные погранпереходы с четырьмя странами.

В юго-западной части границы Азиатской России действует 7 железнодорожных погранпереходов и еще 2 железнодорожных пересечения границы без погранпереходов, из которых все связаны с Казахстаном. Исилькуль – Булаево (он же Исилькуль – Кара-Гуга) (Омская область) – исторически основной ход Транссибирской магистрали. Иртышское – Валиханово (он же Черлак – Урлютюб) (Омская область) и Карасук – Мынкуль (он же Теренгуль – Кызылтуз) (Новосибирская область) – исторически основной ход Среднесибирской магистрали. Кулунда – Шарбакты (Алтайский край) – основной ход Южносибирской магистрали. Локоть – Ауыл (Алтайский край) – основной ход Туркестано-Сибирской магистрали. Локоть – Ремовская (Алтайский край) – 2 пересечения без погранпереходов, участок железнодорожной линии Локоть – Усть-Каменогорск. Неверовская – Жезкент (Алтайский край) – небольшая (12,5 км) тупиковая железнодорожная ветвь на Жезкентский горно-обогатительный комбинат (Казахстан). Третьяково – Шемонаиха (Алтайский край) – участок железнодорожной линии Локоть – Усть-Каменогорск. Все железнодорожные ветки к югу от станции Локоть, как и 5 последних указанных пересечений границы, несмотря на нахождение на территории России, принадлежат Казахстанским железным дорогам.

В юго-восточной части границы Азиатской России действует 7 железнодорожных погранпереходов: 2 – с Монголией, 4 – с Китаем, 1 – с КНДР. Наушки – Сухэ-Батор (Бурятия) – конечная станция железнодорожной линии Улан-Удэ – Наушки и начальная станция Трансмонгольской магистрали. Соловьёвск – Эрэнцав (Забайкальский край) – тупиковая железнодорожная линия Борзя – Соловьёвск – Чойбалсан, самый скромный по объему грузооборота железнодорожный погранпереход на юго-востоке России. Забайкальск – Маньчжурия (Забайкальский край) – исторически основной ход Транссиба, позже Китайско-Восточной железной дороги, ныне конечная станция железнодорожной линии Тарская – Забайкальск, крупнейший по объему грузооборота погранпереход Азиатской России. Нижнеленинское – Тунцзян (Еврейская авт. обл.) – конечная станция железнодорожной линии Биробиджан – Ленинск, самый молодой погранпереход, открытый в 2022 г. Гродеково – Суйфэньхэ (Приморский край) – исторически основной ход Транссиба, позже Китайско-Восточной железной дороги, сейчас конечная станция железнодорожной линии Уссурийск – Гродеково. Махалино – Хуньчунь (Приморский край) – конечная станция железнодорожной ветки от линии Уссурийск – Хасан. Хасан – Туманган (Приморский край) – конечная станция железнодорожной линии Уссурийск – Хасан.

В большинстве указанных погранпереходов экспорт из России по объему грузооборота существенно преобладает над импортом в нее. Основным грузом, пересекающим границу, является каменный уголь (большей частью кузнецкий). Итого, из 16 железнодорожных пересечений границы в Азиатской России 14 имеют погранпереходы. Пересечения Иртышское – Валиханово, Карасук – Мынкуль, Локоть – Ремовская (оба), Неверовская – Жезкент, Третьяково – Шемонаиха не задействованы во внешнем товарообороте, так как выполняют внутренние транзитные перевозки (первые два – российские, остальные – казахстанские). Погранпереход Исилькуль – Булаево также большей частью выполняет внутрироссийские транзитные перевозки. Таким образом, 10 железнодорожных погранпереходов выполняют функции внешнего товарооборота. Некоторые из них являются или могут стать частью железнодорожных транспортных коридоров Азиатской России.

Транссибирская магистраль и порты Приморского края. Построенная на рубеже XIX и XX веков Транссибирская магистраль, протянувшаяся через всю основную полосу расселения Азиатской России от Челябинска и Екатеринбурга до Владивостока, является главной железнодорожной артерией востока России. Являясь ближайшей из железнодорожных магистралей Азиатской России к южной границе, Транссиб имеет множество ответвлений (смежных железнодорожных линий) с погранпереходами. В русле политики разворота вектора сотрудничества России «на восток» прежде всего стоит обратить внимание на самые восточные из них.

Как было отмечено выше, на юго-восточной границе Азиатской России действует 7 железнодорожных погранпереходов. Из них более половины объема совместного грузооборота приходится на один погранпереход – Забайкальск – Маньчжурия; объемы еще двух – Соловьёвск – Эрэнцав и Хасан – Туманган – крайне незначительны; в одном погранпереходе – Наушки – Сухэ-Батор – большая часть товарооборота проходит транзитом с Китаем, а не с соседней Монголией. В 2023 году объем железнодорожных грузовых перевозок между Россией и Казахстаном составил 83,8 млн т (из них транзитом в Китай – менее 2 млн т). При этом через железнодорожные погранпереходы на границе с Китаем и Монголией за тот же год перевезли 43,9 млн т грузов, что в два раза меньше (отчасти это объясняется тем, что в российско-китайской внешней торговле также активно задействованы тихоокеанские морские порты). Это говорит о недостаточном развитии и имеющемся потенциале роста погранпереходов на границе с Китаем.

В Приморском крае действует 5 морских грузовых портов, связанных с Транссибом железнодорожным сообщением: Владивосток, Восточный, Находка, Посьет, Зарубино. Все они находятся в заливе Петра Великого, являются незамерзающими портами с круглогодичной навигацией и осуществляют экспортно-импортную деятельность. Общая пропускная способность грузовых терминалов пяти портов – около 150 млн т в год, реальный грузооборот в 2021 г. составил 141,5 млн т.

Сегодня необходима дальнейшая модернизация железнодорожной инфраструктуры Транссибирской магистрали с целью увеличения ее пропускной способности, в частности модернизация погранпереходов и железнодорожных подходов к ним (в первую очередь Забайкальск – Маньчжурия и Тарская – Забайкальск), а также к грузовым морским портам Приморского края. Кроме того, важно строительство второго железнодорожного пути на Коркинском мосту в Красноярске. В конечном итоге желателен максимально возможный перевод грузового движения с Транссибирской магистрали на Байкало-Амурскую и восточную часть Южно-Сибирской (участок Новокузнецк – Тайшет) и последующую специализацию Транссиба на пассажирских и контейнерных перевозках.

Байкало-Амурская магистраль и порты Хабаровского края. Идея строительства железных дорог к северу от Транссибирской магистрали (в том числе будущего БАМ) появилась еще в Российской империи [10]. Строившаяся более полувека Байкало-Амурская магистраль, проходящая к северу от Транссибирской магистрали через Восточную Сибирь и Тихоокеанскую Россию от Тайшета до Советской Гавани, проектировалась как составная часть комплексного проекта по освоению значительных природных ресурсов районов (помимо стратегического значения), чего, однако, большей частью не произошло [5; 8]. Сейчас свыше 90 % всего объема грузопотока магистрали составляют поставки кузнецкого угля в восточном направлении.

В Хабаровском крае действует 2 морских грузовых порта, связанных с БАМом железнодорожным сообщением: Ванино и Советская Гавань. Они являются замерзающими портами с круглогодичной навигацией (с ледокольной проводкой в зимний период) и осуществляют внешнеторговую деятельность. Общая пропускная способность грузовых терминалов двух портов – около 50 млн т в год, реальный грузооборот в 2021 г. составил 35,9 млн т, провозная способность подходов БАМа к портам в 2024 г. достигла 41,6 млн т.

Расширить пропускную способность Байкало-Амурской магистрали невозможно без реконструкции ее главного «бутылочного горлышка» – Северомуйского тоннеля. Строительство второго (параллельного) тоннеля позволит увеличить провозную способность данного участка магистрали с нынешних 16 млн т грузов в год до 100 млн т. Также требуется: строительство сплошных вторых путей Байкало-Амурской магистрали восточней станции Лена-Восточная, электрификация магистрали восточнее станции Таксимо, модернизация железнодорожных подходов к грузовым морским портам Хабаровского края. Из необходимых конкретных элементов модернизации стоит также отметить строительство вторых (параллельных) Кодарского и Кузнецовского тоннелей и новых железнодорожных мостов: в Комсомольске-на-Амуре и Братске за пределами плотины ГЭС (в настоящее время в России нет железнодорожных мостов через р. Ангара).

Тихоокеанская железная дорога и порт Эльга. Для успешного внешнеторгового сотрудничества России в восточном направлении со странами помимо пограничных необходимо дальнейшее развитие тихоокеанских портовых мощностей России. Более того, как считает ряд экспертов, сегодня России требуется преодоление незавершенности тихоокеанского фасада страны [2; 3; 7]. Стратегическим проектом в этой области должен стать третий выход России к Тихому океану на базе железнодорожных линий Улак – Эльга (360 км) и Эльга – порт Эльга (Тихоокеанская железная дорога) (531 км), а также морского грузового порта в районе мыса Манорский (рис.). Ветка Улак – Эльга построена в 2008–2011 гг., ветка Эльга – порт Эльга – в 2022–2025 гг., грузовой порт находится в завершающейся стадии строительства. Провозная способность дороги Улак – Эльга заявлена в 30 млн т, Эльга – порт Эльга (после постройки второго пути) – в 50 млн т, грузооборот порта после его выхода на полную мощность заявлен в 50 млн т в год. Данный проект – уникальный в современной России пример строительства протяженной линии без участия ОАО «РЖД».

На данный момент железнодорожная линия планируется как частная необщего пользования, предназначенная для вывоза угля Эльгинского месторождения за рубеж через строящийся угольный терминал. Однако данный комплекс должен приобрести стратегическое значение для страны, позволяя получить третий железнодорожный выход к Тихому океану, притом удаленный от внешних границ и выходящий в практически внутреннее, в отличие от Японского, Охотское море. Для этого нужна модернизация железной дороги в двухпутную электрифицированную общего пользования, а порта – в универсальный. Кроме того, их использование способно разгрузить крайние восточные участки Транссибирской и Байкало-Амурской магистралей и имеющиеся тихоокеанские порты, а также сократить путь внутриконтинентальных грузов до мирового океана, стоимость перевозок по которому заметно ниже, чем по железным дорогам [13].

Амуро-Якутская магистраль и погранпереход Джалинда – Мохэ. Строящаяся с 1972 года Амуро-Якутская магистраль соединяет Транссибирскую и Байкало-Амурскую магистрали между собой, а также имеет продолжение на север – в южную и центральную Якутию. Помимо дальнейшего продвижения на север, магистраль имеет потенциал продолжения в южном направлении – в сторону Китая. Для этого потребуется восстановление ныне заброшенной и частично разобранной железнодорожной линии Сковородино – Рейново протяженностью всего лишь в 69 км и строительство погранперехода Джалинда – Мохэ с возведением

железнодорожного моста через р. Амур (четвертого в России) (рис.) [13]. Эксплуатация указанных железнодорожной линии и моста позволит сократить путь транспортировки грузов с юга Якутии (в первую очередь южноякутского угля) по Амуро-Якутской магистрали до границы с Китаем на 1100 км (по сравнению с путем до Нижнеленинского), минуя при этом движение по БАМу и Транссибу и таким образом разгрузив их. Перспективность данного погранперехода отмечается и другими российскими исследователями [4; 6].

Претворению в жизнь данному проекту не хватает железнодорожного подъезда со стороны Китая, протяженностью, оцениваемой нами в пределах 100 км. Однако, учитывая современные темпы строительства железных дорог в Китае, в частности в провинции Хэйлунцзян, это видится вполне осуществимым, тем более что Китай, выступая главным покупателем южноякутского угля, заинтересован в этом.

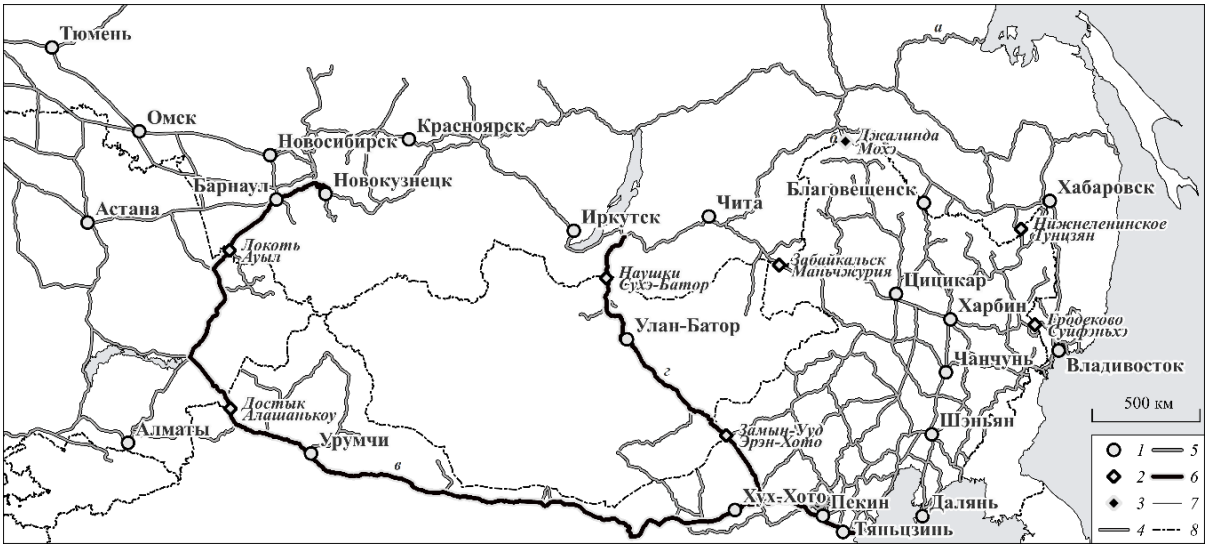


Рис. Железнодорожная инфраструктура северной Евразии.
1 – основные города; железнодорожные погранпереходы: *2* – основные действующие,
3 – предлагаемый к строительству; железные дороги: *4* – действующие,
5 – строящиеся и предлагаемые к модернизации (*а* – Тихоокеанская, *б* – Сковородино–Рейново);
6 – транспортные коридоры (*в* – Трансказахстанский, *г* – Трансмонгольский);
7 – береговые линии; *8* – государственные границы.
Fig. Railway infrastructure of Northern Eurasia.
1 – major cities; *2* – main operating railway border crossings;
3 – railway border crossing proposed for construction; *4* – operating railways;
5 – railways under construction and proposed for modernization (*а* – Pacific, *б* – Skovorodino–Reinovo);
6 – transport corridors (*в* – Trans-Kazakhstan, *г* – Trans-Mongolia); *7* – coastlines; *8* – state borders

Трансказахстанский коридор. Вследствие возросшей загруженности восточной части Транссибирской магистрали в связи с санкционной политикой, начавшейся в отношении России в 2022 г., и невозможности вывоза в полном объеме сибирских объемных грузов России требуется резкое увеличение пропускной способности Восточного полигона железных дорог. Однако это затруднительно осуществить в кратчайшие сроки, потому стоит обратить внимание на поиск альтернативных путей транспортировки. Самый массовый груз железных дорог Азиатской России – это кузнецкий уголь. Большая его часть ранее поставлялась в западном направлении, а вторым по значимости было восточноазиатское – в Республику Корею, Китай, Японию. Теперь оно, очевидно, станет основным.

Протяженность наиболее часто используемого в наши дни железнодорожного маршрута для поставки кузнецкого угля в Китай (для удобства расчетов определим начальную точку в Новокузнецке, конечную – в промышленном пригороде Пекина Тяньцзине) по Транссибу через погранпереход Забайкальск – Маньчжурия составляет около 5370 км. В то же время можно предложить альтернативный вариант транспортировки по Южно-Сибирской, Туркестано-Сибирской магистралям и сквозь территорию Казахстана через погранпереход Достык – Алашанькоу (рис.). Расстояние такого пути по основным железнодорожным линиям составит около 4770 км, что примерно на 600 км короче. Кроме того, железные дороги восточного Казахстана и северного Китая намного менее загружены, чем восточная часть Транссибирской магистрали. Использование данного маршрута полностью минует движение по Восточному полигону. Его эксплуатация (наряду с основным) будет способствовать как более быстрой доставке грузов из западной и центральной частей Южной Сибири в Восточную Азию, так и существенной разгрузке Транссиба и БАМа. После 2027 года станет возможным дублирование небольшого участка этого пути через ныне строящиеся погранпереход Бахты – Тачен (находится немного северней погранперехода Достык – Алашанькоу) и железнодорожную ветку Аягоз – Бахты в Казахстане.

Начало полноценной эксплуатации данного маршрута требует дополнительных технико-экономических обоснований и несет в себе потенциальные сложности (неналаженная логистика, разница в грузовых железнодорожных тарифах, таможенное оформление), однако это видится нам вполне решаемым [13]. Таким образом, под Трансказахстанским коридором нами понимается авторское предложение прохождения железнодорожным транспортом пути от юго-востока Западной Сибири до Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая через погранпереходы западного Казахстана.

Трансмонгольский коридор. Под Трансмонгольским коридором обычно понимается транзитная эксплуатация Трансмонгольской магистрали, соединяющая таким образом железные дороги России и Китая. Транспортные, в первую очередь железнодорожные, коридоры сквозь Монголию, расположенную между Россией и Китаем и не имеющую выхода к мировому океану, способны кратчайшим образом связать северо-восточный Китай с западной Европой (рис.). На базе Трансмонгольской магистрали возможно создание международного транспортного коридора Китай – Монголия – Россия как одного из маршрутов в рамках связывающего Китай и Европу проекта «Один пояс, один путь». Учитывая, что Россия является совладельцем Улан-Баторской железной дороги (владеющей и управляющей Трансмонгольской магистралью), ее участие в данном проекте выглядит более чем целесообразно. При этом освобождаемая от части грузопотока вследствие санкционной политики западная часть Транссибирской магистрали позволит теперь в больших объемах участвовать в товарообмене китайских и европейских компаний. Экономико-географы из всех трех стран-участников данного проекта, Сибирского и Дальневосточного отделений Российской академии наук, Монгольской и Китайской академий наук, солидарны в этом вопросе [4; 15; 16].

Для превращения Трансмонгольской магистрали в полноценный международный транспортный коридор необходима ее глобальная модернизация, притом речь идет о больших расстояниях. В этом кроется главная проблема данного коридора: требуется строительство вторых сплошных путей протяженностью более 1100 км и электрификация путей протяженностью более 2000 км. Помимо этого, имеются сомнения в интересе к коридору со стороны Китая, которому рациональней везти свои грузы в западном направлении железными дорогами через Казахстан, которые уже большей частью электрифицированы и двухпутны. К тому же и для России излишняя загрузка Транссиба (особенно на участке Тайшет – Улан-Удэ) весьма нежелательна.

Существуют и иные потенциальные железнодорожные коридоры на территории Монголии: западный – от российских республик Алтай или Тыва до Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая; восточный – продолжение железнодорожной ветки Эрэнцав – Чойбалсан до погранперехода Бичигт на границе с Китаем. Западный вариант коридора через Монголию видится автору малоперспективным. Даже при постройке железных дорог в Монголии потребуется и строительство железных дорог на территории России в условиях горного рельефа (Алтай и Западный Саян), что затруднительно и неприоритетно для нашей страны даже в среднесрочной перспективе. Заменой коридора на западе Монголии мог бы стать предлагаемый в данной работе Трансказахстанский коридор, также идущий от юго-востока Западной Сибири до Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая, но не требующий строительства новых железных дорог.

Восточный вариант коридора планируется к реализации после 2027 г. с завершением строительства ветки Чойбалсан – Бичигт (415 км). Однако автору видится, что указанная ветка будет больше задействована в экспорте монгольских грузов в Китай, чем в российско-китайской торговле. К тому же не стоит забывать о связанных с ним напрямую монгольском (Чойбалсан – Эрэнцав) и российском (Соловьёвск – Борзя) участках и погранпереходе Соловьёвск – Эрэнцав между ними, находящихся ныне в среднем техническом состоянии и нуждающихся в коренной реконструкции. Остается вопрос, приоритетна ли для России затратная модернизация данных участка и погранперехода с целью значительного увеличения их мощностей с сегодняшних 100 тыс. т до заявленных Китаем и Монголией 10 млн т. При том что фактически линия Борзя – Бичигт будет дублировать существующую ветку Тарская – Забайкальск.

Транспортные коридоры отдаленной перспективы. Из прочих железнодорожных проектов в Азиатской России стоит упомянуть Северо-Сибирскую магистраль, Северный широтный ход, железные дороги до Норильска и Дудинки, Кызыла, Магадана, Сахалина. Реализация этих проектов возможна в более отдаленной перспективе по сравнению с рассмотренными выше, так как большинство из них требует строительства протяженной, технически-сложной и дорогостоящей транспортной инфраструктуры. В этой связи они невозможны к постройке в ближайшее время (кроме Северного широтного хода). Остановимся подробней на тех из них, что имеют перспективу стать транспортными коридорами или их частью.

Северо-Сибирская магистраль, планируемая (с 1980-х гг.) к прохождению к северу от основной полосы расселения Азиатской России, задумывается в качестве северного дублера западной части Транссибирской магистрали (подобно БАМу, дублирующему с севера восточную часть Транссиба). Помимо конечных Нижневартовска (где есть выход к железной дороге до Сургута, далее до Тюмени и Нового Уренгоя) и Усть-Илимска (где есть выход к БАМу) на маршруте планируемой магистрали имеются железнодорожные выходы в районах Белого Яра, Лесосибирска, Богучан, идущие далее к Транссибу. Протяженность планируемой магистрали составляет почти 2000 км. Идея строительства железной дороги к северу от Транссибирской магистрали (будущего СевСиба) появилась еще в Российской империи [10]. Недостатком проекта Северо-Сибирской магистрали является ее закрытость в западном направлении [12]. Основным грузом дороги

прогнозируется кузнецкий уголь, который «не пойдет» на восток, так как там магистраль упирается в и так загруженный БАМ. На западе, дойдя до Сургута, магистраль будет иметь два направления: на юго-запад до того же Транссиба и на северо-запад до тупиковой ветви до Надыма, не имеющей в настоящее время выходов к портам.

Северо-Сибирской магистрали требуется продолжение в западном направлении. Самым логичным видится ход через Урал (подобно Транссибирской и Южно-Сибирской магистралям), далее к портам Баренцева (проект Баренцкомур) или Белого (проект Белкомур) морей. Плюсы этого направления: кратчайший путь в Европейскую Россию; минусы: требуется строительство наиболее протяженных железных дорог.

Следующие варианты сопряжены со строительством железнодорожной и портовой инфраструктуры на севере Западной Сибири. Первый из них – строительство железнодорожных линии Надым – Салехард (где имеется речной порт) и моста через р. Обь до Лабытнанги, откуда есть железнодорожная связь с Европейской Россией и ветка в сторону морского порта Сабетта (требуется строительство линии Бованенково – Сабетта). Плюсы: менее протяженные железные дороги, строительство которых уже частично реализуется в виде проекта Северного широтного хода, соединение железных дорог севера Западной Сибири и Европейской России. Минусы: без постройки моста через р. Обь конечной точкой станет порт Салехард, однако он имеет недостаточные глубины для судов большой грузоподъемности, в связи с чем акватории порта требуются дноуглубительные работы.

Следующий вариант – ход к побережью Карского моря с модернизацией порта Ямбург или строительством новых грузовых морских портов. Плюсы: наименьшая протяженность строительства железнодорожных путей. Минусы: порт Ямбург имеет недостаточные глубины для судов большой грузоподъемности, и в целом строительство портов на побережье Обской губы сталкивается со сложностями из-за климатических, геологических, гидрологических особенностей региона.

Наконец, четвертый вариант продолжения СевСиба в западном направлении – ход до Дудинки и Норильска. Плюсы: помимо железнодорожной связи Норильска со страной, откроется не только путь грузов с востока до порта Дудинка, но и железнодорожный путь норильских грузов на восток (с выходом на Китай). Кроме того, наличие железных дорог будет в перспективе способствовать дальнейшему освоению Таймырского угольного бассейна (район Диксона), где установлены запасы коксующегося угля [14]. Минусы: требуется больше технико-экономического обоснования проекта, а именно трассировка маршрута и место строительство моста через р. Енисей.

Выбор наиболее перспективного варианта продолжения Северо-Сибирской магистрали в западном направлении требует дополнительных исследований. При этом постройка железнодорожных путей до портов Сабетта и Дудинка, по мнению автора, весьма рациональна. Наконец, учитывая, что одним из основных назначений СевСиба прогнозируется вывоз кузнецкого угля на запад, можно предложить первоначальный «усеченный» вариант магистрали в виде строительства ветки Нижневартовск – Белый Яр с реализацией одного или нескольких вариантов представленных продолжений в западном направлении. Это не отменяет того, что в канве стратегического развития сибирских территорий постройка всей магистрали крайне желательна. Все мультипликативные эффекты Северо-Сибирской магистрали в полном объеме проявятся только в составе единой магистрали, включающей в себя также БАМ и выход к северо-западным морским портам России [12].

Следующим глобальным железнодорожным проектом Азиатской России является планируемая с 1980-х гг. железнодорожная линия до Магадана (еще один возможный железнодорожный выход России к Тихому океану). Возможны два основных варианта ее трассировки от станции Нижний Бестях: северный, или континентальный (с вариациями через Усть-Неру (протяженность: 2133 км) или Томтор (1979 км)), большей частью дублирующий колымскую автомагистраль; южный, или приморский (с вариациями через Хандыгу (1701 км) или Усть-Маю (протяженность: 1674 км)), проходящий через Охотск.

Основные варианты трассировки железной дороги имеют принципиальные различия. Минерально-сырьевая база континентального маршрута геологически изучена лучше. При этом природные условия жестче: сплошное распространение многолетнемерзлых пород и сложные орографические условия. К тому же в случае его прокладки будет иметь место дублирование существующей автомагистрали. Природные условия приморского варианта мягче: имеется спорадическое распространение многолетнемерзлых пород, вариант является наиболее равнинным. В случае его прокладки будет иметь место пионерное освоение ресурсной базы (имеется прогноз разработки нефтегазового охотоморского шельфа) и соединение соседних портов Охотского моря – Охотска и Магадана [9]. Помимо прочего, железная дорога пройдёт по территории Охотского угольного бассейна, одного из крупнейших по прогнозным запасам на северо-востоке России, ныне практически не разрабатываемого [14].

По мнению автора, наиболее рациональным вариантом является путь через Охотск. В случае его реализации будет связанно железнодорожным сообщением больше портов и начнется стимулирование освоения новой ресурсной базы (в том числе нефтегазовой и угольной), в то же время природные условия этого маршрута мягче, а протяженность короче. В этом вопросе мы солидарны с другими авторами [9].

Итого, построив Северо-Сибирскую магистраль, железные дороги до Дудинки и Магадана, мы получим непрерывный железнодорожный путь от порта Дудинка до порта Магадан, минуя движение по Транссибу. Из

загруженных участков останется лишь участок БАМа от Хребтовой до Тынды. Гипотетически миновать движение и по Байкало-Амурской магистрали возможно путем строительства железнодорожной линии Усть-Илимск – Киренск – Ленск – Олёкминск – Томмот. Но этот проект, разумеется, еще более отдаленной перспективы, требующий детальной проработки.

Выводы

Отдавать приоритет реализации представленным железнодорожным транспортным коридорам Азиатской России в первую очередь необходимо тем, что принесут эффект в кратчайшие сроки и имеют стратегическое значение для страны. В этой связи, по мнению автора, прежде всего приоритетна реализация проекта Трансказахстанского коридора, поскольку его использование способно принести максимальный эффект в ближайшей перспективе, существенно разгрузив Восточный полигон железных дорог. Данный проект не требует строительства новых железных дорог. Далее, безусловно, приоритетны проекты дальнейшей комплексной модернизации Транссибирской и Байкало-Амурской магистралей (вкупе с российскими портами Японского моря) как имеющие стратегическое долгоиграющее значение для страны и необходимые для развития хозяйства Азиатской России. После чего по схожим причинам стоит уделить внимание реализации проектов модернизации Тихоокеанской железной дороги с портом Эльга и продолжения Амуро-Якутской магистрали на юг через р. Амур, осуществимых в ближней или среднесрочной перспективе без возведения протяженной железнодорожной инфраструктуры (например, в случае с продолжением АЯМ в южном направлении – менее 200 км). Наименьший приоритет из шести представленных транспортных коридоров, по мнению автора, имеет реализация вариантов Трансмонгольского коридора, поскольку речь идет о глобальной модернизации протяженной железнодорожной инфраструктуры за пределами России (более 2000 км), избежать которую способны более приоритетные проекты, прежде всего, развитие железнодорожной линии Тарская – Забайкальск и эксплуатация предлагаемого Трансказахстанского коридора. Проекты постройки Северо-Сибирской магистрали, Северного широтного хода, железнодорожной линии до Магадана, безусловно, желаемы, но в отдаленной перспективе.

Строительство некоторых объектов транспортной инфраструктуры возможно также на принципах государственно-частного партнерства. Как показывает исследование [1], государственно-частное партнерство может хорошо себя показать, с одной стороны, в области развития транспортной инфраструктуры, с другой – в тех регионах Азиатской России (ЯНАО, ХМАО, Якутия, Хабаровский край), где предлагается развитие объектов транспортной инфраструктуры в рамках данной работы. Реализация железнодорожных проектов на территории Азиатской России позволит окончательно осуществить разворот вектора сотрудничества страны «на восток», устранить узкие места и лимитирующие факторы транспортной инфраструктуры, получить новые стратегические железнодорожные выходы страны к мировому океану, способствовать дальнейшему развитию хозяйства востока страны.

Библиографический список

1. *Адамайтис С. А.* Потенциал регионов России для развития транспортной инфраструктуры на принципах государственно-частного партнерства // Географический вестник. 2022. № 1(60). С. 73–86. DOI: 10.17072/2079-7877-2022-1-73-86 EDN: EPRQVS

2. *Бабурин В. Л.* Подходы к оценке социально-экономической эффективности развития транспортно-коммуникационной инфраструктуры в Сибири и на Дальнем Востоке // Региональные исследования. 2018. № 2(60). С. 25–31. EDN: XWAVQL

3. *Бакланов П. Я.* Дальневосточный регион России: проблемы и предпосылки устойчивого развития. Владивосток: Дальнаука, 2001. 144 с. ISBN: 5-8044-0210-2 EDN: UBNOLF

4. *Бакланов П. Я., Романов М. Т., Каракин В. П., Егидарев Е. Г., Ланкин А. С., Ушаков Е. А.* Сопряжения транспортных сетей Тихоокеанской России и сопредельных стран // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2020. № 2. С. 167–178. DOI: 10.31857/S258755662002003X EDN: QIGSTU

5. *Безруков Л. А.* Итоги и проблемы реализации потенциала Байкало-Амурской магистрали // ЭКО. 2024. № 5. С. 25–43. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2024-5-25-43 EDN: JAQQVE

6. *Васильев В. Е.* Анализ реализации международного транспортного перехода Джалинда-Мохэ // Прикладные экономические исследования. 2025. № 6. С. 98–106. DOI: 10.47576/2949-1908.2025.6.6.012 EDN: YUDKHJ

7. *Дмитриев Р. В., Шупер В. А.* Система расселения Азиатской России: единство в многообразии // Тихоокеанская география. 2022. № 4. С. 38–48. DOI: 10.35735/26870509_2022_12_4 EDN: QDXMFR

8. *Макушин М. А., Бобровский Р. О., Демидова К. В., Даньшин А. И., Горячко М. Д.* Социально-экономическое развитие территорий в зоне влияния БАМ: советские планы и российские реалии // Географический вестник. 2023. № 2(65). С. 12–25. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-2-12-25 EDN: CDDBRI

9. *Пилясов А. Н., Никитин Б. В.* Мегапроект железной дороги Якутск–Магадан: вариант трассировки имеет значение // ЭКО. 2024. № 5. С. 44–66. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2024-5-44-66 EDN: FYLHUV

10. План железнодорожного строительства в Сибири на ближайшее десятилетие // Сибирское бюро при Совете съездов представителей биржевой торговли и сельского хозяйства. Петроград: Садовая типолитография Н. Г. Мазур, 1917. 79 с.

11 Развитие Восточного полигона обсудили на ВЭФ : сайт. URL: https://portamur.ru/news/detail/razvitie-vostochnogo-poligona-obsudili-na-vef. (дата обращения: 22.09.2025)

12. *Суслов В. И.* Северо-Сибирская железнодорожная магистраль: от XIX до XXI века // Проблемы теории и практики управления. 2008. № 10. С. 33–44. EDN: JVNVFF

13. *Шерин Е. А.* Внешнеторговое сотрудничество сибирских регионов со странами мира // Мировая экономика и международные отношения. 2025. Т. 69, № 7. С. 34–44. DOI: 10.20542/0131-2227-2025-69-7-34-44 EDN: NXOTLQ

14. *Шерин Е. А.* Перспективы разработки угольных месторождений севера Азиатской России: географический аспект // География и природные ресурсы. 2020. № 5. С. 160–165. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-5(160-165) EDN: YKMAUY

15. *Bezrukov L. A., Fartyshev A. N., Altanbagana M.* Economic and geographical problems in interactions between Mongolia and Eastern Russia in foreign commodity markets // Geography and Natural Resources. 2022. No. 43. P. 9–14. DOI: 10.1134/S1875372822050055 EDN: XUDIOF

16. *Dong S., Yang Y., Li F., Cheng H., Li J., Bilgaev A., Li Z., Li Y.* An evaluation of the economic, social, and ecological risks of China-Mongolia-Russia high-speed railway construction and policy suggestions // Journal of Geographical Sciences. 2018. Vol. 28, No. 7. P. 900–918. DOI: 10.1007/s11442-018-1512-y EDN: FPFDSI

References

1. Adamaitis, S.A. The potential of Russian regions for the development of transport infrastructure on the public-private partnership principles. Geographical Bulletin, 2022, no. 1(60), pp. 73–86. (In Russ.) DOI: 10.17072/2079-7877-2022-1-73-86

2. Baburin V. L. Podkhody k otsenke sotsial'no-ekonomicheskoi effektivnosti razvitiya transportno-kommunikatsionnoi infrastruktury v Sibiri i na Dal'nem Vostoke [Approaches to the assessment of socio-economic efficiency of transport infrastructure development in Siberia and the Far East]. *Regional'nye issledovaniya*, 2018, no. 2(60), pp. 25–31. (In Russ.).

3. Baklanov P. Ya. *Dal'nevostochnyi region Rossii: problemy i predposylki ustoichivogo razvitiya* [The Far Eastern region of Russia: problems and prerequisites for sustainable development]. Vladivostok: Dal'nauka, 2001. 144 p. (In Russ.).

4. Baklanov P. Ya., Romanov M. T., Karakin V. P., Egidarev E. G., Lankin A. S., Ushakov E. A. Conjugations of transport networks between southern regions of the Russian Far East and neighboring countries. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 2020, no. 2, pp. 167–178. (In Russ.) DOI: 10.31857/S258755662002003X

5. Bezrukov L. A. Results and problems of implementing the potential of the Baikal-Amur mainline. *ECO*, 2024, vol. 54, no. 5, pp. 25–43. (In Russ.) DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2024-5-25-43

6. Vasilyev V. E. Analysis of the implementation of the Jalinda-Mohe international transport crossing. *Applied Economic Research*, 2025, no. 6, pp. 98–106. (In Russ.) DOI: 10.47576/2949-1908.2025.6.6.012

7. Dmitriev R. V., Shuper V. A. The settlement system of Asiantic Russia: unity in diversity. *Pacific Geography*, 2022, no. 4, pp. 38–48. (In Russ.) DOI: 10.35735/26870509_2022_12_4

8. Makushin M. A., Bobrovskiy R. O., Demidova K. V., Danshin A. I., Goryachko M. D. Socio-economic development of the BAM territories: Soviet plans and Russian realities. *Geographical Bulletin*, 2023, no. 2(65), pp. 12–25. (In Russ.) DOI: 10.17072/2079-7877-2023-2-12-25

9. Pilyasov A. N., Nikitin B. V. Yakutsk-Magadan railroad megaproject: routing option matters! *ECO*, 2024, vol. 54, no. 5, pp. 44–66. (In Russ.) DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2024-5-44-66

10. *Plan zheleznodorozhnogo stroitel'stva v Sibiri na blizhaishee desyatiletie* [Plan for railway construction in Siberia for the next decade]. Siberian Bureau under the Council of Congresses of Representatives of Exchange Trade and Agriculture, Petrograd: Garden typo-lithography N.G. Mazur, 1917. 79 p. (In Russ.).

11. *Razvitie vostochnogo poligona obsudili na VEF* [The development of the Eastern zone was discussed at the EEF]. (In Russ.) URL: https://portamur.ru/news/detail/razvitie-vostochnogo-poligona-obsudili-na-vef// (Accessed 22 September 2025)

12. Suslov V. I. Severo-Sibirskaya zheleznodorozhnaya magistral': ot XIX do XXI veka [The North Siberian trunk railway: from XIX to XXI century]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya*, 2008, no. 10, pp. 33–44. (In Russ.).

13. Sherin E. A. Foreign trade cooperation between Siberian regions and countries around the world. *World Economy and International Relations*, 2025, vol. 69, no. 7, pp. 34–44. (In Russ.) DOI: 10.20542/0131-2227-2025-69-7-34-44

14. Sherin E. A. Prospects for development of the coal deposits in the north of Asian Russia: the geographical aspect. *Geography and Natural Resources*, 2020, no. 5, pp. 160–165. (In Russ.) DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-5(160-165)

15. Bezrukov L. A., Fartyshev A. N., Altanbagana M. Economic and geographical problems in interactions between Mongolia and Eastern Russia in foreign commodity markets. *Geography and Natural Resources*, 2022, no. 43, pp. 9–14. DOI: 10.1134/S1875372822050055.

16. Dong S., Yang Y., Li F., Cheng H., Li J., Bilgaev A., Li Z., Li Y. An evaluation of the economic, social, and ecological risks of China-Mongolia-Russia high-speed railway construction and policy suggestions. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, vol. 28, no. 7, pp. 900–918. DOI: 10.1007/s11442-018-1512-y

Статья поступила в редакцию: 09.02.26, одобрена после рецензирования: 02.04.26, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 02 Febrary 2026; approved after review: 02 April 2026; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторе
Егор Александрович Шерин
Кандидат географических наук,
научный сотрудник, Институт географии
им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения
Российской академии наук;
66403, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, д. 1
ORCID: 0000-0002-7394-7401

Information about the author
Egor A. Sherin
Candidate of Geographical Sciences,
Researcher, V. B. Sochava Institute of Geography,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russia
ORCID: 0000-0002-7394-7401

e-mail: egor-sherin@mail.ru

ГИДРОЛОГИЯ
Научная статья
УДК 504.4.054
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-84-94
EDN: PJTRFV

ОЦЕНКА УРОВНЯ ХИМИЧЕСКОЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОДЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ АНГРАПЫ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Юрий Александрович Спирин[1, 2] ✉, Сергей Игоревич Зотов[3], Вероника Сергеевна Таран[3]
[1] Институт географии Российской академии наук, г. Москва, Россия;
[2] Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия
[3] Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия
✉ spirin.yuriy@rambler.ru, ORCID: 0000-0003-3481-9666, eLibrary AuthorID: 887382

Аннотация. Бассейн реки Анграпы в Калининградской области представляет собой трансграничный водный объект, потенциально испытывающий значительную антропогенную нагрузку. Несмотря на экологическую значимость территории, включая Национальный парк «Виштынецкий», систематических исследований химического загрязнения водотоков не проводится. Цель работы – комплексная оценка уровня загрязнения вод бассейна с выявлением пространственных закономерностей и ключевых факторов влияния. В 2023–2024 годах проведен мониторинг четырех рек бассейна (Анграпа, Писса, Красная, Русская) с отбором 63 проб воды в разные гидрологические сезоны. На основе лабораторного анализа проб рассчитаны индексы загрязнения воды (ИЗВ) и удельные комбинаторные индексы (УКИЗВ), значения которых затем были распространены на соответствующие участки водотоков. Состояние вод бассейна реки Анграпы, согласно УКИЗВ без учета критических показателей загрязнения (КПЗ), характеризуется как 3б очень загрязненная, а с учетом КПЗ как 4а грязная. Установлено, что наиболее загрязненной является р. Русская – 4,82 (4а грязная) со средним количеством КПЗ = 4, где 70 % водосбора занято сельхозугодьями. Наименьшее загрязнение выявлено в реке Красной – 2,88 (3а загрязненная) со средним количеством КПЗ = 1, характеризующейся высокой лесистостью (60 %). Уровень загрязнения воды увеличивается по мере движения от истока к устью реки: участки с высоким процентом лесного покрова отличаются более чистой водой по сравнению с зонами, где преобладают сельскохозяйственные земли и городские территории. Согласно ИЗВ, осенью качество воды достигает наихудших значений (средний ИЗВ 5,53 – V класс, грязная), тогда как зимой состояние воды улучшается (1,74 – III класс, умеренно загрязненная). Основные превышения ПДК зафиксированы по железу (97 % проб), нефтепродуктам (70 % проб), химическому потреблению кислорода – ХПК (71 % проб), биохимическому потреблению кислорода – $БПК_5$ (60 % проб), растворенному кислороду (48 % проб), фосфатам (35 % проб), нитритам (22 % проб), аммонию (19 % проб). Основные факторы, влияющие на качество воды: сельскохозяйственная деятельность, воздействие урбанизированных территорий, поступление подземных вод с высоким содержанием железа, сезонная водность и естественные циклы развития водной и прибрежной растительности.

Ключевые слова: Калининградская область, бассейн реки Анграпы, трансграничные воды, загрязнение вод, индексы загрязнения вод, гидрохимический мониторинг

Финансирование. Картографирование и работа с ГИС выполнены в рамках Госзадания Института географии Российской академии наук FMWS-2026-0003.

Для цитирования: Спирин Ю. А., Зотов С. И., Таран В. С. Оценка уровня химической загрязненности воды в бассейне реки Анграпы Калининградской области // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 84–94. EDN: PJTRFV DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-84-94

© Спирин Ю. А., Зотов С. И., Таран В. С., 2026

Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Гидрология
Спирин Ю. А., Зотов С. И., Таран В. С.

HYDROLOGY
Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-84-94
EDN: PJTRFV

ASSESSING THE LEVEL OF CHEMICAL WATER POLLUTION IN THE ANGRAPA RIVER BASIN, KALININGRAD REGION

Yuri A. Spirin[1, 2]✉, Sergey I. Zotov[3], Veronika S. Taran[3]
[1] Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2,] RUDN University, Moscow, Russia
[3] Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia
✉ spirin.yuriy@rambler.ru, ORCID: 0000-0003-3481-9666, eLibrary AuthorID: 887382

Abstract. The Angrapa River basin in the Kaliningrad Region is a transboundary water body that is potentially subject to significant anthropogenic stress. Despite the ecological significance of the area, including the Vishtynetsky National Park, there have been no systematic studies of the chemical pollution in the watercourses. The purpose of this work is to provide a comprehensive assessment of the water pollution levels in the basin, identifying spatial patterns and key influencing factors. In 2023–2024, four rivers of the basin (Angrapa, Pissa, Krasnaya, and Russkaya) were monitored, with 63 water samples collected in different hydrological seasons. Based on laboratory analysis of the samples, water pollution indices (WPI) and specific combinatorial indices (SCI) were calculated, which were then extended to the corresponding sections of the watercourses. According to the specific combinatorial water pollution index (SCWPI), the water quality of the Angrapa River basin is classified as 3b *very polluted*, and as 4a *dirty* when taking into account the critical pollution indicators (CPI). The study has found that the most polluted is the Russkaya River – 4.82 (4a *dirty*) with an average number of CPI = 4, with 70 % of the catchment area occupied by agricultural land. The least pollution has been found in the Krasnaya River – 2.88 (3a *polluted*) with an average number of CPI = 1, the area of which is characterized by high forest cover (60 %). The level of water pollution increases from the source to the mouth of the river: areas with a high percentage of forest cover have cleaner water compared to areas dominated by agricultural land and urban areas. According to the WPI, water quality is at its worst in autumn (average WPI is 5.53 – V class, dirty), while it improves in winter (1.74 – III class, moderately polluted). Major MPC exceedances were registered for iron (97 % of the samples), petroleum products (70 % of the samples), chemical oxygen consumption (71 % of the samples), biochemical oxygen consumption (60 % of the samples), dissolved oxygen (48 % of the samples), phosphates (35 % of the samples), nitrites (22 % of the samples), and ammonium (19 % of the samples). The main factors affecting water quality include agricultural activities, urbanization, high iron content in groundwater, seasonal water availability, and natural cycles of aquatic and riparian vegetation

Keywords: Kaliningrad Region, Angrapa River basin, transboundary waters, water pollution, water pollution indices, hydrochemical monitoring

Funding. Mapping and work with GIS were carried out within the framework of the State Assignment of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences FMWS-2026-0003.

For citation: Spirin Yu. A., Zotov S. I., Taran V. S. Assessing the level of chemical water pollution in the Angrapa River basin, Kaliningrad Region. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 84–94. EDN: PJTRFV DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-84-94

Введение

Загрязнение водных объектов продолжает оставаться одной из наиболее острых экологических проблем XXI в. Интенсивное промышленное развитие, расширение сельхозугодий и рост городских территорий способствуют деградации водных экосистем, создавая серьезные риски для биоразнообразия и населения. Особую актуальность эта проблема приобретает в Калининградской области – российском эксклаве на побережье Балтики, который сталкивается с уникальными экологическими вызовами [17–19]. В их числе трансграничное положение региона, стремительная интенсификация сельского хозяйства в последние 10 лет, активная урбанизация.

В качестве объекта исследования выбран бассейн р. Анграпы, расположенный в юго-восточной части Калининградской области (рис. 1). Этот район отличается уникальными природными и географическими условиями. Часть бассейна находится на территории Польши и Литвы, что делает его трансграничным. Рельеф местности разнообразен, с перепадами высот от 0 до 287 м. Для бассейна характерен интенсивный водообмен между подземными и поверхностными водами (модуль стока подземных вод составляет 1,5–3,0 л/(с×км²), а также высокая густота речной сети (0,92 км/км²) с преобладанием малых водотоков. Здесь также расположен Национальный парк «Виштынецкий», что подчеркивает экологическую значимость территории.

Для мониторинга было отобрано четыре характерные реки бассейна: Анграпа, Писса, Красная, Русская. Несмотря на их значимость, гидрохимические данные по этим водотокам остаются недостаточно систематизированными. Большинство существующих работ посвящено физико-географическим и

гидрологическим исследованиям [2; 4; 20–21], тогда как сведения о химическом составе воды и загрязнении крайне ограничены [13]. На Анграпе (д. Берестово) и Писсе (д. Зеленый Бор) организован регулярный мониторинг. По его результатам в течение 2019–2023 гг. в реках Анграпе и Писсе фиксируется качество воды 3а загрязненная, а в 2024 г. 3б очень загрязненная [7]. Этих двух точек явно недостаточно для всесторонней оценки состояния всего бассейна и идентификации источников загрязнения. В связи с этим данное исследование направлено на анализ пространственной и сезонной динамики загрязнения водных объектов бассейна Анграпы.

Материалы и методы

Оценке качества воды в исследуемых водотоках сопутствовал выбор четырех пунктов мониторинга на каждой из них, охватывающих участки от верховьев до приустьевой зоны. Исключением стала река Анграпа, где первая точка мониторинга располагалась не в верховьях, а вблизи государственной границы.

Наблюдения проводились в течение 2023–2024 гг. гидрологического года с учетом сезонных колебаний природных и антропогенных факторов. По данным «Росгидромета», период характеризуется как маловодный. Такой подход позволил выявить динамику загрязнения и определить основные источники воздействия на качество воды. Всего выполнено 4 полевых выезда, в ходе которых отобрано 63 пробы воды. Единственным исключением стала точка «Р1» на р. Русской, где летом 2024 г. отбор проб оказался невозможен из-за пересыхания русла (рис. 1).

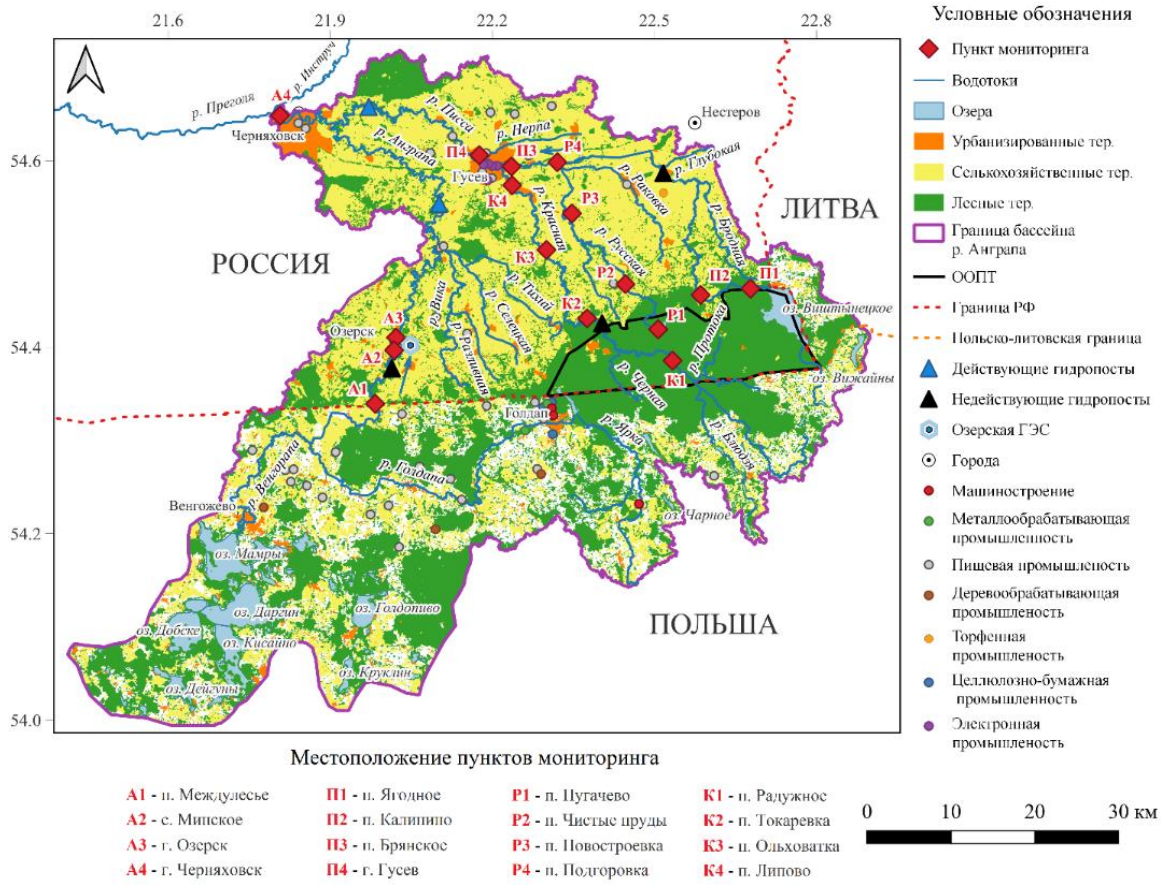


Рис. 1. Схема пространственного распределения природно-хозяйственных условий и местоположение пунктов мониторинга в бассейне р. Анграпы
Fig. 1. Scheme of spatial distribution of natural and economic conditions and the location of monitoring points in the Angrapa River basin

Во время полевых работ фиксировались морфометрические и гидрологические параметры рек (ширина, глубина, скорость течения), а также описывались особенности прилегающих территорий. Для измерений применялись гидрологическая микровертушка ГМЦМ-1 и строительная рулетка в соответствии с методикой, изложенной в нормативных документах [11]. На основе полученных данных рассчитаны расходы воды в каждом пункте мониторинга. Определены цветность, запах, мутность (ЕМФ – единицы мутности по формазину), температура, кислотный остаток воды; отобраны пробы воды для химических анализов.

Химические анализы проб проводились в лаборатории высшей школы живых систем БФУ им. И. Канта по перечню важнейших показателей. *Органолептические показатели* определены в соответствии с ГОСТ Р 57164–2016, *взвешенные вещества* – в соответствии с РД 52.24.468–2019, *химическое потребление*

кислорода (*ХПК)* – ПНД Ф 14.1:2:4.190–2003, *биологическое потребление кислорода за 5 суток* (*БПК$_5$)* – ПНД Ф 14.1:2:3:4.123–97, *нитраты* – ПНД Ф 14.1:2.4–95, *нитриты* – ПНДФ 14.1:2:4.3–95, *аммоний и аммонийный азот* – ПНД Ф 14.1:2.1-95, *фосфаты* – ПНД Ф 14.1:2.1-95, *сухой остаток* – ПНД Ф 14.1:2:4.261–2010, *хлориды* – ГОСТ 4245–72, *сульфаты* – ПНД Ф 14.1:2.159–2000, *натрий, магний, калий, кальций* – ПНД Ф 14.1:2.159–2000, *железо* – ПНД Ф 14.1:2.159–2000, *нефтепродукты* – ПНД Ф 14.1:2.116–97. Химические анализы проведены с помощью прибора двухлучевой спектрофотометрии UV-1800 Shimadzu и системы капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ-105М».

В качестве предельно допустимых концентраций (ПДК) использовался рыбохозяйственный норматив [14]. Рассчитаны кратности превышения ПДК гидрохимических показателей, удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ) с учетом и без учета критических показателей загрязнения (КПЗ) за гидрологический год и индекс загрязнения воды (ИЗВ) по гидрологическим сезонам [15].

Границы бассейнов изучаемых рек выделены на основе SRTM-снимков в программном пакете SAGA GIS с использованием стандартного встроенного инструментария. Исходя из того, что качество воды в реках можно рассматривать как интегральный показатель экологической обстановки на их водосборах, с учетом этого допущения и при помощи бассейново-ландшафтного подхода были построены схемы пространственной дифференциации УКИЗВ [3; 8; 19; 23]. Бассейн реки Анграпы был разделен на четыре суббассейна, а они, в свою очередь, поделены на четыре участка, что соответствует количеству выбранных пунктов мониторинга. При формировании границ участков соблюдалась та же логика, что при выборе точек отбора проб. Стоит учесть, что из-за небольшого количества пунктов мониторинга относительно площади объекта исследования, а также сложности описания и расчета процесса пространственного переноса химических веществ визуализация имеет ориентировочный характер. При этом, на наш взгляд, она достаточна для анализа распространения загрязнений в пространстве и выявления потенциального вектора возможных закономерностей относительно антропогенных и природных факторов для дальнейшей характеристики сложившейся ситуации в бассейне.

В рамках исследования выполнена комплексная оценка факторов, значимо влияющих на состояние водных ресурсов. Анализ сосредоточен на четырех основных категориях: сельскохозяйственное использование земель, доля лесного покрова, степень урбанизации, озерность водосборных бассейнов [9; 12]. Дополнительно изучены типы и локализация промышленных предприятий в качестве возможных источников точечных загрязнений. Для точной интерпретации структуры землепользования проведен синтез данных из разнородных источников, включая тематические атласы и открытые геоинформационные ресурсы [1; 5; 22; 24]. Лесной покров картировался на основе глобального набора данных EC JRC 2020 (версия V2) с детализацией 10 м.

Все пространственные данные объединены в единую геоинформационную систему, где ключевые характеристики территории отображены в границах водосборов. Такой метод позволил наглядно проанализировать распределение природных и антропогенных факторов, а также их возможное воздействие на качество воды в разных участках речной сети (рис. 1).

Результаты и их обсуждение

В бассейне реки Анграпы сложились следующие территориальные соотношения природно-хозяйственных факторов (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Распределение природно-хозяйственных условий в бассейне реки Анграпы
Distribution of natural and economic conditions in the Angrapa River basin

Наименование бассейна	*Fбас., км^2*	*с/х тер., %*	*Лес. тер., %*	*Урб. тер., %*	*Озера, %*	*Другое, %*	*Плот. насел., чел/км^2*
Река Анграпа, весь бассейн	3960	39,85	36,38	3,07	5,13	15,57	39,43
Река Анграпа без реки Писсы	2520	35,36	34,67	3,17	7,02	19,78	43,84
Река Писса, весь бассейн	1440	47,71	39,37	2,89	1,82	8,21	31,69
Река Писса без реки Русской и реки Красной	746	58,81	28,11	4,02	2,84	6,22	46,34
Река Красная, весь бассейн	508	23,37	59,62	1,88	0,99	14,15	20,16
Река Русская, весь бассейн	186	69,72	29,20	1,09	0,00	0,00	4,44

Как видно из таблицы 1, бассейн реки Анграпы характеризуется значительным влиянием сельского хозяйства, которое занимает почти 40 % его площади и рассматривается нами как основной источник диффузного загрязнения. В аграрном секторе преобладают животноводство (разведение крупного рогатого скота, свиней), растениеводство (выращивание пшеницы, ржи, ячменя, овса, рапса), овощеводство (выращивание картофеля, капусты, моркови, свеклы).

Здесь сразу стоит отметить ключевое различие в административном зонировании сельскохозяйственных угодий в российской практике по отношению к подходам, применяемым Польшей и Литвой. В России, в соответствии с генпланами муниципалитетов, земли сельхозназначения, как правило, объединяются в целостные, неразрывные массивы. В то же время на территориях Польши и Литвы (что хорошо видно на примере Варминско-Мазурского воеводства по данным регионального атласа и OpenStreetMap) агроландшафт имеет мозаичную структуру: участки пашни и угодий раздроблены на множество фрагментов с высокой плотностью, а промежутки между ними часто обозначаются как «не классифицируемые» земли. Отсюда и вытекает такое различие между странами в рамках категории земель «другое». По большей части эти земли можно также считать задействованными в сельскохозяйственном производстве.

Урбанизированные территории покрывают лишь 3 % площади бассейна, но их воздействие на водные объекты существенно из-за высокой локальной концентрации населения. Крупнейшие населенные пункты на российской стороне включают Гусев (37725 жителей), Озерск (4321 жителей), часть Черняховска (35705 жителей). На польской территории выделяются Голдап (19877 жителей), Венгожево (12186 жителей), часть Гижицко (28597 жителей). Плотность населения варьируется: в бассейне Анграпы она составляет 39,43 чел/км² (156126 чел.), Писсы – 31,69 чел/км² (45638 чел.), Красной – 20,16 чел/км² (10239 чел.), Русской – 4,44 чел/км² (826 чел.).

Промышленные предприятия, хотя и относятся к точечным источникам загрязнения, играют второстепенную роль. Основные отрасли – пищевая, деревообрабатывающая, электронная. Их влияние усложняется тесной интеграцией с городской и сельскохозяйственной инфраструктурой.

Природные особенности бассейна также оказывают влияние на формирования химического состава воды. Леса покрывают 36 % территории и представлены хвойными (сосна, ель, пихта) и лиственными (береза, дуб, бук, ольха, ясень, клен) породами. Озера занимают около 5 % площади, но распределены неравномерно: наибольшая их концентрация наблюдается в районе истока р. Анграпы и в зоне пункта П1 (10 %).

Таким образом, геоэкологическое состояние водотоков определяется сочетанием антропогенных и природных факторов. Динамика загрязнения отражена в данных УКИЗВ за 2023–2024 гг., демонстрируя пространственную изменчивость уровня воздействия (рис. 2).

В 2023–2024 годы средний УКИЗВ без учета КПЗ распределился следующим образом: в р. Анграпе – 3,64 (3б очень загрязненная); в р. Писсе – 3,67 (3б очень загрязненная); в р. Русской – 4,82 (4а грязная); в р. Красной – 2,88 (3а загрязненная). Суммарно по пунктам мониторинга случаи КПЗ имеют следующую градацию по рекам: Анграпа – 3 случая; Писса – 7 случаев; Русская – 15 случаев; Красная – 5 случаев. С их учетом по 7 пунктам мониторинга вода имеет класс качества 3б очень загрязненная, по 7 пунктам – 4а грязная, по 2 пунктам – 4б грязная и 4в очень грязная.

Среди водотоков бассейна Анграпы наиболее выраженный контраст в степени загрязнения демонстрируют реки Русская и Красная, при этом первая по полученным результатам самая загрязненная в исследовании, а вторая – самая чистая. Такое различие особенно интересно, учитывая географическую близость и сходные гидрологические условия водотоков. Ключевое различие кроется в структуре землепользования: водосбор Русской на 70 % занят сельхозугодьями при лишь 29 % лесного покрова, тогда как бассейн Красной имеет принципиально иное соотношение – 60 % лесов против 23 % сельскохозяйственных земель. Такая выраженная диспропорция полностью соответствует нашей гипотезе о преобладающем влиянии антропогенного фактора на качество водных ресурсов.

Распространение уровня загрязнения сохранило свою природу от истока к устью, или, другими словами, из лесной зоны к области с преобладанием сельскохозяйственных земель и урбанизированных территорий. Рост загрязнения в пространственном отношении имеет среднюю тенденцию 21,55 %. В то же время прирост КПЗ присутствует только у р. Писсы, по остальным водотокам данная характеристика почти неизменна.

С целью получения более дифференцированной информации о качестве воды рассмотрим сезонную динамику ИЗВ (рис. 3).

По данным рисунка 3 можно дать характеристику сезонам на основе ИЗВ. Осень: р. Анграпа – средний ИЗВ = 1,85 (III умеренно загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 4,90 (V грязные); р. Русская – средний ИЗВ = 13,08 (VII чрезвычайно грязные); р. Красная – средний ИЗВ = 2,28 (IV загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 5,53 (V грязные). Зима: р. Анграпа – средний ИЗВ = 1,33 (III умеренно загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 1,46 (III умеренно загрязненные); р. Русская – средний ИЗВ = 2,94 (IV загрязненные); р. Красная – средний ИЗВ = 1,22 (III умеренно загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 1,74 (III умеренно загрязненные). Весна: р. Анграпа – средний ИЗВ = 3,47 (IV загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 3,59 (IV загрязненные); р. Русская – средний ИЗВ = 7,56 (VI очень грязные); р. Красная – средний ИЗВ = 1,42 (III умеренно загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 4,01 (IV загрязненные). Лето: р. Анграпа – средний ИЗВ = 2,02 (III умеренно загрязненные); р. Писса – средний ИЗВ = 1,69 (III умеренно загрязненные); р. Русская – средний ИЗВ = 3,42 (IV загрязненные); р. Красная – средний ИЗВ = 1,96 (III умеренно загрязненные); в целом по бассейну – средний ИЗВ = 2,27 (IV загрязненные).

Наибольший уровень загрязнения водотоков отмечается в осенний период, тогда как зимой фиксируются самые благоприятные показатели качества воды. Осеннее ухудшение ситуации с загрязнением обусловлено

совокупностью факторов: снижением водности рек из-за осенней межени, процессами разложения отмершей растительности, а также миграцией в водные объекты химических веществ из минеральных удобрений, внесенных под озимые культуры. В противоположность этому зимний период характеризуется существенным снижением как биологической активности, так и интенсивности антропогенного воздействия. Дополнительным очищающим фактором выступает разбавление загрязняющих веществ паводковыми водами и временное формирование ледового покрова, ограничивающее поступление вредных компонентов. Однако следует отметить, что повышенная водность в отдельных случаях может усугублять ситуацию, способствуя активному выносу загрязняющих веществ с прилегающих территорий в водные объекты.

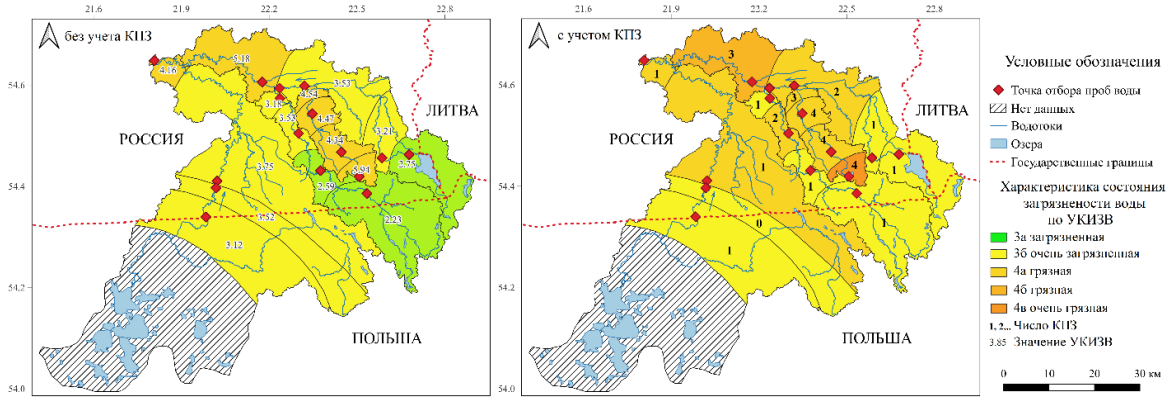


Рис. 2. Пространственная дифференциация УКИЗВ в бассейне р. Анграпы за период с 2023 по 2024 г.
Fig. 2. Spatial differentiation of SCWPI in the Angrapa River basin for the period from 2023 to 2024

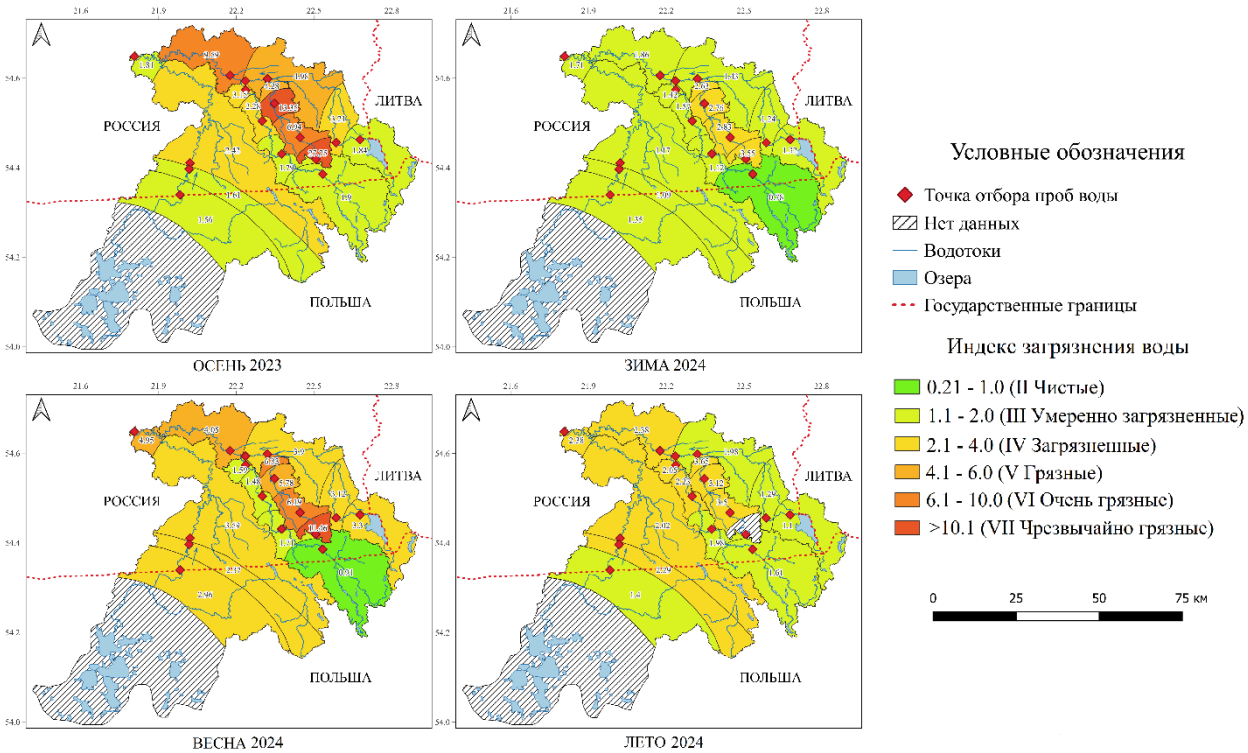


Рис. 3. Внутригодовая пространственная и сезонная изменчивость ИЗВ в бассейне р. Анграпы в 2023–2024 гг.
Fig. 3. Intra-annual spatial and seasonal variability of WPI in the Angrapa River basin in 2023–2024

Динамика загрязнения рек в исследуемом регионе тесно связана с изменениями водности в течение различных гидрологических сезонов, которые, в свою очередь, определяются климатическими особенностями Калининградской области. Анализ состояния водных объектов показал, что концентрация вредных веществ в воде значительно варьируется в зависимости от колебаний речного стока [10].

Чтобы выяснить, как водность влияет на уровень загрязнения воды 2023–2024 гг. построены графики, на которых сопоставлены осредненные сезонные ИЗВ и расходы воды по каждой из рек (рис. 4).

В рамках исследования были проанализированы данные разовых измерений расхода воды, выполненных в разные сезоны. Поскольку более точная информация в открытых источниках отсутствует, оценка базируется на обобщенном показателе водности как причине, влияющей на химический состав воды.

Осенью 2023 года на большинстве водотоков (за исключением р. Красной) начался предпаводковый период, сопровождавшийся ростом ИЗВ. Однако зимний паводок 2024 года привел к резкому снижению ИЗВ, тогда как уменьшение стока весной и в начале лета спровоцировало сначала увеличение концентрации загрязняющих веществ, а затем их постепенное снижение (исключением осталась р. Красная, где летнего улучшения не наблюдалось). Такая динамика типична для регионов с избыточным увлажнением, где устойчивый снежный и ледовый покров зимой формируется редко, что вносит значительные колебания в сезонные изменения стока и концентрации загрязнений.

В целом связь между изменением расхода воды и ИЗВ носит, скорее, стохастический, чем закономерный характер. Важно учитывать, что химический состав речных вод формируется под комплексным воздействием множества факторов. Например, сельскохозяйственная деятельность, состояние растительности, антропогенные нагрузки имеют собственные циклы, которые не всегда совпадают с гидрологическими фазами, особенно в условиях нестабильного водного режима без четко выраженных сезонных закономерностей. Кроме того, влияние водности может варьироваться в зависимости от специфики конкретного водосборного бассейна. В периоды интенсивных осадков в каких-то случаях может происходить активное вымывание удобрений с сельскохозяйственных полей, что повышает ИЗВ, а в других случаях это приводит к увеличение водности, что, напротив, будет способствовать разбавлению загрязняющих веществ.

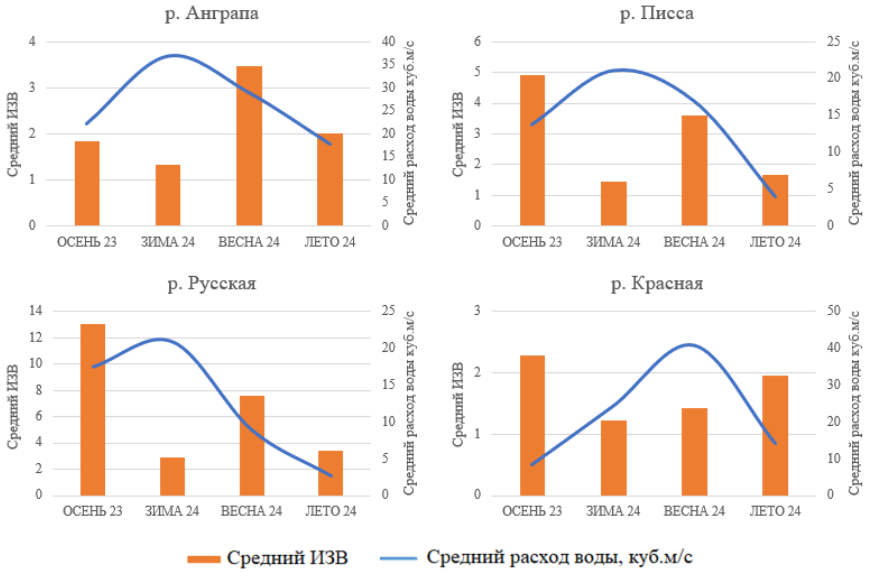


Рис. 4. Средние за сезон индексы загрязнения воды и средние по четырем пунктам расходы воды в реках во время пробоотбора

Fig. 4. Average WPI for the seasons and average water flow rates in rivers registered at four points during sampling

В таблице 2 представлены основные загрязняющие вещества и различные статистические характеристики кратности превышения ПДК. По данным таблицы 2, к систематическим загрязнителям можно отнести нефтепродукты, железо, кислородные показатели, биогенные соединения. Больше трети всех загрязнений – это железо (21,71 %) и нефтепродукты (15,23 %). Кислородные показатели занимают больше 40 % от всех превышений нормированных значений: растворенный кислород (30,62 %), ХПК (8,91 %), БПК5 (5,05 %). Биогенных соединений, представленных фосфатами (9,01 %), аммонием (2,23 %), нитритами (2,27 %), в сумме около 14 %.

Если принять во внимание описанные ранее природно-хозяйственные условия и пространственную и сезонную изменчивость интегральных показателей загрязнения, а также сопоставить их с химическими веществами, которые не соответствуют ПДК, то можно предположить, какие факторы влияют на качество воды в бассейне. В составе промышленных и коммунально-бытовых стоков можно выделить поверхностно-активные вещества, которые включают углеводороды и входят в массовую концентрацию нефтепродуктов, что обеспечивает превалирующее поступление нефтепродуктов в реки от этих видов стоков. Гидрохимический режим рек Калининградской области характеризуется повышенной концентрацией общего железа, что обусловлено гидрогеологическими особенностями региона, способствующими обогащению подземных вод этим элементом [6–7]. Источник загрязнения биогенными веществами и превышения ПДК кислородных показателей в верховьях рек может свидетельствовать о процессах, связанных с отмиранием и разложением растительности, а ниже по течению – с сельскохозяйственными землями.

Представленные показатели по отдельности не имеют четкой привязки к сезонам. Это обусловлено переменчивыми фазами водного режима в регионе, которые ко всему прочему могут по-разному влиять на химический состав воды тех или иных речных систем (смыв с территорий и разбавление вод). В свою очередь, это усложняет отслеживание четких периодов других источников загрязнения сезонного характера, таких как сельское хозяйство и циклы жизнедеятельности растительности.

Таблица 2
Table 2

Различные статистические характеристики кратности превышения ПДК химических веществ в бассейне р. Анграпы в период с 2023 по 2024 г.
Various statistical characteristics of the exceedance factor for the MPC of chemical substances in the Angrapa River basin in the period from 2023 to 2024

Показатель	*Макс. крат. превыш. ПДК*	*Сред. крат. превыш. ПДК*	*Сумма крат. превыш. ПДК*	*Распред. крат. превыш. ПДК, %*	*Число проб несоответ. ПДК (из 63)*
pH	1,05	0,98	16	1,27	16
Раств O_2	117,65	6,54	388	30,62	30
ХПК	6,82	1,94	113	8,91	45
$БПК_5$	5,19	1,27	64	5,05	38
Нитраты	0,47	0,08	0	0,00	0
Нитриты	3,31	0,47	27	2,16	14
Аммоний	10,18	0,67	28	2,23	12
Фосфаты	31,60	2,03	114	9,01	22
Хлориды	12,34	0,55	26	2,09	5
Сульфаты	2,02	0,50	21	1,64	13
Натрий	1,18	0,14	1	0,09	1
Магний	0,65	0,24	0	0,00	0
Железо	12,16	4,39	275	21,71	61
Нефтепродукты	22,80	3,18	193	15,23	44
Калий	0,48	0,07	0	0,00	0
Кальций	0,88	0,30	0	0,00	0

Выводы

В 2023–2024 годы состояние вод бассейна р. Анграпы, согласно УКИЗВ без учета КПЗ, характеризуется как 3б очень загрязненная, а с учетом КПЗ – как 4а грязная. Наибольший уровень загрязнения зафиксирован в р. Русская – 4,82 (4а грязная) со средним количеством КПЗ = 4, тогда как наименьший в р. Красная – 2,88 (3а загрязненная) со средним количеством КПЗ = 1. Загрязнение нарастает по направлению от истока к устью: в зонах с высокой лесистостью вода чище, чем на территориях с преобладанием сельхозугодий и урбанизированных ландшафтов. По данным ИЗВ, наиболее неблагоприятным сезоном оказалась осень (средний показатель 5,53 – V класс, грязные), а наиболее чистым – зима (1,74 – III класс, умеренно загрязненные). Ключевые нарушения ПДК зафиксированы по следующим показателям: железо (61 из 63 проб), нефтепродукты (44 из 63 проб), ХПК (45 из 63), $БПК_5$ (38 из 63 проб), растворенный кислород (30 из 63 проб), фосфаты (22 из 63 проб), нитриты (14 из 63 проб), аммоний (12 из 63 проб).

Выделен ряд несоответствий нормам ПДК со следующими средними кратностями превышения: растворенный кислород (6,54 раз), железо (4,39 раз), нефтепродукты (3,18 раз), ХПК (1,94 раз), фосфаты (2,03 раз), $БПК_5$ (1,27 раз), аммоний (0,67 раз), нитриты (0,47 раз).

Комплексный анализ сезонной изменчивости ИЗВ, пространственного распределения УКИЗВ, зафиксированных превышений ПДК, а также природно-хозяйственных характеристик бассейна с учетом межгодовых колебаний показателей позволяет выделить следующие основные факторы, влияющие на качество воды: сельскохозяйственная деятельность, урбанизированные территории, поступление подземных вод с высоким содержанием железа, сезонная водность, естественные циклы развития водной и прибрежной растительности.

Библиографический список

1. Атлас Варминско-Мазурского воеводства : сайт. URL: https://atlas.warmia.mazury.pl/ (дата обращения: 20.12.2024)

2. *Ахмедова Н. Р., Наумов В. А.* Динамика модуля годового стока в бассейне реки Писса // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 2(51). С. 105–111. DOI: 10.24866/2227-6858/2022-2/105-111

3. *Балдаков Н. А., Кудишин А. В.* Автоматизация расчета характеристик водосборного бассейна для решения задач моделирования поверхностного стока // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. Т. 4, № 1. С. 83–89. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89.

4. *Берникова Т. А., Тылик К. В., Цветкова Н. Н.* Физико-географическая характеристика реки Красной – памятника природы гидрологического профиля Калининградской области // Известия КГТУ. 2019. № 52. С. 11–23.

5. Генеральные планы муниципальных образований : сайт. URL: https://mingrad.gov39.ru/ (дата обращения: 20.12.2024)

6. *Глущенко А. И.* Экологическое состояние и качество подземных вод Калининградского скважинного водозабора // Вестник Балтийского федерального университета имени И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2008. № 1. 28 с.

7. Государственный доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2024 году». Калининград: ООО «ВИА Калининград», 2025. С. 45–46.

8. *Джамалов Р. Г., Мироненко А. А., Мягкова К. Г., Решетняк О. С., Сафронова Т. И.* Пространственно-временной анализ гидрохимического состава и загрязнения вод в бассейне Северной Двины // Водные ресурсы. 2019. Т. 46, № 2. С. 149–160. DOI: 10.31857/S0321-0596462149-160

9. *Дмитриева В. А., Нефедова Е. Г.* Гидроэкологическая роль лесных насаждений в формировании режима водных ресурсов // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5, № 3(19). С. 22–33. DOI: 10.12737/14150

10. *Зотов С. И., Спирин Ю. А., Таран В. С.* Оценка химического загрязнения и качества вод рек Юго-Восточной части Калининградской области // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2024. Т. 88, № 4. С. 554–567. DOI: 10.31857/S2587556624040086

11. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства: СП 11-103-97: Одобрен Департаментом развития научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя России (письмо от 10.07.97 № 9-1-1/69) : сайт. URL: http://docs.cntd.ru/document/901704792 (дата обращения: 10.03.2025)

12. *Кирейчева Л. В., Лентяева Е. А.* Влияние сельскохозяйственного производства на загрязнение водных объектов // Природообустройство. 2020. № 5. С. 18–26. DOI: 10.26897/1997-6011/2020-5-18-27

13. *Нагорнова Н. Н., Берникова Т. А., Цупикова Н. А.* Гидрогеохимическая характеристика малых рек Калининградской области // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2011. № 7. С. 160–166.

14. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 10 марта 2020 года): Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 13 января 2017 года, регистрационный № 45203 : сайт. URL: http://docs.cntd.ru/document/420389120 (дата обращения: 10.05.2025)

15. РД 52.24.643–2002 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям : сайт. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200039667. (дата обращения: 10.05.2025)

16. *Саускан В. И., Уманский С. А.* Качество жизни и экологическая безопасность как цели устойчивого развития Калининградской области // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. 2010. № 1. С. 70–77.

17. *Севостьянова Е. А., Меньшенин А. С., Никрашевская А. Э., Глинская А. С., Цупикова Н. А.* Современное экологическое состояние водоемов рекреационного назначения Калининграда // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: мат. XIII нац. (всерос.) науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 29–30 марта 2022 г.). Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2022. С. 193–197.

18. *Спирин Ю. А., Зотов С. И.* Проблемы геоэкологического состояния и использования поверхностных вод Калининградской области // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29, № 2. С. 221–230. DOI: 10.35634/2412-9518-2019-29-2-221-230

19. *Спирин Ю. А., Зотов С. И., Таран В. С., Королева Ю. В.* Оценка геоэкологического состояния поверхностных водотоков Славского района Калининградской области // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. 2021. Т. 7, № 1. С. 183–202.

20. *Тылик К. В.* Гидроэкологические особенности реки Красной – памятника природы гидрологического профиля Калининградской области // Известия КГТУ. 2021. № 61. С. 39–50. DOI: 10.46845/1997-3071-2021-61-39-50

21. *Шамонина Т. В., Нелюбина Е. А.* Анализ водного использования бассейна реки Писсы // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2017. № 2. С. 1–8.

22. *Domnin D., Chubarenko B., Lewandowski A.* Vistula Lagoon catchment: Atlas of water use. M.: Exlibris Press, 2015. 105 p.

23. *Lämmchen M., Klasmeier J., Hernandez-Leal L., Berlekamp J.* Spatial Modelling of Micro-pollutants in a Strongly Regulated Cross-border Lowland Catchment // Environmental Processes. 2021. Vol. 8. P. 973–992. DOI: 10.1007/s40710-021-00530-2

24. Open Street Map: website. URL: www.openstreetmap.org (дата обращения: 20.12.2024)

References

1. *Atlas Varminsko-Mazurskogo voevodstva* [Atlas of the Warmia-Masuria Voivodeship]. Atlas: website (In Russ.) URL: https://atlas.warmia.mazury.pl/ (Assessed 20 December 2024).

2. Akhmedova N. R., Naumov V.A. Dynamics of the annual runoff module in the basin of the Pissa River. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2022, no. 2(51), pp. 105–111. (In Russ.) DOI: 10.24866/2227-6858/2022-2/105-111

3. Baldakov N. A., Kudishin A. V. Automated calculation of characteristics of the catchment basin as a tool of runoff modelling. *Interexpo Geo-Siberia*, 2019, vol. 1, no. 1, pp. 83–89. (In Russ.) DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89.

4. Bernikova T. A., Tylik K. V., Tsvetkova N. N. Fiziko-geograficheskaya kharakteristika reki Krasnoi – pamyatnika prirody gidrologicheskogo profilya Kaliningradskoi oblasti [Physico-geographical characteristics of the Red River – natural monument of the hydrological profile of the Kaliningrad region]. *Izvestia KSTU*, 2019, no. 52, pp. 11–23. (In Russ.)

5. *General'nye plany munitsipal'nykh obrazovanii* [General plans of municipalities]. General plans: website. (In Russ.) URL: https://mingrad.gov39.ru/ (Assessed 20 December 2024).

6. Glushchenko A. I. Ekologicheskoe sostoyanie i kachestvo podzemnykh vod Kaliningradskogo skvazhinnogo vodozabora [Environmental conditions and quality of groundwater at the Kaliningrad well water intake]. *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta imeni I. Kanta. Seriya: Estestvennye i meditsinskie nauki*, 2008, no. 1, 28 p. (In Russ.)

7. *Gosudarstvennyi doklad "Ob ekologicheskoi obstanovke v Kaliningradskoi oblasti v 2024 godu"* [State Report on the Environmental Situation in the Kaliningrad Region in 2024]. Kaliningrad: OOO "VIA Kaliningrad", 2025, pp. 45–46. (In Russ.)

8. Dzhamalov R. G., Mironenko A. A., Myagkova K. G., Reshetnyak O. S., Safronova T. I. Space–Time Analysis of the Hydrochemical Composition and Pollution of Water in the Northern Dvina Basin. *Water Resources*, 2019, vol. 46, no. 2, pp. 149–160. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0321-0596462149-160

9. Dmitrieva V. A., Nefedova E. G. Hydroecological role of forest in formation of regime of water resources. *Forestry Engineering Journal*, 2015, vol. 5, no. 3(19), pp. 22–33. (In Russ.) DOI: 10.12737/14150

10. Zotov S. I., Spirin Yu. A., Taran V. S. Assessment of chemical pollution and water quality of rivers in the southeastern part of Kaliningrad oblast. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2024, vol. 88, no. 4, pp. 554–567. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2587556624040086

11. *Inzhenerno-gidrometeorologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva: SP 11-103-97: Odobren Departamentom razvitiya nauchno-tekhnicheskoi politiki i proektno-izyskatel'skikh rabot Gosstroya Rossii (pis'mo ot 10.07.97 № 9-1-1/69)* [Engineering and Hydrometeorological Surveys for Construction: SP 11-103-97: Approved by the Department of Scientific and Technical Policy Development and Design and Survey Work of the State Construction Committee of Russia (letter dated 10.07.97 No. 9-1-1/69)]. Inzhenerno-gidrometeorologicheskie izyskaniya: website. (In Russ.) URL: http://docs.cntd.ru/document/901704792 (Assessed 10 March 2025).

12. Kireycheva L. V., Lentyaeva E. A. The influence of agricultural production on pollution of water bodies. *Prirodoobustrojstvo» (Environmental Engineering)*, 2020, no. 5, pp. 18–26. (In Russ.) DOI: 10.26897/1997-6011/2020-5-18-27

13. Nagornova N. N., Bernikova T. A., Tsupikova N. A. Gidrogeokhimicheskaya kharakteristika malykh rek Kaliningradskoi oblasti [Hydrogeochemical Characteristics of Small Rivers in the Kaliningrad Region].*Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*, 2011, no. 7, pp. 160–166. (In Russ.)

14. *Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob"ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimykh kontsentratsii vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob"ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya (s izmeneniyami na 10 marta 2020 goda): Zaregistrirovano v Ministerstve yustitsii Rossiiskoi Federatsii 13 yanvarya 2017 goda, registratsionnyi no. 45203* [On Approval of Water Quality Standards for Water Bodies of Fisheries Importance, Including Standards for Maximum Permissible Concentrations of Harmful Substances in the Waters of Water Bodies of Fisheries Importance (as amended on March 10, 2020): Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on January 13, 2017, registration number 45203]. (In Russ.) URL: http://docs.cntd.ru/document/420389120 (Assessed 10 May 2025).

15. RD 52.24.643–2002 Metodicheskie ukazaniya. Metod kompleksnoi otsenki stepeni zagryaznennosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam [RD 52.24.643–2002 Methodological guidelines. Method for a comprehensive assessment of the degree of surface water pollution based on hydrochemical indicators]. RD 52.24.643–2002 Metodicheskie ukazaniya: website. (In Russ.) URL: https://docs.cntd.ru/document/1200039667. (Assessed 10 May 2025).

16. Sauskan V. I., Umanskii S. A. Kachestvo zhizni i ekologicheskaya bezopasnost' kak tseli ustoichivogo razvitiya Kaliningradskoi oblasti [Quality of life and environmental safety as goals of sustainable development in the Kaliningrad Region]. *Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta*, 2010, no. 1, pp. 70–77. (In Russ.)

17. Sevost'yanova E. A., Men'shenin A. S., Nikrashevskaya A. E., Glinskaya A. S., Tsupikova N. A. Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie vodoemov rekreatsionnogo naznacheniya Kaliningrada [The current ecological state of Kaliningrad's recreational water bodies]. In *Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyanie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie: Materialy XIII Nats. (vseros.) nauch.-prakt. konf. (Petropavlovsk-Kamchatskii, 29–30 marta 2022 g.)*. Petropavlovsk-Kamchatskii: Kamchatskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2022, pp. 193–197. (In Russ.)

18. Spirin Yu. A., Zotov S. I. Problems of geoecological condition and use of surface waters in the Kaliningrad region. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, 2019, vol. 29, no. 2, pp. 221–230. (In Russ.) DOI: 10.35634/2412-9518-2019-29-2-221-230

19. Spirin Yu. A., Zotov S. I., Taran V. S., Koroleva Yu. V. Otsenka geoekologicheskogo sostoyaniya poverkhnostnykh vodotokov Slavskogo raiona Kaliningradskoi oblasti [Assessment of the geoecological state of surface watercourses in the Slavsky District of the Kaliningrad Region]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*, 2021, vol. 7, no. 1, pp. 183–202. (In Russ.)

20. Tylik K. V. Hydroecological features of the Krasnaya River – nature landmark of the Kaliningrad Region hydrological profile. *Izvestiya KSTU*, 2021, no. 61, pp. 39–50. (In Russ.) DOI: 10.46845/1997-3071-2021-61-39-50

21. Shamonina T. V., Nelyubina E. A. Analiz vodnogo ispol'zovaniya basseina reki Pissy [Analysis of water use in the Pissa River basin]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*, 2017, no. 2, pp. 1–8. (In Russ.)

22. Domnin D., Chubarenko B., Lewandowski A. Vistula Lagoon catchment: Atlas of water use. Moscow: Exlibris Press, 2015. 105 p.

23. Lämmchen M., Klasmeier J., Hernandez-Leal L., Berlekamp J. Spatial Modelling of Micro-pollutants in a Strongly Regulated Cross-border Lowland Catchment. *Environmental Processes*, 2021, vol. 8, pp. 973–992. DOI: 10.1007/s40710-021-00530-2

24. Open Street Map: website. URL: www.openstreetmap.org (Assessed 20 December 2024).

Статья поступила в редакцию: 20.01.26, одобрена после рецензирования: 13.02.26, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 20 January 2026; approved after review: 13 February 2026; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах
Юрий Александрович Спирин
Кандидат географических наук,
научный сотрудник лаборатории гидрологии,
Институт географии Российской академии наук
117312, г. Москва, ул. Вавилова, д. 37.
Старший преподаватель
департамента рационального природопользования,
Российский университет дружбы народов;
117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6
ORCID: 0000-0003-3481-9666,
eLibrary AuthorID: 887382

Information about the authors
Yuri A. Spirin
Candidate of Geographical Sciences,
Researcher, Hydrology Laboratory,
Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences;
37, Vavilova st., Moscow, 117312, Russia
Senior Lecturer, Department of Rational Nature Management, RUDN University;
6, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russia
ORCID: 0000-0003-3481-9666,
eLibrary AuthorID: 887382

e-mail: spirin.yuriy@rambler.ru

Сергей Игоревич Зотов
Доктор географических наук, профессор,
профессор Высшей школы живых систем,
Балтийский федеральный университет им. И. Канта;
236041, г. Калининград, ул. Университетская, д. 2
ORCID: 0000-0002-6509-7398,
eLibrary AuthorID: 60753

Sergey I. Zotov
Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Higher School of Living Systems,
Immanuel Kant Baltic Federal University;
2, Universitetskaya st., Kaliningrad, 236041, Russia
ORCID: 0000-0002-6509-7398,
eLibrary AuthorID: 60753

e-mail: zotov.prof@gmail.com

Вероника Сергеевна Таран
Аспирант Высшей школы живых систем,
Балтийский федеральный университет им. И. Канта;
236041, г. Калининград, ул. Университетская, д. 2

Veronika S. Taran
Postgraduate Student, Higher School of Living Systems,
Immanuel Kant Baltic Federal University;
2, Universitetskaya st., Kaliningrad, 236041, Russia

e-mail: ronya.volkova@yandex.ru

Вклад авторов

Спирин Ю. А. – расчет интегральных показателей, создание графического материала, анализ результатов, написание статьи.

Зотов С. И. – обработка материала, анализ результатов, структурирование материала, научное редактирование.

Таран В. С. – отбор проб воды и гидрологические измерения, гидрологические расчеты, проведение химических анализов, обработка материала, анализ результатов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Yuri A. Spirin – calculation of integral indicators; creation of the graphic material; analysis of the results; writing of the article.

Sergey I. Zotov – material processing and structuring; analysis of the results; scientific editing.

Veronika S. Taran – water sampling and hydrological measurements; hydrological calculations; chemical analyses; material processing; analysis of the results.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Гидрология

Кудяков Э. Х., Нестерова Н. В., Землянскова А. А., Никитина П. А., Макарьева О. М.

Научная статья
УДК 556
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-95-109
EDN: PJOCQS

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ДЕТРИН (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Эмиль Халильевич Кудяков[1], Наталия Вадимовна Нестерова[2]✉, Анастасия Александровна Землянскова[2], Полина Андреевна Никитина[2], Ольга Михайловна Макарьева[2]
[1] Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия
[2] Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
✉ n.v.nesterova@spbu.ru, ORCID: 0000-0003-0677-4982

Аннотация. Статистика по Магаданской области свидетельствует, что в регионе ежегодно происходят катастрофические паводки, ущерб от которых исчисляется сотнями миллионов рублей. В регионе отсутствует оперативная система прогноза опасных гидрологических явлений. Целью исследования является анализ основных факторов формирования катастрофических дождевых паводков в пос. Усть-Омчуг, а также оценка возможности использования распределенной гидрологической модели «Гидрограф» для разработки системы краткосрочного прогноза стока рек Магаданской области на примере бассейна р. Детрин. На основе данных гидрометеорологических наблюдений сети Росгидромет показано, что на территории Тенькинского района происходит изменение климата. С 1967 года количество осадков в регионе повысилось на 16 %, при этом основной рост наблюдался в августе и сентябре. Прогноз изменения количества осадков на 2041–2060 гг. в сравнении с периодом 1981–2010 гг. по данным моделей климата показал, что ожидается увеличение годовой суммы осадков на 10–15 % и более, а также рост годового стока рек на 30 % и более. Для оценки применимости гидрологической модели «Гидрограф» в качестве основы системы оперативного прогноза паводков в пос. Усть-Омчуг были проведены параметризация и верификация модели на исторических данных. Результаты моделирования на суточном расчетном интервале времени за период 1966–2024 гг. приняты удовлетворительными. Для воспроизведения катастрофических паводков 2013 и 2019 гг. использована модель численного прогноза погоды WRF с пространственным разрешением 3 км и заблаговременностью от 3–6 ч до 1 суток. Модель WRF значительно завышает количество твердых осадков, а в теплый период, несмотря на удовлетворительное воспроизведение сроков выпадения жидких осадков, занижает их количество. Неравномерное выпадение осадков в горных условиях и редкая сеть метеорологических станций уменьшают заблаговременность и точность прогноза опасных гидрологических явлений. Для повышения надежности прогностической системы и учета разнообразия погодных условий необходимо применение ансамблевого подхода на основе использования входных данных множества гидрометеорологических моделей. Научная новизна заключается в комплексном применении гидрологического моделирования и модели численного прогноза погоды для оценки паводков на слабоизученных бассейнах рек горной криолитозоны.

Ключевые слова: гидрологическое моделирование, речной сток, опасные гидрологические явления, паводки; прогноз, Магаданская область, модель «Гидрограф», модель численных прогнозов погоды WRF

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Санкт-Петербургского государственного университета, проект «Разработка методики оперативного прогноза опасных гидрометеорологических явлений в условиях Дальневосточного федерального округа (на примере Магаданской области)» (шифр проекта 124032000031-2).

Для цитирования: Кудяков Э. Х., Нестерова Н. В., Землянскова А. А., Никитина П. А., Макарьева О. М. Анализ условий формирования и моделирование дождевых паводков в бассейне реки Детрин (Магаданская область) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 95–109. EDN: PJOCQS DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-95-109

© Кудяков Э. Х., Нестерова Н. В., Землянскова А. А., Никитина П. А., Макарьева О. М., 2026

Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Гидрология

Кудяков Э. Х., Нестерова Н. В., Землянскова А. А., Никитина П. А., Макарьева О. М.

Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-95-109
EDN: PJOCQS

RAIN FLOODS IN THE DETRIN RIVER BASIN (MAGADAN REGION): ANALYSIS IN THE FORMATION CONDITIONS AND MODELING

Emil Kh. Kudyakov[1], Nataliia V. Nesterova[2]✉, Anastasiia A. Zemlianskova[2], Polina A. Nikitina[2], Olga M. Makarieva[2]
[1] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
[2] St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
✉ n.v.nesterova@spbu.ru, ORCID: 0000-0003-0677-4982

Abstract. Statistics for the Magadan Region show that catastrophic floods occur in the region every year, and the damage from them is estimated at hundreds of millions of rubles. There is no system for short-term forecasting hazardous hydrological phenomena in the region. The study aims to analyze the main factors in the formation of catastrophic rain floods in the Ust-Omchug village, as well as to assess the possibility of using the Hydrograf distributed hydrological model to develop a system for short-term forecasting of river flow in the Magadan Region using the example of the Detrin River basin. The impact of climate change on runoff formation is examined based on the hydrometeorological observation data from the Roshydromet network. Since 1967, precipitation in the region has increased by 16 %, with the largest increase observed in August and September. The forecast of changes in precipitation for 2041–2060 compared to the period 1981–2010, based on climate models, has shown that an increase in annual precipitation of 10–15 % or more is expected, as well as an increase in annual river runoff of 30 % or more.

To assess the applicability of the Hydrograf hydrological model as the basis for a short-term flood forecasting system for Ust-Omchug, we carried out parameterization and verification of the model on the basis of historical data. The results of modeling based on a daily simulated time interval for the period 1966–2024 were accepted as satisfactory. The WRF numerical weather prediction model with a spatial resolution of 3 km and a lead time of 3–6 hours to 1 day was used to reproduce the catastrophic floods of 2013 and 2019.

The WRF model significantly overestimates the amount of solid precipitation, while in the warm period it underestimates the amount of liquid precipitation despite the satisfactory reproduction of its timing. Uneven precipitation in mountainous conditions and a sparse network of meteorological stations reduce the timing and accuracy of forecasting hazardous hydrological phenomena. In order to improve the reliability of the forecasting system and to take into account the diversity of weather conditions, it is necessary to apply an ensemble approach based on the use of input data from a variety of hydrometeorological models. The scientific novelty of the study lies in complex application of hydrological modeling and a numerical weather prediction model for flood assessment in poorly studied river basins of the mountain cryolithozone.

Keywords: hydrological modeling, river runoff, hazardous hydrological phenomena, floods, forecast, Magadan Region, Hydrograph model, WRF numerical weather prediction model

Funding. The work was carried out with the support from St. Petersburg State University, project “Development of a methodology for operational forecasting of dangerous hydrometeorological phenomena in the Far Eastern Federal District (using the example of the Magadan Region)” (project ID 124032000031-2).

For citation: Kudyakov E. Kh., Nesterova N. V., Zemlianskova A. A., Nikitina P. A., Makarieva O. M. Rain floods in the Detrin river basin (Magadan region): analysis in the formation conditions and modeling. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 95–109. EDN: PJOCQS DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-95-109

Введение

С каждым годом в связи с наблюдающимися изменениями климата и увеличением ущерба от опасных гидрологических явлений (ОГЯ) все более актуальной задачей становится их прогнозирование [9]. Горные речные бассейны наиболее часто подвержены воздействию таких опасных явлений, как наводнения, которые наносят экономический ущерб и приводят к гибели людей [2; 4; 36].

Территория Магаданской области относится к горной криолитозоне. Регион, несмотря на очень низкую плотность населения, относится к важнейшим горнодобывающим территориям страны, занимая первое место в России по добыче россыпного золота [17].

Статистика по Магаданской области свидетельствует, что катастрофические паводки в регионе происходят ежегодно, а ущерб от них составляет сотни миллионов рублей. Наиболее значительными среди них в Магаданской области оказались события 2013 г. (ущерб составил более 600 млн руб.), 2014 г. (700 млн руб.), 2016 г. (250 млн руб.), 2017, 2019 гг. В 2014 году в результате паводка была закрыта областная дорога «Магадан – Балаганное – Талон». В августе-сентябре 2016, 2017, 2024, 2025 годов наблюдалось разрушение мостов, в результате чего федеральные и региональные автодороги «Колыма» и «Тенькинская» перекрывались, что приводило к блокаде некоторых населенных пунктов. В 2019 году в Магаданской области интенсивность паводка на Колымском и Усть-Среднеканском водохранилищах стала рекордной за последние 80 лет (с 1939 г.) [1].

В небольших удаленных поселках Магаданской области даже непродолжительное закрытие автодорог и относительно небольшой ущерб могут приводить к значительному снижению качества жизни людей. Поселок

Усть-Омчуг является центром Тенькинского муниципального округа Магаданской области, находится в 260 км от г. Магадана и расположен в долине р. Детрин при впадении в нее р. Омчуг. На территории округа имеется множество рудных и россыпных месторождений золота компаний ОАО «Полюс», ОАО «Рудник им. Матросова», ЗАО «Нелькобазолото», ОАО «Золоторудная компания «Павлик», АО «Сусуманзолото». В августе 2013 года в поселке прошел катастрофический паводок, ущерб от которого составил порядка 60 млн руб., в результате чего были повреждены жилые здания, объекты социальной значимости (школа, детский сад, больница и др.) (рис. 1).

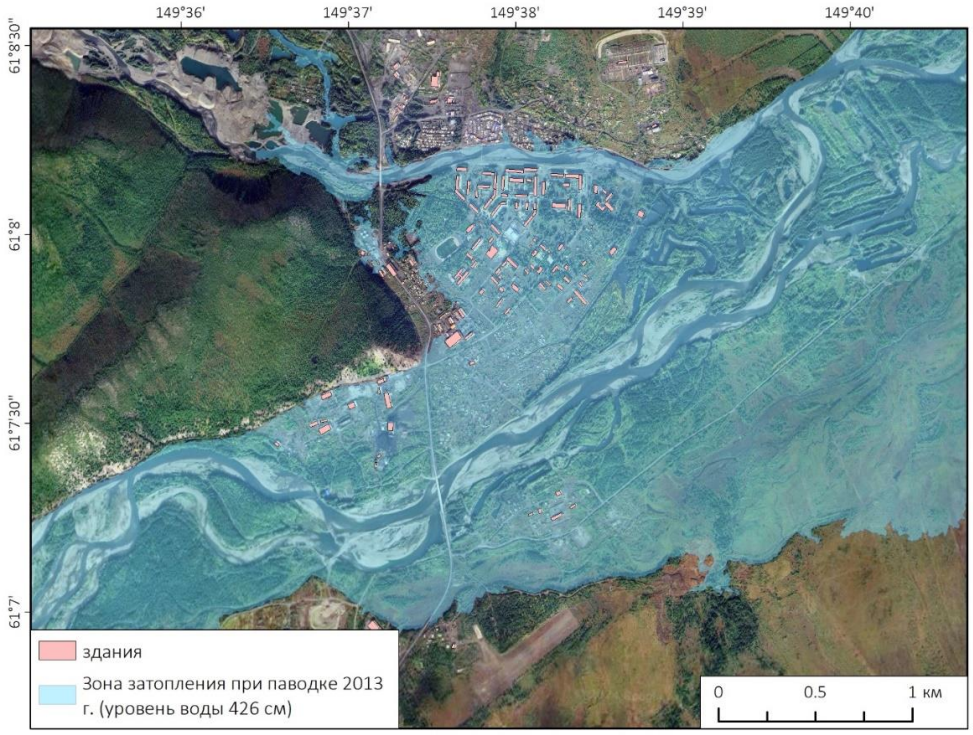


Рис. 1. Восстановленная по цифровой модели рельефа местности
и максимальному уровню воды в р. Детрин зона затопления пос. Усть-Омчуг в период паводка 19.08.2013
Fig. 1. The flood zone of the Ust-Omchug village estimated according to the digital elevation model
and the maximum water level in the Detrin River during the flood on August 19, 2013

В настоящее время поселок быстро развивается, здесь построены новый спортивный комплекс, объекты культурной инфраструктуры. Исследование выполнено по запросу администрации Тенькинского муниципального округа. Его целью является анализ основных факторов формирования катастрофических дождевых паводков в пос. Усть-Омчуг, а также оценка возможности использования распределенной гидрологической модели «Гидрограф» для разработки системы краткосрочного прогноза стока рек Тенькинского муниципального округа Магаданской области на примере бассейна р. Детрин.

Задачами исследования являются:

1) определить основные факторы формирования катастрофических паводков в пос. Усть-Омчуг;

2) оценить изменения гидрометеорологических факторов формирования опасных гидрологических явлений в период с 1966 по 2024 г. на основе данных гидрометеорологических наблюдений и в будущем на основе климатических моделей;

3) провести апробацию распределенной гидрологической модели «Гидрограф» в задаче моделирования процессов формирования стока в бассейне р. Детрин с использованием метеорологических данных из разных источников.

Результаты и их обсуждение

Объект исследования. Река Детрин является правым притоком р. Колымы, р. Омчуг – крупный левый приток р. Детрин. Долину слияния двух рек, в которой расположен пос. Усть-Омчуг, окружают горные хребты, входящие в систему Охотско-Колымского нагорья, абсолютные высоты вершин составляют до 2000 м.

Климат района континентальный, по данным метеорологической станции Усть-Омчуг продолжительность холодного периода составляет более 200 дней, минимальные средние месячные температуры воздуха наблюдаются в январе-декабре (–33,3° С), максимальные в июле могут достигать +19° С. Средняя годовая температура воздуха за период 1991–2020 гг. составила –9,5° С, а амплитуда – 51° С. Среднее годовое количество осадков составляет 361 мм (1991–2024 гг.), наибольшее среднемесячное количество осадков отмечается в августе (78 мм), в отдельные годы – до 200 мм (2013 г.). Суточный максимум количества осадков за последние 20 лет, равный 48 мм, был зафиксирован

в 2010 г. Снежный покров в среднем начинает формироваться в конце сентября, а устойчивый покров – в начале октября. Накопление снежного покрова происходит равномерно, в марте в среднем его высота достигает 30 см. В период оттепелей снег может стаять на 10 и более см. Полный сход снежного покрова наблюдается в мае. Климатические изменения подтверждаются рядом научных статей [23; 24; 32; 33; 40].

Долина рек Детрин и Омчуг в районе поселка хорошо разработана и достигает ширины 5,0 км, разбивается на несколько проток, отделенных друг от друга косами и островами, сложенными аллювиальным материалом. В паводок ширина р. Детрин достигает более 800 м, в межень ширина основной протоки составляет около 60 м. Глубина реки на плесах – до 3,0 м, на перекатах – 0,2 м. Ложе реки галечное, местами скальное. Ледостав образуется во второй половине октября, вскрытие реки начинается в конце мая. Во время паводков на реке происходит карчеход, который образует на поймах после спада воды значительные навалы, создающие подпор и условия для увеличения уровня воды. Гидрологический режим рек относится к типу, характерному для Дальнего Востока, и отличается высокими дождевыми паводками с гребнями, которые соединяются с весенним половодьем и часто превышают его по максимальным значениям расхода воды.

Площадь бассейна реки Детрин в створе гидрологического поста – устье р. Омчуг – составляет 3490 км^2, средняя высота – 920 м, средний уклон – 169 ‰. В двух километрах от поста находится действующая метеорологическая станция Усть-Омчуг. Пост открыт 07.06.1955 г.

В пойме рек Детрин и Омчуг проводится добыча золота, общая площадь нарушенных территорий по состоянию на 2022 г. составляет 10,3 км^2 (0,29 % от площади бассейна), при этом 3,3 км^2 разработано после 2016 г. [34]. Разработка русел и пойменных территорий рек Детрин и Омчуг проводится в непосредственной близости к поселку. Многочисленные пруды-отстойники и русловая сеть антропогенного происхождения подвержены процессам заиливания и заболачивания. Образуются дамбы, которые в периоды интенсивных осадков могут прорываться и приводить к повышению интенсивности ливневых паводков.

Влияние изменения климата на гидрологический режим р. Детрин. Современные изменения. Территория Северо-Востока России в последние десятилетия подвергается наиболее заметным климатическим изменениям, что приводит к выраженной трансформации гидрологического режима [16; 27]. Многочисленные исследования показывают увеличение общего стока воды крупных арктических рек [2; 31; 35].

На основе месячных данных о количестве осадков на метеорологической станции Усть-Омчуг, а также о величинах месячного стока воды на р. Детрин проведена оценка современных изменений климатических характеристик (1967–2024) и речного стока в бассейне р. Детрин (1957–2023 гг.).

По данным м/с Усть-Омчуг, за период 1967–2024 гг. произошло увеличение годового количества осадков на 51 мм (16 %). Основной вклад в увеличение жидких осадков внесли осадки в августе и сентябре (прирост на 50 % и 30 % соответственно), а твердых – в марте (+114 %) и ноябре (+39 %). При этом отмечается сокращение осадков в июле и январе на 8 %. С 2009 по 2014 год практически ежегодно наблюдалось выпадение экстремального количества осадков в июле-августе – от 100 до 196 мм в течение нескольких дней (2013 г.).

Период, в течение которого собиралась информация о расходах воды на р. Детрин, составляет 65 лет (с 1957 по 2023 г.). Рост осадков в августе привел к увеличению слоя стока в данном месяце на 25 % (13 мм) с 1957 г., однако статистически значимого увеличения максимальных расходов воды за теплый период (май-сентябрь) не наблюдается.

Важно отметить, что при установленном уровне опасных явлений расход воды соответствует 25 % обеспеченности (повторяемость раз в 4 года), а за весь период наблюдений такая величина была зафиксирована не менее 15 раз.

Прогноз изменения осадков и речного стока в будущем. Для анализа прогноза изменения годовой суммы осадков, суммы осадков в холодный и теплый период и слоя речного стока за период с 2041 по 2060 г. использовались проекции моделей CMCC-ESM2 [26], CNRM-CM6-1-HR [38], INM-CM5-0 [39] (сценарий SSP 4,5). Данные получены с ресурсов Copernicus [21] в формате netCDF, шаг по времени – 1 месяц. Шаг сетки данных составляет от 0,5° для модели CNRM-CM6-1-HR до 2° для модели INM-CM5-0. Климатический сценарий SSP 4,5 характеризуется умеренным антропогенным радиационным воздействием (рост на 4,5 Ватт/м^2) со стабилизацией во второй половине XXI в. и рассматривается как один из наиболее вероятных.

Анализ прогноза изменения количества осадков на 2041–2060 гг. по сравнению с периодом 1981–2010 гг. показал, что ожидается рост годовой суммы осадков на 10–15 % и более (рис. 2). Значительное увеличение количества осадков прогнозируется в холодный период, в теплый период – на 20 % и более. Согласно моделям климата CMCC-ESM2 и CNRM-CM6-1-HR, это приведет к значительному росту годового стока рек – на 30 % и более, а на локальных участках в два раза (рис. З**Ошибка! Источник ссылки не найден.**), что также будет способствовать повышению вероятности возникновения опасных гидрологических явлений. Это согласуется с оценками, приведенными в работе [25], где для р. Колымы возрастание осадков более чем на 10 % приведет к увеличению годового стока на 4–32 % в зависимости от температурного сценария.

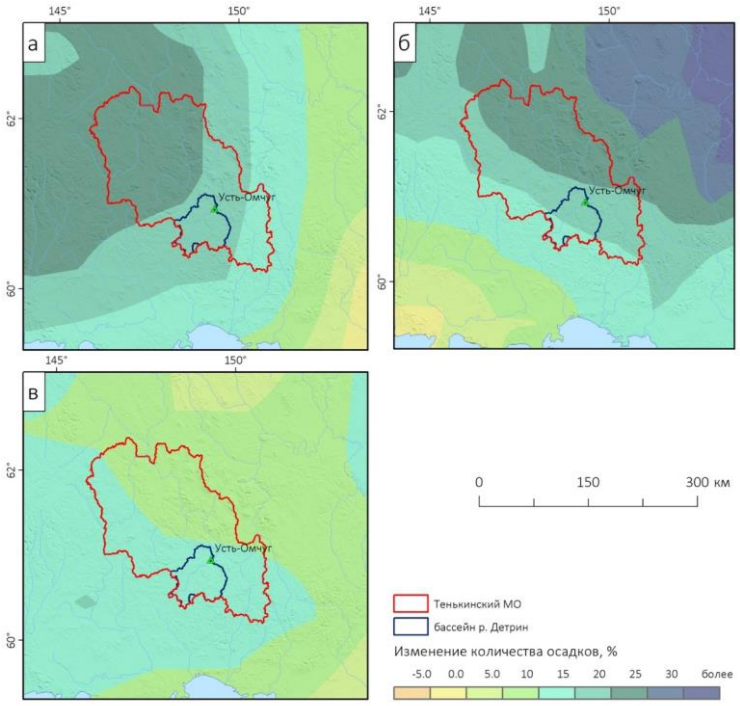


Рис. 2. Прогноз изменений количества осадков в летний период 2041–2060 гг.
по сравнению с периодом 1981–2010 гг. для Тенькинского района МО по данным моделей климата:
а) CMCC-ESM2; б) CNRM-CM6-1-HR; в) INM-CM5-0
Fig. 2. Forecast of precipitation changes in the warm period 2041–2060 compared with the period 1981–2010
for the Tenkinsky District of the Magadan Region according to climate models:
a) CMCC-ESM2; b) CNRM-CM6-1-HR; c) INM-CM5-0

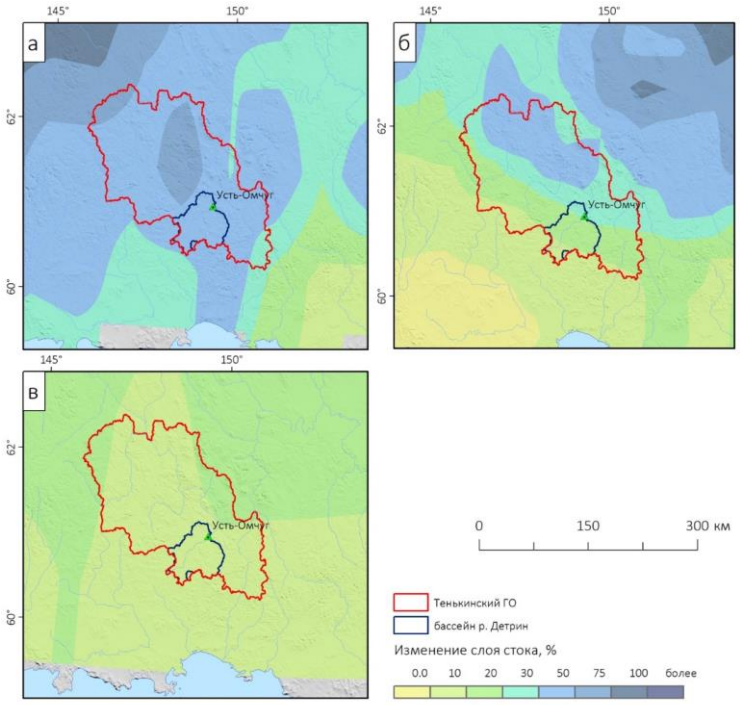


Рис. 3. Прогноз изменения годового слоя стока в период 2041–2060 гг. по сравнению с периодом 1981–2010 гг.
для Тенькинского района по данным моделей климата:
а) CMCC-ESM2; б) CNRM-CM6-1-HR; в) INM-CM5-0
Fig. 3. Forecast of changes in the annual runoff layer in the period 2041–2060 compared with the period 1981–2010
for the Tenkinsky District according to climate models:
a) CMCC-ESM2; b) CNRM-CM6-1-HR; c) INM-CM5-0

Гидрология

Кудяков Э. Х., Нестерова Н. В., Землянскова А. А., Никитина П. А., Макарьева О. М.

Прогнозирование опасных гидрологических явлений в бассейне р. Детрин. В настоящее время существует большое количество различных методов прогнозирования опасных гидрологических явлений. Многие страны мира разрабатывают и используют автоматизированные системы краткосрочного гидрологического прогнозирования для предупреждения о наводнениях. Примером реализации такой системы является Европейская система оповещения о наводнениях (EFAS), в структуру которой входят глобальные и региональные модели прогноза погоды, модель расчета водного баланса почвы и имитационная модель затопления [22].

В России до сих пор не существует единой государственной системы краткосрочного прогноза речного стока, однако на региональных уровнях разрабатываются системы прогноза стока, адаптированные под конкретные задачи потребителя. Например, в работе [5] излагаются основные принципы построения и правила использования автоматизированной системы краткосрочного прогнозирования стока рек бассейна р. Кубани и Черноморского побережья Кавказа. Среднесибирским УГМС разработан и используется программный комплекс на базе концептуальной модели формирования стока, позволяющий рассчитывать и прогнозировать приток в Саяно-Шушенское и Красноярское водохранилища [6]. Коллективом под руководством Б. И. Гарцмана внедрена система краткосрочных прогнозов уровней воды на Дальнем Востоке для бассейна р. Уссури [8]. Группой авторов [20] разработана система OpenForecast для оперативного прогноза речного стока по гидропостам России на основе метеорологических прогнозов модели ЧПП ICON, гидрологической модели GR4J и технологий искусственного интеллекта (https://openforecast.github.io/). Система «ГИС Амур» стала первой в России территориально-распределенной системой, выполняющей автоматические гидрологические прогнозы с помощью, ГИС-ВЕБ-технологий [18]. Однако для Магаданской области такой системы не существует.

Одной из задач данного исследования является оценка применимости гидрологической модели «Гидрограф» в качестве основы метода краткосрочного прогноза стока в пос. Усть-Омчуг.

Распределенная детерминированная гидрологическая модель «Гидрограф» [37] позволяет рассчитывать характеристики стока и переменные состояния ландшафтов в бассейнах рек зоны распространения многолетней мерзлоты [28]. Использование в качестве входной информации ограниченного числа метеорологических переменных (температура и влажность воздуха, осадки) дает возможность применять модель на малоизученных бассейнах. Модель «Гидрограф» успешно применялась для оценки стока рек малых, средних, крупных бассейнов Российской Арктики, включая рр. Лена, Индигирка, Яна, Колыма и др. [12; 14; 28, 29].

Использование моделей численного прогноза погоды (ЧПП) с заблаговременностью 3–6 и менее часов совместно с методами моделирования формирования стока позволяет выпустить заблаговременный прогноз опасных гидрологических явлений.

В качестве тестовых случаев моделирования ОГЯ приняты ливневые паводки, наблюдавшиеся в бассейне р. Детрин в 2013 и 2019 гг. Для моделирования ливневых паводков был использован прогноз осадков, полученный по модели ЧПП WRF.

Weather Research and Forecasting (WRF) – модель численного прогноза погоды, предназначенная для моделирования атмосферных процессов, широко используется в метеорологических исследованиях и оперативном прогнозе погоды [7]. Модель имеет достаточное разрешение для описания локальной синоптической обстановки – 3 км (0,04°), поэтому она была выбрана для апробации методики оценки характеристик стока с помощью модели «Гидрограф» на 3- и 6-часовом интервале. Модель запускалась на начальных данных прогноза глобальной модели ЧПП GFS/NCEP с заблаговременностью прогноза на каждые сутки 3 и 6 ч.

Параметризация гидрологической модели «Гидрограф» в бассейне р. Детрин. Ранее параметризация модели «Гидрограф» для объектов в бассейне р. Колымы проводилась на данных Колымской водно-балансовой станции (1947–1997 гг.) [29]. К настоящему моменту накоплены новые данные на стационаре Анмангындинская наледь [30]. Оба объекта считаются репрезентативными для условий горной криолитозоны Северо-Востока.

На основе данных стационаров геокриологические процессы и режим формирования стока в бассейне р. Детрин условно в целях моделирования можно разделить на четыре основных типа.

На склонах северной экспозиции с редколесьем и сфагново-лишайниковой растительностью, а также в долинах ручьев, где распространены заболоченные леса, сразу после снеготаяния весной талая вода стекает по поверхности мерзлой почвы. Небольшая ее часть в этот период проникает в поры мерзлого грунта, замерзает там и затем вновь переходит в жидкую фазу по мере протаивания деятельного слоя. Сфагново-лишайниковый напочвенный покров является хорошим теплоизолятором, поэтому глубина протаивания мала (до 0,5–0,7 м), а мерзлый горизонт льдистый и плохо проводит влагу. Летнее оттаивание льдистого грунта обеспечивает увлажненность мхов независимо от осадков.

На водоразделах и в верхних частях склонов в пределах распространения каменных осыпей весенние талые воды свободно проникают в мерзлый грунт, и накопленные в нем «запасы холода» практически полностью расходуются на образование льда, занимающего небольшую долю порового пространства. По приближенным расчетам [3], максимально возможная льдистость достигает 5 %, что при пористости 0,35 составляет около 15 % пространства пор. К полному сходу снега в слое от поверхности до мерзлого водоупора температура отложений близка к нулевой, и они сохраняют высокую проницаемость. По мере дальнейшего прогревания грунта ледяные

включения вытаивают, стекающая вниз вода частично формирует быстрый грунтовый сток, частично фиксируется на мерзлом водоупоре и образует лед, полностью занимающий поры грунта. Глубина промерзания составляет до 2 м. Максимальная водоудерживающая способность каменной осыпи мала, поэтому летне-осенние осадки стекают по мерзлотному водоупору с минимальными потерями.

Средние части южных склонов, покрытые зарослями кедрового стланика и типичной для горной тундры растительностью, характеризуются схожими с каменными осыпями условиями, однако здесь необходимо учитывать влияние растительного покрова.

В долинах ручьев и рек распространены лиственничные леса и редколесья с густым мохово-лишайниковым покровом, здесь часто встречаются талики, а в случае распространения мерзлых пород в связи с близостью водотоков мерзлота имеет высокую температуру.

Схематизация бассейна реки Детрин – выделение четырех основных стокоформирующих комплексов (СФК) – проведена согласно описанию выше (рис. 4). Бассейн был покрыт сеткой расчетных точек (РТ), соответствующей узлам сетки модели ЧПП. Каждой РТ соответствует один СФК.

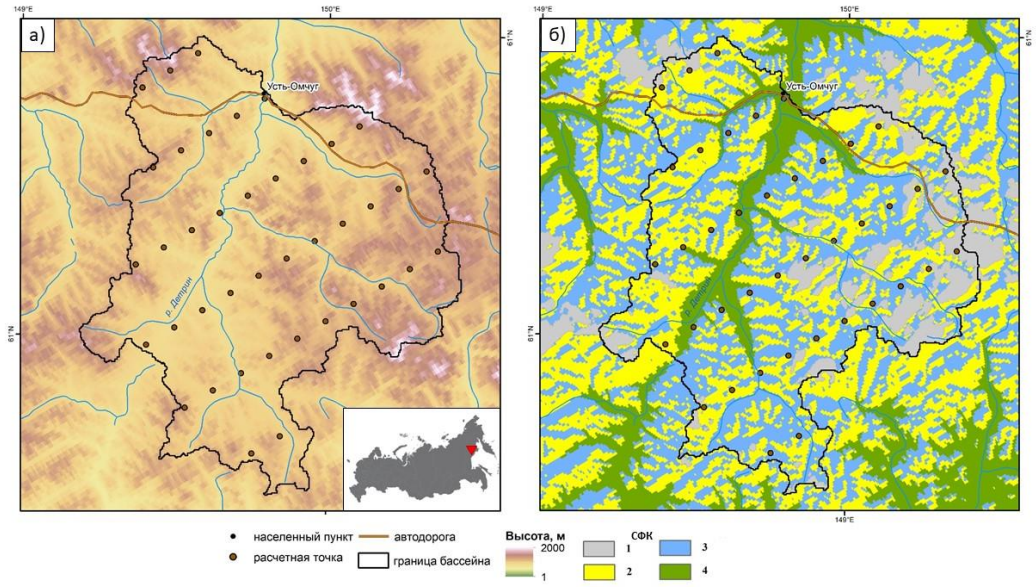


Рис. 4. Схема бассейна р. Детрин:
а) рельеф бассейна; б) стокоформирующие комплексы:
1 – гольцы, 2 – склоны южной экспозиции, 3 – склоны северной экспозиции, 4 – речные долины
Fig. 4. Scheme of the Detrin River basin:
a) basin relief; б) runoff formation complexes:
1 – rocky talus, 2 – south-oriented slopes, 3 – north-oriented slopes, 4 – river valleys

Для учета неравномерности распределения осадков в горном бассейне и общей тенденции повышения количества осадков с высотой местности при интерполяции метеорологических данных из метеостанции Усть-Омчуг в расчетные точки их величина корректировалась с учетом высотных градиентов, полученных на основе материалов наблюдений Колымской водно-балансовой станции [11]. Такой подход в целом позволяет рассчитывать адекватное среднемноголетнее годовое распределение элементов водного баланса для горного бассейна, однако не решает проблему неоднородности выпадения осадков по территории.

Верификация модели «Гидрограф» за период 1966–2023 гг. Для верификации модели «Гидрограф» проведено непрерывное моделирование стока р. Детрин с суточным разрешением за период 1966–2023 гг. (период наличия гидрометеорологических данных) с использованием данных метеорологической станции Усть-Омчуг. Получены основные характеристики водного баланса, рассчитаны значения критерия эффективности Нэша-Сатклиффа (NS), построены гидрографы стока (табл. 1, рис. 5).

Анализ результатов расчета показал, что во внутригодовом разрезе отмечается завышение стока половодья, особенно в маловодные годы. Отдельные паводки как занижаются, так и завышаются, что, скорее всего, связано с выпадением локальных ливней в горных условиях, которые остаются не охваченными наблюдениями метеорологической станции, расположенной в гидрологическом створе. Рассчитанные максимальные ежедневные расходы воды хорошо согласуются по времени подъема и спада пиков. Отклонение максимальных рассчитанных и наблюденных расходов воды в среднем составляет 26 % в сторону завышения величин моделью. Медианная величина критерия эффективности NS для суточных расходов воды достигает 0,59. Наблюденный и рассчитанный среднемноголетний годовой слой стока за 1966–2023 гг. составил 291 и 325 мм соответственно (отклонение 12 %).

Таблица 1.
Table 1

Рассчитанные и наблюденные характеристики годового водного баланса и критерий Нэша-Сатклиффа, р. Детрин – устье р. Омчуг, 1966–2023 гг.
Simulated and observed annual water balance characteristics and the Nash-Sutcliffe criteria, the Detrin River – the mouth of the Omchug River, 1966–2023

Yo	*Ys*	*P*	*E*	*Qo*	*Qs*	*NS (av, med, max, min)*
291	325	458	135	1080	1368	0,21/0,59/0,89/–4,27

Примечания: Yo и Ys – наблюденный и рассчитанный среднемноголетний годовой слой стока, мм; P – осадки, мм; E – испарение, мм; Qo и Qs – максимальный среднесуточный наблюденный и рассчитанный расход, м^3/с; av – среднее значение NS; med – медианная величина критерия эффективности NS; max и min – максимальное и минимальное значение NS.
Notes: Yo and Ys – the observed and calculated average annual runoff layer, mm; P – precipitation, mm; E – evaporation, mm; Qo and Qs – the maximum average daily observed and calculated flow, m^3/s; av – the average NS value; med – the median NS efficiency criterion value; max and min – the maximum and minimum NS values.

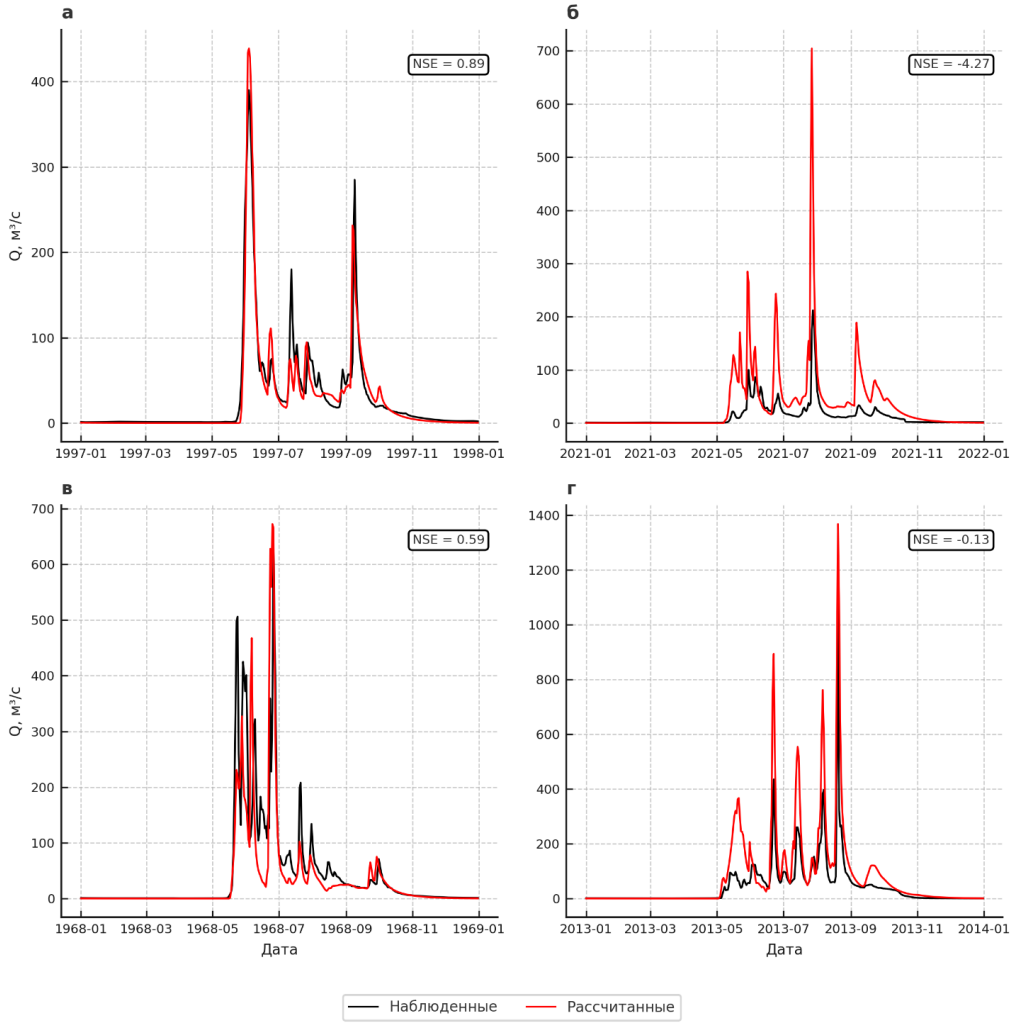


Рис. 5. Пример рассчитанных и наблюденных гидрографов стока в бассейне р. Детрин, 1966–2023 гг.:
а) год с максимальным критерием NS (0,89) – 1997; б) год с минимальным NS (–4,27) – 2021;
в) год с медианным NS (0,59) – 1968; г) год с максимальным наблюденным расходом воды, NS (–0,13) – 2013
Fig. 5. Example of simulated and observed streamflow hydrographs in the Detrin River basin, 1966–2023:
a) year with the maximum NS criterion (0.89) – 1997; б) year with the minimum NS (-4.27) – 2021;
в) year with the median NS (0.59) – 1968; г) year with the maximum observed discharge, NS (-0.13) – 2013

На рисунке 5 (б, г) – в годы с отрицательными значениями критерия NS – можно отметить хорошее совпадение фаз гидрографа и значительное превышение рассчитанного стока над наблюденным в отдельные паводки. Это связано с неравномерностью выпадения осадков на территории горного бассейна, которую невозможно учесть при использовании данных единственной метеорологической станции.

На основе данных об осадках, полученных в 2024 г. в пунктах наблюдений на высоте 744 и 1027 м в бассейне р. Анмангында (правый приток р. Детрин), и данных м/с Усть-Омчуг (545 м) было проведено сравнение суточных величин осадков при условии, что хотя бы в одном пункте выпало 10 или более мм. В поселке Усть-Омчуг может выпадать на 16 мм больше или на 33 мм меньше, чем в горах, в одну и ту же дату. Так, в июле 2024 года вдоль Тенькинской трассы на 137–159 км за двое суток выпало от 45 до 70 мм, в то время как на метеостанции в поселке – всего 10 мм. Обратная ситуация наблюдалась в середине сентября 2024 г. – на метеостанции выпало 26 мм, а на высоте более 1000 м только 10 мм (рис. 6).

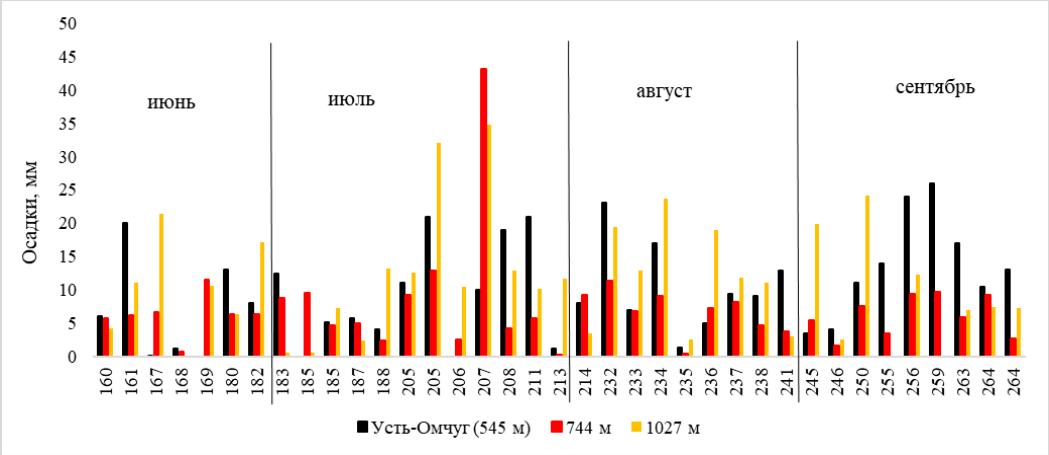


Рис. 6. Сравнение осадков на метеорологической станции Усть-Омчуг
и пунктах мониторинга осадков в горных условиях, бассейн р. Детрин, 2024 г.
Fig. 6. Comparison of daily precipitation at the Ust-Omchug meteorological station
and precipitation gauges in mountainous conditions, Detrin River basin, 2024

Результаты моделирования стока с использованием модели «Гидрограф» можно признать удовлетворительными. Погрешность расчета связана с недостаточной информацией о количестве осадков, выпадающих в горах, что не раз отмечалось в других работах [9; 10; 13; 15; 19; 37], а также с недоучетом доли участия подземных вод в питании реки и влияния нарушенных ландшафтов [15] и наледей [10] на формирование стока.

Моделирование стока реки Детрин на основе данных модели ЧПП. Использование моделей ЧПП с заблаговременностью 3–6 и менее часов совместно с методами моделирования формирования стока позволяет выпустить заблаговременный прогноз опасных гидрологических явлений.

На примере бассейна реки Детрин с использованием данных метеорологических станций и прогноза модели WRF рассчитаны гидрографы стока за 2013–2022 гг., в том числе гидрограф исторического паводка 2013 г. На основе наблюденных расходов воды проведена верификация результатов «прогноза» и оценка применимости комплекса моделей «Гидрограф» – WRF в бассейне р. Детрин.

На рисунке 7 представлены результаты моделирования гидрографов стока для р. Детрин – пос. Усть-Омчуг за 2013 г. Зеленым цветом показан гидрограф стока, полученный с использованием данных модели WRF с заблаговременностью 1 сутки. Можно отметить несоответствие наблюденных и рассчитанных расходов весеннего половодья, то есть завышенных снегозапасов. В периоды летних паводков фазы максимальных расходов совпадают, однако расход экстремального паводка в августе 2013 г. завышен в полтора раза. Красным цветом показан гидрограф стока, рассчитанный на основе данных метеорологической станции Усть-Омчуг. Интерполяция данных в расчетные точки производится с учетом высотных градиентов температуры воздуха и осадков. В период июля-августа 2013 года рассчитанный сток превышает наблюденный, в период паводка в августе 2013 г. максимальный расход превышен на 20 %. Синим цветом показан гидрограф стока, рассчитанный на основе комбинирования зимних метеоданных по метеостанции и летних данных по модели WRF.

На рисунке 8 представлены результаты моделирования гидрографов стока для р. Детрин – пос. Усть-Омчуг в 2019 г. В этот период доступны данные WRF заблаговременностью от 1 до 4 суток. Гидрографы стока как по данным WRF, так и по данным метеостанции значительно превышают наблюденные величины. Наиболее значительные отклонения характерны для периода половодья, а также периода осенней межени, во всех случаях рассчитанные значения более чем в два раза выше наблюденных. Заблаговременность прогноза метеорологических данных никак не влияет на результаты прогноза стока.

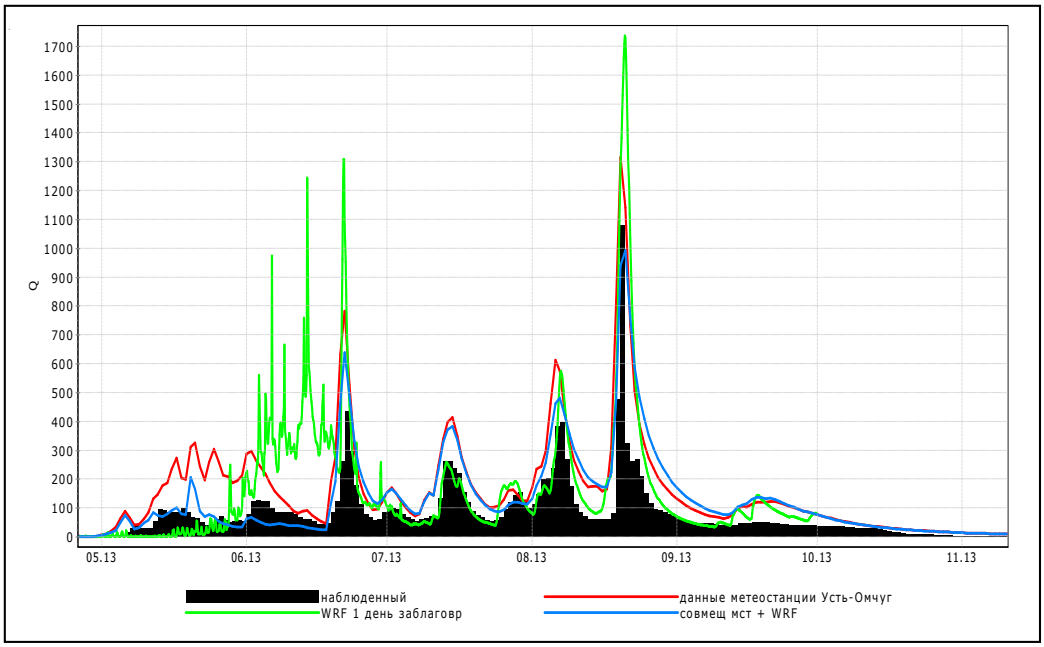


Рис. 7. Рассчитанные и наблюденный гидрографы стока в бассейне р. Детрин, 2013 г.
с использование данных WRF заблаговременностью 1 сутки и данных метеорологической станции Усть-Омчуг
Fig. 7. Simulated and observed streamflow hydrographs in the Detrin River basin, 2013
using WRF data with a lead time of 1 day and in advance and data from the Ust-Omchug meteorological station

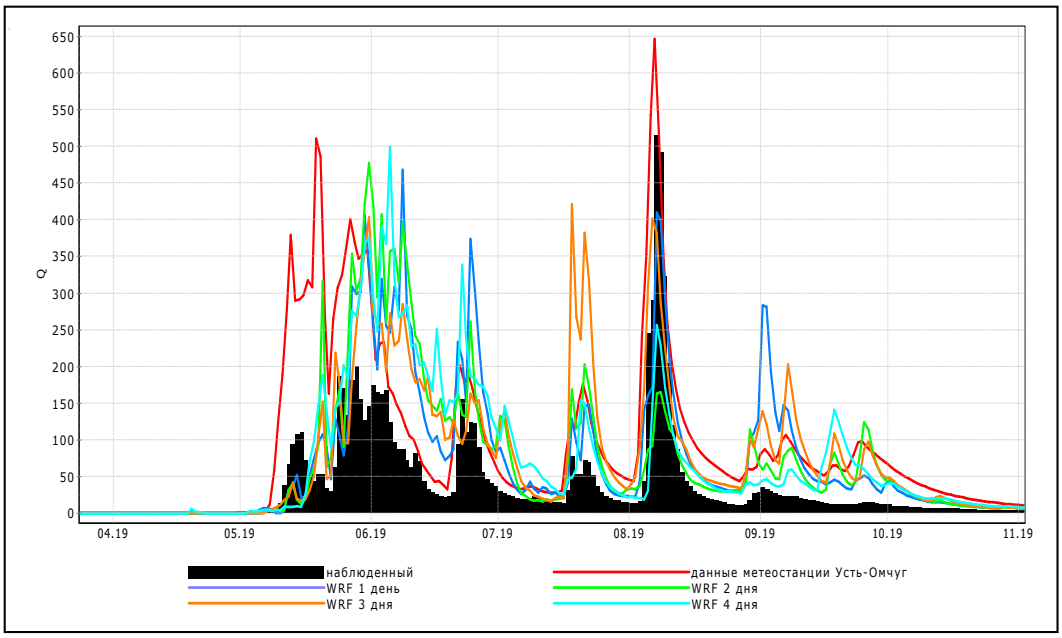


Рис. 8. Рассчитанные и наблюденный гидрографы стока в бассейне р. Детрин, 2019 г.
с использование данных WRFзаблаговременностью 1–4 сутки
и рядов данных метеорологической станции Усть-Омчуг
Fig. 8. Simulated and observed streamflow hydrographs in the Detrin River basin, 2019
using WRF data with a lead time of 1–4 days and data from the Ust-Omchug meteorological station

Анализ результатов показал, что запас воды в снежном покрове, по данным модели WRF, значительно завышен и не позволяет точно моделировать период половодья. Данные модели WRF позволяют адекватно воспроизводить сроки прохождения летних паводков, однако значительно завышают их величину. Несмотря на удовлетворительное качество моделирования стока в исторический период (период верификации), в современный период модель «Гидрограф» значительно завышает рассчитанные величины расходов воды как по данным модели WRF, так и метеорологической станции.

В целом результаты работы подтверждают принципиальную возможность применения метода детерминированного гидрологического моделирования для расчета срочных максимальных расходов воды при

использовании данных глобальных и региональных моделей прогноза погоды на территории Магаданской области. Однако при образовании локальных конвективных ячеек, которые модели ЧПП не могут воспроизвести, оценка максимального количества осадков, а следовательно, и расходов воды как завышается, так и занижается. Для повышения качества расчета рекомендуется использовать ансамбль моделей прогнозирования погоды и данные метеорологических станций.

Выводы

Опасные гидрологические явления на реках Детрин и Омчуг наблюдаются в пос. Усть-Омчуг (Магаданская область) в среднем каждые пять лет.

На основе данных гидрометеорологических наблюдений сети Росгидромет показано, что на территории Тенькинского района происходит изменение климата, в том числе увеличение осадков и водности рек в летне-осенний период. По данным м/с Усть-Омчуг, за период 1967–2024 гг. произошло увеличение годового количества осадков на 51 мм (16 %). Основной вклад в увеличение жидких осадков внесли осадки в августе (прирост на 50 %). В летне-осенний период ежегодно наблюдается превышение количества осадков относительно нормы 1967–1991 гг. на 2–151 %. Такие изменения будут способствовать увеличению стока в конце лета – начале осени. Прогноз изменения количества осадков на 2041–2060 гг. в сравнении с периодом 1981–2010 гг. по данным моделей климата также показал, что ожидается рост годовой суммы осадков на 10–15 % и более, а также увеличение годового стока рек на 30 % и более.

С целью оценки применимости гидрологической модели «Гидрограф» как ядра оперативной системы прогноза паводков в пос. Усть-Омчуг была проведена параметризация и верификация модели на основе исторических данных. Моделирование стока на суточном интервале за период с 1966 по 2023 г. показало, что отклонение расчетных величин среднемноголетнего годового стока от наблюденных не превышает 12 %, а медианный коэффициент Нэша – Сатклиффа за весь период составляет 0,59. В условиях ограниченности данных результаты моделирования приняты удовлетворительными.

Для оценки характеристик паводков 2013 и 2019 гг., которые нанесли значительный ущерб пос. Усть-Омчуг, использовались данные наблюдений метеорологической станции и модели численного прогноза погоды WRF. Показано, что модель WRF значительно завышает количество твердых осадков, что негативно сказывается на результатах прогноза стока в период половодья. Несмотря на удовлетворительное воспроизведение сроков выпадения значительных сумм жидких осадков, их количество сильно варьируется и не всегда совпадает с наблюденными данными.

На примере реки Детрин выделяются основные факторы формирования опасных дождевых паводков в горной криолитозоне Дальнего Востока, среди них – выпадение значительных сумм осадков в результате циклонов с длительным периодом существования, изменение климата и увеличение количества осадков в летний и осенний период, негативное воздействие горнодобывающей деятельности на состояние пойм и русел рек.

Неравномерное выпадение осадков в горных условиях и редкая сеть метеорологических станций значительно уменьшает заблаговременность и точность прогноза опасных гидрологических явлений. Для повышения надежности прогностической системы и учета разнообразия погодных условий необходимо применение ансамблевого подхода на основе использования входных данных множества гидрометеорологических моделей.

Библиографический список

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) : сайт. URL: https://gmvo.skniivh.ru/ (дата обращения: 21.09.2025)

2. *Алексеевский Н. И., Магрицкий Д. В., Михайлов В. Н.* Антропогенные и естественные изменения гидрологических ограничений для природопользования в дельтах рек Российской Арктики // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 1. С. 14–31. EDN: TRKBFR

3. *Банцекина Т. В.* Особенности гидротермического режима слоя сезонного протаивания крупнообломочных склоновых отложений в весенне-летний период (на примере Верхнеколымского нагорья): автореф. дис. … канд. геогр. наук / Институт мерзлотоведения СО РАН. Якутск, 2003. 23 с. EDN: ZNOUYD

4. *Болгов М. В., Борщ С. В., Хазиахметов Р. М.* Опасные гидрологические явления: методы анализа, расчета и прогнозирования, смягчение негативных последствий // Вода и экология: проблемы и решения: тезисы докладов VII Всероссийского гидрологического съезда (Санкт-Петербург, 19–21 ноября 2013 г.). СПб, 2013. С. 6–12.

5. *Борщ С. В., Симонов Ю. А., Христофоров А. В.* Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра РФ. Выпуск 356. Система прогнозирования паводков и раннего оповещения о наводнениях на реках Черноморского побережья Кавказа и бассейна Кубани. М.: ТРИАДА ЛТД, 2015. 247 с.

6. *Бураков Д. А., Карепова Е. Д., Шайдуров В. В.* Математическое моделирование стока: теоретические основы, современное состояние, перспективы // Вестник Красноярского государственного университета. Гуманитарные науки. 2006. № 4. С. 3–19. EDN: YZMMMX

7. *Вербицкая Е. М., Романский С. О.* Результаты испытаний краткосрочных оперативных прогнозов мезомасштабной модели WRF-ARW «ХАБ-15» в пунктах Дальневосточного региона России // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. 2016. № 43. С. 32–62. EDN: XACOUZ

8. *Гарцман Б. И.* Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска. Владивосток: Дальнаука, 2008. 223 с. ISBN: 978-5-8044-0967-9 EDN: QKICTT

9. *Жунусова О. Р., Нестерова Н. В., Макарьева О. М.* Моделирование максимальных характеристик стока малых рек горной криолитозоны на основе данных плювиографов // Арктика и Антарктика. 2024. № 4. С. 157–173. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.4.72657 EDN: YUMZKE

10. *Землянскова А. А., Макарьева О. М.* Моделирование процессов формирования стока рек горной криолитозоны северо-востока России с наледным питанием на примере р. Анмангында // Арктика и Антарктика. 2024. № 2. С. 1–20. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.2.69780 EDN: EAMLTK

11. *Макарьева О. М., Лебедева Л. С., Виноградова Т. А.* Моделирование процессов формирования стока на малых горных водосборах криолитозоны (по материалам Колымской водно-балансовой станции) // Криосфера Земли. 2020. Т 24, № 1. С. 43–56. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-1(43-56) EDN: UYVYJJ

12. *Макарьева О. М., Нестерова Н. В., Виноградова Т. А., Бельдиман И. Н., Колупаева А. Д.* Расчет характеристик катастрофических паводков неизученной реки Цемес (г. Новороссийск, Черноморское побережье России) на основе гидрологической модели «Гидрограф» // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2019. Т. 64, № 1. С. 24–43. DOI: 10.21638/spbu07.2019.102 EDN: TMRZMD

13. *Мотовилов Ю. Г., Гельфан А. Н.* Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. М.: Институт водных проблем РАН, 2018. 300 с. DOI: 10.31857/S9785907036222000001 ISBN: 978-5-907036-22-2 EDN: VWLMHQ

14. *Нестерова Н. В., Макарьева О. М., Виноградова Т. А., Лебедева Л. С.* Моделирование процессов формирования стока зоны Байкало-Амурской магистрали на основе данных полигона «Могот» // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. № 1–2. С. 18–36. DOI: 10.35567/1999-4508-2018-1-2 EDN: YUVQHP

15. *Никитина П. А., Шихов А. Н., Макарьева О. М., Землянскова А. А., Нестерова Н. В.* Процессы формирования стока рек криолитозоны в условиях горнодобывающей деятельности в речных долинах (на примере добычи золота в бассейне р. Сусуман, Магаданская область) // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2023. Т. 5, № 3. С. 244–255. DOI: 10.34753/HS.2023.5.3.244 EDN: HEZEMC

16. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1, 2. М.: Росгидромет, 2008. URL: http://climate2008.igce.ru/ (дата обращения: 21.09.2025)

17. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Магаданской области на 15.09.2022 (от 14.01.2021 г. № 049–00016–21–00). СПб: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2021.

18. *Фролов А. В., Асмус В. В., Борщ С. В., Вильфанд Р. М., Жабина И. И., Затягалова В. В., Кровотынцев В. А., Кудрявцева О. И., Леонтьева Е. А., Симонов Ю. А., Степанов Ю. А.* «ГИС Амур»: система мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения о наводнениях // Метеорология и гидрология. 2016. № 3. С. 5–21. EDN: VPFJSB

19. *Хамутова М. В., Кушников В. А., Богомолов А. С., Резчиков А. Ф.* Модели и методы прогнозирования данных системы управления процессами подготовки к наводнению и ликвидации его последствий // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2023): труды XVI междунар. конф. (Москва, 26–28 сентября 2023 г.). М., 2023. С. 1508–1514. DOI: 10.25728/mlsd.2023.1508 EDN: BAJKAY

20. *Ayzel G., Abramov D.* OpenForecast: An Assessment of the Operational Run in 2020–2021 // Geosciences. 2022. Vol. 12, No. 2. DOI: 10.3390/geosciences12020067 EDN: XDIOEG

21. Climate Data Store : website. URL: https://cds.climate.copernicus.eu/ (Assessed 27 October 2025)

22. European Flood Awareness System (EFAS) : website. URL: https://www.copernicus.eu/en/european-flood-awareness-system (дата обращения: 27.10.2025)

23. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge / V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani et al. New York: Cambridge University Press, 2023. 2391 p.

24. *Langer M., Nitzbon J., Groenke B., Assmann L. M., Schneider von Deimling T., Stuenzi S. M., Westermann S.* The evolution of Arctic permafrost over the last 3 centuries from ensemble simulations with the CryoGridLite permafrost model // The Cryosphere. 2024. Vol. 18, No. 1. P. 363–385. DOI: 10.5194/tc-18-363-2024 EDN: LZUIIR

25. *Lisina A. A., Krylenko I. N., Kalugin A. S., Motovilov Yu. G., Sazonov A. A., Frolova N. L.* Assessment of the Kolyma Runoff under current climate changes // Water Resources. 2023. Vol. 50, No. 3. P. 318–322. DOI: 10.1134/S0097807823700513 EDN: RLFTUW

26. *Lovato T., Peano D., Butenschön M., Materia S., Iovino D., Scoccimarro E., Galli G., Fogli P. G., Cherchi A., Bellucci A., Alessandri A., Di Pietro P., Palermo F., Sanna A., Sclauzero G., Solidoro C., Masina S., Gualdi S., Navarra A.* CMIP6 simulations with the CMCC Earth System Model (CMCC-ESM2) // Journal of Advances in Modeling Earth Systems. 2022. Vol. 14, No. 3. DOI: 10.1029/2021MS002814 EDN: WZOTFL

27. Madsen K. K., Harrison F. A., Markwardt C. B., An H., Grefenstette B. W., Bachetti M., Miyasaka H., Kitaguchi T., Bhalerao V., Boggs S., Christensen F. E., Craig W. W., Forster K., Fuerst F., Hailey C. J., Perri M., Puccetti S., Rana V., Stern D., Walton D. J., Westergaard N. J., Zhang W. W. Calibration of the NuSTAR high-energy focusing X-ray telescope // The Astrophysical Journal Supplement Series. 2015. Vol. 220, No. 1. DOI: 10.1088/0067-0049/220/1/8 EDN: VGFMWD

28. *Makarieva O. M., Nesterova N., Haghighi A. T., Ostashov A., Zemlyanskova A.* Challenges of hydrological engineering design in degrading permafrost environment of Russia // Energies. 2022. Vol. 15, No. 7. DOI: 10.3390/en15072649 EDN: UMPTEG

29. *Makarieva O. M., Nesterova N., Lebedeva L., Sushansky S.* Water balance and hydrology research in a mountainous permafrost watershed in upland streams of the Kolyma River, Russia: a database from the Kolyma Water-Balance Station, 1948–1997 // Earth System Science Data. 2018. Vol. 10, No. 2. P. 689–710. DOI: 10.5194/essd-10-689-2018 EDN: UYBVMO

30. *Makarieva O M.., Zemlianskova A., Abramov D., Nesterova N., Ostashov A.* Geocryological Conditions of Small Mountain Catchment in the Upper Kolyma Highland (Northeastern Asia) // Geosciences. 2024. Vol. 14, No. 4. DOI: 10.3390/geosciences14040088 EDN: MKMKAU

31. *Mann H. B.* Nonparametric tests against trend // Econometrica. 1945. Vol. 13. P. 245–259.

32. *Meier W. N., Stroeve J.* An updated assessment of the changing Arctic sea ice cover // Oceanography. 2022. Vol. 35, No. 3–4. P. 10–19. DOI: 10.5670/oceanog.2022.114 EDN: WGCTFW

33. *Rasheed M. W., Tang J., Sarwar A., Shah S., Saddique N., Khan M. U., Imran Khan M., Nawaz S., Shamshiri R. R., Aziz M., Sultan M.* Soil moisture measuring techniques and factors affecting the moisture dynamics: A comprehensive review // Sustainability. 2022. Vol. 14, No. 18. DOI: 10.3390/su141811538 EDN: EJMTDX

34. *Shikhov A., Ilyushina P., Makarieva O., Zemlianskova A., Mozgina M.* Satellite-based mapping of gold-mining-related land-cover changes in the Magadan Region, Northeast Russia // Remote Sensing. 2023. Vol. 15, No. 14. DOI: 10.3390/rs15143564 EDN: QLDJUS

35. *Shiklomanov A., Lammers R.* River ice responses to a warming Arctic – Recent evidence from Russian rivers // Environmental Research Letters. 2019. Vol. 9, No. 3. DOI: 10.1088/1748-9326/9/3/035008 EDN: BLSVHW

36. *Streletskiy D. A., Suter L. J., Shiklomanov N. I., Porfiriev B. N., Eliseev D. O.* Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost // Environmental Research Letters. 2019. Vol. 14, No. 2. DOI: 10.1088/1748-9326/aaf5e6 EDN: AHATIK

37. *Vinogradov Y. B., Semenova O. M., Vinogradova T. A.* An approach to the scaling problem in hydrological modelling: The deterministic modelling hydrological system // Hydrological Processes. 2010. Vol. 25. P. 1055–1073. DOI: 10.1002/hyp.7901 EDN: OHZSJV

38. *Voldoire A., Saint-Martin D., Senesi S., Decharme B., Alias A., Chevallier M., Valcke S., Beau I., Belamari S., Berthet S., Cassou C., Cattiaux J., Cauquoin A., Centurioni L., Christophe Y., Colin J., Delire C., Deque M., Douville H., Ethe C., Geoffroy O., Gueremy J. F., Michou M., Msadek R., Nabat P., Nogues-Paegle J., Peano D., Ribes A., Salas-y-Mélia D., Sanchez E., Terray L., Voldoire A.* Evaluation of CMIP6 DECK experiments with CNRM-CM6-1 // Journal of Advances in Modeling Earth Systems. 2019. Vol. 11. P. 2177–2213. DOI: 10.1029/2019MS001683 EDN: BSYOTJ

39. *Volodin E. M.* Possible climate change in Russia in the 21st century based on the INM-CM5-0 climate model // Russian Meteorology and Hydrology. 2022. Vol. 47. P. 327–333. DOI: 10.52002/0130-2906-2022-5-5-13 EDN: OFXMNA

40. *Young S. S.* Global and regional snow cover decline: 2000–2022 // Climate. 2023. Vol. 11, No. 8. DOI: 10.3390/cli11080162 EDN: TYQBFG

References

1. *Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh ob"ektov* (AIS GMVO) [Automated Information System for State Monitoring of Water Bodies (AIS GMVO)]. (In Russ.) URL: https://gmvo.skniivh.ru/ (Assessed 21 September 2025).

2. Alekseevskii N. I., Magritskii D. V., Mikhailov V. N. Antropogennye i estestvennye izmeneniya gidrologicheskikh ogranichenii dlya prirodopol'zovaniya v del'takh rek Rossiiskoi Arktiki [Anthropogenic and Natural Changes in Hydrological Constraints on Nature Management in River Deltas of the Russian Arctic]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*, 2015, no. 1, pp. 14–31. (In Russ.)

3. Bantsekina T. V. *Osobennosti gidrotermicheskogo rezhima sloya sezonnogo protaivaniya krupnooblomochnykh sklonovykh otlozhenii v vesenne-letnii period (na primere Verkhnekolymskogo nagor'ya)* [Features of the Hydrothermal Regime of the Seasonal Thaw Layer of Course-Detrital Slope Deposits in the Spring–Summer Period (using the Upper Kolyma Upland as an Example)]. Extended abstract of Cand.Sc. dissertation, Institut merzlotovedeniya SO RAN. Yakutsk, 2003, 23 p. (In Russ.)

4. Bolgov M. V., Borshch S. V., Khaziakhmetov R. M. Opasnye gidrologicheskie yavleniya: metody analiza, rascheta i prognozirovaniya, smyagchenie negativnykh posledstvii [Hazardous hydrological phenomena: methods of analysis, calculation and forecasting, mitigation of negative consequences]. In *Voda i ekologiya: problemy i resheniya: Tezisy dokladov VII Vserossiiskogo gidrologicheskogo s"ezda. (Sankt-Peterburg, 19–21 noyabrya 2013 g.)* Saint Peterburg, 2013, pp.6–12. (In Russ.)

5. Borshch S. V., Simonov Yu. A., Khristoforov A. V. *Trudy gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra RF. Vyp. 356. Sistema prognozirovaniya pavodkov i rannego opoveshcheniya o navodneniyakh na rekakh Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza i basseina Kubani* [Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation. Issue 356. Flood forecasting and early warning system for floods on the rivers of the Black Sea coast of the Caucasus and the Kuban basin]. Moscow: TRIADA LTD, 2015. 247 p. (In Russ.)

6. Burakov D. A., Karepova E. D., Shaidurov V. V. Matematicheskoe modelirovanie stoka: teoreticheskie osnovy, sovremennoe sostoyanie, perspektivy [Mathematical modeling of runoff: theoretical foundations, current status, and prospects]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo universiteta. Gumanitarnye nauki*, 2006, no. 4, pp. 3–19. (In Russ.)

7. Verbitskaya E. M., Romanskii S. O. Rezul'taty ispytanii kratkosrochnykh operativnykh prognozov mezomasshtabnoi modeli WRF-ARW "KHAB-15" v punktakh Dal'nevostochnogo regiona Rossii [Results of testing short-term operational forecasts of the mesoscale WRF-ARW "KHAB-15" model at points in the Far East of Russia]. *Rezul'taty ispytaniya novykh i usovershenstvovannykh tekhnologii, modelei i metodov gidrometeorologicheskikh prognozov*, 2016, no. 43, pp. 32–62.

8. Gartsman B. I. *Dozhdevye navodneniya na rekakh yuga Dal'nego Vostoka: metody raschetov, prognozov, otsenok riska* [Rain floods on the rivers of the southern Far East: methods of calculations, forecasts, and risk assessments]. Vladivostok: Dal'nauka, 2008. 223 p. (In Russ.)

9. Zhunusova O. R., Nesterova N. V., Makaryeva O. M. Modeling the maximum runoff characteristics of small rivers in the mountain permafrost zone based on pluviograph data. *Arctic and Antarctic*. 2024, no. 4, pp. 157–173. (In Russ.) DOI: 10.7256/2453-8922.2024.4.72657

10. Zemlyanskova A.A., Makaryeva O.M. Modeling the processes of runoff formation in rivers in the mountain permafrost zone of northeastern Russia with icing feeding on the example of the Anmangynda River. *Arctic and Antarctic*, 2024, no. 2, pp. 1–20. (In Russ.) DOI: 10.7256/2453-8922.2024.2.69780

11. Makarieva O. M., Lebedeva L. S., Vinogradova T. A. Modelling of runoff formation processes at small mountain watersheds in the permafrost zone (by the data of the Kolyma water balance station). *Earth's Cryosphere*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 43–56. (In Russ.) DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-1(43-56)

12. Makarieva, O.M., Nesterova, N.V., Vinogradova, T.A., Beldiman, I.N., Kolupaeva, A.D. Calculation of catastrophic floods characteristics of ungauged Tsemes river (Novorossiysk, the Black sea coast of Russia) on the basis of hydrological model "Hydrograph". *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 2019, vol. 64, no. 1, pp. 24–43. (In Russ.)

13. Motovilov Yu. G., Gel'fan A. N. *Modeli formirovaniya stoka v zadachakh gidrologii rechnykh basseinov* [Runoff Formation Models in River Basin Hydrology Problems]. Moscow: Institut vodnykh problem RAN, 2018. 300 p. (In Russ.)

14. Nesterova N. V., Makaryeva O. M., Vinogradova T. A., Lebedeva L. S. Simulating of the Baikal-Amur railway zone runoff formation on the basis of the Mogot trail ground data. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*, 2018, no. 1, pp. 18–36. (In Russ.) DOI: 10.35567/1999-4508-2018-1-2

15. Nikitina P. A., Shikhov A. N., Makarieva O. M., Zemlianskova A. A., Nesterova N. V. The processes of river runoff formation in the permafrost zone permafrost under mining activity in river valleys (on the example of gold mining in the Susuman river basin, the Magadan region). *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2023, vol. 5, no. 3, pp. 244–255. (In Russ.) DOI: 10.34753/HS.2023.5.3.244

16. *Otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* [Assessment Report on Climate Change and Its Consequences in the Russian Federation]. Vol. 1, 2. Moscow: Rosgidromet, 2008. (In Russ.) URL: http://climate2008.igce.ru/ (Assessed 21 September 2025).

17. *Spravka o sostoyanii i perspektivakh ispol'zovaniya mineral'no-syr'evoi bazy Magadanskoi oblasti na 15.09.2022 (ot 14.01.2021 g. № 049–00016–21–00)* [Information on the Status and Prospects for the Use of the Mineral Resource Base of the Magadan Region as of 15.09.2022 (dated 14.01.2021 No. 049–00016–21–00)]. Saint Peterburg: FGBU «VSEGEI», 2021. (In Russ.)

18. Frolov A. V., Asmus V. V., Zatyagalova V. V., Krovotyntsev V. A., Borshch S. V., Vil'fand R. M., Zhabina I. I., Kudryavtseva O. I., Leont'eva E. A., Simonov Y. A., Stepanov Y. A. Gis-Amur system of flood monitoring, forecasting, and early warning. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2016, no. 3, pp. 5–21. (In Russ.)

19. Khamutova M. V., Kushnikov V. A., Bogomolov A. S., Rezchikov A. F. Models and methods for forecasting data for the control system for flood preparation and liquidation processes. In *Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem (MLSD'2023): Trudy XVI Mezhdun. konf. (Moskva, 26–28 sentyabrya 2023 g.).* Moscow, 2023, pp. 1508–1514. (In Russ.) DOI: 10.25728/mlsd.2023.1508

20. Ayzel G., Abramov D. OpenForecast: An Assessment of the Operational Run in 2020–2021. *Geosciences*, 2022, vol. 12, no. 2. DOI: 10.3390/geosciences12020067

21. Climate Data Store. URL: https://cds.climate.copernicus.eu/ (Assessed 27 October 2025).

22. European Flood Awareness System (EFAS). URL: https://www.copernicus.eu/en/european-flood-awareness-system (Assessed 27 October 2025).

23. Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A. et al. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge. New York: Cambridge University Press, 2023. 2391 p.

24. Langer M., Nitzbon J., Groenke B., Assmann L. M., Schneider von Deimling T., Stuenzi S. M., Westermann S. The evolution of Arctic permafrost over the last 3 centuries from ensemble simulations with the CryoGridLite permafrost model. *The Cryosphere*, 2024, vol. 18, no. 1, pp. 363–385. DOI: 10.5194/tc-18-363-2024

25. Lisina A. A., Krylenko I. N., Kalugin A. S., Motovilov Yu. G., Sazonov A. A., Frolova N. L. Assessment of the Kolyma Runoff under current climate changes. *Water Resources*, 2023, vol. 50, no. 3, pp. 318–322. DOI: 10.1134/S0097807823700513

26. Lovato T., Peano D., Butenschön M., Materia S., Iovino D., Scoccimarro E., Galli G., Fogli P. G., Cherchi A., Bellucci A., Alessandri A., Di Pietro P., Palermo F., Sanna A., Sclauzero G., Solidoro C., Masina S., Gualdi S., Navarra A. CMIP6 simulations with the CMCC Earth System Model (CMCC-ESM2). *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 2022, vol. 14, no. 3. DOI: 10.1029/2021MS002814

27. Madsen K. K., Harrison F. A., Markwardt C. B., An H., Grefenstette B. W., Bachetti M., Miyasaka H., Kitaguchi T., Bhalerao V., Boggs S., Christensen F. E., Craig W. W., Forster K., Fuerst F., Hailey C. J., Perri M., Puccetti S., Rana V., Stern D., Walton D. J., Westergaard N. J., Zhang W. W. Calibration of the NuSTAR high-energy focusing X-ray telescope. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 2015, vol. 220, no. 1. DOI: 10.1088/0067-0049/220/1/8

28. Makarieva O. M., Nesterova N., Haghighi A. T., Ostashov A., Zemlyanskova A. Challenges of hydrological engineering design in degrading permafrost environment of Russia. *Energies*, 2022, vol. 15, no. 7. DOI: 10.3390/en15072649

29. Makarieva O. M., Nesterova N., Lebedeva L., Sushansky S. Water balance and hydrology research in a mountainous permafrost watershed in upland streams of the Kolyma River, Russia: a database from the Kolyma Water-Balance Station, 1948–1997. *Earth System Science Data*, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 689–710. DOI: 10.5194/essd-10-689-2018

30. Makarieva O. M., Zemlianskova A., Abramov D., Nesterova N., Ostashov A. Geocryological Conditions of Small Mountain Catchment in the Upper Kolyma Highland (Northeastern Asia). *Geosciences*, 2024, vol. 14, no. 4. DOI: 10.3390/geosciences14040088

31. Mann H. B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 1945, vol. 13, pp. 245–259.

32. Meier W. N., Stroeve J. An updated assessment of the changing Arctic sea ice cover. *Oceanography*, 2022, vol. 35, no. 3–4, pp. 10–19. DOI: 10.5670/oceanog.2022.114

33. Rasheed M. W., Tang J., Sarwar A., Shah S., Saddique N., Khan M. U., Imran Khan M., Nawaz S., Shamshiri R. R., Aziz M., Sultan M. Soil moisture measuring techniques and factors affecting the moisture dynamics: A comprehensive review. *Sustainability*, 2022, vol. 14, no. 18. DOI: 10.3390/su141811538

34. Shikhov A., Ilyushina P., Makarieva O., Zemlianskova A., Mozgina M. Satellite-based mapping of gold-mining-related land-cover changes in the Magadan Region, Northeast Russia. *Remote Sensing*, 2023, vol. 15, no. 14. DOI: 10.3390/rs15143564

35. Shiklomanov A., Lammers R. River ice responses to a warming Arctic – Recent evidence from Russian rivers. *Environmental Research Letters*, 2019, vol. 9, no. 3. DOI: 10.1088/1748-9326/9/3/035008

36. Streletskiy D. A., Suter L. J., Shiklomanov N. I., Porfiriev B. N., Eliseev D. O. Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost. *Environmental Research Letters*, 2019, vol. 14, no. 2. DOI: 10.1088/1748-9326/aaf5e6

37. Vinogradov Y. B., Semenova O. M., Vinogradova T. A. An approach to the scaling problem in hydrological modelling: The deterministic modelling hydrological system. *Hydrological Processes*, 2010, vol. 25, pp. 1055–1073. DOI: 10.1002/hyp.7901

38. Voldoire A., Saint-Martin D., Senesi S., Decharme B., Alias A., Chevallier M., Valcke S., Beau I., Belamari S., Berthet S., Cassou C., Cattiaux J., Cauquoin A., Centurioni L., Christophe Y., Colin J., Delire C., Deque M., Douville H., Ethe C., Geoffroy O.,

Gueremy J. F., Michou M., Msadek R., Nabat P., Nogues-Paegle J., Peano D., Ribes A., Salas-y-Mélia D., Sanchez E., Terray L., Voldoire A. Evaluation of CMIP6 DECK experiments with CNRM-CM6-1. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 2019, vol. 11, pp. 2177–2213.

39. Volodin E. M. Possible climate change in Russia in the 21st century based on the INM-CM5-0 climate model. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2022, vol. 47, pp. 327–333. DOI: 10.52002/0130-2906-2022-5-5-13

40. Young S. S. Global and regional snow cover decline: 2000–2022. *Climate*, 2023, vol. 11, no. 8. DOI: 10.3390/cli11080162

Статья поступила в редакцию: 26.11.25, одобрена после рецензирования: 24.12.25, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 26 November 2025; approved after review: 24 December 2025; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах

Эмиль Халильевич Кудяков
Магистрант, лаборант-исследователь,
Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова;
119049, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1
ORCID: 0009-0001-2699-3237

Information about the authors

Emil Kh. Kudyakov
Master's Student, Laboratory Researcher,
Lomonosov Moscow State University;
1, Leninskie gory, Moscow, 119049, Russia
ORCID: 0009-0001-2699-3237

e-mail: kudyakov.emil@mail.ru

Наталия Вадимовна Нестерова
Кандидат технических наук, научный сотрудник,
Санкт-Петербургский государственный университет;
199034, г. Санкт-Петербург, наб. Университетская, д. 7–9
ORCID: 0000-0003-0677-4982

Nataliia V. Nesterova
Candidate of Technical Sciences, Researcher,
St. Petersburg State University;
7–9, Universitetskaya emb., St. Petersburg, 199034, Russia.
ORCID: 0000-0003-0677-4982

e-mail: n.v.nesterova@spbu.ru

Анастасия Александровна Землянскова
Кандидат технических наук, научный сотрудник,
Санкт-Петербургский государственный университет;
199034, г. Санкт-Петербург, наб. Университетская, д. 7–9
ORCID: 0000-0002-2249-5708

Anastasiia A. Zemlianskova
Candidate of Technical Sciences, Researcher,
St. Petersburg State University;
7–9, Universitetskaya emb., St. Petersburg,
199034, Russia.
ORCID: 0000-0002-2249-5708

e-mail: anastasiazemlanskova@gmail.com

Полина Андреевна Никитина
Лаборант-исследователь,
Санкт-Петербургский государственный университет;
199034, г. Санкт-Петербург, наб. Университетская, д. 7–9
ORCID: 0000-0003-2439-2291

Polina A. Nikitina
Laboratory Researcher, St. Petersburg State University;
7–9, Universitetskaya emb., St. Petersburg,
199034, Russia
ORCID: 0000-0003-2439-2291

e-mail: nikitinapolina243@gmail.com

Ольга Михайловна Макарьева
Кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Санкт-Петербургский государственный университет;
199034, г. Санкт-Петербург, наб. Университетская, д. 7–9
ORCID: 0000-0002-2532-4306

Olga M. Makarieva
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher,
St. Petersburg State University;
7–9, Universitetskaya emb., St. Petersburg,
199034, Russia
ORCID: 0000-0002-2532-4306

e-mail: o.makareva@spbu.ru

Вклад авторов
Кудяков Э. Х. – сбор и обработка материала, написание первоначального текста статьи.
Нестерова Н. В. – идея, научное редактирование текста, обработка материала.
Землянскова А. А. – обработка материала, научное редактирование текста.
Никитина П. А. – сбор материала, визуализация данных.
Макарьева О. М. – идея, научное руководство, научное редактирование текста.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors
Emil Kh. Kudyakov – material collection and processing; writing of the initial draft of the article.
Nataliia V. Nesterova – conceptualization; scientific editing of the text; data processing.
Anastasiia A. Zemlianskova – data processing; scientific editing of the text.
Polina A. Nikitina – material collection; data visualization.
Olga M. Makarieva – conceptualization; scientific supervision; scientific editing of the text.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

МЕТЕОРОЛОГИЯ
Научная статья
УДК 551.578.4
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-110-116
EDN: NDUMSR

ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЛЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ В ГИС-ПРИЛОЖЕНИЯХ

Андрей Дмитриевич Крючков ✉, Анна Александровна Поморцева, Илья Александрович Сидоров
Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
✉ candy55man@ya.ru, ORCID: 0000-0002-3693-6025, SPIN-код: 7491-1985, eLibrary AuthorID: 846357

Аннотация. Представлены результаты исследования по восстановлению пространственного распределения характеристик снежного покрова (высоты снега и запасов воды в снеге) на территории Пермского края с использованием методов интерполяции в ГИС-приложениях. На основе данных гидрометеорологических наблюдений за сезоны 2020–2024 гг. выполнена оценка точности восстановления полей для северной, центральной, южной частей региона. Проведено сравнение трех методов интерполяции: Сплайн, Кригинг, Обратно Взвешенные Расстояния (ОВР). Установлено, что метод Кригинга демонстрирует наилучшую точность (ошибки менее 15 %) для северной и центральной частей региона, в то время как метод Сплайна показал значительные ошибки, особенно в южной части и в периоды с неустойчивым снежным покровом. Метод ОВР показывает стабильные, но слабо сглаженные результаты. Для всех трех методов характерна тенденция к занижению расчетных значений по сравнению с фактическими данными измерений. Наибольшие ошибки (до 45 %) в соответствующих рядах данных отмечаются в периоды активного снеготаяния (март-апрель). В пространственном выражении из-за отсутствия достаточного количества исходной информации для южной части Пермского края страдает качество интерполяции при использовании всех рассматриваемых методов. Показано, что все инструменты в среднем занижают влагозапасы. Для Чернушки относительная ошибка Сплайна достигает 33 %, у Кригинга и ОВР – около 20 %. В течение сезона ошибки растут до февраля, затем снижаются, а при снеготаянии снова увеличиваются. Делается вывод о целесообразности применения метода Кригинга как наиболее сбалансированного метода для восстановления пространственных полей снежного покрова в условиях Пермского края.

Ключевые слова: высота снега, влагозапасы, ГИС-приложения, Сплайн, Кригинг, ОВР
Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 24-27-00054.
Для цитирования: Крючков А. Д., Поморцева А. А., Сидоров И. А. Особенности восстановления полей пространственного распределения характеристик снежного покрова на территории Пермского края с помощью инструментов интерполяции в ГИС-приложениях // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 110–116. EDN: NDUMSR DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-110-116

METEOROLOGY
Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-110-116
EDN: NDUMSR

RECONSTRUCTION OF SPATIAL DISTRIBUTION FIELDS OF SNOW COVER CHARACTERISTICS IN PERM KRAI USING INTERPOLATION TOOLS IN GIS APPLICATIONS

Andrey D. Kryuchkov ✉, Anna A. Pomortseva , Iliya A. Sidorov
Perm State University, Perm, Russia
✉ candy55man@ya.ru, ORCID: 0000-0002-3693-6025, SPIN-code: 7491-1985, eLibrary AuthorID: 846357

Abstract. The article presents the results of a study on the reconstruction of the spatial distribution of snow cover characteristics (snow depth and snow water equivalent) in Perm Krai conducted with the use of interpolation methods in GIS applications. Basing on hydrometeorological observation data for the 2020–2024 seasons, we performed an assessment of the accuracy of fields reconstruction for the northern, central, and southern parts of the region. Three interpolation methods were compared: spline, kriging, and inverse distance weighting (IDW). The study has found that the kriging method demonstrates the best accuracy (errors of less than 15 %) for the northern and central parts of the

© Крючков А. Д., Поморцева А. А., Сидоров И. А., 2026
Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

region, while the spline method shows significant errors, especially in the southern part and during periods of unstable snow cover. The IDW method produces stable but slightly smoothed results. All the methods tend to underestimate values compared to actual data. The highest reconstruction errors (up to 45 %) are observed during periods of active snowmelt (March–April). In spatial terms, due to the lack of sufficient source information for the southern part of Perm Krai, the quality of interpolation suffers when using all the methods under consideration. All the tools, on average, understate moisture reserves. For Chernushka, the relative error of the spline approach reaches 33 %, of the kriging approach and IDW – about 20 %. During the season, the errors increase until February, then decrease, and increase again with snowmelt. The conclusion is made about the advisability of using kriging as the most balanced method for reconstructing spatial fields of snow cover in the conditions of Perm Krai.

Keywords: snow depth, snow water equivalent, GIS applications, Spline, Kriging, IDW

Funding. The work was supported financially by the Russian Science Foundation (RSF), project no. 24 27 00054.

For citation: Kryuchkov A. D., Pomortseva A. A., Sidorov I. A. Reconstruction of spatial distribution fields of snow cover characteristics in Perm Krai using interpolation tools in GIS applications. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 110–116. EDN: NDUMSR DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-110-116

Введение

Снежный покров играет важную роль в климатической системе Земли, влияя на радиационный баланс, гидрологический цикл, биогеохимические процессы. Изучение характеристик снежного покрова на региональном уровне, где значительные колебания температуры и количества осадков оказывают существенное влияние на формирование и таяние снега, основано на использовании данных сети гидрометеорологического мониторинга. Такие наблюдения, хотя и являются наиболее точными по сравнению с другими источниками информации, не позволяют в полной мере оценить пространственно-временное распределение характеристик снега в силу редкого и неравномерного расположения наблюдательных подразделений [1–4; 6–10]. Фактические сведения о запасах влаги в снежном покрове получают в результате ландшафтно-маршрутных измерений, которые в силу трудоемкости процесса не могут обеспечить требуемую детализацию по времени, необходимую для качественной оценки региональных климатообразующих факторов. По разным причинам проводимые в наблюдательных подразделениях мероприятия по контролю на маршрутах не всегда соответствуют нормативам. Кроме того, в выборочных рядах бывают пропуски данных, что тоже оказывает влияние на последующий анализ полученной информации [3; 4; 8–10]. Именно поэтому проблема восстановления пространственного распределения характеристик снежного покрова является актуальной задачей в современных географических исследованиях.

При восстановлении данных активно используются различные статистические методы [1; 2; 6], а также инструменты интерполяции данных, например, в геоинформационных технологиях [6; 7; 11]. Современные геоинформационные системы (ГИС) предоставляют широкий спектр инструментов для анализа и визуализации пространственных данных, включая методы интерполяции, позволяющие восстанавливать непрерывные поля характеристик снежного покрова на основе ограниченного числа наблюдений. Однако выбор оптимального метода интерполяции зависит от множества факторов, таких как тип исследуемого объекта, плотность сети наблюдения, наличие рельефных ограничений, требуемая точность результатов.

Цель данной статьи заключается в изучении возможностей и особенностей различных методов интерполяции для восстановления пространственного распределения характеристик снежного покрова на примере Пермского края, который характеризуется большим разнообразием ландшафтных и климатических условий снегонакопления. Рассматриваются основные подходы к выбору оптимальных алгоритмов интерполяции, а также оцениваются преимущества и ограничения каждого из них применительно к условиям региона.

Материалы и методы

В качестве исходных данных использовались материалы наблюдений за характеристиками снежного покрова (высота снега и запасы воды в снеге), проводимых на сети гидрометеорологического мониторинга Пермского края, а также соседних регионов. Рассматривались периоды с октября по май в сезоны 2020–2024 гг. [5]. Изучение высоты снега было основано на среднемесячных данных, влагозапасов – на декадных значениях.

Было определено три станции, для которых в дальнейшем проводилось исследование. На севере региона – Чердынь, в центральной части – Пермь, в южной зоне – Чернушка. Последовательно исключая значения на данных станциях из стартовых параметров, проводилось восстановление полей высоты снежного покрова и влагозапасов в нем с помощью различных инструментов интерполяции, встроенных в программный комплекс ArcGIS. К таким инструментам относятся методы Сплайн, Кригинг, Обратно Взвешенные Расстояния (ОВР) [12].

Инструмент Сплайн создает гибкую поверхность, проходящую через каждую точку данных, используя полиномиальные уравнения. Сплайны хороши для визуализации рельефа местности и моделирования плавных изменений метеорологических характеристик.

Инструмент Кригинг использует статистический подход, который предполагает наличие пространственных корреляций между точками данных и позволяет оценить точность полученных результатов путем вычисления стандартных отклонений. Кригинг применяется там, где важна высокая точность анализа.

Инструмент Обратно Взвешенные Расстояния (ОВР) представлен алгоритмом, основывающимся на предположении, что значения точек вблизи измеренной точки оказывают большее влияние на расчет результата,

чем удаленные точки. Используется для пространственно-распределенных явлений, где имеет значение эффект близости.

В результате проделанной работы были сформированы временные ряды данных с информацией о высоте снега и запасе воды в снежном покрове в точках, соответствующих выбранным станциям, для каждого исследуемого инструмента интерполяции и два ряда на основе ландшафтно-маршрутных наблюдений. Производилось сопоставление фактических и расчетных данных. Произведен расчет абсолютной и относительной ошибок. Относительная ошибка считалась приемлемой, если не превышает 15 %.

Результаты и их обсуждение

При пространственном представлении результатов с точки зрения визуального восприятия полученной информации наиболее качественную картину показывает инструмент Сплайн. Особенностью данного инструмента является способность обеспечивать высокую степень сглаживания, поэтому на картах отсутствуют резкие скачки и изломы линий, характерные, например, для Кригинга.

Кроме того, можно отметить, что в южной и центрально-восточной частях карты, построенной по данным Сплайна (рис. 1а), присутствуют ярко выраженные зоны значений высоты снега, в то время как на карте Кригинга этих зон не наблюдается или они имеют меньшую выраженность.

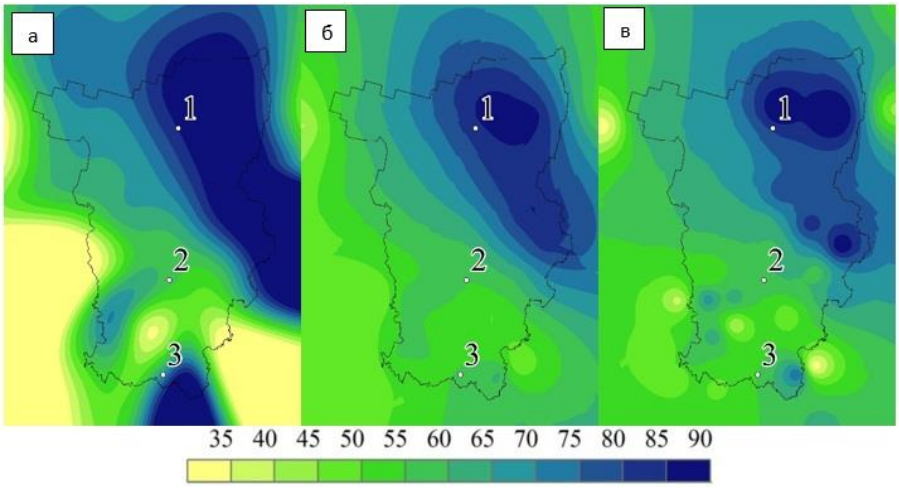


Рис. 1. Пространственное распределение среднемесячных значений высоты снежного покрова для станций Чердынь (1), Пермь (2) и Чернушка (3) за март 2022 г., восстановленных с помощью инструментов Сплайн (а), Кригинг (б) и ОВР (в)
Fig. 1. Spatial distribution of the average monthly snow depth values for the Cherdyn (1), Perm (2), and Chernushka (3) stations for March 2022, reconstructed using the spline (a), kriging (б), and IDW (в) tools

С учетом того, что подобные очаги заметны и на карте ОВР, можно сделать вывод, что Кригинг в данном случае недостаточно хорошо воспроизвел пространственное распределение характеристик. Это объясняется тем, что для работы с инструментом Кригинг необходимо учитывать большое количество входных параметров, которые могут существенно повлиять на итоговый результат. Хотя Кригинг хорошо отражает общие тенденции, форма конечной поверхности определяется исключительно свойствами данных и выбранной моделью вариограммы, а не внешним контролем пользователя.

С другой стороны, на картах Сплайна в областях с низкой плотностью исходных данных отмечаются артефакты – «гребни», которые отсутствуют при использовании Кригинга.

На интерполяцию методом ОВР (рис. 1в) также влияют такие параметры, как распределение или плотность исходных данных. Однако используемые в этом инструменте алгоритмы приводят к тому, что редкое расположение входных точек создает неестественную пятнистую поверхность, на которой наблюдаются концентрические круги с резкими изменениями значений вокруг себя.

Таким образом, для визуализации пространственной информации с учетом редкой сети наблюдений и выбора настроек предпочтителен инструмент Сплайн.

Сопоставление данных по высоте снега, полученных при интерполяции различными методами, с фактическими значениями показало, что результаты расчетов имеют существенную зависимость от положения станции. Так, для центральной станции средняя ошибка восстановления данных всеми инструментами не превысила 2 см (рис. 2). Чуть более выраженный сдвиг в сторону занижения значений показал Кригинг.

В относительном выражении Сплайн показал для Перми результат менее качественный, чем два других инструмента, превысив удовлетворительные 15 %. Это связано с высокими показателями ошибки в октябре, когда снежный покров в большинстве случаев имеет временный характер и малые значения по высоте, и

изменения даже на 1 см в ту или иную сторону являются критичным фактором. При этом также необходимо принимать во внимание и влияние городской черты, в которой находится станция Пермь. Однако даже по сравнению с Кригингом и ОВР инструмент Сплайн для Перми показал значительные 69 %. Как известно [13], пространственная поверхность, которую воспроизводит Сплайн, может быть достаточно неточной на больших площадях при редкой плотности наблюдений. При этом результат сильно зависит от выбора числа и расположения опорных точек. Если узлы расположены неравномерно, итоговая поверхность может содержать артефакты или ложные экстремумы.

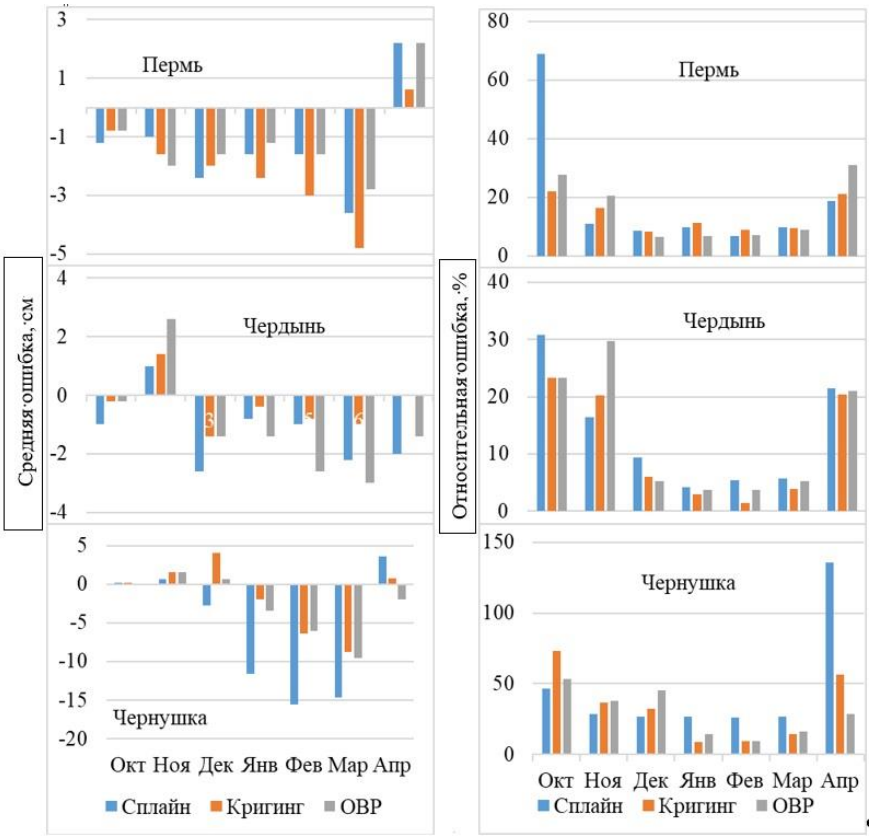


Рис. 2. Ошибки восстановления высоты снежного покрова на станциях Чердынь, Пермь, Чернушка, инструментами интерполяции Сплайн, Кригинг и ОВР
Fig. 2. Snow depth reconstruction errors at the Cherdyn, Perm, Chernushka stations when using the spline, kriging, and IDW interpolation tools

Характер изменений средних ошибок с октября по апрель имеет видимое сходство для Сплайна и ОВР с максимальными значениями в марте и некоторыми колебаниями на протяжении сезона. При использовании Кригинга ошибки постепенно растут с октября по март, а затем уменьшаются.

Для северной станции величина средней ошибки по большей части лежит в пределах статистической погрешности, лишь в отдельные месяцы достигая 3 см. Наилучшие показатели характерны для Кригинга, чуть хуже других выглядят результаты с ОВР.

Станция Чернушка отличается высокими значениями средней ошибки восстановления данных. Особенно это касается Сплайна, для которого среднее отклонение от фактических значений за сезон составляет 6 см. Наибольших значений погрешность Сплайна достигает в январе, феврале, марте. Два других инструмента показали более точные результаты, но и они превышают 5 см в феврале и марте.

Следует отметить, что все три используемых инструмента преимущественно занижают расчетные значения по сравнению с фактическими.

В относительном выражении для станции Чернушка максимальные отклонения расчетных значений от фактических наблюдаются в октябре, ноябре, апреле для всех инструментов, т.е. в месяцы, когда снежный покров имеет неустойчивый характер. В то же время для Чернушки относительная ошибка достигла наибольших значений среди трех станций, от 29 % ОВР до 45 % Сплайна. В последнем случае основной вклад в ошибку (135 %) вносит апрель, а в целом величина отклонения не опускается ниже 26 % за сезон. Очевидно, в отношении южной точки инструменты интерполяции проявляют чувствительность по отношению к количеству входных данных, поскольку вблизи границы региона очень мало других наблюдательных подразделений, а основное влияние на интерполированные данные оказывают две расположенные к востоку станции.

Разбор результатов восстановления влагозапасов в выбранных пунктах показал, что все три инструмента в среднем занижают показатели относительно фактической величины (рис. 3). Для центральной станции средняя за сезон ошибка интерполяции составила 6–10 мм, для северной – 21–22 мм, для южной – 2–13 мм. Стоит отметить, что для Чернушки средняя ошибка инструмента интерполяции Кригинг имеет небольшое, но все же положительное значение.

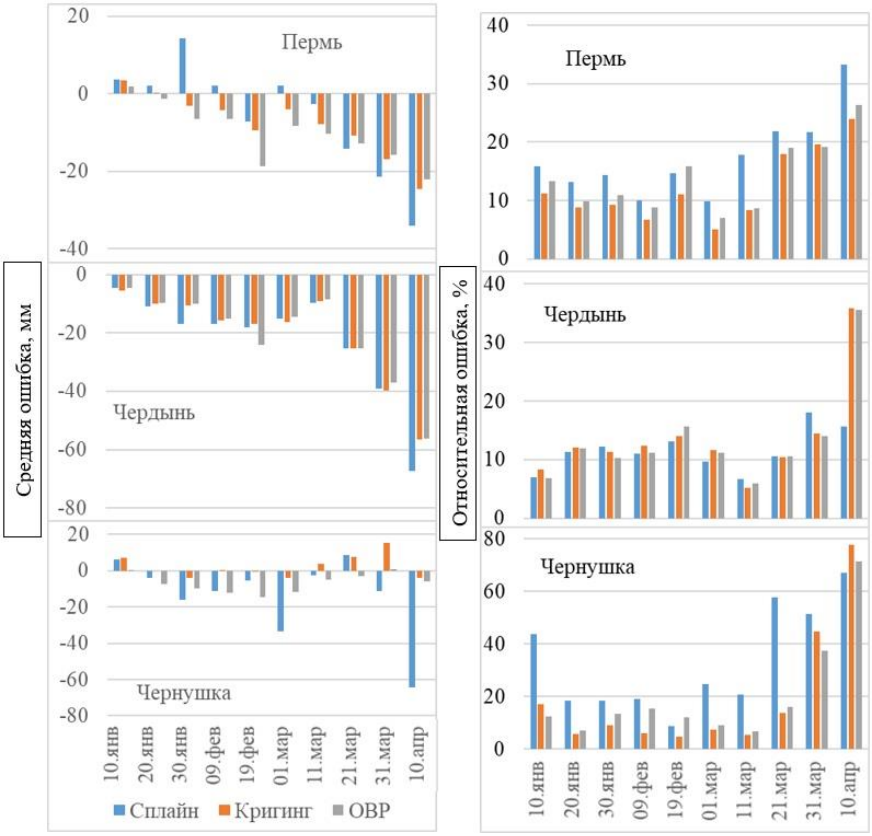


Рис. 3. Ошибки восстановления запасов воды в снежном покрове на станциях Чердынь, Пермь, Чернушка инструментами интерполяции Сплайн, Кригинг, ОВР

Fig. 3. Snow water equivalent reconstruction errors at the Cherdyn, Perm, Chernushka stations when using the spline, kriging, IDW interpolation tools

В относительном выражении для станции Пермь средняя за сезон ошибка при использовании Сплайна достигает 17 %, а для Кригинга и ОВР – 12 и 14 % соответственно. Для северного подразделения ошибки лежат в пределах от 12 до 14 %. Наибольшая величина относительной ошибки для всех инструментов зафиксирована в Чернушке, где самый слабый результат показал Сплайн – 33 %. Два других инструмента получили отклонения от фактических значений на 19 и 20 %.

Если рассматривать изменение величины ошибок с января по апрель, то можно отметить некоторую тенденцию к росту ошибок до середины февраля, затем уменьшение к началу марта и достаточно быстрое увеличение при начале и продолжении активного снеготаяния.

Подобная тенденция отчетливо заметна на диаграмме станции Чердынь, чуть менее выражена на южном направлении, проявляясь в значениях ошибки Сплайна, и очень слабо – в центральной части, где значения ошибок в относительном выражении до середины февраля существенно не изменяются, однако впоследствии также показывают рост. В начале апреля ошибка Сплайна для северной и южной точек превышает 60 мм.

В Чердыни и два других инструмента для апрельских измерений показывают ошибку более 50 мм. С другой стороны, в относительном выражении в силу большего количества снегозапасов в северном пункте ошибка не достигает 40 %, а вот для южной станции превышает 65 % для всех трех инструментов.

Выводы

Эффективность используемых методов интерполяции меняется в зависимости от плотности и положения начальных параметров. Так, наименее точные результаты для всех методов были получены для станции в южной части Пермского края, что объясняется расположением точки вблизи границы региона, где отмечается недостаточное количество соседних станций.

Наилучшие результаты при восстановлении как высоты снежного покрова, так и влагозапасов для северной и центральной станции показал инструмент интерполяции Кригинг.

Метод Сплайна обеспечивает наиболее гладкие и визуально привлекательные карты, но склонен создавать артефакты («гребни») в зонах с редкими данными и имеет низкую точность для всех исследуемых точек.

Интерполяция с помощью ОВР показала промежуточные результаты между Кригингом и Сплайном.

Для всех трех методов характерна тенденция к занижению расчетных значений по сравнению с фактическими данными измерений.

Наибольшие ошибки восстановления как высоты снега, так и влагозапасов наблюдаются в периоды активного снеготаяния (март-апрель). Систематические ошибки также характерны для месяцев с неустойчивым снежным покровом (октябрь, ноябрь).

Таким образом, наиболее предпочтительным и сбалансированным методом интерполяции для восстановления пространственных полей характеристик снежного покрова в условиях Пермского края является метод Кригинга, так как он обеспечивает наивысшую точность при учете пространственной структуры данных. Методы Сплайна и ОВР могут быть полезны для визуализации, но их применение для количественного анализа требует осторожности, особенно в районах с разреженной сетью наблюдений и в переходные сезоны года.

Библиографический список

1. *Ветров А. Л., Смирнова А. А.* Характеристики снежного покрова на Урале по данным наблюдений и результатам гидродинамического моделирования // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сборник научных трудов. Том. Вып. 4. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2011. С. 67–74. EDN: WMOWJZ

2. *Калинин В. Г., Шайдулина А. А., Русаков В. С., Фасахов М. А.* Математико-геоинформационное моделирование процесса снеготаяния на речных водосборах Прикамья // Лед и снег. 2022. Т. 62, № 1. С. 63–74. DOI: 10.31857/S2076673422010116. EDN: KWGIAD

3. *Калинин Н. А., Крючков А. Д., Сидоров И. А., Абдуллин Р. К., Шихов А. Н.* Климатические характеристики влагозапасов снега на территории Пермского края // Лед и снег. 2025. № 65(1). С. 50–68. DOI: 10.31857/S2076673425010044 EDN: GZIZZV

4. *Крючков А. Д., Калинин Н. А., Сидоров И. А.* Качество характеристик снежного покрова, полученных на основе реанализа ERA 5-Land для территории Пермского края // Лед и снег. 2023. Т. 63, № 3. С. 383–396. DOI: 10.31857/S2076673423030055 EDN: KLPXPM

5. Метеорологический ежемесячник. Уральское УГМС. 1990–2020 гг. Екатеринбург, 2020. Вып. 9, Ч. 2. С. 10–13.

6. *Пьянков С. В., Шихов А. Н.* Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2017. 148 с. ISBN: 978-5-7944-3001-1 EDN: YMXXNP

7. *Харламова Н. Ф., Казарцева Н. Ф.* Построение карты максимальных снегозапасов территории Алтайского края на основе ГИС-технологий // Бюллетень науки и практики. 2017. № 6(19). С. 116–122. DOI: 10.5281/zenodo.808269 EDN: WGKMJE

8. *Харламова Н. Ф., Казарцева О. С.* Пространственно-временные характеристики снежного покрова Алтайского края // Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования: сборник науч. ст. междунар. конф. (Барнаул, 20–24 октября 2015 г.). Барнаул: Алтайский гос. ун-т, 2015. С. 1403–1406. EDN: UVPIFZ

9. *Чурюлин Е. В., Копейкин В. В., Фролова Н. Л., Розинкина И. А.* Комплексный контроль восстановленных значений водного эквивалента на основе оперативных метеорологических измерений // Третьи виноградовские чтения. Грани гидрологии: сборник докл. междунар. науч. конф. памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова (Санкт-Петербург, 28–30 марта 2018 г.). СПб: Наукоемкие технологии, 2018. С. 120–143.

10. *Чурюлин Е. В., Копейкин В. В., Розинкина И. А., Фролова И. Л., Чурюлина А. Г.* Анализ характеристик снежного покрова по спутниковым и модельным данным для различных водосборов на Европейской территории Российской Федерации // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 2(368). С. 120–143. EDN: XSCLOP

11. *Шихов А. Н., Черепанова Е. С., Пономарчук А. И.* Геоинформационные системы: применение ГИС-технологий при решении гидрологических задач. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2014. 91 с. ISBN: 978-5-7944-2388-4 EDN: YNHIYD

12. Comparing Interpolation Methods, ESRI : website. URL: http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/compa-ring-interpolation-methods.htm (дата обращения: 28.11.25)

13. *Hofstra N., Haylock M., New M., Jones P., Frei C.* Comparison of Six Methods for the Interpolation of Daily, European Climate Data // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2018. Vol, 8. No. 10. DOI: 10.1029/2008JD010100 EDN: MEZNLT

References

1. Vetrov A. L., Smirnova A. A. Kharakteristiki snezhnogo pokrova na Urale po dannym nablyudenii i rezul'tatam gidrodinamicheskogo modelirovaniya [Characteristics of snow cover in the Urals based on observation data and hydrodynamic modeling results]. In *Geoinformatsionnoe obespechenie prostranstvennogo razvitiya Permskogo kraya. Sbornik nauchnykh trudov. Permskii gosudarstvennyi natsional'nyi issledovatel'skii universitet. Tom Vypusk 4. Perm': Permskii gosudarstvennyi natsional'nyi issledovatel'skii universitet*, 2011, no. 4, pp. 67–74. (In Russ.) EDN: WMOWJZ

2. Kalinin V.G., Shaydulina A.A., Rusakov V.S., Fasakhov M.A. Mathematical and geoinformation modeling of snowmelt process in the river drainage basins of the Kama region. *Ice and Snow*, 2022, vol. 62, no. 1, pp. 63–74. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2076673422010116. EDN: KWGIAD

3. Kalinin N.A., Kryuchkov A.D., Sidorov I.A., Abdullin R.K., Shikhov A.N. Climatic characteristics of snow water equivalent in the Perm Krai area. *Ice and Snow*, 2025, no. 65(1), pp. 50–68. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2076673425010044

4. Kryuchkov A.D., Kalinin N.A., Sidorov I.A. Quality of Snow Cover Characteristics Derived from ERA 5-Land Reanalysis for the Territory of Perm Krai. *Ice and Snow*, 2023, vol. 63, no. 3, pp. 383–396. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2076673423030055. EDN: KLPXPM

5. *Meteorologicheskii ezhemesyachnik. Ural'skoe UGMS. 1990–2020 gg. Vyp. 9. Part. 2* [Meteorological Monthly. Ural UMS. 1990–2020. Vol. 9. Part 2]. Ekaterinburg, 2020, pp. 10–13. (In Russ.)

6. P'yankov S. V., Shikhov A. N. *Geoinformatsionnoe obespechenie modelirovaniya gidrologicheskikh protsessov i yavlenii* [Geoinformation Support for Modeling of Hydrological Processes and Phenomena]. Perm': Permskii gosudarstvennyi natsional'nyi issledovatel'skii universitet, 2017. 148 p. (In Russ.) EDN: YMXXNP.

7. Kharlamova, N., & Kazartseva, O. Mapping the maximum snow reserves in the Altai Region using GIS technologies. *Bulletin of Science and Practice*, 2017, no. 6(19), pp. 116–122. (In Russ.) DOI: 10.5281/zenodo.808269. EDN: WGKMJE

8. Kharlamova N. F., Kazartseva O. S. Prostranstvenno-vremennye kharakteristiki snezhnogo pokrova Altaiskogo kraya [Spatial and temporal characteristics of the Altai Territory snow cover]. In *Lomonosovskie chteniya na Altae: fundamental'nye problemy nauki i obrazovaniya: Sbornik nauchnykh statei mezhdunarodnoi konferentsii (Barnaul, 20–24 oktyabrya 2015 g.)* Barnaul: Altaiskii gosudarstvennyi universitet, 2015, pp. 1403–1406. (In Russ.) EDN: UVPIFZ

9. Churyulin E. V., Kopeikin V. V., Frolova N. L., Rozinkina I. A. Kompleksnyi kontrol' vosstanovlennykh znachenii vodnogo ekvivalenta na osnove operativnykh meteorologicheskikh izmerenii [Comprehensive Control of the Restored Values of the Water Equivalent Based on Operational Meteorological Measurements]. In *Tret'i vinogradovskie chteniya. Grani gidrologii: Sbornik dokladov mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii pamyati vydayushchegosya russkogo gidrologa Yuriya Borisovicha Vinogradova (Sankt-Peterburg, 28–30 marta 2018 g.).* Sankt-Peterburg: Naukoemkie tekhnologii, 2018, pp. 120–143. (In Russ.)

10. Churiulin E.V., Kopeykin V.V., Rozinkina I.A., Frolova N.L., Churiulina A.G.Analysis of snow cover characteristics by satellite and model data for different catchment areas are located on the territory of the Russian Federation. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*, 2018, no. 2(368), pp. 120–143. (In Russ.) EDN: XSCLOP

11. Shikhov A. N., Cherepanova E. S., Ponomarchuk A. I. *Geoinformatsionnye sistemy: primenenie GIS-tekhnologii pri reshenii gidrologicheskikh zadach* [Geoinformation Systems: Application of GIS Technologies in Solving Hydrological Problems]. Perm': Permskii gosudarstvennyi natsional'nyi issledovatel'skii universitet, 2014. 91 p. (In Russ.)

12. Comparing Interpolation Methods, ESRI. URL:http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/compa-ring-interpolation-methods.htm (Assessed 28 November 2025).

13. Hofstra N., Haylock M., New M., Jones P., Frei C. Comparison of Six Methods for the Interpolation of Daily, European Climate Data. Journal of Geophysical Research: Atmospher, 2018, vol. 8, no. 10. DOI: 10.1029/2008JD010100

Статья поступила в редакцию: 01.11.25, одобрена после рецензирования: 13.02.26, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 01 November 2025; approved after review: 13 February 2026; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах

Андрей Дмитриевич Крючков
Кандидат географических наук,
старший научный сотрудник, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы,
Пермский государственный национальный исследовательский университет;
614068, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15
ORCID: 0000-0002-3693-6025, SPIN-код: 7491-1985, eLibrary AuthorID: 846357

Information about the authors

Andrey D. Kryuchkov
Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Associate Professor, Department of Meteorology and Atmospheric Protection,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia
ORCID: 0000-0002-3693-6025, SPIN-code: 7491-1985, eLibrary AuthorID: 846357

e-mail: candy55man@ya.ru

Анна Александровна Поморцева
Кандидат географических наук,
доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы,
Пермский государственный национальный исследовательский университет;
614068, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15
ORCID: 0000-0002-7912-2902, SPIN-код: 7310-0611, eLibrary AuthorID: 132386

Anna A. Pomortseva
Candidate of Geographical Sciences,
Associate Professor, Department of Meteorology and Atmospheric Protection,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia
ORCID: 0000-0002-7912-2902, SPIN-code: 7310-0611, eLibrary AuthorID: 132386

e-mail: smirnova@psu.ru

Илья Александрович Сидоров
Младший научный сотрудник,
Пермский государственный национальный исследовательский университет;
614068, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Iliya A. Sidorov
Junior Researcher,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: bender59rus@gmail.com

Вклад авторов
Крючков А. Д. – идея, сбор материала, написание и редактирование статьи.
Поморцева А. А. – обработка материала, научное редактирование текста.
Сидоров И. А. – сбор и обработка материала, обработка данных ГИС, создание карт.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors
Andrey D. Kryuchkov – the idea; data processing; writing and editing of the text.
Anna A. Pomortseva – data processing; scientific editing of the text.
Iliya A. Sidorov – data collection and processing; GIS data processing; creation of maps.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
Научная статья
УДК 504.054
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-117-132
EDN: LPGRAF

НАКОПЛЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВО МХАХ ГОРОДА ГУБАХИ

Евгения Леонидовна Гатина[1]✉, Инга Ивановна Зиньковская[2], Павел Юрьевич Санников[1], Валерия Вячеславовна Четыркина[1], Полина Владимировна Бронникова[1], Алина Васильевна Киршина[1]
[1] Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
[2] Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия
✉ suslovael@mail.ru, ORCID 0000-0002-4684-0465

Аннотация. В статье представлены результаты исследования атмосферных выпадений потенциально токсичных элементов (ПТЭ) на территории г. Губахи (Пермский край). Целью работы являлось определение содержания ПТЭ во мхах на территории одного из центров химической, топливно-энергетической, металлургической промышленности Пермского края – г. Губахи. Здесь расположены промышленные предприятия, отвалы закрытых шахт Кизеловского угольного бассейна, при этом территория является точкой развития спорта, туризма и рекреации в регионе. В 44 точках в пределах городской черты отобраны образцы мхов-биомониторов: плевроциума Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.) и гилокомицума блестящего (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.). На основе метода оптической эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка Объединенного института ядерных исследований в образцах мхов определены концентрации 16 ПТЭ. Установлено, что медианные концентрации (мг/кг) накапливаемых ПТЭ в Губахе снижаются в биогеохимическом ряду абсолютных содержаний: P (2003) > S (1493) > Fe (748,25) > Al (585) > Mn (215,65) >Zn (61,74) > Ba (46,28) > Sr (19,81) > Cu (6,94) > Pb (3,6) > Ni (2,35) > V (1,97) > Cr (1,84) > Co (0,5) > Cd (0,44) > Hg (0,032). Пространственное распределение полученных значений ПТЭ во мхах, а также результаты статистической обработки и факторного анализа свидетельствуют о вероятной взаимосвязи высоких концентраций Al, Fe, V, Cr, Co, Ni с выбросами предприятий органической химии. Повышенные значения Hg, S, Cu ассоциируются с выбросами предприятий по производству коксующихся углей. Полученные значения по Cd предположительно могут объясняться как естественными, так и техногенными причинами. Полученные данные представляют собой значимое дополнение качественной и количественной картины аэротехногенного загрязнения г. Губахи относительно классических сведений, получаемых от стационарных постов наблюдений за состоянием атмосферного воздуха.

Ключевые слова: мхи-биомониторы, загрязнение атмосферы, аэротехногенный перенос, тяжелые металлы, биоиндикация

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-00160.

Для цитирования: Гатина Е. Л., Зиньковская И. И., Санников П. Ю., Четыркина В. В., Бронникова П. В., Киршина А. В. Накопление атмосферных выпадений потенциально токсичных элементов во мхах города Губахи // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 117–132. EDN: LPGRAF DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-117-132

ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-117-132
EDN: LPGRAF

BIOACCUMULATION OF POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS ATMOSPHERIC DEPOSITION IN MOSSES OF THE TOWN OF GUBAKHA

Evgeniya L. Gatina[1]✉, Inga I. Zinicovscaia[2], Pavel Yu. Sannikov[1], Valeriya V. Chetyrkina[1], Polina V. Bronnikova[1], Alina V. Kirshina[1]
[1] Perm State University, Perm, Russia
[2] Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia
✉ suslovael@mail.ru, ORCID 0000-0002-4684-0465

© Гатина Е. Л., Зиньковская И. И., Санников П. Ю., Четыркина В. В., Бронникова П. В., Киршина А. В., 2026

Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Abstract. The paper compares data on the accumulation of a number of potentially toxic elements (hereinafter – PTE) in mosses in the town of Gubakha, Perm Region. The aim of the work was to determine the content of PTE in mosses in the territory of Gubakha, one of the centers of chemical, fuel and energy, and metallurgical industry of Perm Krai. Industrial enterprises and dumps of closed mines of the Kizel (Kizelovsky) Coal Basin are located here; at the same time, the territory is a development point for sports, tourism, and recreation in the region. At the stage of field work, 44 samples of *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. and *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al. were collected in the afforested part of the town according to the *Moss survey protocol* standard methodology. The Frank Laboratory of Neutron Physics at the Joint Institute for Nuclear Research determined the concentrations of 16 PTEs in the moss samples. Median concentrations (mg/kg) of accumulated PTEs have been found to decrease in the following series: P (2003) > S (1493) > Fe (748.25) > Al (585) > Mn (215.65) >Zn (61.74) > Ba (46.28) > Sr (19.81) > Cu (6.94) > Pb (3.6) > Ni (2.35) > V (1.97) > Cr (1.84) > Co (0.5) > Cd (0.44) > Hg (0.032). The spatial distribution of the obtained PTE values in mosses, as well as the results of statistical and factor analysis, indicate a possible relationship between high concentrations of Al, Fe, V, Cr, Co, and Ni and emissions from organic chemistry enterprises. Increased values of Hg, S, and Cu are associated with emissions from coking coal production facilities. The values obtained for Cd are presumably due to both natural and anthropogenic causes. The obtained data significantly add to the qualitative and quantitative picture of aerotechnogenic pollution of Gubakha relative to the classical data received from permanent observation posts that monitor the state of atmospheric air in the built-up part of the town.

Keywords: biomonitor mosses, atmospheric pollution, aerotechnogenic transport, heavy metals, bioindication

Funding. Research is supported by the Russian Science Foundation Grant No. 25-27-00160.

For citation: Gatina E. L., Zinicovscaia I. I., Sannikov P. Yu., Chetyrkina V. V., Bronnikova P. V., Kirshina A. V. Bioaccumulation of potentially toxic elements atmospheric deposition in mosses of the town of Gubakha. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 117–132. EDN: LPGRAF DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-117-132

Введение

В промышленно развитых регионах значительны атмосферные выпадения потенциально токсичных элементов (далее – ПТЭ). Количественная оценка выпадений ПТЭ является одной из важнейших задач охраны окружающей среды. В крупных городах для этих целей используются стационарные посты контроля качества атмосферного воздуха, ими отслеживаются не все ПТЭ. Альтернативой могут быть биомониторы. В качестве биомониторов в течение более 30 лет используются мхи. Главное их преимущество в том, что мхи поглощают питательные вещества непосредственно из атмосферных осаждений в концентрациях, сопоставимых с теми, что присутствуют в воздухе, дождевой воде, снежном покрове.

Исследования атмосферных выпадений ПТЭ во мхах проведены в Центральной России [54; 55], на островах Российского сектора Арктики [7], в республике Удмуртии [10], на Южном Урале [24], в Якутии [46], в Камчатском крае [31], в Беларуси [1], Молдове [59, 60], на Донбассе [11], на отдельных особо охраняемых природных территориях (Бузулукский бор [3]), в отдельных городах: г. Тихвин Ленинградской области [5], г. Пермь Пермского края [6; 40], Кемерово, Юрга, Березовский, Новокузнецк, Прокопьевск, Междуреченск Кемеровской области [61]. Значения ПТЭ, полученные во мхах-биомониторах, сопоставимы с данными стационарных постов наблюдения.

Город Губаха – один и промышленных центров Пермского края, где локализуются предприятия химической, топливно-энергетической, металлургической промышленности. Здесь расположено два стационарных поста контроля качества атмосферного воздуха.

В отличие от стационарных постов контроля качества атмосферного воздуха, мхи-биомониторы указывают на средневзвешенную концентрацию загрязнений воздуха за трехлетний период (2023–2025 гг.). Кроме того, они показывают степень загрязнения воздуха в различных частях города и прилегающих территорий. В ближайшие годы масштабные инвестиционные процессы запланированы в сфере спорта, туризма и рекреации в тех или иных частях г. Губахи [17]. Поэтому оценка качества атмосферного воздуха здесь остается актуальной.

Цель работы – географический анализ накопления ПТЭ во мхах на территории г. Губахи Пермского края.

Для ее достижения поставлены задачи:

– визуализировать накопление ПТЭ во мхах городских лесов г. Губахи Пермского края и сопоставить полученные данные с распределением промышленных объектов, железнодорожными и автомагистралями города;

– выявить вероятные источники загрязнения атмосферного воздуха соединениями ПТЭ;

– установить районы с наибольшим загрязнением атмосферы соединениями ПТЭ в 2023–2025 гг.

Материалы и методы

Краткая характеристика района исследования. Город Губаха расположен в восточной части Пермского края, в западных предгорьях Среднего Урала (рис. 1). К востоку от города проходит западноуральский хребет Рудянский спой. Местность холмисто-увалистая, предгорная, пересеченная долинами рек и ручьев с высотами до 496 м над у.м. Широко распространены карстовые явления: пещеры и провалы. Территория Губахи является зоной повышенного потенциала загрязнения атмосферы. Процессы рассеивания примесей в приземном слое атмосферы осложняются инверсиями, застойными явлениями, штилями и другими метеорологическими явлениями [32].

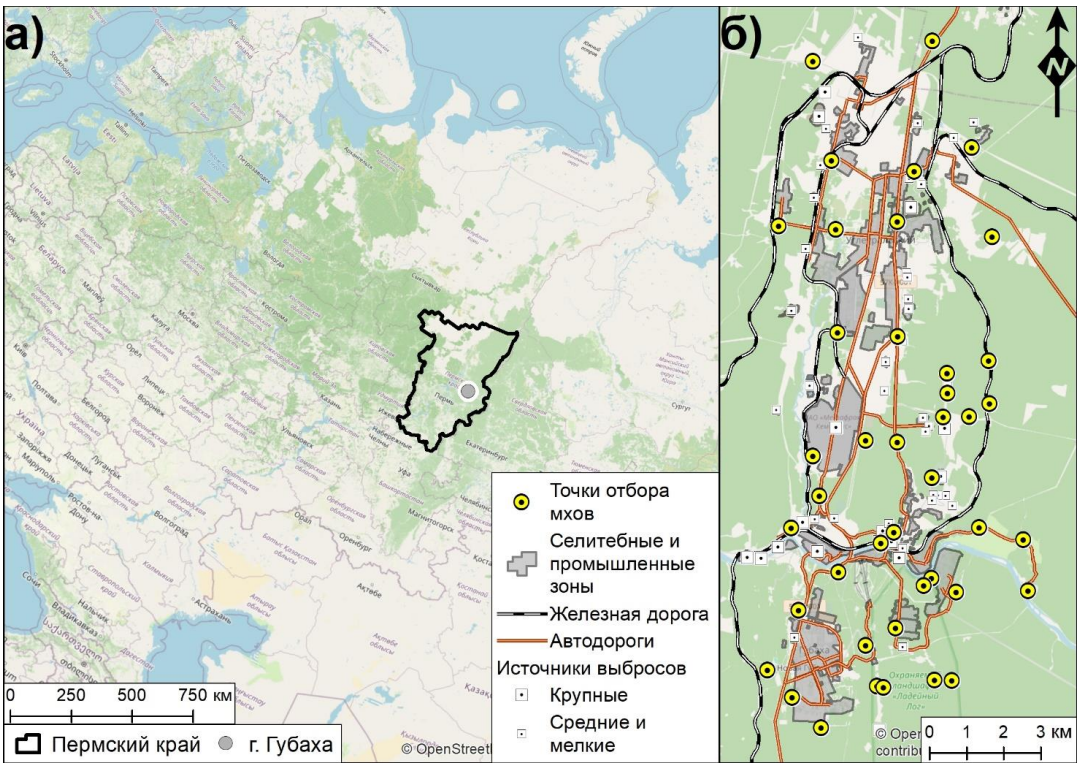


Рис. 1. Обзорная карта района исследования: а) Пермский край в европейской части России; б) источники выбросов Губахи и точки отбора образцов мхов-биомониторов

Fig. 1. Overview map of the study area: a) Perm Region in the European part of Russia; б) sources of technogenic emissions in the town of Gubakha and biomonitor mosses sampling points

Климат изучаемой территории – умеренно-континентальный. Средняя температура июня +17,2° С, января –14,2° С. Годовое количество осадков составляет 871 мм [4]. На территории г. Губахи преобладают ветры южного и юго-западного направления (рис. 2).

Город расположен в районе таежных предгорных лесов, где произрастают предгорные пихтово-еловые и елово-пихтовые леса, имеются вторичные березовые и смешанные леса вследствие интенсивных рубок. Преобладают подзолистые и дерново-подзолистые суглинистые почвы [2].

В структуре промышленного производства Губахи важное место занимают предприятия химической, топливно-энергетической, металлургической отраслей. Это ОАО «Губахинский кокс», ОАО «Метафракс Кемикалс».

Кроме того, здесь расположены отвалы шахт Кизеловского угольного бассейна (КУБ). Добыча угля на этой территории велась с конца XVIII в., но интенсивное развитие получила в 30-е гг. прошлого века. В период активной разработки в КУБе насчитывалось 37 шахт с ежегодной добычей около 12 млн т угля. По причине нерентабельности добычи в сложных горно-геологических условиях в 1997 г. началась ликвидация шахт, завершенная к 2002 г. Разработка месторождений угля сопровождалась образованием породных отвалов, в которых размещались обломки аргиллитов, песчаников, известняков с присутствием угля. Кроме того, в них встречается древесина, металлические предметы, строительный мусор. В 53 отвалах, занимающих более 300 га, складировано свыше 24 млн м^3 твердых отходов угледобычи. Установлена закономерность увеличения гамма-излучения породных отвалов с глубиной, обусловленная гипергенным переносом элементов из поверхностных слоев отвалов. Породы исследованных отвалов характеризуются допустимым уровнем удельной эффективной активности естественных радионуклидов с диапазоном 52–238 Бк/кг. Наибольшие значения удельной эффективной активности отмечены для отвалов шахты «Шумихинская» (до 238 Бк/кг) и шахты «им. 40-летия Октября» (до 221 Бк/кг) [18].

По данным на 2017 год, на территории предприятий г. Губахи находится 342 источника выбросов различной высоты. Из них 286 источников – на предприятиях, валовый выброс которых составляет 80–85 % от выбросов всех источников в городе [14].

Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха в г. Губахе производится на двух стационарных постах по 23 показателям: взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, сероводород, фенол, аммиак, формальдегид, ароматические углеводороды (бензол, толуол, ксилолы, этилбензол), бенз(а)пирен, тяжелые металлы (Cr, Ni, Pb, Mn, Cu, Zn, Fe, Cd, Mg).

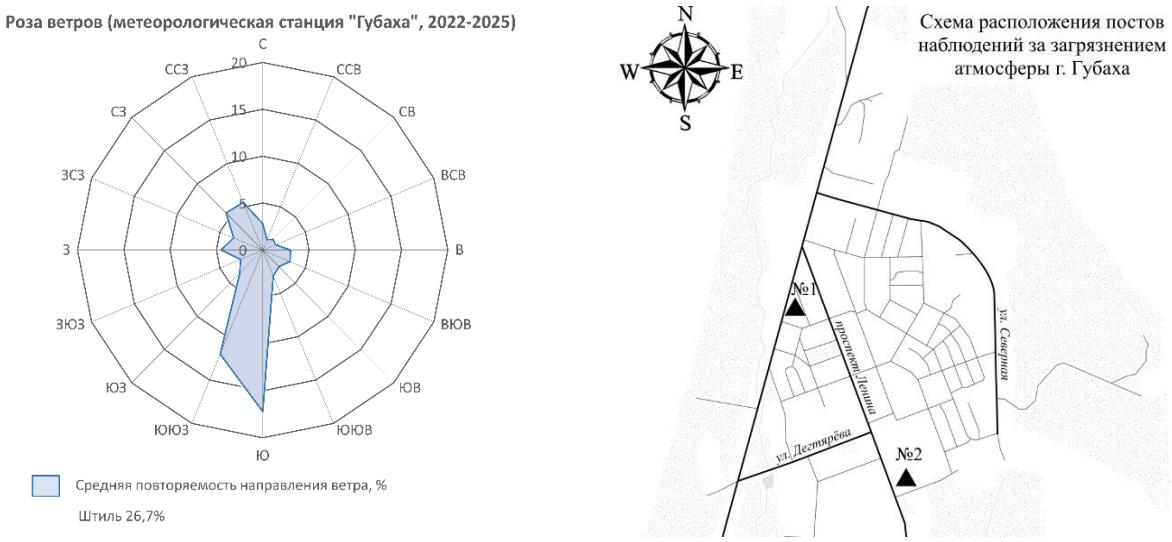


Рис. 2. Роза ветров и посты наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха в г. Губахе
Fig. 2. Wind rose and location of air pollution monitoring stations in the town of Gubakha

В 2024 году в Губахе отобрано и проанализировано 12 032 пробы атмосферного воздуха. Уровень загрязнения атмосферного воздуха – повышенный: стандартный индекс (СИ) = 2,1 (бенз(а)пирен), наибольшая повторяемость превышения ПДК (НП) = 0,4 % (формальдегид), индекс загрязнения атмосферы – повышенный. Общее количество превышений предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ за год – 13 случаев. Из них превышений максимальных разовых ПДК (ПДК м.р.) – 5 случаев. Среди тенденций загрязнения атмосферы за 2020–2024 гг. отмечается повышение средних концентраций сероводорода, формальдегида, тяжелых металлов (Mg, Cu, Ni, Zn), снижение средних концентраций взвешенных веществ, диоксида серы, оксида углерода, диоксида азота, фенола, аммиака, ароматических углеводородов (бензола, метилбензола, этилбензола), бенз(а)пирена и железа [23].

Сбор и первичная обработка проб. Отбор мхов-биомониторов проведен в июне 2025 г. в административных границах г. Губахи. Образцы собраны с 44 точек (рис. 1). Отбор проб листостебельных мхов осуществлялся в лесах различного типа: снытьевых, черничных, травянистых, папоротниковых, произрастающих преимущественно на дерново-подзолистых, каменистых почвах. В качестве модельных мхов приняты плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.) и гилокомицум блестящий (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.). Оба вида рекомендованы для проведения исследований [48] и представлены в лесах вокруг г. Губахи. Количественно среди проб преобладал плевроциум Шребера.

Для определения элементного состава атмосферных выпадений отбирали зеленые и зелено-коричневые сегменты мхов, соответствующие трехлетнему приросту. Отобранные образцы очищали от постороннего мусора и остатков почвы.

Лабораторные анализы содержания ПТЭ во мхах

Определение элементного состава образцов мха проводили в лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка Объединенного института ядерных исследований в г. Дубне.

Для определения Hg образцы измельчались на механической мельнице с агатовыми стаканами, помещались в стеклянные тары и отправлялись сушиться при температуре 105° С до постоянной массы. Определение Hg проводилось в прямом анализаторе ртути DMA-80 Milestone.

Остальные элементы (Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, P, Pb, S, Sr, V, Zn) определяли методом оптической эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС). На аналитических весах взвешивали 0,5 г мха и помещали в тефлоновый сосуд с 5 мл HNO_3 и 2 мл H_2O_2. Образцы минерализовали в микроволновой системе MARS6 (CEM, США). После минерализации растворы фильтровали через фильтровальную бумагу, переносили в калиброванные колбы емкостью 50 мл и доводили объем до метки деионизованной водой. Затем определяли содержание ПТЭ с помощью ИСП-ОЭС Plasmaquant PQ 9000 Elite (Analytik Jena, Германия).

Контроль качества анализа. Для контроля качества анализа использовали стандарт INCT-PVTL-6 (Polish Virginia Tobacco Leaves (Табачные листья)) [44].

Статистическая обработка. Статистическую обработку проводили с применением программ STATISTICA 10.

Фоновую концентрацию определяли путем нахождения среднего от трех минимальных значений по выборке. Подобный подхлод традиционно применяется в аналогичных исследованиях [46, 54].

Пространственный анализ полученных данных. Визуальное представление накопления ПТЭ во мхах выполняли при помощи геоинформационных методов (пакет программ ArcGIS). В ходе визуализации генеральная совокупность значений по каждому элементу была разделена на 7 классов (квантилей).

Результаты

В таблице представлены медианные, минимальные, максимальные и фоновые значения концентраций ПТЭ во мхах г. Губахи, а также аналогичные данные по Перми, Тверской области, Беларуси, Швеции.

Таблица
Table

Содержание потенциально токсичных элементов (мг/кг) в образцах мха г. Губахи и результаты некоторых аналогичных исследований, медиана (минимальное – максимальное значение)
Potentially toxic elements content (mg/kg) in moss samples from Gubakha and the results of some similar studies, median (spread of min–max values)

Элемент	*г. Губаха, фон*	*г. Губаха, 2025, n = 44*	*г. Пермь, 2023, n = 144 [40]*	*Тверская область, 2024, n = 144 [54]*	*Беларусь, 2021, n = 250 [1]*	*Швеция, 2021, n = 496 [41]*
Al	297,67	585 (258,4–6690)	1803 (564–9038)	414 (178,0–898)	740 (102–9200)	170 (740–54)
S	961,7	1493 (870,1–2617)	1601 (1009–4641)	1022 (744–1721)	–	–
P	929,43	2003 (893,3–2989)	2752 (1405–4042)	–	–	–
V	1,05	1,97 (1,01–19,99)	6,2 (2,12–24,28)	1,0 (0,49–2,5)	1,35 (0,3–9,57)	0,5 (0,1–9,1)
Cr	0,99	1,84 (0,93–11,38)	5,27 (2,07–15,57)	0,83 (0,45–2,40)	2,45 (0,18–11,6)	0,4 (0,1–45)
Mn	38,17	215,65 (27,11–753,2)	350 (50,99–3137)	417 (46–1137)	418 (43–1852)	–
Fe	339,2	748,25 (304,4–5416)	1685 (489,9–6088,0)	308 (180–705)	466 (110–2243)	170 (47–5400)
Co	0,25	0,5 (0,23–2,04)	1,12 (0,34–3,75)	0,26 (0,10–0,56)	0,349 (0,09–7,02)	–
Ni	1,11	2,35 (1,02–6,71)	–	–	–	0,5 (0,2–6)
Cu	4,36	6,94 (4,09–14,8)	10,94 (6,58–22,64)	4,7 (2,6–11,0)	5,47 (2,79–32,8)	3,6 (1,7–20)
Zn	34,6	61,74 (32,6–113,9)	60,19 (34,72–201,8)	38 (23–88)	37 (14–157)	36 (11–94)
Sr	9,03	19,81 (7,84–66,03)	32,8 (19,42–87,5)	15 (5,4–74)	11 (3,68–65)	–
Cd	0,19	0,44 (0,16–1,23)	0,22 (0,12–0,55)	0,21 (0,09–0,98)	0,33 (0,107–1,09)	0,1 (0–0,6)
Ba	14,99	46,28 (14,95–110,4)	72,8 (19,72–169,1)	30 (4,3–93)	21 (5–94)	–
Pb	1,99	3,6 (1,83–12,87)	5,69 (2,72–14,7)	2,7 (1,5–7,6)	2,72 (0,92–8,47)	1,0 (0,2–15)
Hg	0,02	0,032 (0,0175–0,0682)	0,039 (0,018–0,096)	0,037 (0,021–0,068)	–	0,0 (0–0,2)

Накопление ПТЭ во мхах г. Губахи показано на рис. 3 (Al, V, Cr, Fe, Co, Ni, Ba, Mn) и рис. 4 (S, Cu, Hg, Cd, Pb, Sr, Zn, P).

Обсуждение

Накопление ПТЭ во мхах г. Губахи и других городов и регионов. Для Губахи медианные концентрации (мг/кг) накапливаемых ПТЭ снижаются в биогеохимическом ряду абсолютных содержаний: P (2003) > S (1493) > Fe (748,25) > Al (585) > Mn (215,65) >Zn (61,74) > Ba (46,28) > Sr (19,81) > Cu (6,94) > Pb (3,6) > Ni (2,35) > V (1,97) > Cr (1,84) > Co (0,5) > Cd (0,44) > Hg (0,032).

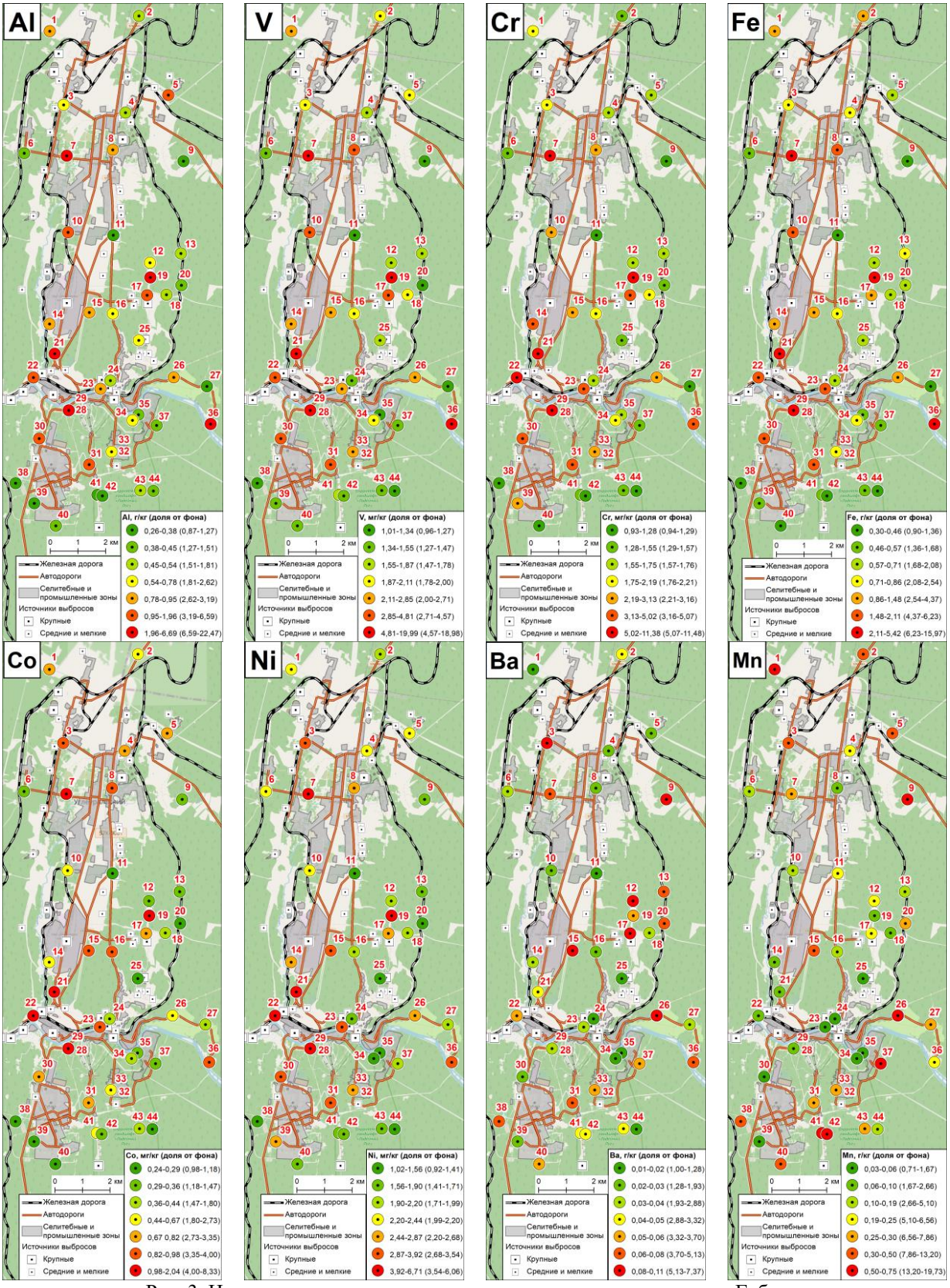


Рис. 3. Накопление потенциально токсичных элементов во мхах г. Губахи:
Al – алюминий, V – ванадий, Cr – хром, Fe – железо, Co – кобальт, Ni – никель, Ba – барий, Mn – марганец
Fig. 3. Accumulation of potentially toxic elements in mosses from the town of Gubakha:
Al – aluminum, V – vanadium, Cr – chromium, Fe – iron, Co – cobalt, Ni – nickel, Ba – barium, Mn – manganese

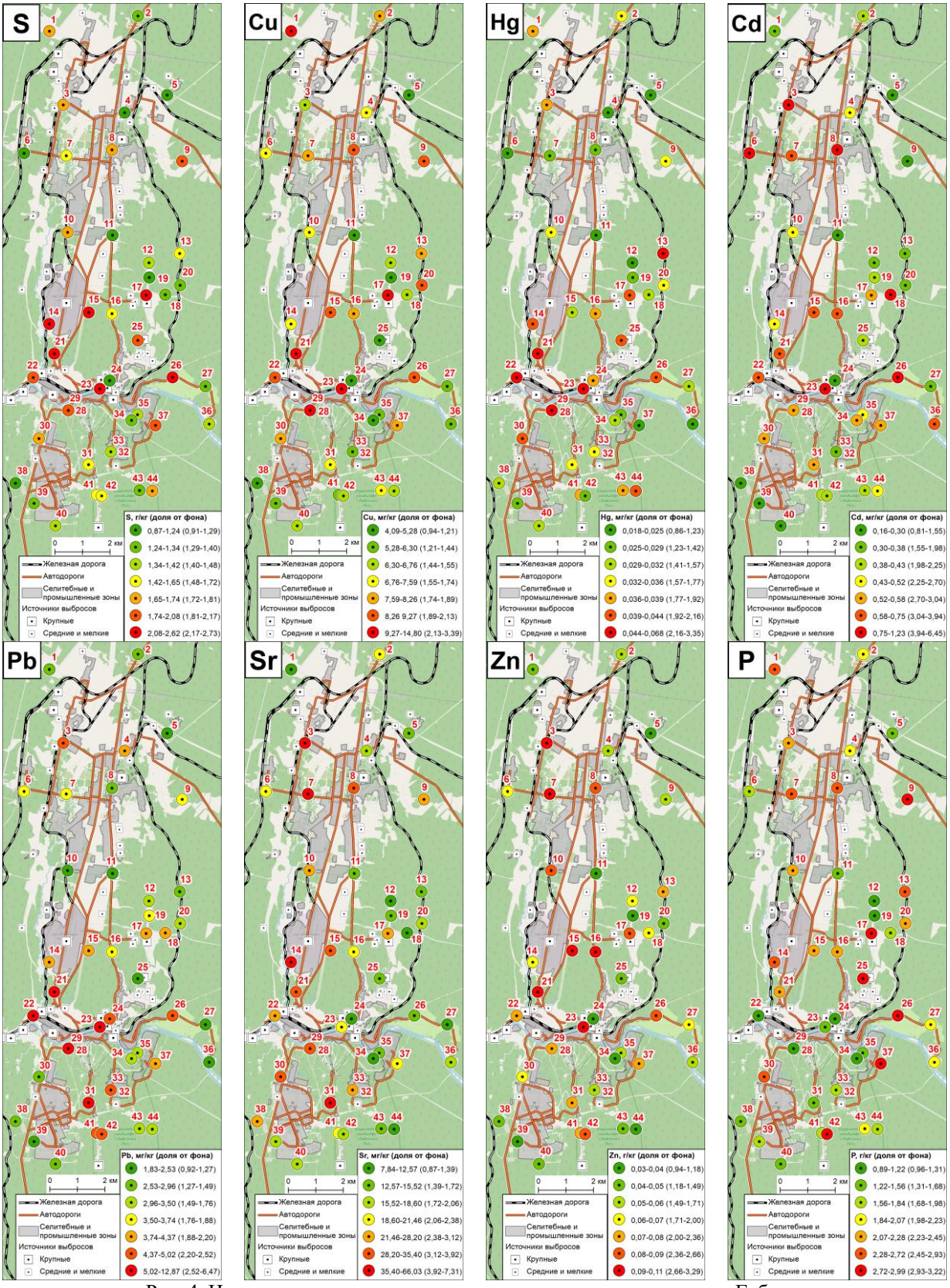


Рис. 4. Накопление потенциально токсичных элементов во мхах г. Губахи:
S – сера, Cu – медь, Hg – ртуть, Cd – кадмий, Pb – свинец, Sr – стронций, Zn – цинк, P – фосфор
Fig. 4. Accumulation of potentially toxic elements in mosses from the town of Gubakha:
S – sulfur, Cu – copper, Hg – mercury, Cd – cadmium, Pb – lead, Sr – strontium, Zn – zinc, P – phosphorus

P является важным элементом жизнедеятельности мхов. Ранее отмечалось, что *Pleurozium schreberi* обладает более высокой способностью поглощать P по сравнению с другими видами мхов [36, 45]. Прочие элементы, измеренные в образцах мхов, могут иметь как естественное, так и техногенное происхождение.

Для большинства ПТЭ медианные значения в образцах мхов Губахи ниже, чем таковые, отмеченные для ПТЭ, обнаруженных во мхах города Перми. Исключение составляет Cd, медианные значения которого в два раза превышают выявленные в Перми.

Если сравнивать полученные медианные значения ПТЭ с Тверской областью, Беларусью, Швецией, то по большинству элементов (Ba, Pb, Sr, Co, V) значения Губахи несколько выше значений в Тверской области и Беларуси и значительно выше значений в Швеции.

По Al и Cr значения ПТЭ Губахи выше данных по Тверской области, но ниже значений, определенных для Беларуси. Значения Mn во мхах Губахи и Перми значительно ниже данных, полученных с территорий Тверской области, Беларуси, Швеции.

Т. А. Сухаревой установлено, что в непосредственной близости от локального источника загрязнения (медно-никелевый комбинат) на стадии техногенного редколесья концентрации Ca, K, P, Mg, Mn во мхах существенно ниже фоновых показателей [25]. Подобные закономерности для марганца были отмечены нами для г. Перми [6].

Значение Fe во мхах в Губахе в два раза ниже, чем в Перми, при этом оба значения гораздо выше показателей, полученных в Тверской области, Беларуси, Швеции.

Сходные значения Zn и Hg, обнаруженные во мхах, установлены для Губахи и Перми.

Отдельно отметим, что на территории Перми для четырех элементов (Mn, S, Zn, Pb) максимальное значение в биогеохимическом ряду превышало предыдущее в два и более раз. Такие статистические экстремумы приходились на одну точку. Для Губахи подобные статистические экстремумы не отмечены, что характеризует распределение концентраций загрязняющих веществ во мхах как более равномерное.

Пространственное распределение выпадений ПТЭ г. Губахи и вероятные источники. Распределение **Al** по обследованной территории представлено на рис. 3–Al. Наибольшие значения отмечаются в долине р. Косьвы, вблизи авто- и железнодорожных магистралей. Известно, что небольшие количества Al могут выделяться в окружающую среду при сжигании угля. От различных видов углей в атмосферный воздух в виде летучей золы поступает от 5 до 35 % Al_2O_3 [8]. В долине реки Косьвы расположено одно из крупных предприятий г. Губахи – «Губахинский кокс». Это предприятие, специализирующееся на производстве металлургического, литейного кокса и химических продуктов из него. Используемая сырьевая база – кузбасский уголь. На промплощадке предприятия расположены открытые склады угля [22].

Схожая картина по распределению значений ПТЭ во мхах зафиксирована для **Fe** (рис. 3–Fe). Точки с максимальными концентрациями Fe, отнесенные к шестому и седьмому квантилям распределения, расположены в долине р. Косьвы, вблизи авто- и железнодорожных магистралей. Fe может попадать в атмосферу при сжигании ископаемого топлива и биомассы [41].

Так же как и для Перми, в Губахе отмечается близкое с Fe и Al распределение **V** (рис. 3–V). Повышенные значения сосредоточены на дне и склонах долины р. Косьвы и вблизи авто- и железнодорожных магистралей. Вероятными источниками поступления V в атмосферу являются отработанные газы бензиновых двигателей и выбросы теплоэлектростанций [51]. Известно, что в рекреационных зонах Москвы высокое содержание V отмечается в образцах мхов, находящихся в зоне влияния крупных загруженных автомагистралей [51]. Кроме того, V присутствует в топливных маслах всех типов двигателей [50].

Распределение **Cr** по обследованной территории представлено на рис. 3–Cr. К антропогенным источникам Cr относится горнодобывающая промышленность, а также сжигание угля, отходов в деревообрабатывающей и бумажной отраслях промышленности [41]. На территории Губахи значения Cr во мхах повышены в долине р. Косьвы, вблизи основных промышленных предприятий. Следует отметить, что по данным ICP Vegetation Coordination Centre сохраняется значительная неопределенность концентраций Cr во мхах. Так, в европейском регионе выбросы Cr за 30 лет сократились на 70,6 %. При этом соответствующее снижение концентрации Cr в тканях мхов составило лишь 37,2 % [41].

При распределении **Co** по исследуемой территории высокие значения зафиксированы во мхах, отобранных к востоку от промплощадки «Метафракс Кемикалс», в понижениях рельефа по долине р. Косьвы и на севере исследуемой территории (рис. 3–Co). По некоторым данным, Co ассоциируется с элементами геогенного происхождения [35; 60]. Кроме того, есть исследования, подтверждающие техногенное поступление Co в окружающую среду от сжигания угля, металлургической, химической промышленности (производство красок и катализаторов) [57; 58].

Распределение **Ni** по территории представлено на рис. 3–Ni. Точки с максимальными концентрациями Ni, отнесенные к шестому и седьмому квантилям распределения, отмечены в долине р. Косьвы, вблизи авто- и железных дорог, вокруг промплощадки ОАО «Метафракс Кемикалс», на севере исследуемой территории. По литературным данным, повышенные значения Ni фиксируются вблизи производственных объектов, перерабатывающих никельсодержащие руды [41]. Известно, что в никельсодержащей руде может содержаться и Co.

Все вышеперечисленные элементы (**Al, Fe, V, Cr, Co, Ni**) по результатам факторного анализа отнесены к фактору 1, составляющему 36 % общей дисперсии. Отметим очень высокие нагрузки (0,88–0,97) для всех этих шести ПТЭ. Сходство распределений Al, Fe, V, Cr наблюдается достаточно часто, корреляция этих элементов во мхах в отдельных случаях достигает 0,77 [39]. Наибольший вклад в фактор 1 внесли образцы из точек 7, 19, 28; чуть менее сильное влияние – образцы из точек 21, 29, 36. Поскольку все точки (за исключением 36) находятся поблизости от промышленной площадки «Метафракс Кемикалс», выбросы этого предприятия, вероятно, обеспечивают наибольший вклад в атмосферные выпадения Al, Fe, V, Cr, Co, Ni. На наблюдаемое пространственное распределение точек с высокой концентрацией этих ПТЭ, по-видимому, также оказывает влияние относительно высокая орографическая позиция производственной площадки предприятия и долинный эффект движения воздушных масс в условиях расчлененного предгорного рельефа. Значительное влияние на высокое содержание Al, Fe, V, Cr, Co, Ni во мхах в долине Косьвы (точки 22–23, 28–29) оказывает использование угля на ОАО «Губахинский кокс». Вероятно, высокое содержание ПТЭ этой группы в образцах из точек 19 и 17 связано с их близостью к отвалу из угольного шлака (15–30 м от точки 19), а также к полигонам свалок бытовых и производственных отходов (300–400 м от точки 17).

К фактору 2, составляющему 14 % общей дисперсии, отнесены **Ba** и **Mn**. Оба элемента играют важную роль в естественных биохимических процессах во мхах. Наличие этих ПТЭ во мхах обусловлено как гомеостазом, так и аккумуляцией атмосферных осаждений [1]. Высокие значения Ba и Mn (рис. 3–Ba, рис. 3–Mn), относящиеся к шестому-седьмому квантилям, отмечаются во всех частях исследуемой территории, при этом часто не совпадают друг с другом. Кроме того, такие точки находятся друг от друга на сравнительно больших расстояниях. Такая пространственная картина распределения выпадений Ba и Mn вряд ли может объясняться наличием одного или нескольких техногенных источников их поступления в атмосферу.

Среди точек с низкими значениями Mn (первый-второй квантили) обращает на себя внимание компактная зона в нижней части долины Косьвы (точки 21–23, 28–29), которая по восьми другим ПТЭ (Cr, Fe, Co, Ni, Hg, Cu, S, Pb) является наиболее загрязненной. Как в случаях с г. Мончегорском (комбинат «Североникель») [25] и в г. Перми [6], наблюдаемое в этом районе г. Губахи снижение содержания Mn может объясняться непосредственной близостью значительного техногенного источника – ОАО «Губахинский кокс».

Высокие содержания **Hg** (рис. 4–Hg) во мхах исследуемой территории отмечены на дне и склонах долины р. Косьвы и на востоке города (точки 13, 17, 25, 26). Установлено, что двумя крупнейшими современными источниками антропогенных выбросов Hg в окружающую среду в мире являются угольные электростанции, кустарная и мелкомасштабная добыча золота [43]. Для Южного Прибайкалья установлено, что на тепловых электростанциях улавливается около 40–50 % поступающей Hg, тогда как оставшиеся 50–60 % выбрасываются в атмосферу. Следовательно, значительная часть Hg, содержащейся в угле, попадает в воздушную среду, обусловливая загрязнение воздуха, вод, почв, растительности через атмосферные осадки [16; 30]. По данным ICP Vegetation Coordination Centre, концентрации Hg во мхах в целом однородны на большей части Европы, что, вероятно, объясняется длительным временем существования ртути в атмосфере [41].

Высокие значения концентраций **S** (рис. 4–S) во мхах приурочены к долине р. Косьвы, южной окраине промплощадки предприятия «Метафракс Кемикалс», а также отмечены на востоке территории (в точках 17, 25, 26). Традиционным источником серы может служить сжигание углей, нефти.

Для **Cu** отмечаются повышенные значения на дне и склонах долины р. Косьвы, а также в восточной части города в точках 17, 20, 26 (рис. 4–Cu). Cu присутствует в отработанных газах автомобильных двигателей и может поступать в воздух при истирании тормозных колодок. Для городского округа Лобня Московской области высокое содержание Cu отмечено в транспортных и промышленных зонах, а также в селитебных и рекреационных зонах, расположенных вблизи транспортных магистралей [12]. Для Перми ряд точек с высоким содержанием Cu отмечен вблизи железных дорог и крупного сортировочного пункта железнодорожного транспорта, а также рядом с автомагистралями [6].

Hg, S, Cu при факторном анализе отнесены к фактору 3, составляющему 18 % общей дисперсии. Нагрузки по этим элементам варьируют от 0,75 до 0,89. Основными антропогенными источниками этой группы ПТЭ являются сжигание топлива, использование нефтепродуктов, нефтепереработка [47; 49; 52]. Наиболее выраженный вклад в фактор 3 оказали значения Hg, S, Cu в образцах из точек 21–23 и 28–29, которые пространственно сгруппированы в компактную зону на дне и склонах долины р. Косьвы вблизи главного автомобильного и железнодорожного мостов. Во всех этих точках значения высокие и отнесены к шестому и седьмому квантилям распределения. Такое положение в пространстве указывает на то, что наиболее вероятным источником выбросов Hg, S, Cu является предприятие «Губахинский кокс». Здесь выстроен полный цикл производства коксующихся углей и сопутствующих химических продуктов. Технология коксохимического производства известна высокими ртуть- и серосодержащими (сероводород) выбросами [19; 21; 26; 28; 29; 33].

Точки 17, 25, 26 соседствуют с группой карьеров известняка, где добыча продолжается или уже завершена. Возможно, высокое содержание этой группы ПТЭ в образцах из точек 17, 25, 26 как-то связано с дефляцией с открытых поверхностей карьеров, хотя связь известняка с Hg, S, Cu остается неясной.

Обращает на себя внимание содержание во мхах исследуемой территории **Cd** (рис. 4– Cd). Этот элемент единственный отнесен к фактору 4, составляющему 12 % общей дисперсии. Известно, что большая часть

загрязнения Cd окружающей среды вызвана захоронением и сжиганием загрязненных кадмием отходов, использованием минеральных, в частности фосфорных, удобрений. Для урбанизированных территорий важным источником Cd является транспорт [27; 41]. Известны повышенные концентрации Cd в угледобывающих районах [34]. В частности, в границах Кизеловского угольного бассейна, куда входит и Губаха, выявлены высокие содержания Cd в техногенных почвах угольных отвалов – 2,7–6,9 мг/кг [20]. Как уже отмечалось выше, медианное значение Cd (0,44 мг/кг) в Губахе значительно выше аналогичных значений в г. Перми (0,22), Тверской области (0,21), Беларуси (0,33), Швеции (0,1). Пространственное распределение высоких значений Cd в г. Губахе не позволяет однозначно связать выпадения этого элемента с каким-либо техногенным источником, в том числе с влиянием автотранспорта и/или вторичным техногенным загрязнением в результате выветривания угольных отвалов. Два вышеперечисленных обстоятельства позволяют осторожно предполагать, что значимый вклад в выпадения Cd в Губахе также дают естественные поступления из недр Земли. По некоторым данным [38], геогенный Cd образуется в результате естественных геологических процессов, в первую очередь выветривания осадочных пород, вулканической активности, гидротермальных источников. Из перечисленных случаев только первый потенциально может быть характерен для Губахи. В пользу этой версии говорит и наличие так называемой Косьвинской техногенно-природной геохимической аномалии [13], где отмечено содержание Cd в почвах в 10–80 раз выше ОДК, а также предгорное положение города, отличающее ее от остальных сравниваемых территорий. В целом же однозначная интерпретация наблюдаемого распределения выпадений Cd пока затруднена.

Последние четыре ПТЭ – **Pb, Sr, Zn, P** – не вошли ни в один из факторов. При этом на их распределение приходятся оставшиеся 20 % дисперсии. Кратко рассмотрим пространственные распределения выпадений этих элементов по отдельности.

Компактный ареал высоких значении **Pb** (так же как и ПТЭ, отнесенных к фактору 3 (S, Cu, Hg)) отмечен на дне и склонах долины р. Косьвы, вблизи коксохимического производства (рис. 4–Pb). Вероятно, интенсивные выпадения Pb и его накопление во мхах тоже связаны с технологией коксохимического производства. Также вероятной причиной может быть содержание токсических элементов в углях различных марок [15].

Пространственное распределение повышенного содержания во мхах **Sr, Zn** напоминает аналогичные распределения элементов фактора 1, связываемого с выбросами «Метафракс Кемикалс» (рис. 4–Sr, 4–Zn).

Выпадения **Sr** могут быть ассоциированы как с предприятиями органического синтеза [9], так и с выбросами дизельных двигателей автомобилей и тепловозов [56]. Поступление **Zn** в атмосферу обычно связывают с процессами гальванизации (50 %) производства автомобильных шин (20 %), литья под давлением (17 %), производства латуни (17 %), а также изготовления плитки, керамики, стекла [42]. Распределение высоких значений **Sr** и **Zn** близко друг к другу (точки 3, 7, 15, 21), хотя есть и отличия (высокие значения Sr в точке 31 и Zn в точке 23). Так или иначе наличие и сила связи распределения выпадений Sr, Zn с техногенным источником (источниками (?)) пока остается неясной.

Высокие значения накопления **P** во мхах характерны для зоны точек 17, 25, 26 (рис. 4–P). Как ранее отмечалось, эти точки соседствуют с несколькими карьерами известняка. Фосфор нередко содержится в самом известняке в качестве примеси. Кроме того, залежи известняка часто граничат или переслаиваются с апатитами с высоким содержанием P. Предположительно, высокое содержание P обусловлено дефляцией с открытых поверхностей карьеров известняка.

Выводы

Для Губахи медианные концентрации (мг/кг) накапливаемых ПТЭ снижаются в биогеохимическом ряду абсолютных содержаний: P (2003) > S (1493) > Fe (748,25) > Al (585) > Mn (215,65) >Zn (61,74) > Ba (46,28) > Sr (19,81) > Cu (6,94) > Pb (3,6) > Ni (2,35) > V (1,97) > Cr (1,84) > Co (0,5) > Cd (0,44) > Hg (0,032).

Пространственное распределение выпадений и результаты статистической обработки (общая статистика и факторный анализ) указывают на взаимосвязь высоких концентраций Al, Fe, V, Cr, Co, Ni с выбросами предприятия «Метафракс Кемикалс»; а также повышенных значений Hg, S, Cu с выбросами предприятия «Губахинский кокс». Вероятней всего, эмиссии, образующиеся при производстве коксующихся углей, также являются основной причиной наблюдаемых повышенных концентраций Pb.

Наоборот, низкие значения Mn на дне и склонах долины р. Косьвы (между главным автомобильным и железнодорожным мостами) обусловлены непосредственной близостью мощного локального источника выбросов коксохимического производства.

Ощутимо высокий медианный уровень Cd (0,44 мг/кг), а также пики в его пространственном распределении предположительно могут объясняться как естественными (геогенное поступление), так и техногенными (и от первичных, и от вторичных источников) причинами.

Высокие значения накопления P во мхах на востоке правобережной части, по-видимому, обусловлены дефляцией с открытых поверхностей карьеров известняка.

Накопление ПТЭ во мхах-биомониторах позволило получить независимую (от классических режимных наблюдений на стационарных постах гидрометеорологической службы) оценку атмосферных выпадений ПТЭ в г. Губахе за 2023–2025 гг.

Библиографический список

1. *Алексеенок Ю. В.* Брионидикация атмосферных выпадений металлов и металлоидов в Республике Беларусь: дис. ... канд. геогр. наук / Балтийский федеральный университет им. Канта. Калининград, 2022. 194 с. EDN: WKFYSV

2. Атлас Пермского края / под общ.ред. А. М. Тартаковского. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2012. 124 с.

3. *Богданова Я. А., Прохорова Н. В., Вергель К. Н., Фронтасьева М. В.* Особенности накопления тяжелых металлов и металлоидов в фитомассе бокоплодного мха Pleurozium schreberi (Brid.) Mitt. в условиях Красносамарского лесного массива (Самарская область) и Национального парка «Бузулукский бор» (Оренбургская область) // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11, № 1. С. 24–30. DOI: 10.55355/snv2022111101 EDN: QQKDGZ

4. *Булыгина О. Н., Веселов В. М., Разуваев В. Н., Александрова Т. М.* Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549 : сайт. URL: http://meteo.ru/wp-content/uploads/2024/02/Свидетельство_Основные_метеорологические_сроки_№_2014620549.pdf (дата обращения: 20.11.2025)

5. *Вергель К. Н., Горяйнова З. И., Вихрова И. В., Фронтасьева М. В.* Метод мхов-биомониторов и ГИС-технологии в оценке воздушных загрязнений промышленными предприятиями Тихвинского района Ленинградской области // Экология урбанизированных территорий. 2014. № 2. С. 92–101. EDN: SLTXEJ

6. *Гатина Е. Л., Санников П. Ю., Четыркина В. В.* Накопление атмосферных выпадений потенциально токсичных элементов во мхах города Перми // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 2(73). С. 141–153. DOI: 10.17072/2079-7877-2025-2-141-153 EDN: TVOFCU

7. *Горбунов А. В., Ляпунов С. М., Ермолаев Б. В.* Распределение ртути в природных и урбанизированных средах Карелии // Экология человека. 2019. № 4. С. 10–17. DOI: 10.33396/1728-0869-2019-4-10-17 EDN: ZDDDQL

8. *Дмитриенко М. А., Няшина Г. С., Шлегель Н. Е., Шевырев С. А.* Снижение антропогенных выбросов при сжигании углей и отходов их переработки в качестве компонентов органоводоугольных суспензий // Проблемы энергетики. 2017. Т. 19, № 3-4. С. 41–52. EDN: ZBTIYH

9. *Ермаков В. В.* Стронций в биосфере. Новосибирск: Академиздат, 2023. 168 с.

10. *Журавлева А. Н., Бухарина И. Л., Свозилик В., Фронтасьева М. В., Загребин Е. А.* Мониторинг следовых элементов на территории Удмуртской Республики методом нейтронного активационного анализа // Лесной вестник. 2022. Т. 26, № 3. С. 54–61. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-54-61 EDN: AREZZH

11. *Зиньковская И. И., Вергель К. Н., Кравцова А. В., Сафонов А. И.* Биомониторинговая программа по оценке воздуха в Донбассе с помощью нейтронно- активационного анализа // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: мат. VII междунар. науч. конф., посвященной 85-летию Донецкого национального университета (Донецк, 27–28 октября 2022 г.). Донецк: Донецкий национальный университет, 2022. С. 69–71.

12. *Каманина И. З., Каплина С. П., Иванова А. А., Анисимова О. В.* Использование мхов для оценки состояния атмосферного воздуха городского округа Лобня // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 99–112. DOI: 10.17076/eco2057 EDN: BUNIZT

13. *Копылов И. С.* Закономерности формирования почвенных ландшафтов Приуралья, их геохимические особенности и аномалии // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 395. EDN: ROFXZP

14. *Костарева Т. В., Кичигина Л. С., Тяпкина И. А.* Определение комплекса неблагоприятных метеоусловий для отдельных групп источников (на примере города Губаха, Пермский край) // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. 2017. № 585. С. 158–169. EDN: ZBMWJP

15. *Крылов Д. А.* «Токсичность» угольной тепло-электрогенерации // Горная Промышленность. 2016. № 5(129). С. 66–71. EDN: XBJKSX

16. *Луцкин Е. С., Хуриганова О. И.* Ртуть в снежном покрове городов Южного Прибайкалья // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: мат. III Всерос. науч. конф. (Москва, 15–17 ноября 2023 г.). М., 2023. С. 151–155. EDN: JOTPRO

17. *Лучников А. С., Лядова А. А., Меркушев С. А., Николаев Р. С.* Горное Прикамье: современные функциональные трансформации в муниципальных образованиях // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. Т. 87, № 7. С. 992–1004. DOI: 10.31857/S2587556623070105 EDN: HEQWXN

18. *Меньшикова Е. А., Блинов С. М., Перевощиков Р. Д.* Естественные радионуклиды в отвалах Кизеловского угольного бассейна // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сборник трудов IX междунар. науч.-практ. конф. (Ростов-на-Дону, 22–23 октября 2020 г.). Таганрог: Южный федеральный университет, 2020. С. 433–437. EDN: ULAQWN

19. *Мещурова Т. А*. Оценка загрязнения атмосферного воздуха в городах Пермского края // Вестник НВГУ. 2020. № 1. С. 110–119. DOI: 10.36906/2311-4444/20-1/17 EDN: PEEQCU

20. *Митракова Н. В., Хайрулина Е.А., Перевощикова А. А., Порошина Н. В.* Экогеохимическая оценка техногенных почв в районах складирования отходов добычи угля натерритории Кизеловского угольного бассейна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2026. Т. 337, № 1. С. 98–112. DOI: 10.18799/24131830/2026/1/5008 EDN: IXRMQS

21. *Новикова В. Д., Таловская А. В., Язиков Е. Г.* Динамика пылевой нагрузки и химического состава снегового покрова в районе расположения предприятий теплоэнергетики и коксохимии (на примере г. Кемерово) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2025. Т. 336, № 3. С. 193–207. DOI: 10.18799/24131830/2025/3/4984 EDN: ZXBXJJ

22. О предприятии. Губахинский кокс : сайт. URL: https://gkoksugol.ru/about (дата обращения: 20.02.26)

23. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2024 году. Управление по охране окружающей среды Министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края. Пермь, 2024. 236 с.

24. *Смирнов Л. И., Фронтасьева М. В., Стейннес Э., Ляпунов С. М., Черчинцев В. Д., Романов С. А., Самосадный В. Т.* Многомерный статистический анализ концентраций тяжелых металлов и радионуклидов во мхах и почве Южного Урала // Атомная энергия. 2004. Т. 97, № 1. С. 68–74. EDN: PDHPNV

25. *Сухарева Т. А.* Элементный состав зеленых мхов фоновых и техногенно-нарушенных территорий // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2018. № 3(172). С. 89–96. DOI: 10.15393/uchz.art.2018.130 EDN: YUDFWO

26. *Торопов Л. И.* Загрязнение атмосферы городов Пермского края // Вестник Пермского университета. Серия: Химия. 2012. № 1(5). С. 77–85. EDN: OZHXFF

27. *Фазлыева А. С., Даукаев Р. А., Каримов Д. О.* Влияние кадмия на здоровье населения и способы профилактики его токсических эффектов // Медицина труда и экология человека. 2022. № 1(29). С. 220–235. DOI: 10.24411/2411-3794-2022-10115 EDN: GLPABT

28. *Хайрулин С. Р., Исмагилов З. Р., Пармон В. Н., Кузнецов В. В., Батуев Р. А., Трясунов Б. Г., Теряева Т. Н., Мазгаров А. М., Вильданов А. Ф., Голованов А. Н., Гараиев А. М., Берсенев А. И.* Методы очистки коксового газа от сероводорода. Процессы утилизации H_2S. Прямое каталитическое окисление. Разработки института катализа со РАН (обзор) // Альтернативная энергетика и экология. 2014 (а). № 19(159). С. 86–106.

29. *Хайрулин С. Р., Пармон В. Н., Кузнецов В. В., Батуев Р. А., Трясунов Б. Г., Теряева Т. Н., Мазгаров А. М.,Вильданов А. Ф., Голованов А. Н., Гараиев А. М., Берсенев А. И., Исмагилов З. Р.* Методы очистки коксового газа от сероводорода. Процессы утилизации H_2S. Прямое каталитичекое окисление. Разработки института катализа со РАН // Альтернативная энергетика и экология. 2014 (б). № 2. С. 144–146.

30. *Хомченко О. С., Новороцкая А. Г.* Ртуть в снежном покрове Хабаровска // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. № 3. С. 349–357. DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-3-349-358 EDN: UAVVSF

31. *Чернягина О. А., Зиньковская И. И., Юшин Н. С.* Активный биомониторинг в оценке влияния пеплопадов на загрязнение воздуха // Вулканизм и связанные с ним процессы: мат. XXVII ежегодной науч. конф., посвященной Дню вулканолога (Петропавловск-Камчатский, 27–29 марта 2024 г.). Петропавловск-Камчатский: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2024. С. 332–335. EDN KRCMZZ

32. *Шкляев В. А., Шкляева Л. С.* Климатические ресурсы Уральского Прикамья // Географический вестник. 2006. № 2(4). С. 97–110. EDN: NCSGNH

33. *Янин Е. П.* Ртуть в России: производство и потребление. М.: ИМГРЭ, 2004. 38 с. EDN: QQGHPT

34. *Barn P., Gombojav E., Ochir C., Boldbaatar B., Beejin B., Naidan G., Galsuren J., Legtseg B., Byambaa T., Hutcheon J. A., Janes C., Janssen P. A., Lanphear B. P., McCandless L. C., Takaro T. K., Venners S. A., Webster G. M., Palmer C. D., Parsons P. J., Allen R. W.* Coal smoke, gestational cadmium exposure, and fetal growth // Environmental Research. 2019. No. 179. DOI: 10.1016/j.envres.2019.108830 EDN: MTRHYW

35. C*haligava O., Zinicovscaia I., Peshkova A., Yushin N., Frontasyeva M., Vergel K., Nurkassimova M., Cepoi L.* Major and Trace Airborne Elements and Ecological Risk Assessment: Georgia Moss Survey 2019–2023 // Plants. 2024. Vol. 13, No. 23. P. 3298. DOI: 10.3390/plants13233298 EDN: LUSEEZ

36. *Chapin F. S., Oechel W. C., Van Cleve K., Lawrence W.* The role of mosses in the phosphorus cycling of an Alaskan black spruce forest // Oecologi. 1987. No. 74(2). P. 310–315. DOI: 10.1007/BF00379375 EDN: LGHANL

37. *Chen L. C., Maciejczyk P., Thurston G. D.* Metals and air pollution // In Handbook on the Toxicology of Metals: Volume I: General Considerations. Academic Press. 2021. P. 137–182. DOI: 10.1016/B978-0-12-823292-7.00004-8 EDN: XZNOJK

38. *Duan Y., Yang Zh., Yu T., Yang Q., Liu X., Ji W., Jiang H., Zhuo X., Wu T., Qin J., Wang L.* Geogenic cadmium pollution in multi-medians caused by black shales in Luzhai, Guangxi // Environmental Pollution. 2020. Vol. 260. P. 113905. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113905 EDN: VVZTRP

39. *Frontasyeva M., Harmens H., Uzhinskiy A., Chaligava, O. and participants of the moss survey*. Mosses as biomonitors of air pollution: 2015/2016 survey on heavy metals, nitrogen and POPs in Europe and beyond. Report of the ICP Vegetation Moss Survey Coordination Centre. Joint Institute for Nuclear Research, UK Centre for Ecology & Hydrology. 2020. 136 p.

40. *Gatina E., Zinicovscaia I., Yushin N., Chaligava O., Frontasyeva M., Sharipova A.* Assessment of the Atmospheric Deposition of Potentially Toxic Elements Using Moss *Pleurozium schreberi* in an Urban Area: The Perm (Perm Region, Russia) Case Study // Plants. 2024. Vol. 13. DOI: 10.3390/plants13172353 EDN: HSVPBB

41. *Hayes F., Sharps K. and participants of the moss survey*. Mosses as biomonitors of air pollution: 2020/2021 survey on heavy metals, nitrogen and POPs in Europe and beyond // Report of the ICP Vegetation Coordination Centre. UK, 2025.

42. *Jones F., Bankiewicz D., Hupa M.* Occurrence and sources of zinc in fuels // Fuel. 2014. Vol. 117, Part A. P. 763–775 DOI: 10.1016/j.fuel.2013.10.005 EDN: SPGSNT

43. *Keane S., Bernaudat L., Davis K. J., Stylo M., Mutemeri N., Singo P., Twala P., Mutemeri I., Nakafeero A., Dossou Etui I.* Mercury and artisanal and small-scale gold mining: review of global use estimates and considerations for promoting mercury-free alternatives // Ambio. 2023. Vol. 52, No. 5. P. 833–852. DOI: 10.1007/s13280-023-01843-2 EDN: PMNDMY

44. Labmix24: Polish Virginia Tobacco Leaves : website. URL: https://labmix24.com/en/products/IC-INCT-PVTL-6 (дата обращения: 05.03.2024)

45. *Liu X., Wang Z., Li X., Bao W.* Nitrogen and phosphorus translocation of forest floor mosses as affected by a pulse of these nutrients // Journal of Plant Ecology. 2020. No. 13(5). P. 633–640. DOI: 10.1093/jpe/rtaa050 EDN: DFKEMI

46. *Mamaeva S., Frontasyeva M., Petrova K., Kolodeznikov V., Ignatyeva G., Zakharov E., Kononov V.* Assessment of the Area of Heavy Metals and Radionuclides Deposition on the Environment of the Household Waste Landfill on the 9th km of Vilyuisky Tract in Yakutsk City // Atmosphere. 2025. Vol. 16, No. 7. P. 816. DOI: 10.3390/atmos16070816 EDN: NKNLIU

47. *Maxhuni A., Lazo P., Kane S., Qarri F., Marku E., Harmens H.* First survey of atmospheric heavy metal deposition in Kosovo using moss biomonitoring // Environmental Science and Pollution Research. 2015. P. 744–755.

48. Moss survey protocol : website. URL: https://icpvegetation.ceh.ac.uk/get-involved/manuals/moss-survey (дата обращения: 07.11.2024)

49. *Rehman M., Liu L., Wang Q., Saleem M.H., Bashir S., Ullah S., Peng D.* Copper environmental toxicology, recent advances, and future outlook: a review // Environmental Science and Pollution Research. Springer Verlag. 2019. DOI: 10.1007/s11356-019-05073-6 EDN: XIWUQM

50. *Shafer M. M., Toner B. M., Overdier J. T., Schauer J. J., Fakra S. C., Hu S., Herner J. D., Ayala A.* Chemical speciation of vanadium in particulate matter emitted from diesel vehicles and urban atmospheric aerosols // Environmental Science and Technology. 2012. No. 46(1). P. 189–195. DOI: 10.1021/es200463c

51. *Shvetsova M. S., Kamanina I. Z., Zinicovscaia I., Frontasyeva M. V., Pavlov S. S., Yushin N. S.* Active moss biomonitoring of airborne potentially toxic elements in recreational areas of Moscow // Environmental Monitoring and Assessment. 2024. Vol. 196. DOI: 10.1007/s10661-023-12210-9 EDN: QVUZNI

52. *Sun Y., Han Z., Du Z., Li Z., Cong X.* Preparation and performance of environmental friendly Sulphur-Free propellant for fireworks // Applied Thermal Engineering. 2017. No. 126. P. 987–996. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.08.003

53. United Nations Economic Commission for Europe International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops : website. URL: http://icpvegetation.ceh.ac.uk/ (дата обращения: 20.02.2025)

54. *Vergel K., Zinicovscaia I., Yushin N., Chaligava O., Cepoi L., Kravtsova A.* Moss Biomonitoring in the Evaluation of Air Pollution in the Tver Region, Russia // Atmosphere. 2024. Vol. 15. P. 1191. DOI: 10.3390/atmos15101191 EDN: MBRZDN

55. *Vergel K., Zinicovscaia I., Yushin N., Chaligava O., Nekhoroshkov P., Grozdov D.* Moss Biomonitoring of Atmospheric Pollution with Trace Elements in the Moscow Region, Russia // Toxics. 2022. Vol. 10. P. 66. DOI: 10.3390/toxics10020066 EDN: AIJILK

56. *Viskup R., Wolf C., Baumgartner W.* Identification of the Minor Chemical Elements in the Particulate Matter Exhaust Emissions From In-Use Diesel Engine Passenger Vehicles // Diesel and Gasoline Engines. IntechOpen. 2020. DOI: 10.5772/intechopen.90760

57. *Wahlqvist F., Bryngelsson I. L., Westberg H., Vihlborg P., Andersson L.* Dermal and inhalable cobalt exposure – Uptake of cobalt for workers at Swedish hard metal plants // PLoS ONE. 2020. No. 15(8). DOI: 10.1371/journal.pone.0237100 EDN: CGZAFR

58. *Wu L., Isley C. F., Handley H. K., Taylor M. P.* Atmospheric sources of anthropogenic and geogenic trace metals in Australian lichen and fungi // Anthropocene. 2021. Vol. 33. DOI: 10.1016/j.ancene.2021.100279 EDN: URVBYI

59. *Zinicovscaia I., Chaligava O., Yushin N., Grozdov D., Vergel K., Hramco C.* Moss biomonitoring of atmospheric trace element pollution in the Republic of Moldova // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2022. No. 82(3). P. 355–366. DOI: 10.1007/s00244-022-00918-7 EDN: MMSNDM

60. *Zinicovscaia I., Hramco C., Chaligava O., Yushin N., Grozdov D., Vergel K., Duca G.* Accumulation of potentially toxic elements in mosses collected in the Republic of Moldova // Plants. 2021. Vol. 10, No. 3. P. 1–13. DOI: 10.3390/plants10030471 EDN: CPOORW

61. *Zinicovscaia I., Yushin N., Peshkova A. Noskov M., Koshelev V., Nosov D., Maksimova B., Dyakova A., Apanasevich P., Dmitrieva E.* Application of active biomonitoring technique for the assessment of air pollution by potentially toxic elements in urban areas in the Kemerovo Region, Russia // Environmental Monitoring and Assessment. 2025. Vol. 197, No. 2. P. 158. DOI: 10.1007/s10661-024-13439-8 EDN: EDLULT

References

1. Alekseenok Yu. V. *Brioindikatsiya atmosfernykh vypadenii metallov i metalloidov v Respublike Belarus'* [Brioindication of atmospheric precipitation of metals and metalloids in the Republic of Belarus]. C.Sc. dissertation, Immanuil Kant Baltic Federal University. Kaliningrad, 2022. 194 p. (In Russ.)

2. *Atlas Permskogo kraya* [Atlas of the Perm Region]. Ed. by. A. M. Tartakovskii. Perm State University. Perm, 2012. 124 p. (In Russ.)

3. Bogdanova Ya. A., Prokhorova N. V., Vergel K. N., Frontasyeva M. V. The features of heavy metals and metalloids accumulation in the phytomass of the amphipodous moss Pleurozium schreberi (Brid.) Mitt. in the conditions of the Krasnosamarsky Forest area (Samara Region) and the National Park «Buzuluksky Bor» (Orenburg Region). *Samara Journal of Science*, 2022, vol. 11, no. 1, pp. 24–30. DOI: 10.55355/snv2022111101 (In Russ.)

4. *Bulygina O. N., Veselov V. M., Razuvaev V. N., Aleksandrova T. M. Opisanie massiva srochnykh dannykh ob osnovnykh meteorologicheskikh parametrakh na stantsiyakh Rossii: Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii bazy dannykh № 2014620549* [Description of the array of urgent data on the main meteorological parameters at Russian stations: Certificate of State Registration of the Database No. 2014620549]. (In Russ.) URL: http://meteo.ru/wp-content/uploads/2024/02/Свидетельство_Основные_метеорологические_сроки_№_2014620549.pdf (Accessed 20 November 2025)

5. Vergel' K. N., Goryainova Z. I., Vikhrova I. V., Frontas'eva M. V. Metod mkhov-biomonitorov i GIS-tekhnologii v otsenke vozdushnykh zagryaznenii promyshlennymi predpriyatiyami Tikhvinskogo raiona Leningradskoi oblasti [The moss biomonitoring and GIS technology in the assessment of air pollution by industrial enterprises in Tikhvin district of Leningrad Region]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*, 2014, no 2, pp. 92–101. (In Russ.)

6. Gatina E. L., Sannikov P. Yu., Chetyrkina V. V. Bioaccumulation of potentially toxic ele-ments in mosses resulting from atmospheric deposition (a case study of the city of Perm). *Geographical Bulletin*, 2025, no 2(73), pp. 141–153. (In Russ.) DOI: 10.17072/2079-7877-2025-2-141-153. EDN: TVOFCU

7. Gorbunov A. V., Lyapunov S. M., Ermolaev B. V. Distribution of mercury in natural and urban environments of Karelia, northwest Russia. *Human ecology*. 2019. №. 4. С. 10–17. (In Russ.) DOI: 10.33396/1728-0869-2019-4-10-17

8. Dmitrienko M. A., Nyashina G. S., Shlegel' N. E., Shevyrev S. A. Snizhenie antropogennykh vybrosov pri szhiganii uglei i otkhodov ikh pererabotki v kachestve komponentov organovodougol'nykh suspenzii [Reduction of anthropogenic emissions during the combustion of coal and its processing waste as components of organo-water-coal suspensions]. *Problemy energetiki*. 2017, vol. 19, no. 3-4, pp. 41–52. (In Russ.)

9. Ermakov V. V. *Strontsii v biosphere* [Strontium in the biosphere]. Novosibirsk: Akademizdat, 2023. 168 p. (In Russ.)

10. Zhuravleva A. N., Bukharina I. L., Svozilik V., Frontasyeva M. V., Zagrebin E. A. Trace elements monitoring in Udmurt Republic by neutron activation analysis. *Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no 3, pp. 54–61. (In Russ.) DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-54-61

11. Zin'kovskaya I. I., Vergel' K. N., Kravtsova A. V., Safonov A. I. Biomonitoringovaya programma po otsenke vozdukha v Donbasse s pomoshch'yu neitronno- aktivatsionnogo analiza [Biomonitoring program for assessing air quality in Donbas using neutron activation analysis]. In *Donetskie chteniya 2022: obrazovanie, nauka, innovatsii, kul'tura i vyzovy sovremennosti: Mater. VII Mezhdunar. nauch. konf., posvyashchennoi 85-letiyu Donetskogo natsional'nogo universiteta (Donetsk, 27–28 oktyabrya 2022 g.)*. Donetsk: Donetskii natsional'nyi universitet, 2022, pp. 69–71. (In Russ.)

12. Kamanina I. Z., Kaplina S. P., Ivanova A. A., Anisimova O. V. Using mosses to assess the state of atmospheric air in the Lobnya Urban District. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025, no 8, pp. 99–112. (In Russ.) DOI: 10.17076/eco2057

13. Kopylov I. S. Zakonomernosti formirovaniya pochvennykh landshaftov Priural'ya, ikh geokhimicheskie osobennosti i anomalii [Regularities of formation of soil landscapes of the Priurals, their geochemical features and anomalies]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, no 4, pp. 395. (In Russ.)

14. Kostareva T. V., Kichigina L. S., Tyapkina I. A. Opredelenie kompleksa neblagopriyatnykh meteouslovii dlya otdel'nykh grupp istochnikov (na primere goroda Gubakha, Permskii krai) [Determination of a complex of unfavorable weather conditions for individual groups of sources (using the example of the city of Gubakha, Perm Region)]. *Trudy Glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A. I. Voeikova*, 2017, no 585, pp. 158–169. (In Russ.)

15. Krylov D. A. «Toksichnost'» ugol'noi teploelektrogeneratsii [The "toxicity" of coal-fired thermal power generation], Gornaya Promyshlennost', 2016, no. 5(129), pp. 66–71. (In Russ.)

16. Lutskin E. S., Khuriganova O. I. Rtut' v snezhnom pokrove gorodov Yuzhnogo Pribaikal'ya [Mercury in the snow cover of the cities of the Southern Baikal Region]. In *Monitoring sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchei sredy: materialy III Vseros. nauch. konf. (Moskva, 15–17 noyabrya 2023 g.).* Moscow, 2023, pp. 151–155. . (In Russ.)

17. Luchnikov A. S., Lyadova A. A., Merkushev S. A., Nikolaev R. S. Mountainous Part of Perm Krai (Gornoe Prikamie): Modern Functional Transformations in Municipalities. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 2023, vol. 87, no. 7. C. 992–1004. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2587556623070105

18. Men'shikova E. A., Blinov S. M., Perevoshchikov R. D. Estestvennye radionuklidy v otvalakh Kizelovskogo ugol'nogo basseina [Natural radionuclides in the waste dumps of the Kizelovsky coal basin]. In *Ekologicheskie problemy. Vzglyad v budushchee: sbornik trudov IX Mezhdun. nauch.-prakt. konfer. (Rostov-na-Donu, 22–23 oktyabrya 2020 g.).* Taganrog: Yuzhnyi federal'nyi universitet, 2020. C. 433–437. (In Russ.)

19. Meshchurova T. A. Assessment of air pollution in the cities of Perm region. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2020, no. 1, pp. 110–119. (In Russ.) DOI: 10.36906/2311-4444/20-1/17

20. Mitrakova N. V., Khayrulina E. A., Perevoshchikova A. A., Poroshina N. V. Ecogeochemical assessment of technogenic soils in areas of coal mining waste storage within the Kizel Coal Basin. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assest Engineering*, 2026, vol. 337, no 1, pp. 98–112. (In Russ.) DOI: 10.18799/24131830/2026/1/5008

21. Novikova V. D., Talovskaya A. V., Yazikov E. G. Dynamics of particulate load and chemical composition of snow cover in the area of thermal power and coke chemistry enterprises (case for the city of Kemerovo). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2025, vol. 336, no. 3. C. 193–207. (In Russ.) DOI: 10.18799/24131830/2025/3/4984

22. . O predpriyatii. Gubakhinskii koks [About the enterprise. Gubakhinsky coke]. (In Russ.) URL: https://gkoksugol.ru/about (Accessed 20.02.26).

23. *O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Permskogo kraya v 2024 godu* [On the state and environmental protection of the Perm Territory in 2024.]. Upravlenie po okhrane okruzhayushchei sredy Ministerstva prirodnykh resursov, lesnogo khozyaistva i ekologii Permskogo kraya. Perm', 2024. 236 p. (In Russ.)

24. Smirnov L. I., Frontas'eva M. V., Steinnes E., Lyapunov S. M., Cherchintsev V. D., Romanov S. A., Samosadnyi V. T. Mnogomernyi statisticheskii analiz kontsentratsii tyazhelykh metallov i radionuklidov vo mkhakh i pochve Yuzhnogo Urala [Multivariate statistical analysis of concentrations of heavy metals and radionuclides in mosses and soil of the Southern Urals]. *Atomnaya energiya*, 2004, vol. 97, no. 1, pp. 68–74. (In Russ.)

25. Sukhareva T. A. Elementnyi sostav zelenykh mkhov fonovykh i tekhnogenno-narushennykh territorii [Elemental composition of green mosses of background and technogenic disturbed territories]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, no. 3(172), pp. 89–96. (In Russ.)

26. Toropov L. I. Zagryaznenie atmosfery gorodov Permskogo kraya [Air pollution of the cities of the Perm Territory]. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Khimiya*, 2012, no. 1(5), p. 77–85. (In Russ.)

27. Fazlieva A.S., Daukaev R.A., Karimov D.O. Influence of cadmium on population health and methods for preventing its toxic effects. *Occupational health and human ecology*, 2022, no. 1(29), pp. 220–235. (In Russ.) DOI: 10.24411/2411-3794-2022-10115

28. Khairulin S. R., Ismagilov Z. R., Parmon V. N., Kuznetsov V. V., Batuev R. A., Tryasunov B. G., Teryaeva T. N., Mazgarov A. M., Vil'danov A. F., Golovanov A. N., Garaiev A. M., Bersenev A. I. Metody ochistki koksovogo gaza ot serovodoroda. Protsessy utilizatsii H_2S. Pryamoe kataliticheckoe okislenie. Razrabotki instituta kataliza so RAN (obzor) [Methods of coke gas purification from hydrogen sulfide. H_2S disposal processes. Direct catalytic oxidation. Developments of the Institute of Catalysis with the Russian Academy of Sciences (review)]. *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal Al'ternativnaya energetika i ekologiya*, 2014(a), no. 19(159), pp. 86–106. (In Russ.)

29. Khairulin S. R., Parmon V. N., Kuznetsov V. V., Batuev R. A., Tryasunov B. G., Teryaeva T. N., Mazgarov A. M.,Vil'danov A. F., Golovanov A. N., Garaiev A. M., Bersenev A. I., Ismagilov Z. R. Metody ochistki koksovogo gaza ot serovodoroda. Protsessy utilizatsii H_2S. Pryamoe katalitichekoe okislenie. Razrabotki instituta kataliza so RAN [Methods of coke gas purification from hydrogen sulfide. H_2S disposal processes. Direct catalytic oxidation. Development of the Institute of Catalysis with the Russian Academy of Sciences]. Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal Al'ternativnaya energetika i ekologiya, 2014(б), no. 2. pp. 144–146. (In Russ.)

30. Khomchenko OS, Novorotskaya AG. Mercury concentration in the snow cover of the city of Khabarovsk. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 2023, no. 3. pp. 349–357. (In Russ.) DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-3-349-358

31. Chernyagina O. A., Zin'kovskaya I. I., Yushin N. S. Aktivnyi biomonitoring v otsenke vliyaniya peplopadov na zagryaznenie vozdukha [Active biomonitoring in assessing the impact of ash falls on air pollution]. In *Vulkanizm i svyazannye s nim protsessy: Materialy XXVII ezhegodnoi nauch. konfer., posvyashchennoi Dnyu vulkanologa (Petropavlovsk-Kamchatskii, 27–29 marta 2024 g.)*. Petropavlovsk-Kamchatskii: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe uchrezhdenie nauki Institut vulkanologii i seismologii DVO RAN, 2024. C. 332–335. EDN KRCMZZ (In Russ.)

32. Shklyaev V. A., Shklyaeva L. S. Klimaticheskie resursy Ural'skogo Prikam'ya [Climatic resources of the Ural Kama region]. *Geographical Bulletin*. 2006, no. 2(4), pp. 97–110. (In Russ.)

33. Yanin E. P. *Rtut' v Rossii: proizvodstvo i potreblenie* [Mercury in Russia: production and consumption]. Moscow: IMGRE, 2004, 38 p.

34. Barn P., Gombojav E., Ochir C., Boldbaatar B., Beejin B., Naidan G., Galsuren J., Legtseg B., Byambaa T., Hutcheon J. A., Janes C., Janssen P. A., Lanphear B. P., McCandless L. C., Takaro T. K., Venners S. A., Webster G. M., Palmer C. D., Parsons P. J., Allen R. W. Coal smoke, gestational cadmium exposure, and fetal growth. *Environmental Research*, 2019, no. 179, DOI: 10.1016/j.envres.2019.108830

35. Chaligava O., Zinicovscaia I., Peshkova A., Yushin N., Frontasyeva M., Vergel K., Nurkassimova M., Cepoi L. Major and Trace Airborne Elements and Ecological Risk Assessment: Georgia Moss Survey 2019–2023. *Plants*, 2024, vol. 13, no. 23, pp. 3298. DOI: 10.3390/plants13233298

36. Chapin F. S., Oechel W. C., Van Cleve K., Lawrence W. The role of mosses in the phosphorus cycling of an Alaskan black spruce forest. *Oecologi*, 1987, no. 74(2), pp. 310–315. DOI: 10.1007/BF00379375

37. Chen L. C., Maciejczyk P., Thurston G. D. Metals and air pollution. In *Handbook on the Toxicology of Metals: Volume I*: General Considerations. Academic Press, 2021, pp. 137–182. DOI: 10.1016/B978-0-12-823292-7.00004-8

38. Duan Y., Yang Zh., Yu T., Yang Q., Liu X., Ji W., Jiang H., Zhuo X., Wu T., Qin J., Wang L. Geogenic cadmium pollution in multi-medians caused by black shales in Luzhai, Guangxi. *Environmental Pollution*, 2020, vol. 260, pp. 113905, DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113905

39. Frontasyeva M., Harmens H., Uzhinskiy A., Chaligava, O. and participants of the moss survey. *Mosses as biomonitors of air pollution: 2015/2016 survey on heavy metals, nitrogen and POPs in Europe and beyond. Report of the ICP Vegetation Moss Survey Coordination Centre*. Joint Institute for Nuclear Research, UK Centre for Ecology & Hydrology, 2020, 136 p.

40. Gatina E., Zinicovscaia I., Yushin N., Chaligava O., Frontasyeva M., Sharipova A. Assessment of the Atmospheric Deposition of Potentially Toxic Elements Using Moss *Pleurozium schreberi* in an Urban Area: The Perm (Perm Region, Russia) Case Study. *Plants*. 2024, vol. 13, DOI: 10.3390/plants13172353

41. Hayes F., Sharps K. and participants of the moss survey. *Mosses as biomonitors of air pollution: 2020/2021 survey on heavy metals, nitrogen and POPs in Europe and beyond*. Report of the ICP Vegetation Coordination Centre, UK, 2025.

42. Jones F., Bankiewicz D., Hupa M. Occurrence and sources of zinc in fuels. *Fuel*, 2014, vol. 117, part A, pp. 763–775 DOI: 10.1016/j.fuel.2013.10.005

43. Keane S., Bernaudat L., Davis K. J., Stylo M., Mutemeri N., Singo P., Twala P., Mutemeri I., Nakafeero A., Dossou Etui I. Mercury and artisanal and small-scale gold mining: review of global use estimates and considerations for promoting mercury-free alternatives. *Ambio*, 2023, vol. 52, no 5, pp. 833–852. DOI: 10.1007/s13280-023-01843-2

44. *Labmix24: Polish Virginia Tobacco Leaves*. URL: https://labmix24.com/en/products/IC-INCT-PVTL-6 (Accessed 5 March 2024)

45. Liu X., Wang Z., Li X., Bao W. Nitrogen and phosphorus translocation of forest floor mosses as affected by a pulse of these nutrients. *Journal of Plant Ecology*, 2020, no. 13(5), pp. 633–640. DOI: 10.1093/jpe/rtaa050

46. Mamaeva S., Frontasyeva M., Petrova K., Kolodeznikov V., Ignatyeva G., Zakharov E., Kononov V. Assessment of the Area of Heavy Metals and Radionuclides Deposition on the Environment of the Household Waste Landfill on the 9th km of Vilyuisky Tract in Yakutsk City. *Atmosphere*, 2025, vol. 16, no. 7, pp. 816. DOI: 10.3390/atmos16070816. EDN: NKNLIU

47. Maxhuni A., Lazo P., Kane S., Qarri F., Marku E., Harmens H. First survey of atmospheric heavy metal deposition in Kosovo using moss biomonitoring. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, pp. 744–755.

48. *Moss survey protocol*. URL: https://icpvegetation.ceh.ac.uk/get-involved/manuals/moss-survey (Accessed 07 November 2024).

49. Rehman M., Liu L., Wang Q., Saleem M.H., Bashir S., Ullah S., Peng D. Copper environmental toxicology, recent advances, and future outlook: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. Springer Verlag, 2019. DOI: 10.1007/s11356-019-05073-6

50. Shafer M. M., Toner B. M., Overdier J. T., Schauer J. J., Fakra S. C., Hu S., Herner J. D., Ayala A. Chemical speciation of vanadium in particulate matter emitted from diesel vehicles and urban atmospheric aerosols. *Environmental Science and Technology*, 2012, no. 46(1), pp. 189–195. DOI: 10.1021/es200463c

51. Shvetsova M. S., Kamanina I. Z., Zinicovscaia I., Frontasyeva M. V., Pavlov S. S., Yushin N. S. Active moss biomonitoring of airborne potentially toxic elements in recreational areas of Moscow. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2024, vol. 196(1), p. 81. DOI: 10.1007/s10661-023-12210-9

52. Sun Y., Han Z., Du Z., Li Z., Cong X. Preparation and performance of environmental friendly Sulphur-Free propellant for fireworks. *Applied Thermal Engineering*, 2017, no. 126, pp. 987–996. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.08.003

53. *United Nations Economic Commission for Europe International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops*. URL: http://icpvegetation.ceh.ac.uk/ (Accessed 20 February 2025).

54. Vergel K., Zinicovscaia I., Yushin N., Chaligava O., Cepoi L., Kravtsova A. Moss Biomonitoring in the Evaluation of Air Pollution in the Tver Region, Russia. *Atmosphere*, 2024, vol. 15, p. 1191. DOI: 10.3390/atmos15101191

55. Vergel K., Zinicovscaia I., Yushin N., Chaligava O., Nekhoroshkov P., Grozdov D. Moss Biomonitoring of Atmospheric Pollution with Trace Elements in the Moscow Region, Russia. *Toxics*. 2022, vol. 10, p. 66. DOI: 10.3390/toxics10020066

56. Viskup R., Wolf C., Baumgartner W. Identification of the Minor Chemical Elements in the Particulate Matter Exhaust Emissions From In-Use Diesel Engine Passenger Vehicles. *Diesel and Gasoline Engines. IntechOpen*, 2020, DOI: 10.5772/intechopen.90760

57. Wahlqvist F., Bryngelsson I. L., Westberg H., Vihlborg P., Andersson L. Dermal and inhalable cobalt exposure – Uptake of cobalt for workers at Swedish hard metal plants. *PLoS ONE*, 2020, no. 15(8). DOI: 10.1371/journal.pone.0237100

58. Wu L., Isley C. F., Handley H. K., Taylor M. P. Atmospheric sources of anthropogenic and geogenic trace metals in Australian lichen and fungi. *Anthropocene*, 2021, vol. 33. DOI: 10.1016/j.ancene.2021.100279

59. Zinicovscaia I., Chaligava O., Yushin N., Grozdov D., Vergel K., Hramco C. Moss biomonitoring of atmospheric trace element pollution in the Republic of Moldova. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2022, no. 82(3), pp. 355–366. DOI: 10.1007/s00244-022-00918-7

60. Zinicovscaia I., Hramco C., Chaligava O., Yushin N., Grozdov D., Vergel K., Duca G. Accumulation of potentially toxic elements in mosses collected in the Republic of Moldova. *Plants*, 2021, vol. 10, no. 3, pp. 1–13. DOI: 10.3390/plants10030471.

61. Zinicovscaia I., Yushin N., Peshkova A. Noskov M., Koshelev V., Nosov D., Maksimova B., Dyakova A., Apanasevich P., Dmitrieva E. Application of active biomonitoring technique for the assessment of air pollution by potentially toxic elements in urban areas in the Kemerovo Region, Russia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2025, vol. 197, no. 2, pp. 158. DOI: 10.1007/s10661-024-13439-8. EDN: EDLULT

Статья поступила в редакцию: 10.11.25, одобрена после рецензирования: 28.02.26, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 10 November 2025; approved after review: 28 February 2026; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах
Евгения Леонидовна Гатина
Кандидат биологических наук,
доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Information about the authors
Evgeniya L. Gatina
Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor, Department of Biogeocenology
and Nature Conservation,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: suslovael@mail.ru

Инга Ивановна Зиньковская
Доктор химических наук,
начальник сектора нейтронного активационного
анализа и прикладных исследований, лаборатория
нейтронной физики им. И. М. Франка,
Объединенный институт ядерных исследований;
141980, Россия, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6

Inga I. Zinicovscaia
Doctor of Chemical Sciences,
Head of the Sector of Neutron Activation Analysis and
Applied Research, Frank Laboratory of Neutron
Physics, Joint Institute for Nuclear Research;
6, Zholio-Kyuri st., Dubna, 141980, Russia

e-mail: zinikovskaia@mail.ru

Павел Юрьевич Санников
Кандидат географических наук,
доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы,
заведующий лабораторией эколого-
геоинформационных систем,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Pavel Yu. Sannikov
Candidate of Geographical Sciences,
Associate Professor, Department of Biogeocenology
and Nature Protection,
Head of the Laboratory of Ecological and
Geoinformation Systems,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: sol1430@gmail.com

Валерия Вячеславовна Четыркина
Студент, Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Valeriya V. Chetyrkina
Student, Faculty of Geography,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: lera.rrr16@gmail.com

Полина Владимировна Бронникова
Студент, Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Polina V. Bronnikova
Student, Faculty of Geography,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: bronnyaaaaa@mail.ru

Алина Васильевна Киршина
Студент, Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Alina V. Kirshina
Student, Faculty of Geography,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: alin.kirsh@gmail.com

Вклад авторов

Гатина Е. Л. – идея, постановка задач исследования, организация полевых работ, обработка материала, написание статьи, редактирование статьи.

Зиньковская И. И. – статистическая обработка, написание статьи, редактирование статьи.

Санников П. Ю. – сбор материала, обработка материала, работа с ГИС, создание карт, написание статьи, редактирование статьи.

Четыркина В. В. – обработка материала, создание карт, написание статьи.

Бронникова П. В. – сбор материала, обработка материала.

Киршина А. В. – сбор материала, обработка материала.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Evgeniya L. Gatina – the idea; setting of the research objectives; arrangement of field work; processing of the material; writing and editing of the article.

Inga I. Zinicovscaia – statistical processing; writing and editing of the article.

Pavel Yu. Sannikov – data collection; processing of the material; work with GIS; creation of the maps; writing and editing of the article.

Valeriya V. Chetyrkina – processing of the material; creation of the maps; writing of the article.

Polina V. Bronnikova – data collection; processing of the material.

Alina V. Kirshina – data collection; processing of the material.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Научная статья
УДК 631.4:581.1
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-133-144
EDN: FZALIG

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ К ЗАСОЛЕНИЮ NACL

Анна Александровна Перевощикова[1, 2]✉, Наталья Васильевна Митракова[2], Тимофей Сергеевич Бачурин[2], Никита Алексеевич Кобелев[2]
[1] Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия
[2] Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
✉ aaperevoshchikova@yandex.ru

Аннотация. Проблема засоления почв остро стоит во всем мире, что приводит к выводу из хозяйственного оборота больших площадей земель. На территории Верхнекамского месторождения солей дерново-подзолистые почвы элювиальных ландшафтов подвержены засолению вследствие аварий, пыления солеотвалов и возникновения дренажей от объектов хранения отходов. В статье проводится оценка устойчивости дерново-подзолистой почвы к загрязнению хлоридно-натриевой солью. Основной метод исследования – фитотестирование. Рассмотрена ответная реакция высоты и массы двух тест-культур: кресс-салата и овса посевного, а также фотосинтетического аппарата овса. Результаты исследования показали достоверное снижение высоты и массы тест-культур в условиях добавления в почву NaCl, при этом чем выше доза загрязнения, тем ниже высота и масса относительно контрольных показателей. Для кресс-салата токсичность проявилась при дозе внесения NaCl выше 0,3 %, для овса – при 0,5 % и выше. Отмечено снижение кислотности почвы при повышении дозы внесения хлорида натрия. На содержание элементов питания (NPK) внесение NaCl в разных дозах достоверного воздействия не оказало. Засоление привело к повышению количества пигментов в овсе. Пороговая концентрация NaCl для дерново-подзолистой почвы составила 0,3 %. Результаты исследования могут помочь для разработки рекомендаций к установлению предельных допустимых концентраций при засолении почв.

Ключевые слова: засоление, хлорид натрия, почва, фитотестирование, фитотоксичность
Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00324.
Для цитирования: Перевощикова А. А., Митракова Н. В., Бачурин Т. С., Кобелев Н. А. Исследование устойчивости дерново-подзолистой почвы средней тайги к засолению NaCl // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 133–144. EDN: FZALIG DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-133-144

Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-133-144
EDN: FZALIG

NACL SALINIZATION RESISTANCE OF SODDY-PODZOLIC SOIL IN THE MIDDLE TAIGA

Anna A. Perevoshchikova[1, 2] ✉, Natalya V. Mitrakova[2], Timofey S. Bachurin[2], Nikita A. Kobelev[2]
[1] Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
[2] Perm State University, Perm, Russia
✉ aaperevoshchikova@yandex.ru

Abstract. The problem of soil salinization is acute worldwide, this leading to the withdrawal of large areas of land from agricultural use. In the territory of the Verkhnekamskoe Potash Deposit, soddy-podzolic soils of eluvial landscapes are subject to salinization due to accidents, windblown dust from salt dumps, and drainage from waste storage facilities. The study assesses the resistance of soddy-podzolic soil to sodium chloride contamination using phytotoxicity testing. The height and biomass of two test species (garden cress and common oat) as well as the photosynthetic apparatus of oats were examined. The results showed a marked decrease in the height and biomass of the test species following the addition of NaCl to the soil. The higher the contamination dose, the lower the height and biomass relative to the control values. Toxicity was observed at NaCl doses above 0.3 % for garden cress and at 0.5 % and above – for oats. A decrease in soil acidity was noted with increasing the sodium chloride dose. The addition of NaCl at different doses had no substantial effect on nutrient (NPK) content. Salinization led to a higher pigment content in oats. The threshold NaCl concentration

© Перевощикова А. А., Митракова Н. В., Бачурин Т. С., Кобелев Н. А., 2026
Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

for soddy-podzolic soil was found to be 0.3 %. These findings can inform the development of recommendations for establishing maximum permissible concentrations at soil salinization.

Keywords: salinization, sodium chloride, soil, phytotesting, phytotoxicity

Funding. The research was funded by a grant from the Russian Science Foundation, project No. 24-27-00324.

For citation: Perevoshchikova A. A., Mitrakova N. V., Bachurin T. S., Kobelev N. A. NaCl salinization resistance of soddy-podzolic soil in the middle taiga. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 133–144. EDN: FZALIG DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-133-144

Введение

Засоление почвы представляет собой проблему для сельскохозяйственных, городских, и промышленных территорий. Согласно сведениям доклада ФАО (FAO – Food and Agriculture Organization), опубликованного в декабре 2024 г., почти 1,4 млрд га земли (чуть более 10 % от общей площади суши в мире) уже пострадало от засоления, а еще 1млрд га находится под угрозой. Основными причинами засоления являются изменение климата и некачественный менеджмент земельными ресурсами. Несмотря на то, что основная часть засоленных земель относится к сельскохозяйственным угодьям, площадь засоленных участков продолжает увеличиваться с каждым годом в связи с ростом добычи углеводородов, калийных солей, использования противогололедных средств.

По данным источника [22], к засоленным (Salt-affected soils) относятся почвы, в которых в любом из горизонтов почвенного профиля присутствуют легкорастворимые соли или их ионы в количествах, превышающих уровень токсичности – максимально допустимую концентрацию солей, не оказывающую негативного влияния на растения. Из-за засоления почв значительные площади земель становятся непригодными для ведения сельского хозяйства, также для таких земель характерно снижение биоразнообразия. Необратимые изменения приводят к снижению способности почв выполнять свои экологические функции, что, в свою очередь, вызывает деградацию экосистем. Для предприятий, занимающихся добычей и производством солей, характерно явление техногенного засоления, которое может происходить даже в условиях влажного климата [29; 33]. В частности, регионы Западной Сибири и Тюменской области подвержены этому явлению из-за воздействия минерализованных вод и других антропогенных факторов. В том числе процесс техногенного засоления почв наблюдается на территории Казахстана, где сосредоточено около 140 млн га земель, подверженных засолению, что связано с недостатком осадков и неправильным орошением.

В засоленных почвах наблюдается снижение потенциального плодородия, а также доступности макро- и микроэлементов для растений. При солевом стрессе в растениях угнетается синтез белков, а распад уже существующих белковых комплексов усиливается [10; 22; 30]. Это снижение синтеза белка проявляется в замедлении роста и развития растений, а также в нарушении их метаболических процессов. Увеличение уровня засоления нарушает гомеостатический водный баланс растений [22; 30]. Токсичными для растений при этом являются: хлориды (NaCl, $CaCl_2$, $MgCl_2$), сульфаты (Na_2SO_4, $MgSO_4$), карбонаты (Na_2CO_3, $NaHCO_3$), нитраты ($NaNO_3$, KNO_3). Токсическое воздействие хлорид-ионов связано с их высокой подвижностью и способностью быстро проникать в корневые клетки растений, не задерживаясь в почвенном растворе [10; 30]. Существуют также данные о том, что на тканевом уровне хлор в основном накапливается в тканях с пониженными физиологическими функциями, в то время как в тканях, где происходят важные метаболические процессы, его содержание минимально. Например, у фасоли хлор скапливается в межклетниках ксилемы стебля. Он может также концентрироваться в верхней части и по краям листьев, что приводит к образованию некрозов [30].

Одним из наиболее токсичных для растений является натриево-хлоридное засоление (NaCl) [10; 29]. NaCl обеспечивает токсичный эффект при определенных дозах. Избыточное содержание ионов натрия и хлорид-ионов в почвенном растворе приводит к их успешной конкуренции с ионами K^+, Ca^{2+} и Mg^{2+} при поступлении в клетки растений, что вызывает метаболический стресс и, как следствие, угнетение роста, нарушение функционирования устьичного аппарата, а в конечном итоге гибель растения [40]. При загрязнении почвы хлоридом натрия значительно уменьшается скорость фильтрации воды, что, в свою очередь, снижает скорость вымывания хлорид-ионов из загрязненной почвы. Это связано с тем, что натрий негативно влияет на структуру почвы. Чем выше концентрация натрия, тем медленнее происходит удаление хлорид-ионов из почвы [21]. Следует заметить, что к низким уровням засоления растительное сообщество способно адаптироваться путем замены видового состава на солеустойчивые виды. При превышении некоторого порога растительное сообщество погибает. Главной проблемой является выявление допустимого содержания NaCl, концентрация которого не вызовет нарушений в жизнедеятельности высших растений.

Следует отметить, что в современное время в Российской Федерации отсутствуют нормативы по содержанию натрия и хлоридов в почвах [44]. При разработке нормативов допустимого содержания засоляющих веществ необходимо учитывать свойства почв. Так, более плодородные почвы обладают большей устойчивостью к более высоким дозам засоления. Исследование устойчивости растений к засолению проводят на модельных экспериментах на коротких и длительных временных интервалах [9] относительно разных типов почв. Однако накопленные данные часто являются разрозненными и несвязанными [11], в исследованиях часто не принимается во внимание, что засоление может сопровождаться ощелачиванием или закислением почвы [19].

Одним из путей решения проблемы устойчивости почвы к засолению является изучение влияния различных концентраций хлорида натрия на растения методом фитотестирования. Уровень накопления загрязнителей в природных, антропогенных, техногенных, сельскохозяйственных почвах традиционно определяется с использованием физико-химических и химических методов. Однако аналитические методы

контроля констатируют лишь сам факт загрязнения, но не дают информации о влиянии выявленного загрязнения на живые организмы [1]. Биотестирование является наиболее целесообразным методом определения интегральной токсичности почвы, в основе этого метода лежит определение реакции живых организмов на содержание загрязняющих веществ в субстрате [2; 4]. По мнению ряда исследователей, адекватную оценку токсичности почв и грунтов обеспечивает субстратное, или контактное, биотестирование [23; 24; 28]. Высшие растения служат важнейшими тест-культурами, поскольку являются основой трофических и энергетических отношений в биоценозе. Интегральным и наиболее важным показателем качества почв служит состояние и биомасса произрастающих на них растений [24]. Чувствительность растений к внешним воздействиям проявляется в изменении биохимических реакций и отражается в морфологических параметрах роста и развития. Метод актуален в модельных исследованиях по нормированию загрязняющих веществ [31], а также для выявления биоактивности различных химикатов и промышленных отходов [3; 16; 25; 32; 39]. Фитотестирование – это не только метод оценки токсичности почв, но и критерий устойчивости почв к загрязнению [12; 14; 26]. Чем слабее реакция тест-культуры на загрязнение, тем выше устойчивость почв к данному виду токсикантов. Почва, сохранившая на фоне загрязнения свои экологические функции по обеспечению роста и развития растений, будет более устойчивой, чем загрязненная почва, на которой растения заметно снизили биометрические показатели.

В Пермском крае расположено Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей (ВКМКС) – одно из крупнейших в мире. Месторождение комплексное: на его базе ведется добыча сильвинитов, карналлита, каменной соли. В зоне влияния отходов калийной промышленности зональные ландшафтно-геохимические условия нарушают процессы засоления: происходит засоление подземных и поверхностных вод, почв [29].

Основной причиной загрязнения в этом горнодобывающем районе является неконтролируемый сброс дренажных вод из солеотвалов и шламохранилищ. На территории Верхнекамского калийного месторождения накопилось более 270 млн т галитовых отходов и 30 млн м^3 глинисто-солевых шламов [43]. Галитовые отходы, содержащие более 90 % NaCl, обычно складируются, тогда как глинистые шламы и рассолы концентрируются в шламохранилищах. Основное негативное воздействие испытывают аллювиальные ландшафты и почвы долин малых рек [29]. Устойчивость почв элювиальных ландшафтов, а именно дерново-подзолистых почв не изучена в связи с отсутствием значительного воздействия на них. Однако аварии на производстве, например прорыв трубопроводов, пыление солеотвалов и накопление соленых дренажных вод, являются фактором воздействия на почвы элювиальных ландшафтов.

Цель исследования – оценка устойчивости дерново-подзолистой почвы территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей к хлоридно-натриевому засолению по ответной реакции тест-культур.

Материалы и методы исследования

Территория отбора почвы расположена вблизи муниципального округа г. Березники в южной части ВКМКС (рис. 1). Территория относится к Висимскому ландшафту, вид ландшафта – холмистые ледниково-эрозионные, часто с покровными суглинками на верхнепермских и мезозойских терригенных и терригенно-карбонатных породах [45]. Четвертичные породы – флювиогляциальные отложения, окатанные валуны, галечники, гравий, пески косо- и диагонально-слоистые. Дочетвертичные отложения представлены шешминской свитой, в составе аргиллиты красновато-коричневые, песчаники, участками медистые, прослои мергелей, известняков, гипса. Растительность представлена пихтово-еловыми травяно-кустарничковыми лесами. Почвы территории исследования относятся к Вятско-Камской провинции дерново-мелко- неглубоко- и глубокоподзолистых почв и дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом к Косинскому округу дерново-глубокоподзолистых глинистых и суглинистых почв на покровных отложениях.



Рис. 1. Контур Верхнекамского месторождения и ареал отбора почвы
Fig. 1. Verkhnekamskoe Deposit and soil sampling area

Объект исследования – дерново-подзолистая почва суглинистого гранулометрического состава, кислая, малоплодородная, содержание органического вещества около 2 %, низкая емкость катионного обмена.

Для фитотестирования использованы две тест-культуры: *Avena sativa* – овес посевной и *Lepidium sativum* – кресс-салат. Кресс-салат является двудольным растением, обладает быстрым ростом, высокой всхожестью и способностью реагировать на антропогенные факторы. Данная культура показала положительную реакцию на содержание гумуса и питательных веществ, насыщенность основаниями, отрицательную реакцию – на загрязнение тяжелыми металлами, кислую и щелочную реакцию, засоление [8; 18]. Овес посевной является однодольным растением и также характеризуется быстрым ростом, высокой всхожестью. Согласно ГОСТ Р ИСО 22030–2009, рекомендуются не менее двух тест-культур, относящихся к разным классам – однодольные и двудольные растения.

Период проведения эксперимента: 23 июля – 1 августа 2024 г., овес посевной, снятие растений на 10 день; 25 июля – 1 августа 2024 г., кресс-салат, снятие растений на 7 день. Методика эксперимента применена согласно [7]. Тест-реакцией послужили изменение морфометрических (высота, масса) параметров и содержание фотосинтетических пигментов. Тест-контроль – растения, выращенные на вермикулите с раствором Кнопа и на дерново-подзолистой почве, не подвергавшейся засолению. Исследованы следующие концентрации NaCl в г на 100 г почвы 0; 0,05; 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1; 1,5; 2. Дозы засоления хлоридами натрия выбраны после изучения научной литературы по данной проблеме, а также свойств почв, таких как низкое содержание органического вещества и кислая реакция почвенного раствора.

Образцы почвы проанализированы на содержание общего азота, pH водной вытяжки, хлорид-ионов, натрия, подвижного фосфора и калия. Общий азот определяли по ГОСТ Р 58596–2019 титриметрическим методом анализа с разложением почвы, pH водной вытяжки определен по ГОСТ 26423–85 потенциометрическим методом на иономере рХ–150, содержание хлорид-ионов определено согласно ГОСТ 26425–85 аргентометрическим методом, содержание натрия – по ГОСТ Р 54650–2011 методом пламенной спектрофотометрии с использованием пламенного фотометра ПФА-378. Фосфор и калий подвижный определили по ГОСТ Р 54650–2011. Измерения фосфора проводились на спектрофотометре UNICO 2100 при длине волны 710 нм, определение калия осуществляли методом пламенной фотометрии на пламенном фотометре ПФА-378.

Количественное определение содержания пигментов в зеленых листьях растений (хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов) находили спектрофотометрическим методом. Для определения оптической плотности использовали экстракт растений с ацетоном (C_3H_6O) и мелом ($CaCO_3$). Оптическую плотность пигментов, полученную из растений, определяли при длинах волн: 665, 649, 440 нм, используя кюветы с толщиной поглощающего слоя 10 мм. Для вычисления оптической плотности пигментов использовали спектрофотометр UNICO 2100.

Программное обеспечение Past 4.03 использовалось для расчета статистических показателей. Для анализа полученных данных применяли регрессионный анализ с доверительной вероятностью 95 %. Образцы растений сравнивали с использованием t-test, количество ферментов – дисперсионным непараметрическим методом (критерий Крускала – Уоллиса). Значимые различия между сравниваемыми средними значениями считались с уровнем достоверности 95 % и выше ($P < 0,05$).

Результаты и их обсуждение

Результаты морфометрических параметров. *Кресс-салат.* На первые сутки после посадки кресс-салата при засолении 0,05 г/100 г NaCl отмечается хорошее прорастание семян; в концентрации 0,1 г/100 г NaCl отмечается набухание и вскрытие семян; в концентрации 0,3 г/100 г NaCl отмечается набухание семян. На почве, засоленной NaCl в концентрациях 0,5; 0,7; 1,0; 1,5; 2,0 г/100 г, отсутствуют всходы. На 7 сутки при засолении NaCl 0,5; 0,7; 1,0; 1,5; 2,0 г/100 г растения не выросли, данные концентрации NaCl с совместным действием свойств почвы оказались токсичными для кресс-салата.

Статистический анализ показал достоверное снижение высоты и массы тест-культуры, выращенной на почве с засолением 0,05 и 0,3 г/100 г NaCl, от высоты и массы растений кресс-салата, выращенных на вермикулите (табл. 1). Средние значения высоты и массы растений на вермикулите – 38 мм и 19 мг соответственно, что на 42 и 26 % выше, чем высота и масса растений, выращенных на дерново-подзолистой почве с засолением 0,05 г/100 г; снижение высоты и массы растений на почве с концентрацией 0,3 г/100 г составило 58 и 26 % соответственно (табл. 1). Согласно критериям, описанным в патенте по оценке экологического состояния почв [7], снижение высоты и массы на более чем 50 % следует считать экологически опасным.

Эксперимент по оценке засоления зональных дерново-подзолистых почв NaCl показал, что при засолении почв в концентрации от 0,5 г/100 г отсутствуют всходы растений; при концентрациях 0,1 и 0,3 г/100 г семена проросли, но количество всходов значительно ниже контроля на вермикулите. На контрольной почве без засоления растения не показали достоверного снижения высоты и массы в сравнении с растениями на вермикулите.

Засоление почвы NaCl в концентрации 0,05 г/100 г показало достоверное снижение высоты и массы растений на 41 и 26 % соответственно от массы растений, выращенных на контрольной почве (рис. 1, 2). Засоление почвы NaCl в концентрации 0,3 г/100 г привело к снижению высоты и массы относительно контроля на незасоленной почве на 57 и 26 % соответственно.

Таблица 1
Table 1

Высота и масса *Lepidium sativum*, выращенного на дерново-подзолистой почве
Height and mass of *Lepidium sativum* grown on soddy-podzolic soil

Показатель	*Контроль вермикулит*		*Контроль почва*		*NaCl 0,05*		*NaCl 0,3*	
	Высота, мм	Масса, мг	Высота, мм	Масса, мг	Высота, мм	Масса, мг	Высота, мм	Масса, мг
Среднее	38	19	37	19	22*	14*	16*	14*
Ошибка	1,9	0,9	1,8	0,9	1,1	0,7	0,8	0,7
Минимум	22	13	25	15	13	7	11	10
Максимум	50	25	47	22	34	18	23	16
Стандартное отклонение	7	3	5	2	6	1	3	2

Примечание: * – достоверные отличия от контроля на вермикулите.
Note: * – significant differences from the control on vermiculite.

Овес посевной. На вторые сутки после посадки овса при засолении NaCl в дозах 0,05; 0,1; 0,3 г/100 г отмечается хорошее прорастание семян; в концентрации NaCl 0,5 г/100 г отмечается набухание и вскрытие семян. На почве, засоленной NaCl в концентрациях 0,7; 1,0; 1,5; 2,0 г/100 г отсутствуют всходы. При засолении NaCl 0,7; 1,0; 1,5; 2,0 г/100 г растения не выросли, данные концентрации NaCl с совместным действием почвенных свойств оказались токсичными для овса (табл. 2).

Статистический анализ показал достоверное снижение высоты и массы тест-культуры, выращенной на контрольной почве и с засолением NaCl 0,05; 0,1; 0,3; 0,5 г/100 г, от высоты и массы растений, выращенных на вермикулите. Высота и масса растений на вермикулите – 170 мм и 130 мг соответственно, что на 10 и 25 % выше, чем высота и масса растений, выращенных на дерново-подзолистой почве с засолением NaCl 0,05 г/100 г; снижение высоты и массы растений на почве с концентрацией NaCl 0,1 г/100 г составило 12 и 28 % соответственно; с концентрацией NaCl 0,3 г/100 г – 29 и 54 % соответственно; с концентрацией NaCl 0,5 г/100 г – 79 и 81 % соответственно (табл. 2). Согласно критериям, описанным в патенте по оценке экологического состояния [7], снижение высоты и массы более чем на 30 % свидетельствует о неудовлетворительном состоянии почвы, а снижение этих показателей более чем на 50 % считают экологически опасным.

Таблица 2
Table 2

Высота и масса *Avena sativa*, выращенного на дерново-подзолистой почве
Height and mass of *Avena sativa* grown on soddy-podzolic soil

Показатель	*Контроль вермикулит*		*Контроль почва*		*NaCl 0,05*		*NaCl 0,1*		*NaCl 0,3*		*NaCl 0,5*	
	Высота, мм	Масса, мг	Высота, мм	Масса, мг	Высота, мм	Масса, мг	Высота, мм	Масса, мг	Высота, мм	Масса, мг	Высота, мм	Масса, мг
Среднее	170	130	153	97*	153*	98*	149*	94*	120*	60*	35*	25*
Ошибка	8,5	6,5	7,6	4,8	7,6	4,9	7,4	4,7	6,0	3,0	1,7	1,2
Минимум	74	8	133	76	95	47	87	49	74	33	15	15
Максимум	21	207	170	120	184	141	195	155	144	92	54	33
Стандартное отклонение	9	54	11	14	5	24	8	8	20	16	12	6

Примечание: * – достоверные отличия от контроля на вермикулите.
Note: * – significant differences from the control on vermiculite.

Эксперимент по оценке засоления NaCl дерново-подзолистых почв показал, что при засолении почв в концентрации от 0,7 г/100 г отсутствуют всходы растений; при концентрациях 0,1 и 0,3 г/100 г растения выросли, но значительно ниже контроля на вермикулите. На контрольной почве без засоления растения показали достоверное снижение высоты и массы по сравнению с растениями на вермикулите, что может быть связано с природными свойствами почв – кислой реакцией и низким плодородием, что также свидетельствует о низкой устойчивости к засолению.

В исследовании [13] рассматривалось содержание активных форм кислорода в листьях овса посевного, выращиваемого в различных условиях засоления и pH корневой среды. Результаты показали, что засоление в сочетании с различными уровнями pH приводит к замедлению роста растений. С увеличением концентрации NaCl в субстрате наблюдалось повышение содержания хлорид-ионов и ионов натрия в листьях овса. В работе [17]

отмечается, что солевое загрязнение NaCl негативно сказывается на овсе посевном при концентрации 2,5 г/л. Исследование [36] демонстрирует, что поглощение ионов Na^+, K^+ и Cl^- овсом посевным зависит от сорта, стадии роста и органа растения.

Результаты биохимических параметров

Исследование пигментов выполнено для овса посевного. Неблагоприятные условия среды, такие как низкие температуры, засуха, засоление и др., оказывают существенное влияние на фотосинтетический аппарат растений. В овсе, выращенном на почвах с разными дозами внесения NaCl, определяли содержание хлорофиллов и каротиноидов (рис. 2). Наибольшее содержание фотосинтетических пигментов (*a, b* и каротиноиды) обнаружено у растений, выращенных на варианте с дозой NaCl 0,3 г/100 г. Наименьшее содержание хлорофилла *a* отмечено на контроле с вермикулитом, хлорофилла *b* – на контроле с вермикулитом и почвой и на варианте NaCl 0,5 г/100 г, каротиноидов – на варианте NaCl 0,1 г/100 г (рис. 2).

Содержание фотосинтетических пигментов на различных вариантах опыта выше или равно содержанию в контрольных образцах. Судя по всему, овес посевной, адаптируясь к стрессовым условиям засоления, демонстрирует неоднозначные изменения в содержании фотосинтетических пигментов, что, вероятно, связано с уровнем влаги и временем проведения эксперимента.

Под воздействием ионов, вызывающих засоление, происходит замедление синтеза белков и нуклеиновых кислот, что приводит к снижению темпов роста и уменьшению биомассы. Замедление роста листьев является защитной реакцией на нехватку воды, поскольку уменьшение площади листовой поверхности помогает растениям сократить потери воды за счет снижения транспирации. Изучение состояния пигментного аппарата имеет ключевое значение для понимания механизмов адаптации растений к стрессовым факторам [6].

Так, изменение корневой среды, а именно ощелачивание корневой среды в кислых почвах привело к увеличению количества хлорофиллов *a* и *b* [6]. Это особенно заметно в отношении хлорофилла a. Увеличение биосинтеза хлорофилла a, вероятно, является одной из адаптивных реакций растений на засоление и ощелачивание корневой среды.

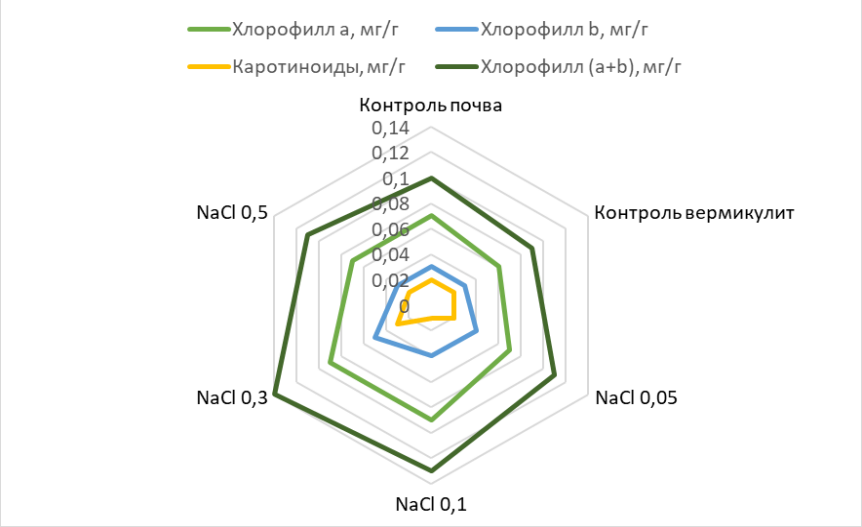


Рис. 2. Количественное содержание пигментов фотосинтеза в побегах *Avena sativa*
Fig. 2. Quantitative content of photosynthetic pigments in *Avena sativa* shoots

Химические параметры почв

Экспериментальное изучение дозозависимого эффекта хлорида натрия на почвенные свойства выявило значительные изменения химических параметров почв и их потенциальное влияние на тест-культуры. Концентрации Cl^- и Na^+ в 18 пробах показали сильную положительную корреляцию (r = 0,998), варьируясь от 0,10 до 33,93 ммоль/100 г для Cl^- и от 0,07 до 34,25 ммоль/100 г для Na^+, что отражает последовательное увеличение засоления в зависимости от внесенной дозы NaCl (табл. 3).

Сильная отрицательная корреляция между pH и содержанием Cl^- (r = –0,85) и Na^+ (r = –0,84) указывает на уменьшение кислотности почвы с ростом засоления. При воздействии засоленных вод на кислые аллювиальные почвы снижается кислотность [44]. Содержание общего азота оставалось относительно стабильным (0,117–0,138 %) и не демонстрировало значимой корреляции с Cl^- и Na^+, что указывает на устойчивость содержания в почвах азота к засолению в условиях проведенного эксперимента. Содержание фосфора и калия в почвенных пробах демонстрирует устойчивость к воздействию NaCl. Концентрация P_2O_5 варьировалась от 83 до 120 мг/кг (среднее 95,6 мг/кг), K_2O изменялся в более широком диапазоне – от 93 до 265 мг/кг (среднее 211,2 мг/кг) (табл. 1). Корреляционный анализ не выявил зависимости между P_2O_5 и Cl^- (r = 0,15) или Na^+ (r = 0,14), что указывает на стабильность фосфора в почве при увеличении уровня засоления. Стабильность сохраняется даже при высоких дозах NaCl, что может смягчить эффект засоления. Содержание показало слабую отрицательную

корреляцию (r = –0,30 в обоих случаях) с Cl^- и Na^+. Максимальные значения обоих параметров достигаются в пробе с кресс-салатом NaCl 0,1 г/100 г, а в пробах с овсом значения K_2O были ниже при минимальных дозах NaCl. Эти различия могут влиять на физиологические особенности растений.

Обе тест-культуры показывают схожие тенденции в химических параметрах почв. Однако при максимальной дозе NaCl содержание Cl^- и Na^+ в пробах с овсом (31,77 и 32,50 ммоль/100 г) было ниже, чем с кресс-салатом (33,93 и 34,25 ммоль/100 г) (табл. 1), что может указывать на более высокую способность овса поглощать соли из почв. Полученные данные свидетельствуют о том, что NaCl оказывает дозозависимое влияние на кислотность почв.

В отличие от исследований, направленных на изучение влияния тяжелых металлов на свойства почв [5; 20] или загрязнения нефтепродуктами [27; 41; 42], данное исследование обращено к изучению контролируемого засоления почвы NaCl. Аналогичные исследования [27; 42] подчеркивают высокую чувствительность кресс-салата к большому количеству токсичных веществ, что делает эту культуру более подходящей для оценки токсичности NaCl. Пробы с овсом дополняют анализ благодаря устойчивости этой культуры, что подтверждают работы [5; 38]. Полученные результаты также подтверждают выводы [37] о том, что фитотестирование на почвах точнее, чем на водных вытяжках, так как корни растений взаимодействуют с полным спектром почвенных компонентов.

Таблица 3
Table 3

Свойства исследуемых почв
Properties of the studied soils

Проба	*Общий азот, %*	*pH_{H2O}*	*Cl, ммоль/100г*	*Na, ммоль/100г*	*P_2O_5, мг/кг*	*K_2O, мг/кг*
Контроль почва кресс-салат	0,135	5,0	0,20	0,13	101	255
Контроль почва овес	0,128	4,8	0,10	0,07	83	105
Почва овес NaCl 0,05	0,117	5,0	0,34	0,3	87	110
Почва кресс-салат NaCl 0,05	0,137	4,9	1,47	0,81	101	255
Почва овес NaCl 0,1	0,128	4,8	1,57	1,14	88	93
Почва кресс-салат NaCl 0,1	0,138	4,7	16,57	14,7	120	265
Почва овес NaCl 0,3	0,12	4,5	4,31	3,52	87	120
Почва кресс-салат NaCl 0,3	0,13	4,6	5,29	4,15	95	247
Почва овес NaCl 0,5	0,127	4,5	7,50	6,13	86	177
Почва кресс-салат NaCl 0,5	0,134	4,5	8,82	7,27	83	240
Почва овес NaCl 0,7	0,124	4,6	10,69	9,85	97	223
Почва кресс-салат NaCl 0,7	0,137	4,5	11,96	11,10	96	259
Почва овес NaCl 1	0,133	4,5	16,47	16,00	100	230
Почва кресс-салат NaCl 1	0,129	4,4	17,21	16,40	93	245
Почва овес NaCl 1,5	0,126	4,4	23,53	23,50	102	220
Почва кресс-салат NaCl 1,5	0,129	4,5	24,32	24,50	108	253
Почва овес NaCl 2	0,122	4,4	31,77	32,50	100	210
Почва кресс-салат NaCl 2	0,131	4,4	33,93	34,25	103	255

Результаты эксперимента показали, что дерново-подзолистая почва в связи с кислой реакцией и низким плодородием является малоустойчивой к засолению. Собственно почвенные свойства не позволяют справиться с хлоридно-натриевым засолением с дозой более чем 0,5 %. Для предотвращения негативного воздействия на почвы и растительный покров близ мест складирования отходов недропользователям необходимо осуществлять мониторинг состояния почвенного покрова и принимать профилактические меры.

Заключение

В последнее десятилетие все более актуальным является изучение влияния техногенного засоления, связанного с добычей и производством солей, алмазов, нефти, в том числе и с применением антигололедных средств на урбанизированных территориях. С помощью метода фитотестирования было проведено исследование по выявлению ответной реакции тест-культур на загрязнение почв исключительно NaCl в различных дозах на дерново-подзолистой почве. Повышение концентрации NaCl с 0,5 % и выше сопровождается выраженной токсичностью (более 50 %) для овса посевного и с 0,3 % и выше для кресс-салата. На фоне кислой дерново-подзолистой почвы с комбинированным действием NaCl от 0,3 и выше почвы можно отнести к категории токсичных с опасным экологическим состоянием, о чем свидетельствуют морфометрические данные о высоте и массе исследуемых тест-культур.

Содержание фотосинтетических пигментов в овсе посевном в различных вариантах опыта выше или равно содержанию в контрольных образцах. По-видимому, овес посевной, в условиях адаптации к существованию в стрессовых условиях засоления, реагирует изменением содержания фотосинтетических пигментов

неоднозначно, предположительно, также сказывается и обеспеченность влагой. Согласно химическим показателям в исследуемых почвах, отмечено, что засоление NaCl оказывает дозозависимое влияние на кислотность почв.

Таким образом, пороговая концентрация для дерново-подзолистой почвы при засолении NaCl составила 0,3 %, при засолении выше этой концентрации создаются токсичные условия, в которых растения не способны развиваться. Установлено отсутствие негативного действия NaCl на рост и развитие овса посевного в диапазоне концентраций от 0,05 до 0,1 %, так как однодольные растения более устойчивы к загрязнению почв (в частности, к засолению). Данные концентрации не оказывают отрицательного влияния на показатели фитотоксичности, и почва может относиться к категории «практически нетоксичных» для растений.

Результаты работы могут применятся для разработки рекомендаций для недропользователей с целью обеспечения устойчивого ведения хозяйства.

Библиографический список

1. *Багдасарян А. С.* Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов: автореф. дис. … канд. биол. наук / Ставропольский государственный университет. Ставрополь, 2005. 24 с. EDN: NIIOGZ

2. *Бардина Т. В., Чугунова М. В., Бардина В. И.* Изучение экотоксичности урбаноземов методами биотестирования // Живые и биокосные системы. 2013. № 5. С. 8. EDN: UYNDMR

3. *Бардина Т. В., Чугунова М. В., Бардина В. И.* Изучение токсичности почвенного покрова в зоне длительного влияния отходов производства серной кислоты контактными методами биотестирования // Биодиагностика и оценка качества природной среды: подходы, методы, критерии и эталоны сравнения в экотоксикологии: мат. междунар. симпозиума и школы. М.: ГЕОС, 2016. С. 10–15.

4. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестировнаие: учеб. пособие для студ. ВУЗов / под ред. О. П. Мелеховой и Е. И. Сарапульцевой. 2-е изд., испр. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 228 с.

5. *Воронина Л. П., Поногайбо К. Э., Абрамов Е. Г., Кирьякова Н. А., Савостикова О. Н.* К нормированию кадмия в почве по его воздействию на растения // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102, № 11. С. 1154–1162. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-11-1154-1162 EDN: RRXPMX

6. *Еремченко О. З., Кусакина М. Г., Лузина Е. В.* Содержание пигментов в растениях Lepidium sativum в условиях хлоридно-натриевого засоления и ощелачивания // Вестник ПГУ. 2014. № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-pigmentov-v-rasteniyah-lepidium-sativum-v-usloviyah-hloridno-natrievogo-zasoleniya-i-oschelachivaniya (дата обращения: 16.04.2025)

7. *Еремченко О. З., Митракова Н. В.* Способ оценки биологической активности и токсичности почв и техногенных почвогрунтов. Патент РФ № 2620555. 2016.

8. *Еремченко О. З., Шестаков И. Е., Паршакова Я. А.* Повышение редокс-активности растений как тест-реакция на загрязнение почв // Вестник Тамбовского университета. 2014. Т. 19, № 5. С. 1285–1288. EDN: SMOAGT

9. *Жуков Н. Н., Бойкова О. И., Иванищев В. В.* Физиолого-биохимические механизмы адаптации проростков тритикале при кратковременном NaCl-засолении (научная монография). Тбилиси: МП «Полиграф», 2016. 125 с.

10. *Иваничев В. В.* О механизмах солеустойчивости растений и специфике влияния засоления // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2019. Вып. 4. С. 76–88. EDN: LKLHPQ

11. *Иванищев В. В., Евграшкина Т. Н., Бойкова О. И., Жуков Н. Н.* Засоление почвы и его влияние на растения // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2020. Вып. 3. С. 28–42. EDN: BSJTXM

12. *Колесников С. И., Азнаурьян Д. К., Казеев К. Ш., Вальков В. Ф.* Устойчивость биологических свойств почв юга России к нефтяному загрязнению // Экология. 2010. № 5. С. 357–364. EDN: MVSLCF

13. *Кривощекова К. Э., Четина О. А.* Содержание активных форм кислорода в листьях овса посевного (Avena sativa) при выращивании в разных условиях засоления и pH корневой среды // Фундаментальные и прикладные исследования в биологии и экологии : мат. регион. студ. науч. конф. с междунар. участием (Пермь, 18–20 апреля 2018 г.). Пермь, 2018. С. 69–72. EDN: YQGHUD

14. *Кузина А. А., Колесников С. И., Казеев К. Ш., Акименко Ю. В.* Влияние загрязнения тяжелыми металлами и нефтью на фитотоксичность почв черноморского побережья Кавказа // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. 2016. № 2. С. 68–71. EDN: WBXESB

15. *Кузина Е. В., Рафикова Г. Ф., Мухаматдьярова С. Р., Шарипова Ю. Ю., Коршунова Т. Ю.* Биологическая активность чернозема выщелоченного при нефтяном и хлоридно-натриевом загрязнении и влияние на нее обработки галотолерантными бактериями-нефтедеструкторами // Почвоведение. 2023. № 1. С. 89–101. DOI: 10.31857/S0032180X22600718 EDN: JKECKN

16. *Кузнецов А. Е., Трутаева Н. Н., Проценко Е. П., Прусаченко А. В., Проценко А. А.* Проблемы фитотестирования малоопасных отходов сахарного производства // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 6. С. 53–56. EDN: ROBRQT

17. *Менделева В. П., Волкова И. В.* Влияние хлоридного загрязнения на морфометрические показатели овса посевного (Avena sativa) // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития: сборник науч. труд. по мат. междунар. науч. экол. конф. (Краснодар, 24–26 марта 2020 г.). Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2020. С. 198–200. EDN: ZLKVDF

18. *Митракова Н. В., Шестаков И. Е.* Исследование устойчивости темно-серых почв Пермского края методом биотестирования при загрязнении почв тяжелыми металлами // Антропогенная трансформация природной среды. 2015. № 1. С. 143–147. EDN: UNJJBH

19. *Мурсалимова Г. Р., Акбулякова Г. М.* Изменение физиологобиохимических показателей овса посевного при воздействии NaCl засоления и кислотности корневой среды // Фундаментальные и прикладные исследования в биологии и экологии: мат. регион. студ. науч. конф. с междунар. участием (Пермь, 19–25 апреля 2017 г.). Пермь, 2017. С. 65–67.

20. *Неверова О. А.* Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды // Биосфера. 2009. № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-fitoindikatsii-v-otsenke-zagryazneniya-okruzhayuschey-sredy (дата обращения: 23.04.2025) EDN: QZOGCV

21. *Петров В. Г., Ханнанов Д. А., Балицкий Я. А.* Подвижность хлорид-ионов в дерново-подзолистой почве при загрязнении хлоридами щелочных металлов // Химическая физика и мезоскопия. 2019. Т. 21, № 2. С. 290–295. DOI: 10.15350/17270529.2019.2.31 EDN: COMHRV

22. Руководство по управлению засоленными почвами / под ред. Р. Варгаса, Е. И. Панковой, С. А. Балюка, П. В. Красильникова, Г. М. Хасанхановой. М.: Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций МГУ, 2017. 153 с.

23. *Селивановская С. Ю., Галицкая П. Ю.* Оценка токсичности почв с использованием контактного метода биотестирования // Токсикологический вестник. 2006. № 4. С. 12–15. EDN: HVBAOL

24. *Терехова В. А.* Биотестирование почв: подходы и проблемы // Почвоведение. 2011. № 2. С. 190–198. EDN: NDJDRT

25. *Терехова В. А., Гладкова М. М.* Инженерные наноматериалы в почве: проблемы оценки их воздействия на живые организмы // Почвоведение. 2014. № 1. С. 82–90. DOI: 10.7868/S0032180X14010122 EDN: RSIYAH

26. *Тимофеев М. А., Терехова В. А., Кожевин П. А.* Биотестирование почв при загрязнении кадмием // Вестник Московского ун-та. 2010. № 4. С. 44–47. EDN: OFXJVH

27. *Тишин А. С.* Фитотестирование почв, загрязненных нефтепродуктами // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. Вып. 102, № 12. С. 78–83. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/fitotestirovanie-pochv-zagryaznennyh-nefteproduktami (дата обращения: 23.04.2025) DOI: 10.23670/IRJ.2020.102.12.048 EDN: OVKKFH

28. *Фомин Г. С., Фомин А. Г.* Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. Справочник. М.: «Протектор», 2001. 304 с.

29. *Хайрулина Е. А., Новоселова Л. В., Порошина Н. В.* Природные и антропогенные источники водорастворимых солей на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. № 1(40). С. 93–101. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-93-101 EDN: YNBUUB

30. *Чудинова Л. А., Орлова Н. В.* Физиология устойчивости растений: учеб. пособие. Пермь: Пермский ун-т, 2006. 124 с. ISBN: 5-7944-0653-4 EDN: QKPOXL

31. *Шагидуллин Р. Р., Латыпова В. З., Иванов Д. В., Шагидуллина Р. А., Тарасов О. Ю., Петров А. М.* Нормирование допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах // Георесурсы. 2011. Вып. 41, № 5. С. 2–5. EDN: OMUFOT

32. *Chaignon V., Hinsinger P. A.* Biotest for Evaluating Copper Bioavailability to Plants in a Contaminated Soil // Journal of Environmental Quality. 2003. Vol. 32, No. 3. P. 824–833. DOI: 10.2134/jeq2003.8240 EDN: YJFZFR

33. Environmental Aspects of Phosphate and Potash Mining. First edition. Paris: United Nations Publication. 2001. 62 p.

34. *Fuleky G., Barna S.* Biotesting of heavy metal pollution in the soil // Carpthian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2008. Vol. 3, No. 2. P. 93–102.

35. *Gerasimova L., Eremina I., Kuklina A.* Assessment of chemical soil pollution by biotesting // The Scientific Heritage. 2020. No. 45–2(45). P. 17–20. EDN: NHHUCS

36. *Han L. P., Wang W. H., Eneji A. E., Liu J.* Phytoremediating coastal saline soils with oats: accumulation and distribution of sodium, potassium, and chloride ions in plant organs // Journal of Cleaner Production. 2015. Vol. 90. P. 73–81. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.11.064

37. *Krasavtseva E. A., Maksimova V. V.* Application of the phytotesting method to assess the environmental impact of the waste of Lovozersky GOK LLC // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. Vol. 548, No. 6. P. 62–69. DOI: 10.1088/1755-1315/548/6/062063 EDN: TXFJYK

38. *Modina M., Heckert E., Shkoda V., Kuznetsova J.* Biotesting in the assessment of vineyard soil toxicity // Agriculture and Food Security: technologies, innovations, Markets, human resources: BIO Web Conf.: International Scientific and Practical Conference (April 17th, 2024). DOI: 10.1051/bioconf/202410300054 EDN: UNXFZR

39. *Rosa E. V. C., Giuradelli T. M., Correa A. X. R., Rörig L. R., Schwingel P. R., Resgalla Jr. C., Radetski C. M.* Ecotoxicological evaluation of the short-term effects of fresh and stabilized textile sludges before application in forest soil restoration // Environmental Pollution. 2007. Vol. 146, No. 2. P. 463–469. DOI: 10.1016/j.envpol.2006.07.005

40. *Seemann J. R., Critchley C.* Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species, Phaseolus vulgaris L. // Planta. 1985. Vol. 164, No. 2. P. 151–162. DOI: 10.1007/bf00396077 EDN: MZGNBZ

41. *Vasilyeva G. K., Kondrashina V. S., Strijakova E. R, Pinsky D. L.* Express-phytotest for choosing conditions and following process of soil remediation // Environmental Geochemistry and Health. 2022. Vol. 44, No. 2. P. 433–445. DOI: 10.1007/s10653-020-00727-8 EDN: OLKYHO

42. *Wieczorek D., Kwapisz E., Marchut-Mikołajczyk O., Bielecki S.* Phytotests as tools for monitoring the bioremediation process of soil contaminated with diesel oil // BioTechnologia. 2012. Vol. 93, No. 4. P. 431–439.

References

1. Bagdasaryan A. S. *Biotestirovanie pochv tekhnogennykh zon gorodskikh territorii s ispol'zovaniem rastitel'nykh organizmov* [Biotesting of soils of technogenic zones of urban territories using plant organisms]: Extended abstract of Cand.Sc. dissertation. Stavropol State University. Stavropol, 2005. 24 p. (In Russ.)

2. Bardina T. V., Chugunova M. V., Bardina V. I. Izuchenie ekotoksichnosti urbanozemov metodami biotestirovaniya [Study of ecotoxicity of urbanozems by biotesting methods]. *Zhivye i biokosnye sistemy*, 2013, no. 5, p. 8. (In Russ.)

3. Bardina T. V., Chugunova M. V., Bardina V. I. Issledovanie toksichnosti pochvennogo pokrova v zone dlitel'nogo vliyaniya othodov proizvodstva sernoi kisloty kontaktnymi metodami biotestirovaniya [Study of soil cover toxicity in the zone of long-term influence of sulfuric acid production waste by contact biotesting methods]. In *Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma "Biodiagnostika i otsenka kachestva prirodnoi sredy"* [Materials of the international symposium "Biodiagnostics and assessment of the quality of the natural environment"]. Moscow: GEOS, 2016, pp. 10–15. (In Russ.)

4. *Biologicheskii kontrol' okruzhayushchei sredy: bioindikatsiya i biotestirovanie* [Biological control of the environment: bioindication and biotesting]. Ed. by O. P. Melekhova, E. I. Sarapultseva. Moscow: Izdatel'skii tsentr “Akademiya”, 2008. 228 p. (In Russ.)

5. Voronina L. P., Ponogaibo K. E., Abramov E. G., Kiryakova N. A., Savostikova O. N. On normalization of cadmium content in soil by its effect on plants. *Gigiena i sanitariya*, 2023, vol. 102, no. 11, pp. 1154–1162. (In Russ.) DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-11-1154-1162.

6. Eremchenko O. Z., Kusakina M. G., Luzina E. V. Soderzhanie pigmentov v rasteniyakh *Lepidium sativum* v usloviyakh khloridno-natrievogo zasoleniya i oshchelachivaniya [Pigment content in *Lepidium sativum* plants under conditions of sodium chloride salinization and alkalinization]. *Vestnik Permskogo universiteta*, 2014, no. 1. (In Russ.) URL: https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-pigmentov-v-rasteniyah-lepidium-sativum-v-usloviyah-hloridno-natrievogo-zasoleniya-i-oschelachivaniya (Accessed 16 April 2025).

7. Eremchenko O. Z., Mitrakova N. V. *Sposob otsenki biologicheskoi aktivnosti i toksichnosti pochv i tekhnogennykh gruntov* [A method for assessing the biological activity and toxicity of soils and man-made soils]. Patent RF no. 2620555. 2016. (In Russ.)

8. Eremchenko O. Z., Shestakov I. E., Parshakova Ya. A. Povyshenie okislitel'no-vosstanovitel'noi aktivnosti rastenii kak test-reaktsiya na zagryaznenie pochvy [Increased redox activity of plants as a test reaction to soil pollution]. *Vestnik Tambovskogo universiteta*, 2014, vol. 19, no. 5, pp. 1285–1288. (In Russ.)

9. Zhukov N. N., Boikova O. I., Ivanishchev V. V. *Fiziologo-biokhimicheskie mekhanizmy adaptatsii prorostkov tritikale pri kratkovremennom NaCl-zasolenii* [Physiological and biochemical mechanisms of adaptation of triticale seedlings during short-term NaCl salination]. Tbilisi: MP “Poligraf”, 2016. 125 p. (In Russ.)

10. Ivanichev V. V. O mekhanizmakh solestoikosti rastenii i spetsifike vliyaniya zasaleniya [On the mechanisms of salt resistance of plants and the specifics of the influence of salinization]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*, 2019, no. 4, pp. 76–88. (In Russ.)

11. Ivanishchev V. V., Evgrashkina T. N., Boikova O. I., Zhukov N. N. Zasolenie pochv i ego vozdeistvie na rasteniya [Soil salinization and its effect on plants]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2020, no. 3, pp. 28–42. (In Russ.)

12. Kolesnikov S. I., Aznauryan D. K., Kazeev K. Sh., Valkov V. F. Ustoychivost' biologicheskikh svoistv pochv yuga Rossii k neftyanomu zagryazneniyu [Stability of biological properties of soils of the south of Russia to oil pollution]. *Ekologiya*, 2010, no. 5, pp. 357–364. (In Russ.)

13. Krivoshchekova K. E., Chetina O. A. Soderzhanie aktivnykh form kisloroda v list'yakh ovsa (*Avena sativa*) pri vyrashchivanii v razlichnykh usloviyakh zasoleniya i pH kornevoi sredy [The content of reactive oxygen species in the leaves of oats (*Avena sativa*) when grown under different conditions of salinity and pH of the root medium]. In *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v biologii i ekologii: materialy region. studencheskoi nauch. konf. s mezhdunar. Uchastiem. Perm', 18–20 aprelya 2018 g.* Perm, 2018, pp. 69–72. (In Russ.)

14. Kuzina A. A., Kolesnikov S. I., Kazeev K. Sh., Akimenko Yu. V. Vliyanie zagryazneniya tyazhelymi metallami i neft'yu na fitotoksichnost' pochv Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza [Influence of heavy metal and oil pollution on phytotoxicity of soils of the Black Sea coast of the Caucasus]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region*, 2016, no. 2, pp. 68–71. (In Russ.)

15. Kuzina E. V., Rafikova G. F., Mukhamat'yarova S. R., Sharipova Yu. Yu., Korshunova T. Yu. Biologicheskaya aktivnost' chernozema vyshchelochennogo pri neftyanom i khloridno-natrievom zagryaznenii i vliyanie na nee obrabotki galotolerantnymi bakteriyami-neftedestruktorami [Biological activity of leached chernozem under oil and chloride-sodium pollution and the effect of treatment with halotolerant oil-destructing bacteria on it]. *Pochvovedenie*, 2023, no. 1, pp. 89–101. (In Russ.)

16. Kuznetsov A. E., Trutaeva N. N., Protsenko E. P., Prusachenko A. V., Protsenko A. A. Problemy fitotestirovaniya othodov sakharoproizvodstva malogo riska [Problems of phytotesting of low-hazard sugar production waste]. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2012, no. 6, pp. 53–56. (In Russ.)

17. Mendeleva V. P., Volkova I. V. Vliyanie khloridnogo zagryazneniya na morfometricheskie parametry ovsa (*Avena sativa*) [The influence of chloride pollution on the morphometric parameters of oats (*Avena sativa*)]. In *Agrarnye landshafty, ikh ustoichivost' i osobennosti razvitiya* : Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoi nauchnoi ekologicheskoi konferentsii, Krasnodar, 24–26 marta 2020 g. Krasnodar: Kubanskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni I. T. Trubilina, 2020, pp. 198–200. (In Russ.)

18. Mitrakova N. V., Shestakov I. E. Issledovanie ustoichivosti temno-serykh pochv Permskogo kraya metodom biotestirovaniya pri zagryaznenii pochvy tyazhelymi metallami [Study of the stability of dark gray soils of the Perm region by biotesting during soil contamination with heavy metals]. *Antropogennaya transformatsiya prirodnoi sredy*, 2015, no. 1, pp. 143–147. (In Russ.)

19. Mursalimova G. R., Akbulyakova G. M. Izmeneniya fiziologo-biokhimicheskikh parametrov ovsa pod vliyaniem zasoleniya NaCl i kislotnosti kornevoi sredy [Changes in the physiological and biochemical parameters of oats under the influence of NaCl salinity and acidity of the root medium]. In *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v biologii i ekologii: materialy region. studencheskoi nauch. konf. s mezhdunar. Uchastiem. Perm', 19–25 aprelya 2017 g.* Perm, 2017, pp. 65–67. (In Russ.)

20. Neverova O. A. Primenenie fitoindikatsii v otsenke zagryazneniya okruzhayushchei sredy [Application of phytoindication in environmental pollution assessment]. *Biosfera*, 2009, no. 1. (In Russ.) URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-fitoindikatsii-v-otsenke-zagryazneniya-okruzhayuschey-sredy (Accessed 23 April 2025).

21. Petrov V. G., Khannanov D. A., Balitsky Ya. A Mobility of the chloride ions in sod-podzolic soil under pollution by chlorides of alkali metals. *Chemical Physics and Mesoscopy*, 2019, vol. 21, no. 2, pp. 290–295. (In Russ.) DOI: 10.15350/17270529.2019.2.31

22. *Rukovodstvo po upravleniyu zasolennymi pochvami* [Guidelines for the management of saline soils]. Ed. by R. Vargas, E. I. Pankova, S. A. Balyuk, P. V. Krasilnikov, G. M. Khasankhanova. Moscow: Food and Agriculture Organization of the United Nations; Moscow State University, 2017. 153 p. (In Russ.)

23. Selivanovskaya S. Yu., Galitskaya P. Yu. Otsenka toksichnosti pochv kontaktnoi metodikoi biotestirovaniya [Assessment of soil toxicity using the contact method of biotesting]. *Toksikologicheskii vestnik*, 2006, no. 4, pp. 12–15. (In Russ.)

24. Terekhova V. A. Pochvennoe biotestirovanie: podkhody i problemy [Soil biotesting: approaches and problems]. *Pochvovedenie*, 2011, no. 2, pp. 190–198. (In Russ.)

25. Terekhova V. A., Gladkova M. M. Inzhenernye nanomaterialy v pochve: problemy otsenki ikh vozdeistviya na zhivye organizmy [Engineering nanomaterials in soil: problems of assessing their effects on living organisms]. *Pochvovedenie*, 2014, no. 1, pp. 82–90. (In Russ.)

26. Timofeev M. A., Terekhova V. A., Kozhevin P. A. Pochvennoe biotestirovanie pri zagryaznenii kadmiem [Soil biotesting during cadmium contamination]. *Vestnik Moskovskogo universiteta*, 2010, no. 4, pp. 44–47. (In Russ.)

27. Tishin A. S. Fitotestirovanie pochv, zagryaznennykh nefteproduktami [Phytotesting of soils contaminated with petroleum products]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2020, Iss. 102, no. 12, pp. 78–83. (In Russ.) URL: https://cyberleninka.ru/article/n/fitotestirovanie-pochv-zagryaznennyh-nefteproduktami (Accessed 23 April 2025)

28. Fomin G. S., Fomin A. G. *Pochva. Kontrol' kachestva i ekologicheskoi bezopasnosti po mezhdunarodnym standartam* [Soil. Quality control and environmental safety according to international standards]. Moscow: "Protektor", 2001. 304 p. (In Russ.)

29. Khayrulina E. A., Novoselova L. V., Poroshina N. V. Natural and anthropogenic sources of soluble salts on the territory of the upper Kamapotash deposit. *Geographical bulletin*. 2017, no 1(40), pp. 93–101. (In Russ.) DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-93-101

30. Chudinova L. A., Orlova N. V. *Fiziologiya ustoichivosti rastenii* [Physiology of plant resistance]. Perm: Permskii universitet, 2006. 124 p. (In Russ.)

31. Shagidullin R. R., Latypova V. Z., Ivanov D. V., Shagidullina R. A., Tarasov O. Yu., Petrov A. M. Normirovanie dopustimogo ostatochnogo soderzhaniya nefti i produktov ee transformatsii v pochvakh [Rationing of the permissible residual content of oil and its transformation products in soils]. *Georesursy*, 2011, Iss. 41, no. 5, pp. 2–5. (In Russ.)

32. Chaignon V., Hinsinger P. A biotest for evaluating copper bioavailability to plants in a contaminated soil. *Journal of Environmental Quality*, 2003, vol. 32, no. 3, pp. 824–833. DOI: 10.2134/jeq2003.8240

33. *Environmental aspects of phosphate and potash mining*. First edition. Paris: United Nations Publication, 2001. 62 p.

34. Fuleky G., Barna S. Biotesting of heavy metal pollution in the soil. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 2008, vol. 3, no. 2, pp. 93–102.

35. Gerasimova L., Eremina I., Kuklina A. Assessment of chemical soil pollution by biotesting. *The Scientific Heritage*, 2020, no. 45–2(45). Pp. 17–20.

36. Han L. P., Wang W. H., Eneji A. E., Liu J. Phytoremediating coastal saline soils with oats: accumulation and distribution of sodium, potassium, and chloride ions in plant organs. *Journal of Cleaner Production*, 2015, vol. 90, pp. 73–81. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.11.064

37. Krasavtseva E. A., Maksimova V. V. Application of the phytotesting method to assess the environmental impact of the waste of Lovozersky GOK LLC. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 548, no. 6, pp. 62–69. DOI: 10.1088/1755-1315/548/6/062063

38. Modina M., Heckert E., Shkoda V., Kuznetsova J. Biotesting in the assessment of vineyard soil toxicity. *BIO Web of Conferences*: International Scientific and Practical Conference "Agriculture and Food Security: technologies, innovations, markets, human resources", 2024. DOI: 10.1051/bioconf/202410300054

39. Rosa E. V. C., Giuradelli T. M., Correa A. X. R., Rörig L. R., Schwingel P. R., Resgalla Jr. C., Radetski C. M. Ecotoxicological evaluation of the short term effects of fresh and stabilized textile sludges before application in forest soil restoration. *Environmental Pollution*, 2007, vol. 146, no. 2, pp. 463–469. DOI: 10.1016/j.envpol.2006.07.005

40. Seemann J. R., Critchley C. Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species, *Phaseolus vulgaris* L. *Planta*, 1985, vol. 164, no. 2, pp. 151–162.

41. Vasilyeva G. K., Kondrashina V. S., Strijakova E. R., Pinsky D. L. Express-phytotest for choosing conditions and following process of soil remediation. *Environmental Geochemistry and Health*, 2022, vol. 44, no. 2, pp. 433–445. DOI: 10.1007/s10653-020-00727-8

42. Wieczorek D., Kwapisz E., Marchut-Mikołajczyk O., Bielecki S. Phytotests as tools for monitoring the bioremediation process of soil contaminated with diesel oil. *BioTechnologia*, 2012, vol. 93, no. 4, pp. 431–439.

Статья поступила в редакцию: 20.05.25, одобрена после рецензирования: 08.07.25, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 20 May 2025; approved after review: 8 July 2025; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах
Анна Александровна Перевощикова
Младший научный сотрудник,
Естественнонаучный институт,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Генкеля, д. 4
Аспирант,
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет;
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29

Information about the authors
Anna A. Perevoshchikova
Junior Researcher,
Natural Science Institute,
Perm State University;
4, Genkelya st., Perm, 614068, Russia
Postgraduate Student,
Perm National Research Polytechnic University;
29, Komsomolsky prospekt, Perm, 614068, Russia

e-mail: aaperevoshchikova@yandex.ru

Наталия Васильевна Митракова
Кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник,
Естественнонаучный институт,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Генкеля, д. 4

Natalya V. Mitrakova
Candidate of Biological Sciences,
Senior Researcher, Natural Science Institute,
Perm State University;
4, Genkelya str, Perm, 614068, Russia

e-mail: mitrakovanatalya@mail.ru

Тимофей Сергеевич Бачурин
Лаборант Естественнонаучный институт,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Генкеля, д. 4

Timofey S. Bachurin
Laboratory Assistant, Natural Science Institute,
Perm State University;
4, Genkelya st., Perm, 614068, Russia

e-mail: tima.bachurin@mail.ru

Никита Алексеевич Кобелев
Младший научный сотрудник
Естественнонаучный институт,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Генкеля, д. 4

Nikita A. Kobelev
Junior Researcher, Natural Science Institute,
Perm State University;
4, Genkelya st., Perm, 614068, Russia

e-mail: amst3rz@gmail.com

Вклад авторов

Перевощикова А. А. – концепция исследования; анализ исследования; написание исходного текста; итоговые выводы.

Митракова Н. В. – поиск литературы; анализ исследования; формулировка предварительных выводов.

Бачурин Т. С. – выполнение аналитических работ; поиск литературы.

Кобелев Н. А. – выполнение аналитических работ; поиск литературы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Anna A. Perevoshchikova – methodology development; research analysis; writing of the draft; final conclusions.

Natalya V. Mitrakova – literature search; research analysis; preliminary conclusions.

Timofey S. Bachurin – analytical work; literature search.

Nikita A. Kobelev – analytical work; literature search.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ И ТУРИЗМ
Научная статья
УДК 338.48
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-145-159
EDN: FQTKAR

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ И КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ЛЕДОВО-СНЕЖНОГО ТУРИЗМА НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

Дарима Гармаевна Будаева ✉, Зинаида Сергеевна Еремко, Наталья Борисовна Лубсанова, Саяна Баировна Дымбрылова, Надежда Бимбаевна Ботоева, Алена Михайловна Андреева, Татьяна Анатольевна Хребтова, Людмила Бато-Жаргаловна Максанова
Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия
✉ budaevadarima@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0971-0781, Researcher ID: 44567846, eLibrary AuthorID: 106384

Аннотация. Ледово-снежный туризм в России, как и во всем мире основанный на потенциале природных ресурсов льда и снега, демонстрирует растущую динамику в своем развитии. Озеро Байкал с его уникальной природной ледовой поверхностью привлекает все большее количество туристов. Однако проблемы и перспективы развития ледово-снежного туризма на льду оз. Байкал являются недостаточно изученными. В данной статье исследованы теоретические подходы к понятию «ледово-снежный туризм», определены ключевые факторы, характерные признаки и подвиды ледово-снежного туризма. Изучены природные и климатические факторы, оказывающие влияние на развитие туризма на ледовой поверхности оз. Байкал. Представлен действующий порядок использования ледовой поверхности оз. Байкал в рекреационных целях в границах Республики Бурятия. Сформирован перечень действующих маршрутов и мероприятий ледово-снежного туризма, составлена карта территориального распределения его подвидов по пяти муниципальным образованиям Республики Бурятия, расположенных вокруг оз. Байкал. Выполнен анализ развития туризма на ледовой поверхности оз. Байкал. Выявлены проблемы развития ледово-снежного туризма, а также нарушения природоохранных требований при осуществлении рекреационного водопользования на ледовой поверхности оз. Байкал. Исследование опирается на законодательные и нормативно-правовые документы, научные публикации, материалы министерств и ведомств, туристских организаций, результаты социологического опроса, данные полевых наблюдений. В качестве вспомогательных инструментов были использованы технологии «больших данных» (фотографии туристов с геопривязкой и GPS-треки туристских маршрутов).

Ключевые слова: озеро Байкал, лед, снег, ледово-снежный туризм, Бурятия

Финансирование. Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда, проект № 24–78–10059 «Ледово-снежный туризм на Байкале: сравнительная оценка ресурсного потенциала и антропогенного воздействия».

Для цитирования: Будаева Д. Г., Еремко З. С., Лубсанова Н. Б., Дымбрылова С. Б., Ботоева Н. Б., Андреева А. М., Хребтова Т. А., Максанова Л. Б.-Ж. Пространственный анализ и ключевые аспекты развития ледово-снежного туризма на озере Байкал // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 145–159. EDN: FQTKAR DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-145-159

RECREATIONAL GEOGRAPHY AND TOURISM
Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-145-159
EDN: FQTKAR

SPATIAL ANALYSIS AND KEY ASPECTS OF ICE AND SNOW TOURISM DEVELOPMENT ON LAKE BAIKAL

Darima G. Budaeva ✉, Zinaida S. Eremko , Natalia B. Lubsanova, Sayana B. Dymbrylova, Nadezhda B. Botoeva, Alena M. Andreeva, Tatyana A. Khrebtova, Lyudmila B.-Zh. Maksanova
Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia
✉ budaevadarima@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0971-0781, Researcher ID: 44567846, eLibrary AuthorID: 106384

Abstract. Ice and snow tourism, based on the potential of natural resources of ice and snow, is demonstrating growing dynamics in its development around the world, including in Russia. Lake Baikal, with its unique natural ice

© Будаева Д. Г., Еремко З. С., Лубсанова Н. Б., Дымбрылова С. Б., Ботоева Н. Б., Андреева А. М., Хребтова Т. А., Максанова Л. Б.-Ж., 2026

Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

surface, attracts an increasing number of tourists. However, the problems and prospects of the development of ice and snow tourism on the ice of Lake Baikal have been studied insufficiently. This article examines theoretical approaches to the concept of "ice and snow tourism," identifies its key factors, characteristic features, and subtypes. We have studied the natural and climatic factors influencing the development of tourism on the ice surface of Lake Baikal. The paper describes the current procedure for using the ice surface of the lake for recreational purposes within the borders of the Republic of Buryatia. A list of existing routes and activities of ice and snow tourism has been compiled, a map of the territorial distribution of its subtypes across five municipalities of the Republic of Buryatia located around the lake has been created. The development of tourism on the ice surface of the lake is analyzed. The problems of the development of ice and snow tourism as well as violations of environmental requirements during recreational water use on the ice surface of Lake Baikal have been identified. The research is based on legislative and regulatory documents, scientific publications, materials from ministries and departments, tourism organizations, a sociological survey results, and field observation data. Big data technologies (geo-referenced photographs taken by tourists and GPS tracks of tourist routes) were used as auxiliary tools.

Keywords: Lake Baikal, ice, snow, ice and snow tourism, Buryatia

Funding. The work was carried out under a grant from the Russian Science Foundation, project No. 24–78–10059 "Ice and snow tourism on Lake Baikal: a comparative assessment of resource potential and anthropogenic impact."

For citation: Budaeva D. G., Eremko Z. S., Lubsanova N. B., Dymbrylova S. B., Botoeva N. B., Andreeva A. M., Khrebtova T. A., Maksanova L. B.-Zh. Spatial analysis and key aspects of ice and snow tourism development on Lake Baikal. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 145–159. EDN: FQTKAR DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-145-159

Введение

В последние годы во всем мире отмечается рост интереса к ледово-снежному туризму (Ice and Snow Tourism) как виду зимнего экологического туризма, объединяющего формы туристской деятельности на основе природных ресурсов снега и льда. В России активная кампания по формированию новых туристских пространств и объектов на основе снега и льда становится одним из решающих факторов создания уникального туристского продукта территорий, которые обладают потенциальными возможностями в развитии зимнего туризма с акцентом на ледово-снежные мероприятия. Одним из таких мест является Байкальская природная территория, где возможности и особенности развития ледово-снежного туризма в значительной степени связаны с использованием ледовой поверхности оз. Байкал, являющегося объектом Всемирного природного наследия ЮНЕСКО и обладающего строгими природоохранными требованиями к использованию акватории озера. Однако, несмотря на популярность этого вида туризма, исследование теоретических основ и прикладных аспектов ледово-снежного туризма остается недостаточным, что и обусловило актуальность данной работы.

В связи с этим целью статьи является анализ современного состояния, перспектив и особенностей развития ледово-снежного туризма на ледовой поверхности оз. Байкал. Для этого выполнены следующие задачи: содержательный анализ понятия «ледово-снежный туризм»; анализ природных факторов развития ледово-снежного туризма на оз. Байкал; инвентаризация и выявление имеющихся туристских локаций на ледовой поверхности оз. Байкал; анализ развития туризма на ледовой поверхности оз. Байкал; разработка структуры и создание перечня ледово-снежных мероприятий/маршрутов; анализ проблем и перспектив развития ледово-снежного туризма на льду оз. Байкал. В исследовании использованы результаты экспедиционных работ на ледовой поверхности оз. Байкал в 5 прибрежных муниципальных образованиях Республики Бурятия в период с 19 января по 1 апреля 2025 г.

Анализ научных публикаций, в которых рассматриваются теоретические представления о различных аспектах использования зимних природных ресурсов, включая снег и лед, охватывают широкий спектр таких понятий, как: зимний туризм, горнолыжный, лыжный, снежный, горный, экстремальный, ледниковый, снегоходный, полярный туризм (арктический и антарктический), подледная рыбалка, ледово-снежный туризм [8]. При этом часто использующееся понятие «зимний туризм» является общей дефиницией, объединяющей разнообразные виды зимнего отдыха, спорта, развлечений. Более того, во многих исследованиях зимний туризм часто отождествляется с горнолыжным туризмом [17].

Появление в научном и практическом обиходе понятия «ледово-снежный туризм» обусловлено ростом туристской активности, объектов и услуг на основе использования снега и льда, формирующих индустрию зимних развлечений, которая успешно развивается в странах с холодным климатом [33]. В работах китайских исследователей подробно изучаются разновидности ледово-снежного туризма, включающие в том числе осмотр достопримечательностей со льдом и снегом, подледную рыбалку, виды спорта на льду и снегу (ледолазание, хоккей на льду, походы на снегоступах, лыжный спорт) и многие другие развлечения (катание на собачьих упряжках и снегоходах, сноукайтинг, каякинг) [34]. Возведение снежных построек – одно из популярнейших зимних развлечений во многих странах [19]. Считается, что первые сооружения и изделия изо льда появились в Китае, а идея проведения ежегодных международных фестивалей, посвященных ледяному искусству, зародилась в Японии [26].

Анализ отечественных публикаций показывает, что ледово-снежный туризм в России не выделяется как самостоятельный вид туризма. Однако активный рост популярности развлечений и деятельности, основанных на использовании снега и льда, которые являются одним из основных ресурсов зимнего туризма, свидетельствует о развитии данной новой ниши в туризме [8]. Этот тренд особенно показателен для Байкальского региона, который занимает ключевое место в пространственной структуре российского туристского рынка с тематической специализацией «организованный экологический туризм» и где в последние годы наблюдается взрывной интерес к зимнему Байкалу.

Проблематика развития различных видов туризма на зимнем Байкале исследовалась еще с начала 1970-х гг., когда ученые выделяли перспективные зоны для организации разнообразного рекреационного использования, включая буерный спорт, лыжные маршруты [14], и предлагали дополнить программу железнодорожных поездок зимой вдоль южного и юго-западного побережья Байкала подледной рыбалкой, зимними видами спорта и короткими оздоровительными прогулками [10]. Территориальное распределение видов зимнего отдыха, представленное в атласе оз. Байкал (1993 г.), включало подледную рыбалку, катание на коньках, буерах, пешие прогулки в разных рекреационных зонах [3]. В более поздних исследованиях значительно расширяется представление о перспективах зимнего туризма на Байкале на основе как традиционных, так и экстремальных видов активного отдыха, таких как велосипедный тур по льду рек и озер [5], подледная рыбалка [25].

В работе [6] говорилось о необходимости оптимального сочетания различных видов летнего и зимнего туризма в соответствии с природно-климатическими условиями с целью снижения рекреационной нагрузки на природные комплексы в наиболее уязвимый достаточно короткий летний период и более полного использования рекреационного потенциала территории. По мнению Н. А. Белобородовой: «Байкал должен ассоциироваться больше с зимним туризмом. Зимой на Байкале лед становится и основой, и объектом различных развлечений. Для организации на Байкале неповторимого зимнего отдыха природа создала массу эксклюзивных изысков» [7]. В то же время зимние виды туризма развиты слабо вследствие отсутствия обустроенных туристских комплексов [11]. Развитие рекреационной инфраструктуры в большинстве случаев сталкивается с трудной проблемой обеспечения рекреационных комплексов теплом и энергией, сбора и утилизации отходов.

На фоне расширения спектра зимних развлечений и туристской деятельности растет исследовательский интерес к изучению проблем, перспектив, особенностей и организации активного туризма и отдыха, включая традиционные и креативные практики зимнего туризма [20]. Кроме лыжного и горнолыжного видов спорта, зимний туризм на Байкале представлен экспедициями на снегоходах, снежными сафари, путешествиями на собачьих упряжках, подледной рыбалкой, событийными мероприятиями на льду оз. Байкал, такими как международный фестиваль скорости на льду «Байкальская миля», ежегодный фестиваль по подледной рыбалке «Байкальская рыбалка» и др. Но по мере вовлечения во временный туристский оборот ледовой поверхности оз. Байкал обостряется проблема хаотичного и нерегламентированного рекреационного использования водного объекта, что может вызывать негативные последствия как для экологического состояния озера, так и для местного населения. По мнению Е. В. Аигиной, ускоренное развитие туризма на Байкале в последние годы приводит к негативным проявлениям сверхтуризма, особенно в сложный зимний период [1].

Таким образом, обзор литературы свидетельствует как об актуальности тематики ледово-снежного туризма, так и о необходимости изучения современного состояния, проблем и перспектив развития ледово-снежного туризма на ледовой поверхности оз. Байкал, являющегося объектом Всемирного природного наследия ЮНЕСКО и обладающего строгими природоохранными требованиями к использованию акватории озера.

Материалы и методы

Территория исследования охватывает в административном отношении два субъекта Российской Федерации, включая пять муниципальных образований (МО) Республики Бурятия и три муниципальных образования Иркутской области, расположенных вокруг оз. Байкал. Данное исследование концентрируется в пяти МО в границах Республики Бурятия.

Уникальность оз. Байкал обусловлена: древностью его происхождения (впадина Байкала, рассматриваемая как центральное звено Байкальской рифтовой системы, имеет геологический возраст около 25–30 млн лет [3]); большой площадью водного зеркала (31500 км^2); запасами пресной воды, которые составляют 20 % мирового запаса пресных поверхностных вод, с кристальной прозрачностью воды до 40 м [22]. Озеро со всех сторон обрамлено горными хребтами: Приморским, Байкальским, Баргузинским, Икатским, Хамар-Дабан. Следует отметить, что 80 % берегов оз. Байкал относится к абразивному типу, который характерен преимущественно для западного побережья. На долю аккумулятивных берегов приходится примерно 20 % территории, и расположены они в основном на восточном склоне озерной впадины [24]. Вышеуказанные особенности обуславливают высокую привлекательность озера, в том числе и для ледово-снежного туризма как гигантской природной ледовой поверхности с уникальными природными ландшафтами.

На развитие ледово-снежного туризма на льду оз. Байкал основное влияние оказывают следующие природные факторы: температурный режим, ветроволновые условия, ледовый режим, а также различные ледовые процессы и явления.

Температурный режим. На климат Байкальской котловины большое влияние оказывает ее межгорное положение и воздействие огромной водной массы озера, которая медленно нагревается и охлаждается [4]. Климатические особенности оз. Байкал позволяют выделить его «как район, отличающийся чертами океаничности – более мягкой зимой и прохладным летом по сравнению с окружающими пространствами» [16]. Исследования климатических данных по оз. Байкал свидетельствуют о значительной пространственной неоднородности температурного режима на Байкале, и температуры до –24° С наблюдаются преимущественно в северной части озера [3], в то время как южная часть, простирающаяся от с. Выдрино до г. Бабушкин, характеризуется более мягким климатом [4]. Согласно исследованиям, средняя температура до –16° С наблюдается в южной и центральной части Байкала, на о-ве Б. Ушканий – 18,3° С. В береговой зоне – окрестности н.п. Листвянка, Слюдянка, Выдрино, Бабушкин. Остальная часть относится к участкам с средней температурой до –20° С. В Баргузинском и Чивыркуйском заливах и на севере озера – до –22° С, лишь в районе п-ва Святой Нос – до –20° С. На севере, включая п-в Ярки, г. Северобайкальск и оз. Фролиха, доходит до –24° С [3]. Данные параметры соответствуют оптимальному периоду для зимней рекреации со среднесуточной температурой от –5 до –25° С [23].

Ветроволновые условия. Особенности ветрового режима способствуют образованию чистого бесснежного льда на озере, который большей частью распространен в западной части озера (наибольшие площади наблюдаются вокруг о. Ольхон), небольшие участки прозрачного льда образовываются в различных частях и в восточной части озера. Благодаря данному явлению наблюдается рост популярности катания на коньках, буерного спорта, хоккея и т.д. Ветроволновая деятельность усиливается в период замерзания озера, что способствует образованию на скальных участках ледяных наплесков (сокуи) [12] – популярных объектов посещения туристов. Такие участки встречаются на скалах Ушканьих островов, мысах Кобылья голова, Курминский в Малом Море и на скалах северной оконечности о. Ольхон.

Однако следует отметить, что в некоторых случаях порывы ветра могут достигать 40–50 м/с, создавая опасные ситуации при проведении туристских мероприятий на льду.

Ледовый режим. Ледостав в глубоководных районах северной и средней котловин озера обычно начинается в первых числах января, а в южной котловине – на 10–14 дней позже. Максимальной мощности лед достигает в конце марта, изменяясь по акватории Байкала в среднем от 70 до 115 см [3; 4]. Наименьшая мощность льда наблюдается на южном Байкале, где выпадает наибольшее количество снега. На северном Байкале из-за более низких температур толщина льда достигает максимальных значений [3]. Соответственно, использование ледовой поверхности оз. Байкал традиционно осуществляется в период с января по апрель. Следует отметить, что для организации массовых спортивных и праздничных мероприятий безопасная толщина льда должна составлять не менее 25 см, а для проезда автомобилей – не менее 30 см [21].

Снежный покров. Территориальные особенности развития ледово-снежного туризма на Байкале могут быть обусловлены «крайне неравномерным распределением атмосферных осадков по акватории Байкала и его побережью, вызванными сложными условиями циркуляции атмосферы и орографии рассматриваемой территории» [4]. Анализ материалов наблюдений за высотой снега [9] показывает возрастание его мощности по направлению к восточному побережью, чему способствует метелевый перенос при сильных северо-западных ветрах. Осадки и толщина снежного покрова достигают наибольшей величины в Южном Байкале вдоль его восточного побережья на участке от с. Танхой до г. Байкальск, где величина выпавших осадков близка к 50 мм. Такие же величины в Чивыркуйском заливе и на северной оконечности Байкала. Возрастание мощности снежного покрова по направлению к восточному побережью обуславливает перспективность развития лыжных маршрутов.

Ледовые явления и процессы. В результате воздействия тектонических и климатических условий на ледовой поверхности оз. Байкал возникают поля становых щелей и торосов. Наибольшие поля дугообразных щелей наблюдаются в районе о. Ольхон и п-ова Святой Нос [3], что усложняет передвижение на транспортных средствах (автомобилях, судах с воздушной подушкой, снегоходах, мотовездеходах и т.д.).

Пузырьки газа во льду, образовавшиеся в результате выходов газов метана, придают особую живописность ледовому ландшафту, их можно наблюдать в Баргузинском и Чивыркуйском заливах, вблизи с. Посольское, в заливе Провал, вблизи с. Бол. Голоустное. В то же время ледовая поверхность на таких участках может быть тонкой и представлять опасность для передвижения.

На большинстве участков аккумулятивных берегов восточного побережья в результате волноприбойной деятельности на ледовой поверхности образовываются неровные, наслоенные друг на друга ледяные валы («сопки»), придавая разнообразие ледовому ландшафту, но усложняя подъезды и проходы к ледовой поверхности для туристов и рыболовов.

В целом озеро Байкал подразделяется на три климатических округа, приуроченных к впадинам Байкальской котловины – Южной, Средней, Северной [3]. Южный Байкальский климатический округ отличается мягким климатом с максимальными величинами осадков, особенно на юго-восточном участке побережья. Средний Байкальский климатический округ по своим основным климатическим показателям представляет собой переходную зону к Северному и выделяется общим и значительным уменьшением осадков. Для Северного

Байкальского округа отмечаются суровые зимы, обилие снежного покрова. Природные факторы вышеуказанных климатических округов обуславливают разнообразные возможности для развития ледово-снежного туризма, определяют территориальное распределение развития подвидов ледово-снежного туризма на оз. Байкал и условия для проведения мероприятий с соблюдением требований экологической безопасности и безопасности туристов.

Ледово-снежный туризм: понятие, факторы и подвиды. Общепринятого определения «ледово-снежный туризм» в настоящее время не существует. Концепция данного вида туризма наиболее развита в Китайской народной республике, а такие понятия, как Ice and Snow Tourism, Ice-snow tourism, IST, активно распространены и в китайской научной среде [29; 35; 36], и в государственных документах, в которых он определяется как тип природного экологического туризма, включающего туристскую деятельность, сосредоточенную на ледяных и снежных ресурсах [31]. Ледово-снежный туризм рассматривается как вид деятельности, с помощью которого можно познакомиться с культурой, связанной со льдом и снегом, на основе криосферы и климатических ресурсов [30; 32].

Ряд исследователей считают, что ледово-снежный туризм охватывает все виды туристской деятельности, основанные на природных ресурсах снега и льда и связанные с созданием временных достопримечательностей, объектов, мероприятий, формирующих индустрию зимних развлечений, которая успешно развивается в странах с холодным климатом [28; 33]. Акцентирование значимости снега и льда как особой совокупности возобновляемых природных ресурсов, используемых в естественных природных условиях в зимнее время, определяет ключевые признаки развития ледово-снежного туризма: наличие снежного покрова и ледяного покрова водоемов (озера, реки, пруды и др.); продолжительность стояния снежного и ледяного покровов (с учетом требований безопасности); наличие уникальных природных объектов из снега и льда (ледники, пещеры, гроты, и др.); снег и лед как возобновляемые строительные материалы; сочетание разных видов рекреационных занятий и развлечений; современные технологии применения искусственного снега и льда; география ледово-снежного туризма не ограничена какими-то определенными территориями (Арктика, горы и др.); сезонный, нестабильный и высокозависимый от климатических изменений вид туризма.

На основе сопоставительного анализа подходов к понятию ледово-снежного и экологического туризма можно выделить следующие характерные признаки ледово-снежного туризма, которые соотносятся с ключевыми принципами международного общества экотуризма и позволяют рассматривать его как специальный вид экологического туризма:

– природная направленность;

– сохранение и рациональное использование природных ресурсов снега и льда;

– экологическая ответственность производителей и потребителей экотуристских услуг;

– уважение к местным традициям, повышение экологической ответственности через экоэтикет, образовательные программы;

– способность стимулировать экономическое развитие регионов в зимний период;

– использование временных некапитальных сооружений, перераспределение антропогенной нагрузки с ледовых локаций.

Исследование российского опыта развития различных туристских активностей на основе льда и снега позволило авторам выделить следующие подвиды ледово-снежного туризма [8]: ледово-снежные событийные мероприятия; ледово-снежный спортивный туризм; ледово-снежный маршрутный туризм; ледово-снежный прогулочный туризм; подледная рыбалка; ледово-снежные игры и развлечения; ледово-снежное искусство; ледово-снежный фото-туризм; ледовая гастрономия (рис. 1). Основными признаками предложенной классификации подвидов ледово-снежного туризма выступают определенные услуги, мероприятия и объекты, создаваемые с использованием природных ресурсов снега и льда в различных формах и удовлетворяющие потребности туриста в конкретном виде отдыха. При этом нами принимаются во внимание определения того или иного вида туризма, установленные в различных нормативно-правовых документах. Так, согласно стандарту «Безопасность активных видов туризма [13], «спортивный туризм – это вид туризма, в основе которого лежит прохождение туристских маршрутов и дистанций, включающих преодоление категорированных по сложности препятствий (перевалов, траверсов, вершин, порогов, каньонов, пещер и пр.), проложенных в природной среде или на искусственном рельефе». Или любительское рыболовство – это «деятельность по добыче (вылову) водных биологических ресурсов, осуществляемая гражданами для удовлетворения личных потребностей, а также при проведении официальных физкультурных и спортивных мероприятий» [18].

Таким образом, ледово-снежный туризм представляет собой специальный вид экологического туризма, развитие которого опирается на особую природную аттракцию – поверхностные водные объекты с ледовым покрытием, уникальные природные объекты из снега и льда (ледники, пещеры, гроты и др.); искусственно созданные объекты из снега и льда, разнообразие водных биологических ресурсов и прибрежных ландшафтов. Спецификой ледово-снежного туризма является рекреационное использование водных объектов с ледовым покрытием, с выделением мест массового выхода на лед, трактуемых как «часть водного объекта с ледовым покровом и подходы к нему, используемые для рыбалки, туристических маршрутов, зимних видов спорта в соответствии с требованиями, предъявляемыми к выбору территории, оборудованию и эксплуатации водного объекта в зимнее время».

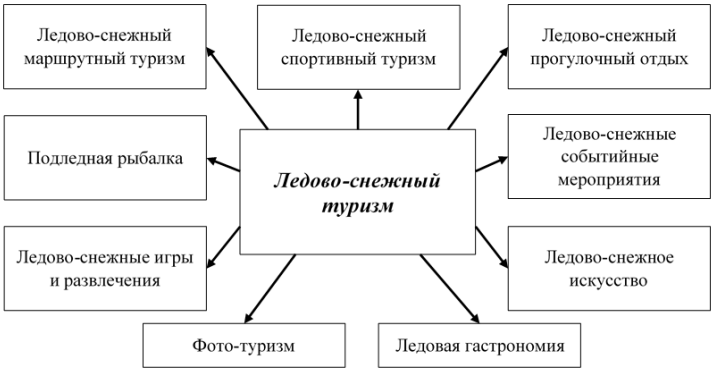


Рис. 1. Структура подвидов ледово-снежного туризма [9]
Fig. 1. The structure of the subtypes of ice and snow tourism [9]

В исследовании мы опираемся на теорию рекреационного водопользования как деятельности населения, связанной с отдыхом, спортом и туризмом на акватории и побережье водоемов [2].

В работе использованы институциональный, сравнительно-географический, статистический, картографический методы. Институциональный анализ позволил упорядочить основные подходы к проведению массовых мероприятий с использованием ледовой поверхности оз. Байкал в границах Республики Бурятия, которые содержатся в нормативно-правовых документах организаций, регулирующих и контролирующих соблюдение обязательных требований и условий массового пребывания на льду оз. Байкал (рис. 2).

На основе статистических данных выполнен анализ туристского потока в границах пяти прибрежных муниципальных образований Республики Бурятия. Инвентаризация туристских локаций на ледовой поверхности оз. Байкал проводилась с использованием сравнительно-географического и картографического методов. В исследовании сформирован методический подход, сочетающий картографический метод и технологии обработки больших данных для пространственного анализа развития туризма на ледовой поверхности акватории оз. Байкал. Отличительной чертой сбора данных является интеграция различных источников информации, которые дополняют другу друга и повышают ее достоверность (рис. 3).

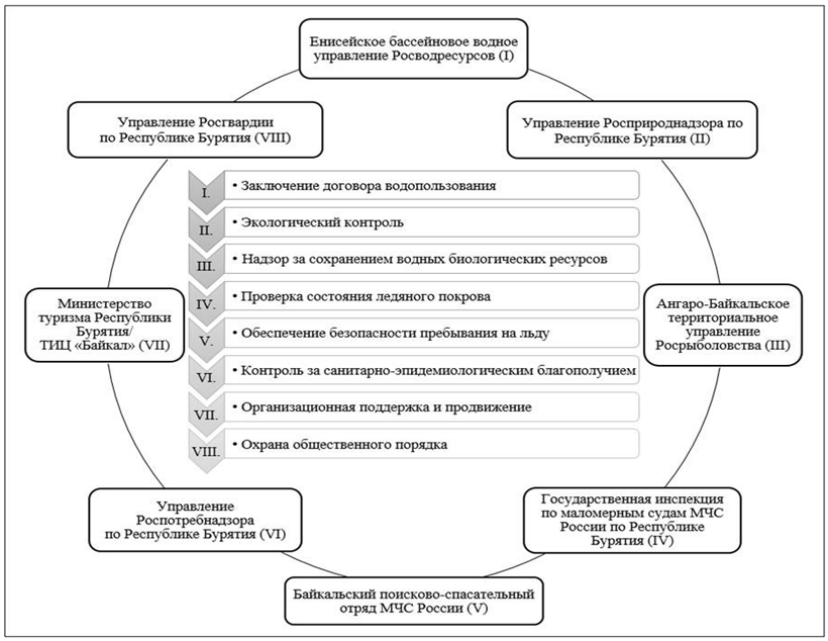


Рис. 2. Порядок организации и проведения массовых мероприятий с использованием ледовой поверхности оз. Байкал
Fig. 2. The procedure for organizing and holding mass events using the ice surface of Lake Baikal

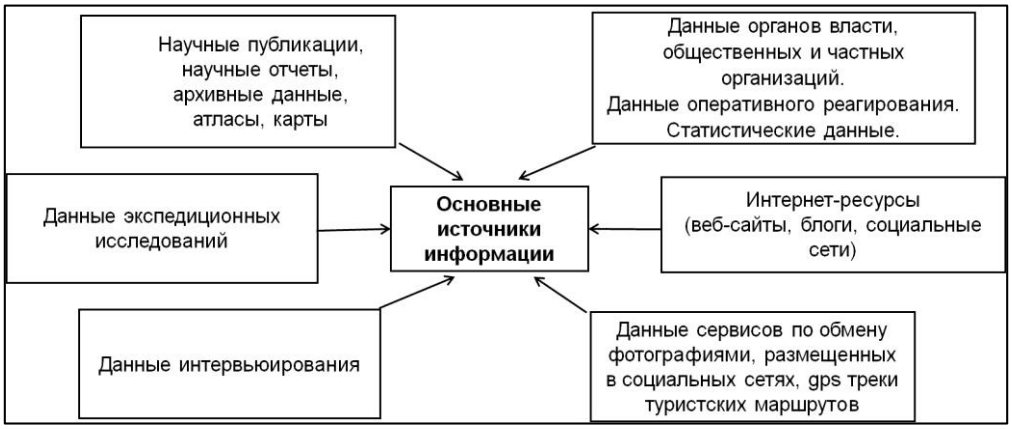


Рис. 3. Основные источники информации
Fig. 3. Main sources of information

Для проведения исследования были использованы геолокации фотографий туристов, опубликованные в социальной сети «ВКонтакте» на территории 5 муниципальных образований Республики Бурятия в диапазоне январь-апрель 2019–2024 гг. Сбор данных осуществлялся с использованием API-платформы, что позволило его автоматизировать и обеспечить репрезентативность данных. Использование данных сервисов дало возможность не только уточнить местоположение туристских локаций, но и выполнить анализ туристской активности, а также сформировать перечень актуальных рекреационных занятий и туристских мероприятий.

Также были использованы данные о туристских маршрутах и GPS-треках, доступные на специализированных сайтах, посвященных туристическим активностям. Картографирование проведено на топографической основе масштаба 1:200000 с использованием ArcGIS Enterprise Standard и QGIS.

В ходе экспедиционных исследований собрана информация о ледово-снежных мероприятиях, туристских маршрутах и перечне предоставляемых туристских услуг на ледовой поверхности оз. Байкал, проведено интервьюирование организаторов ледово-снежных мероприятий, представителей администраций муниципальных образований и дирекций ООПТ, что позволило разработать структуру и сформировать перечень ледово-снежных мероприятий событийного и спортивного туризма.

Результаты

Результаты анализа статистических данных показывают, что Кабанский, Прибайкальский, Баргузинский районы характеризуются лидирующими позициями в Республике Бурятия по количеству обслуженных туристов среди всех муниципальных образований, занимая с 3 по 5 позиции. Туристский поток после спада в пандемию восстановился к 2021 г., а в 2023 г. превысил допандемийный уровень на 10 %.

Анализ динамики численности размещенных лиц в коллективных средствах размещения (КСР) по Республике Бурятия за зимний сезон (с января по март) с 2019 по 2023 г. свидетельствует об устойчивом росте туристского потока, численность которого возросла с 44,8 тыс. чел. в 2019 г. до 92,5 тыс. чел. в 2023 г. (рис. 4). Доля размещенных в КСР в зимний сезон возросла с 11 % в 2019 г., до 16,4 % в 2023 г.

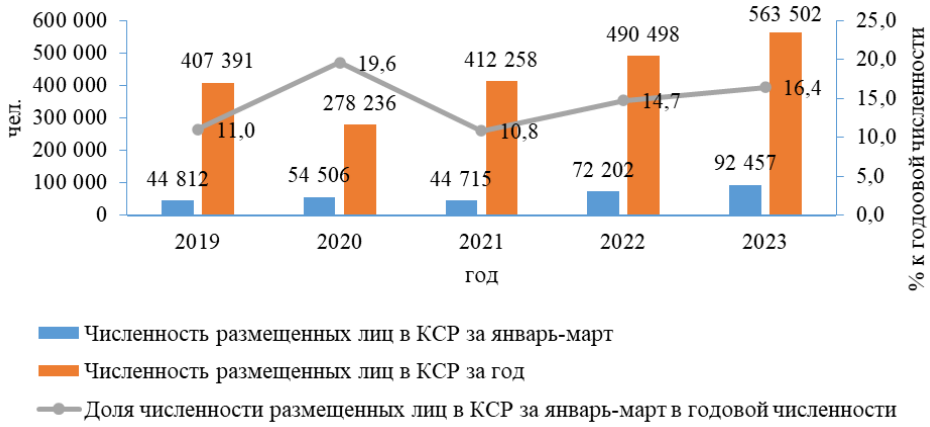


Рис. 4. Динамика численности размещенных лиц в коллективных средствах размещения по Республике Бурятия за зимний сезон (январь – март) 2019 по 2023 г. [27]
Fig. 4. Dynamics of the number of persons accommodated in collective accommodation facilities in the Republic of Buryatia for the winter season (January-March) 2019 to 2023 [27]

Таблица
Table

Перечень актуальных мероприятий ледово-снежного туризма
в границах пяти муниципальных образований Республики Бурятия в 2025 г.
The list of current events of ice and snow tourism
within the borders of five municipalities of the Republic of Buryatia in 2025

№	*Подвид ледово-снежного туризма*	*Название мероприятия / маршрута*	*Статус*	*Количество посетителей, чел.*	*Сроки проведения / периодичность*
1	2	3	4	5	6
Баргузинский район					
1.	Ледово-снежное событийное мероприятие	Снежная открытка	Региональный	Более 600	Ежегодно с 2022 г. / 22–23 февраля
2.		Кубок Байкала	Региональный	Более 250	Ежегодно с 2016 г. / середина февраля
3.		Кубок двух озер	Международный	Более 100	Ежегодно с 2023 г. / март-апрель
4.		Байкальская миля	Международный	Более 2000	Ежегодно с 2019 г. / март
5.		Байкальский лыжный марафон	Федеральный	Более 500	Ежегодно с 2001 г. / 19–20 апреля
6.	Ледово-снежный маршрутный туризм	Чивыркуйский залив (на автомобиле, на вездеходе)	Организованный / самодеятельный	–	–
7.		Байкальская экспедиция (н.п. Усть-Баргузин – мыс Хобой о. Ольхон Иркутская область (СВП)	Организованный / самодеятельный	–	–
8		Экскурсия к Святому Носу (на автомобиле)	Организованный / самодеятельный	–	–
9		Вокруг Святого Носа Байкала (на вездеходе)	Организованный / самодеятельный	–	–
10.	Любительское рыболовство (спортивные мероприятия)	Зимние забавы в Чивыркуе	Региональный	Более 500	Ежегодно с 2016 г. / март-апрель
11.		Баргузинская сорожка	Местный	–	Ежегодно с 2024 г. / 19–20 апреля
12.	Ледово-снежный прогулочный туризм	Прогулки и экскурсии на ледовой поверхности в устье р. Баргузин	Организованный	–	–
13.	Фото-туризм	Ледовый фотопленэр «Баргуджин Токум»	Местный	–	–
14	Ледово-снежный спортивный туризм	Авторский тур Владимира Жарова (мыс Крестовский – с. Посольское)	Организованный	–	2024 г.
Прибайкальский район					
15.	Любительское рыболовство (спортивные мероприятия)	Байкальская рыбалка	Международный	1200	Ежегодно начиная с 2005 г. / в конце марта
16.	Ледово-снежный маршрутный туризм	Экскурсия «Остров Ольхон» (н.п. Турка – мыс Хобой о. Ольхон Иркутская область (СВП)	Организованный / самодеятельный	–	–
17.		Голос Байкала – тур без лишних слов (н.п. Гремячинск)	Организованный	–	–
18.	Ледово-снежный прогулочный туризм	Прогулки и экскурсии на ледовой поверхности в н.п. Горячинск	Организованный / самодеятельный	Более 100	Ежегодно / февраль–март
19.		Прогулки и экскурсии в местности Черепаха (пешие, СВП)	Организованный / самодеятельный	Более 100	Ежегодно / февраль–март

Окончание табл.
End of Table

1	2	3	4	5	6
Кабанский район					
20.	Любительское рыболовство (спортивные мероприятия)	Чемпионат Кабанского района по рыбной ловле	Местный	Более 100	Ежегодно с 2023 г. / середина-конец марта
21.	Ледово-снежный спортивный туризм	Байкальский беговой марафон	Международный	Более 100	Ежегодно с 2005 г. / февраль-март
22.	Ледово-снежное событийное мероприятие	Празднование крещения господня	Местный	До 100	Ежегодно с 2017 г. / 18–19 января
23.	Ледово-снежный прогулочный туризм	Прогулки на ледовой поверхности в н.п. Выдрино	Организованный / самодеятельный	–	–
Северо-Байкальский район, город Северобайкальск					
24.	Любительское рыболовство (спортивные мероприятия)	Рыбалка «Северный Байкал»	Региональный	Более 300	Ежегодно с 2009 г. / конец марта
25.	Ледово-снежный спортивный туризм (категорийный)	г. Северобайкальск – Ярки – губа Фролиха – местность Хакусы и обратно (пеший)	Организованный / самодеятельный	–	–
26.		г. Северобайкальск до Слюдянских озер (пеший)	Организованный / самодеятельный	–	–
27		От остановки 4 км до остановки 8 км (пеший)	Организованный / самодеятельный	–	–
28.	Ледово-снежный маршрутный туризм	г. Северобайкальск – местность Хакусы и обратно (СВП)	Организованный / самодеятельный	–	–
29		г. Северобайкальск – источник Котельниковский (автомобильный, СВП)	Организованный / самодеятельный	–	–
30.	Ледово-снежный прогулочный туризм	Прогулки на ледовой поверхности в г. Северобайкальск, вблизи городского парка	Организованный / самодеятельный	–	–

Восстановлению турпотока в пяти МО Бурятии до уровня 2019 г. способствовал не только широкий арсенал мер государственной поддержки [15], но и появление новых мероприятий в зимний период. В зимний период 2023–2024 годов значительно возросло количество авторских предложений о ледовых и снежных турах на Байкал. По данным полевых наблюдений, ледовая поверхность оз. Байкал используется для проведения фестивалей культуры, творчества и спорта, конкурсов ледовой скульптуры, соревнований по подледной рыбалке, для экскурсионных поездок на различных видах транспорта и пешком. По нашим оценкам, количество видов предлагаемых продуктов и услуг на льду доходит до 50. Программа туристских услуг включает такие разнообразные рекреационные занятия, как катание на санях, на коньках, на лыжах, на собачьих упряжках, ватрушках, мини-гольф, ледяная карусель, ледяной бар, конкурс ледяных скульптур и др. Отметим, что количество предложений в сфере ледово-снежного туризма растет с каждым зимним сезоном. Все это способствовало запуску чартерных рейсов из Москвы под названием Winter Baikal («Зимний Байкал»), экспедиционных туров «Байкальская экспедиция» и многое другое.

На основе анализа данных составлен и систематизирован перечень актуальных мероприятий по подвидам ледово-снежного туризма в границах пяти муниципальных образований Республики Бурятия (табл.).

Анализ таблицы показывает следующее:

а) Наибольшую популярность приобрели ледово-снежные событийные мероприятия, мероприятия по спортивному любительскому рыболовству и ледово-снежный маршрутный туризм (на суднах с воздушной подушкой и на автомобилях), на долю которых приходится по 7 мероприятий из 30 представленных в перечне соответственно;

б) Лидером по развитию ЛСТ является МО Баргузинский район, на который приходится 46 % всех мероприятий ЛСТ, при этом в районе особенно развит ледово-снежный событийный туризм (5 из 7 мероприятий событийного туризма);

в) Первым республиканским ледово-снежным событийным мероприятием на оз. Байкал был «Байкальский лыжный марафон» (2001), который за 24 года не состоялся лишь в 2025 г. из-за аномально теплой погоды. С 2005 года ежегодно проходит крупное событийное мероприятие «Байкальская рыбалка». Наибольшее количество ледово-снежных событийных мероприятий зафиксировано в 2019 г;

г) Количество посетителей ледово-снежных событийных мероприятий и мероприятий по спортивной любительской рыбалке колеблется от 100 до 2000 человек:

– наибольшую посетительскую нагрузку показывают «Байкальская миля» (более 2000 чел.) в Баргузинском районе и Байкальская рыбалка (1200 чел.) в Прибайкальском районе;

– среднюю нагрузку (от 500 до 1000 чел.) – «Снежная открытка» и «Зимние забавы в Чивыркуе» в Баргузинском районе;

– оставшиеся мероприятия посещает до 500 чел.

Исследование распределения туристского потока ледово-снежного маршрутного и спортивного туризма проведено на основе результатов полевых исследований, анализа данных из социальной сети «ВКонтакте» (фотографии туристов с геопривязкой), а также с использованием GPS-треков туристских маршрутов, полученных из интернет-ресурсов. По результатам исследования выявлены особенности пространственного развития данных подвидов ледово-снежного туризма;

д) Ледово-снежный маршрутный туризм равномерно развивается в Баргузинском, Прибайкальском, Северо-Байкальском районах и г. Северобайкальск. Популярным является передвижение на автомобилях и на судне с воздушной подушкой. К наиболее посещаемым относятся маршруты:

– п. Усть-Баргузин – п-ов Святой Нос (Баргузинский район) – о. Ольхон (Иркутская область);

– с. Монахово – бухта Змеевая – о. Мал. Кылтыгей (Баргузинский район);

– с. Гремячинск – с.Турка – мыс. Безымянка (Прибайкальский район) – о. Ольхон;

– г. Северобайкальск – местность Хакусы (Северо-Байкальский район, город Северобайкальск);

е) Отдельного внимания заслуживает ледово-снежный спортивный туризм, который, по результатам исследования, наиболее активно развивается в Северо-Байкальском районе и г. Северобайкальск (3 из 5 маршрутов). Маршруты спортивного туризма организованы при МАОУ ДО «Школа туристско-экологического образования», где школьники, прошедшие туристскую подготовку под руководством опытных гидов-проводников, проходят категорийные маршруты по ледовой поверхности оз. Байкал.

Кроме того, исследование показало развитие пеших маршрутов от с. Танхой (Кабанский район) до п. Листвянка (Иркутская область), от с. Гремячинск до с. Посольское;

ж) В каждом муниципальном образовании осуществляется рыбалка в целях удовлетворения личных потребностей. По результатам исследования выявлено, что популярные места любительского рыболовства для личных нужд расположены вблизи г. Северобайкальск; в местности Хакусы, вблизи устья р. Кабанья в Северо-Байкальском районе; в Баргузинском и Чивыркуйском заливах в Баргузинском районе; вблизи местности Безымянка и с. Гремячинск Прибайкальском районе; в заливе Провал и в дельте р. Селенга в Кабанском районе.

Следует особо отметить, что по всем маршрутам осуществляются как организованные, так и самодеятельные туры. В целом пространственное распределение актуальных мероприятий ледово-снежного туризма представлено на рис. 5.

Основные проблемы развития ледово-снежного туризма были выявлены на основе анализа результатов интервьюирования организаторов ледово-снежных мероприятий, представителей администраций муниципальных образований и дирекций ООПТ. Ключевой проблемой является сокращение сроков функционирования ледовых переправ под влиянием климатических изменений, что ограничивает возможности проведения автомобильных туров и рыбалки со льда. Раннее таяние льда приводит к отмене запланированных событийных мероприятий. Так, в 2025 году был отменен Байкальский лыжный марафон. Также следствием является несоблюдение туристами запрета выезда автомобилей на ледовую поверхность. В условиях нестабильного ледового покрытия и наличия опасных ледовых явлений (трещины, торосы, пропарины и т.д.) отсутствие ограждений по границе арендуемых участков не обеспечивает должного соблюдения мер безопасности пребывания туристов на льду. Острой проблемой является отсутствие туалетов на о. Мал. Кылтыгей и неудобная логистика экскурсионного маршрута от с. Монахово до о. Мал. Кылтыгей, что приводит к загрязнению памятника природы.

В ходе полевых обследований выявлено, что не все водопользователи размещают объекты обеспечивающей инфраструктуры на ледовой поверхности оз. Байкал (зоны питания, автостоянки, мусорные баки) без должного учета экологических требований, что приводит к загрязнению водного объекта. Для решения данной проблемы необходимо распространение опыта проведения туристских мероприятий «Зимние забавы в Чивыркуе» в Забайкальском национальном парке, «Байкальской рыбалки» в с. Турка. На данных мероприятиях на ледовой поверхности проводится рыбалка и предоставляются дополнительные туристские услуги, например катание на собачьих упряжках, санях и т.д. Объекты обеспечивающей инфраструктуры (фуд-зона, автостоянки, торговые палатки, мусорные баки) размещаются на береговой полосе. Отметим, что высоким уровнем

инфраструктурной обеспеченности для туризма в зимний период не обладает ни одно муниципальное образование Республики Бурятия на прибрежных территориях оз. Байкал, а отсутствие инфраструктуры ограничивает возможности безопасного и комфортного отдыха, что крайне важно для долгосрочной устойчивости ледово-снежного туризма.

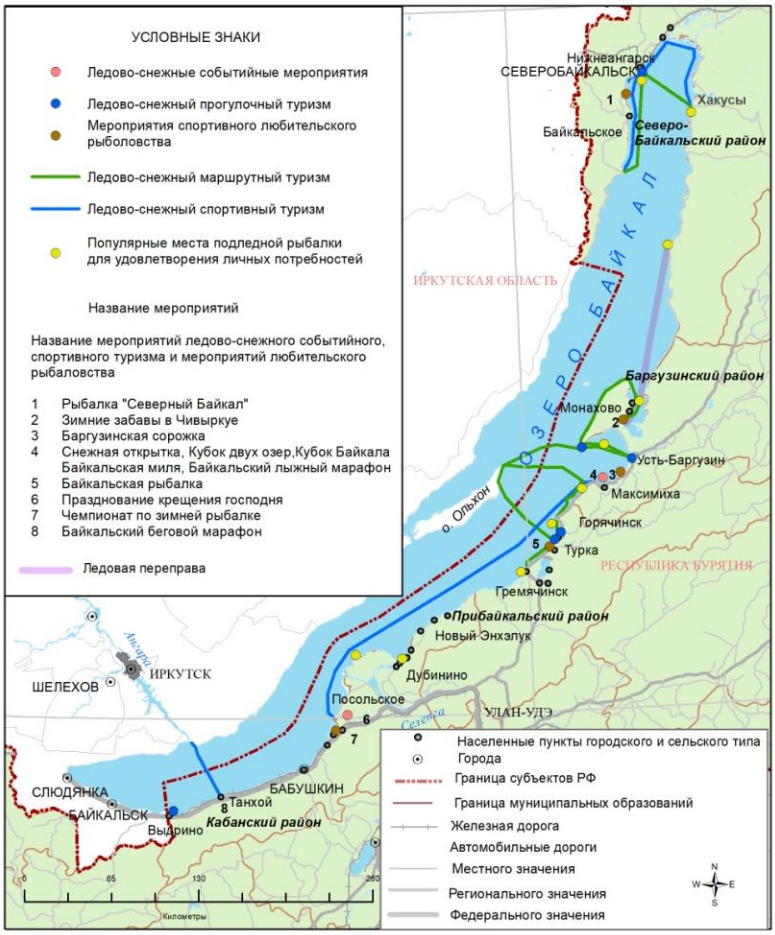


Рис. 5. Территориальное распределение актуальных мероприятий ледово-снежного туризма в границах пяти муниципальных образований Республики Бурятия в 2025 г.
Fig. 5. Territorial distribution of current events of ice and snow tourism within the borders of five municipalities of the Republic of Buryatia in 2025

Выводы

Проведенное исследование позволило выявить территориальное распределение и ключевые аспекты развития ледово-снежного туризма на оз. Байкал, в частности в Республике Бурятия. Анализ научной литературы и практических данных подтвердил, что ледово-снежный туризм, основанный на уникальных природных ресурсах льда и снега, становится все более значимым направлением зимнего туризма.

Разнообразие климата Байкала, обусловленное разделением на Южный, Средний, Северный округа, предоставляет широкие возможности для развития ледово-снежного туризма. Южный Байкал с его мягким климатом и обильными осадками, Средний Байкал с переходными характеристиками и меньшим количеством осадков, Северный Байкал с суровыми зимами и большим снежным покровом – каждый округ предлагает уникальные условия для различных подвидов ледово-снежного туризма.

Результаты исследования показали устойчивый рост туристского потока в зимний период, что связано с появлением новых мероприятий и расширением спектра предлагаемых услуг. Наибольшей популярностью пользуются ледово-снежный событийный, маршрутный, спортивный туризм, а также спортивные мероприятия по любительской рыбалке. В каждом муниципальном образовании развивается прогулочный туризм и подледная рыбалка для личных нужд. По развитию ледово-снежного туризма лидером в Бурятии является территория Баргузинского района, на долю которого приходится 46 % всех ледово-снежных мероприятий. При этом особенно развит ледово-снежный событийный туризм.

Однако развитие ледово-снежного туризма сопряжено с рядом проблем, включая климатические изменения, сокращение сроков ледостава, недостаточную инфраструктурную обеспеченность и нарушения природоохранных требований. Для обеспечения устойчивого развития необходимо внедрение мер по

регулированию рекреационной нагрузки, совершенствованию инфраструктуры и повышению экологической ответственности участников туристической деятельности.

В заключение можно отметить, что ледово-снежный туризм на Байкале обладает значительным потенциалом, но его реализация требует комплексного подхода, учитывающего как интересы туристической индустрии, так и необходимость сохранения уникальной природной среды озера. Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на разработку стратегий адаптации к климатическим изменениям и оценку социально-экономического эффекта от развития зимнего туризма в регионе.

Библиографический список

1. *Аигина Е. В.* Зимний туризм на Байкале: вызовы сверхтуризма // Туристско-рекреационный комплекс в системе регионального развития: мат. X междунар. науч.-практ. конф. (Небуг, 20–24 апреля 2025 г.). Краснодар: Кубанский государственный университет, 2022. С. 4–8. EDN: NNCJXW

2. *Андреева И. В.* Рекреационное водопользование: историография и стратегия изучения // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2017. № 3(46). С. 5–14. EDN: YLJKSU

3. Байкал: атлас / ред. Г. И. Галазий. М.: ФСГК России, 1993. 126 с.

4. *Беркин Н. С., Макаров А. А., Русинек О. Т.* Байкаловедение: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во Ирк. гос. ун-та, 2009. 291 с. ISBN: 978-5-9624-0355-7 EDN: QKIKRN

5. *Батоцыренов Э. А.* Географические особенности развития активного туризма в Республике Бурятия: автореф. дис. … канд. геогр. наук / Бурят. Гос. ун-т. Улан-Удэ, 2010. 174 с. EDN: QHDFGR

6. *Белов А. В., Воробьев В., Грачев М., Рященко С., Сутурин А. Н.* Концепция развития международного туризма в Байкальском регионе // География и природные ресурсы. 1993. № 3. С. 5–11. EDN: WKLSHL

7. *Белобородова Н. А.* Перспективы развития горнолыжных комплексов на территории Байкальского региона // Россия: тенденции и перспективы развития: мат. II междунар. науч.-практ. конф. (Курск, 3–4 июня 2022 г.). Курск, 2007. С. 358–366.

8. *Будаева Д. Г., Еремко З. С., Андреева А. М., Дымбрылова С. Б.* Ледово-снежный туризм: понятие, факторы развития и практические примеры // Общество: политика, экономика, право. 2024. № 12(137). С. 110–118. DOI: 10.24158/pep.2024.12.13 EDN: HMMVGN

9. *Верболов В. В., Сокольников В. М., Шимараев М. Н.* Гидрометеорологический режим и тепловой баланс озера Байкал: монография. М.; Л.: Наука, 1965. 373 с.

10. Вопросы развития индустрии туризма на Байкале / под. ред. Д. Р. Дарбанова. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1973. 135 с.

11. *Воробьев В. В., Антипов А. Н., Белов А. В., Рященко С. В., Лобанова Т. А.* Эколого-географические основы планирования и развития туризма в Байкальском регионе // География и природные ресурсы. 1994. № 3. С. 49–54. EDN: WKLSDZ

12. *Галазий Г. И.* Байкал в вопросах и ответах. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1987. 383 с.

13. ГОСТ Р 54601–2011 «Национальный стандарт Российской Федерации. Туристские услуги. Безопасность активных видов туризма. Общие положения». М.: Стандартинформ, 2012. 12 с.

14. *Ладейщиков Н. П.* К проблеме рекреационного освоения и охраны природы Байкала и Прибайкалья // Природа Байкала: сб. статей. Л.: Геогр. о-во СССР, 1974. С. 271–279.

15. *Максанова Л. Б. Ж., Андреева А. М.* Развитие туризма в условиях пандемии: новые тренды и антикризисные меры // Общество: политика, экономика, право. 2020. № 12(89). С. 64–68. DOI: 10.24158/pep.2020.12.9 EDN: OBCIRN

16. Озеро Байкал: путеводитель. М.: Изд-во «Наука», 1979. 79 с.

17. *Отто О. В., Танкова М. В.* Развитие зимних видов туризма и характеристика снежного покрова Алтайского края // География и природопользование Сибири. 2014. № 18. С. 134–139. EDN: TGHWSH

18. О любительском рыболовстве и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: фед. закон от 25.12.2018 № 475–ФЗ (ред. от 29.05.2024) : сайт. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_314261 (дата обращения: 08.04.2025)

19. *Пашкова Л. А., Екимова М. А.* Снежная и ледяная архитектура // Образование. Архитектура. Строительство: мат. Всерос. научн. практ. конф. (Казань, 15–17 мая 2017 г.). Казань, 2017. С. 73–78. EDN: ZUOQCH

20. *Попова В. В., Вдовенко Д. О., Михайлова Н. С.* Зимний туризм на Байкале: креативные практики (на примере деятельности экскурсионного агентства «Вояж на Байкал») // Креативные стратегии и креативные индустрии в экономическом, социальном и культурном пространствах региона: мат. IV междунар. научно-практ. конф. (Иркутск, 18 мая 2022 г.). Иркутск: Репроцентр+, 2022. С. 247–253. EDN: CJDSHE

21. Правила поведения на льду и выезд на переправу. Официальный сайт Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий : сайт. URL: https://mchs.gov.ru/deyatelnost/bezopasnost-grazhdan/pravila-povedeniya-na-ldu-i-vyezd-na-perepravu (дата обращения: 03.02.2025)

22. Предбайкалье и Забайкалье: атлас / под. ред. В. С. Преображенского. М.: Изд-во «Наука», 1965. 485 с.

23. *Преображенский В. С.* Методические указания по характеристике природных условий рекреационного района // Географические проблемы организации туризма и отдыха. 1975. Вып. 1. С. 50–111.

24. *Рогозин А. А.* Береговая зона Байкала и Хубсугула: Морфология, динамика и история развития. М.: Наука, 1993. 167 с.

25. *Батоцыренов Э. А., Санданов Д. В., Моролдоев И. В.* Рыбалка по принципу «поймал – отпустил». Улан-Удэ: изд-во «Экос», 2014. 40 с.

26. *Саляхова М. Р.* Архитектура изо льда и снега в Японии // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 3(41). С. 49–56. EDN: ZHJPDP

27. Численность размещенных лиц в коллективных средствах размещения // Федеральная служба государственной статистики : сайт. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/KSR_mes_sub_10-2024.xlsx (дата обращения: 20.12.2024)

28. *An H. M., Xiao C. D., Tong Y.* Ice-and-snow tourism and its sustainable development in China: A new perspective of poverty alleviation // Climate Change Research. 2021. No. 12(6). P. 881–893. DOI: 10.1016/j.accre.2021.09.004 EDN: MLPVKV

29. *Ding G.* Research on the Development of Xinjiang Ice and Snow Sports Tourism under the Background of the «the Belt and Road» Initiative // International Journal of Science and Engineering Applications. 2023. P. 48–50. DOI: 10.7753/IJSEA1201.1015 EDN: GXDYJQ

30. *Fischer A., Olefs M., Abermann J.* Glaciers, snow and ski tourism in Austria's changing climate // Annals of Glaciology. 2011. Vol. 52, No. 58. P. 89–96.

31. General Administration of Sport of China : website. URL: https://www.sport.gov.cn (assessed: 20.10.2024)

32. *Jin S., Yang J., Wang E. and Liu J*. The influence of high-speed rail on ice-snow tourism in northeastern China // Tourism Management. 2020. No. 78. P. 104070. DOI: 10.1016/j.tourman.2019.104070 EDN: EPQZJW

33. *Mayer S., Kuya E. K., Antonsen K., Abegg B., Hanssen-Bauer I.* Warmer and wetter: Outlining climate for snow-dependent tourism in Norway // The case of Lofoten. Climate Services. 2023. No. 32. P. 100405. DOI: 10.2139/ssrn.4351241 EDN: DWTDXX

34. *Sun K.* The Market Responses of Ice and Snow Destinations to Southerners' Tourism Willingness: A Case Study from China // Sustainability. 2023. No. 15. P. 13759. DOI: 10.3390/su151813759 EDN: HIXPQY

35. *Tang C., Shiyi X.* Sustainable Development of Ice and Snow Tourism - Theory & Empirical Studies: Preface // Journal of Resources and Ecology. 2022. No. 13(4). P. 547–551. DOI: 10.5814/j

36. *Zhou Y.* Analysis of the Status and Strategies for the Development of Ice and Snow Tourism in Northeast China // Highlights in Business, Economics and Management. 2024. No. 39. P. 1145–1153. DOI: 10.54097/aq8sfs43 EDN: DRRBLM

References

1. Aigina E. V. Zimnii turizm na Baikale: vyzovy sverkhturizma [Winter Tourism on lake Baikal: Challenges of Super-Tourism]. In *Turistsko-rekreatsionnyi kompleks v sisteme regional'nogo razvitiya: Materialy X Mezhdunarodnoi naucho-prakticheskoi konferentsii* (Nebug, 20–24 aprelya 2025 goda). Krasnodar: Kubanskii gosudarstvennyi universitet, 2022, pp. 4–8. (In Russ.)

2. Andreeva I. V. Rekreatsionnoe vodopol'zovanie: istoriografiya i strategiya izucheniya [Recreational water use: historiography and study strategy]. *Izvestiya Altaiskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva*, 2017, no. 3(46), pp. 5–14. (In Russ.)

3. *Baikal* [Baikal].Ed. by. G. I. Galazii. Moscow: FSGK Rossii, 1993. 126 p. (In Russ.)

4. Berkin N. S., Makarov A. A., Rusinek O. T. *Baikalovedenie* [Baikal studies]. Irkutsk: Izdatel'stvo Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta, 2009. 291 p. (In Russ.)

5. Batotsyrenov E. A. *Geograficheskie osobennosti razvitiya aktivnogo turizma v Respublike Buryatiya* [Geographical Features of the Development of Active Tourism in the Republic of Buryatia].Extended abstract of Cand.Sc. dissertation. Buryatskii Gosudarstvennyi universitet. Ulan-Ude, 2010. 174 p. (In Russ.)

6. Belov A. V., Vorob'ev V., Grachev M., Ryashchenko S., Suturin A. N. Kontseptsiya razvitiya mezhdunarodnogo turizma v Baikal'skom regione [Concept for the Development of International Tourism in the Baikal Region]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 1993, no. 3, pp. 5–11. (In Russ.)

7. Beloborodova N. A. Perspektivy razvitiya gornolyzhnykh kompleksov na territorii Baikal'skogo regiona [Prospects for the development of ski resorts in the Baikal region].In *Rossiya: tendentsii i perspektivy razvitiya: Materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (Kursk, 3–4 iyunya 2022 goda). Kursk, 2007, pp. 358–366. (In Russ.)

8. Budaeva D. G., Eremko Z. S., Andreeva A. M., Dymbrylova S. B. Ice and snow tourism: concept, development factors and practical examples. *Obshchestvo: politika, ekonomika, pravo*, 2024, no. 12(137), pp 110–118. (In Russ.) DOI: 10.24158/pep.2024.12.13

9. Verbolov V. V., Sokol'nikov V. M., Shimaraev M. N. *Gidrometeorologicheskii rezhim i teplovoi balans ozera Baikal* [Hydrometeorological regime and thermal balance of Lake Baikal]. Moscow, Leningrad: Nauka, 1965. 373 p. (In Russ.)

10. *Voprosy razvitiya industrii turizma na Baikale* [Issues related to the development of the tourism industry on Lake Baikal]. Ed. by. D. R. Darbanov. Ulan-Ude: Buryatskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1973. 135 p. (In Russ.)

11. Vorob'ev V. V., Antipov A. N., Belov A. V., Ryashchenko S. V., Lobanova T. A. Ekologo-geograficheskie osnovy planirovaniya i razvitiya turizma v Baikal'skom regione [Ecological and geographical foundations of tourism planning and development in the Baikal region]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 1994, no. 3, pp. 49–54. (In Russ.)

12. Galazii G. I. *Baikal v voprosakh i otvetakh* [Baikal in questions and answers]. Irkutsk: Vost.-Sib. kn. izd-vo, 1987. 383 p. (In Russ.)

13. *GOST R 54601–2011 «Natsional'nyi standart Rossiiskoi Federatsii. Turistskie uslugi. Bezopasnost' aktivnykh vidov turizma. Obshchie polozheniya»* [GOST R 54601–2011 "National Standard of the Russian Federation. Tourist Services. Safety of Active Tourism. General Provisions"]. Moscow: Standartinform, 2012. 12 p. (In Russ.)

14. Ladeishchikov N. P. K probleme rekreatsionnogo osvoeniya i okhrany prirody Baikala i Pribaikal'ya [On the Problem of Recreational Development and Nature Conservation in Lake Baikal and the Baikal Region]. *Priroda Baikala: sb. statei. Leningrad, Geogr. o-vo SSSR*, 1974, pp. 271–279. (In Russ.)

15. Maksanova L. B. Zh., Andreeva A. M. Tourism development in terms of the pandemic: new trends and anti-crisis measures. *Obshchestvo: politika, ekonomika, parvo*, 2020, no. 12(89), pp. 64–68. (In Russ.) DOI: 10.24158/pep.2020.12.9

16. *Ozero Baikal* [Lake Baikal]. Moscow: Izd-vo «Nauka», 1979. 79 p. (In Russ.)

17. Otto O. V., Tankova M. V. Razvitie zimnikh vidov turizma i kharakteristika snezhnogo pokrova Altaiskogo kraya [Development of winter tourism and characteristics of the snow cover in the Altai Territory]. *Geografiya i prirodopol'zovanie Sibiri*, 2014, no. 18, pp. 134–139. (In Russ.)

18. *O lyubitel'skom rybolovstve i o vnesenii izmenenii v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiiskoi Federatsii: fed. zakon ot 25.12.2018 № 475–FZ (red. ot 29.05.2024)* [On amateur fishing and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation: Fed. Law no. 475–FZ of December 25, 2018 (as amended on 05/29/2024)]. (In Russ.) URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_314261 (Accessed 8 April 2025).

19. Pashkova L. A., Ekimova M. A. Snezhnaya i ledyanaya arkhitektura [Snow and ice architecture]. In *Obrazovanie. Arkhitektura. Stroitel'stvo: Mat. Vseros. nauchn. prakt. konf. (Kazan', 15–17 maya 2017 goda)*. Kazan', 2017, pp. 73–78. (In Russ.)

20. Popova V. V., Vdovenko D. O., Mikhailova N. S. Zimnii turizm na Baikale: kreativnye praktiki (na primere deyatel'nosti ekskursionnogo agentstva "Voyazh na Baikal") [Winter Tourism on Lake Baikal: Creative Practices (Based on the Activities of the Voyage to Baikal Tour Agency)]. *In Kreativnye strategii i kreativnye industrii v ekonomicheskom, sotsial'nom i kul'turnom prostranstvakh regiona: Mat. IV mezhd. nauchno-prakt. konf. (Irkutsk, 18 maya 2022 godu).* Irkutsk: Reprotsentr+, 2022, pp. 247–253. (In Russ.)

21. *Pravila povedeniya na l'du i vyezd na perepravu. Ofitsial'nyi sait Ministerstva Rossiiskoi Federatsii po delam grazhdanskoi oborony, chrezvychainym situatsiyam i likvidatsii posledstvii stikhiinykh bedstvii* [Rules of conduct on the ice and departure to the crossing. Official website of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief]. (In Russ.) URL: https://mchs.gov.ru/deyatelnost/bezopasnost-grazhdan/pravila-povedeniya-na-ldu-i-vyezd-na-perepravu (Accessed 3 February 2025).

22. *Predbaikal'e i Zabaikal'e* [Pre-Baikal and Transbaikalia]. Ed. by V. S. Preobrazhenskii. Moscow: Izd-vo «Nauka», 1965. 485 p. (In Russ.)

23. Preobrazhenskii B. C. Metodicheskie ukazaniya po kharakteristike prirodnykh uslovii rekreatsionnogo raiona [Guidelines for Characterizing the Natural Conditions of a Recreational Area]. *Geograficheskie problemy organizatsii turizma i otdykha*, 1975, vop. 1, pp. 50–111. (In Russ.)

24. Rogozin A. A. *Beregovaya zona Baikala i Khubsugula: Morfologiya, dinamika i istoriya razvitiya* [The Coastal Zone of Lake Baikal and Khubsugul: Morphology, Dynamics, and Development History]. Moscow: Nauka, 1993. 167 p. (In Russ.)

25. Batotsyrenov E. A., Sandanov D. V., Moroldoev I. V. *Rybalka po printsipu "poimal – otpustil"* [Catch-and-release fishing]. Ulan-Ude: izd-vo Ekos, 2014. 40 p. (In Russ.)

26. Salyakhova M. R. Arkhitektura izo l'da i snega v Yaponii [Ice and Snow Architecture in Japan]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2017, no. 3(41), pp. 49–56. (In Russ.)

27. Chislennost' razmeshchennykh lits v kollektivnykh sredstvakh razmeshcheniya // Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki [Number of people accommodated in collective accommodation facilities // Federal State Statistics Service]. (In Russ.) URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/KSR_mes_sub_10-2024.xlsx (Accessed 20 December 2024).

28. An H. M., Xiao C. D., Tong Y. Ice-and-snow tourism and its sustainable development in China: A new perspective of poverty alleviation. *Climate Change Research*, 2021, no. 12(6), pp. 881–893. DOI: 10.1016/j.accre.2021.09.004

29. Ding G. Research on the Development of Xinjiang Ice and Snow Sports Tourism under the Background of the «the Belt and Road» Initiative. *International Journal of Science and Engineering Applications*, 2023, pp. 48–50. DOI: 10.7753/IJSEA1201.1015

30. Fischer A., Olefs M., Abermann J. Glaciers, snow and ski tourism in Austria's changing climate. *Annals of Glaciology*, 2011, vol. 52, no. 58, pp. 89–96.

Статья поступила в редакцию: 24.06.25, одобрена после рецензирования: 22.11.25, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 24 June 2025; approved after review: 22 November 2025; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах

Дарима Гармаевна Будаева
Кандидат географических наук, научный сотрудник, Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук;
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6
ORCID: 0000-0003-0971-0781, Researcher ID: 44567846, eLibrary AuthorID: 106384

Зинаида Сергеевна Еремко
Кандидат экономических наук, научный сотрудник, Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук;
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6
ORCID: 0000-0002-1972-3925, Researcher ID: J-9537-2018, eLibrary AuthorID: 708644

Наталья Борисовна Лубсанова
Кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук;
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6
ORCID: 0000-0001-6513-2555, Researcher ID: B-3982-2014, eLibrary AuthorID: 173829

Саяна Баировна Дымбрылова
Аспирант, Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук;
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6
ORCID: 0009-0005-2244-562X,
Researcher ID: LCO-4709-2024,
eLibrary AuthorID: 1264949

Information about the authors

Darima G. Budaeva
Candidate of Geographical Sciences,
Researcher, Baikal Institute of Nature Management,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
6, Sakhyanovoy st., Ulan-Ude, 670047, Buryatia, Russia
ORCID: 0000-0003-0971-0781, Researcher ID: 44567846, eLibrary AuthorID: 106384
e-mail: budaevadarima@yandex.ru

Zinaida S. Eremko
Candidate of Economic Sciences, Researcher,
Baikal Institute of Nature Management,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
6, Sakhyanovoy st., Ulan-Ude, 670047, Buryatia, Russia
ORCID: 0000-0002-1972-3925, Researcher ID: J-9537-2018, eLibrary AuthorID: 708644
e-mail: zina@binm.ru

Natalia B. Lubsanova
Candidate of Economic Sciences, Senior Researcher,
Baikal Institute of Nature Management,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
6, Sakhyanovoy st., Ulan-Ude, 670047, Buryatia, Russia
ORCID: 0000-0001-6513-2555, Researcher ID: B-3982-2014, eLibrary AuthorID: 173829
e-mail: nlub@binm.ru

Sayana B. Dymbrylova
Postgraduate Student, Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
6, Sakhyanovoy st., Ulan-Ude, 670047, Buryatia, Russia
ORCID: 0009-0005-2244-562X, Researcher ID: LCO-4709-2024, eLibrary AuthorID: 1264949
e-mail: dymbrylovasayana@yandex.ru

Надежда Бимбаевна Ботоева
Младший научный сотрудник,
Байкальский институт природопользования
Сибирского отделения Российской академии наук;
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6
ORCID: 0000-0002-9172-3962,
Researcher ID: AAQ-7770-2020, Scopus Author ID: 57211216843, eLibrary AuthorID: 845449

Nadezhda B. Botoeva
Junior Researcher,
Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
6, Sakhyanovoy st., Ulan-Ude, 670047, Buryatia, Russia
ORCID: 0000-0002-9172-3962, Researcher ID: AAQ-7770-2020, Scopus Author ID: 57211216843, eLibrary AuthorID: 845449
e-mail: botoevanb@binm.ru

Алена Михайловна Андреева
Младший научный сотрудник,
Байкальский институт природопользования
Сибирского отделения Российской академии наук;
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6
ORCID: 0000-0003-0114-2919,
Researcher ID: GZN-0919-2022, Scopus Author ID: 57216621242, eLibrary AuthorID: 1117920

Alena M. Andreeva
Junior Researcher,
Baikal Institute of Nature Management,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
6, Sakhyanovoy st., Ulan-Ude, 670047, Buryatia, Russia
ORCID: 0000-0003-0114-2919, Researcher ID: GZN-0919-2022, Scopus Author ID: 57216621242, eLibrary AuthorID: 1117920
e-mail: anelmy@binm.ru

Татьяна Анатольевна Хребтова
Аспирант, Байкальский институт природопользования
Сибирского отделения Россйской академии наук;
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6
ORCID: 0000-0003-4017-8906,
Researcher ID: HHY-8525-2022,
eLibrary AuthorID: 1280942

Tatyana A. Khrebtova
Postgraduate Student,
Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
6, Sakhyanovoy st., Ulan-Ude, 670047, Buryatia, Russia
ORCID: 0000-0003-4017-8906, Researcher ID: HHY-8525-2022, eLibrary AuthorID: 1280942
e-mail: suranova_tanya@mail.ru

Людмила Бато-Жаргаловна Максанова
Доктор экономических наук,
ведущий научный сотрудник,
Байкальский институт природопользования
Сибирского отделения Российской академии наук;
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6
ORCID: 0000-0001-5460-9354,
Researcher ID: AAQ-2547-2020,
Scopus Author ID: 6506751321, eLibrary AuthorID: 135857

Lyudmila B.-Zh. Maksanova
Doctor of Economic Sciences, Leading Researcher,
Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
6, Sakhyanovoy st., Ulan-Ude, 670047, Buryatia, Russia
ORCID: 0000-0001-5460-9354, Researcher ID: AAQ-2547-2020, Scopus Author ID: 6506751321, eLibrary AuthorID: 135857
e-mail: lmaksanova@yandex.ru

Вклад авторов

Будаева Д. Г. – идея, научное редактирование текста, сбор материала, обработка материала, написание статьи.

Еремко З. С. – идея, научное редактирование текста, сбор материала, обработка материала, написание статьи.

Лубсанова Н. Б. – идея, научное редактирование текста, сбор материала, обработка материала, написание статьи.

Дымбрылова С. Б. – идея, научное редактирование текста, сбор материала, обработка материала, написание статьи.

Ботоева Н. Б. – научное редактирование текста, сбор материала, обработка материала, написание статьи.

Андреева А. М. – сбор материала, обработка материала.

Хребтова Т. А. – научное редактирование текста, сбор материала, обработка материала, написание статьи.

Максанова Л. Б.-Ж. – идея, научное редактирование текста, обработка материала, написание статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Darima G. Budaeva – the idea; scientific editing of the text; material collection and processing; writing of the article; work with GIS; creation of the maps.

Zinaida S. Eremko – the idea; scientific editing of the text; material collection and processing; writing of the article.

Natalia B. Lubsanova – the idea; scientific editing of the text; material collection and processing; writing of the article.

Sayana B. Dymbrylova – the idea; scientific editing of the text; material collection and processing; writing of the article.

Nadezhda B. Botoeva – scientific editing of the text; material collection and processing; writing of the article.

Alena M. Andreeva – material collection and processing.

Tatyana A. Khrebtova – scientific editing of the text; material collection and processing; writing of the article.

Lyudmila B.-Zh. Maksanova – the idea; scientific editing of the text; material processing; writing of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Научная статья
УДК 796.5
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-160-173
EDN: DGCDJH

ГЕОКОНЦЕПЦИЯ ТУРИСТСКОЙ ТРОПЫ ГОРНОЛЫЖНОГО КОМПЛЕКСА «ГУБАХА»

Александр Иванович Зырянов[1]✉, Инна Станиславовна Зырянова[1], Екатерина Николаевна Косвинцева[2], Андрей Сергеевич Лучников[1], Светлана Эдуардовна Мышлявцева[1]
[1] Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
[2] Уральский филиал Российской академии живописи, ваяния и зодчества им. Ильи Глазунова, г. Пермь, Россия
✉ aizyrianov@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6413-986x

Аннотация. Обустроенные тропы являются обязательным элементом современной инфраструктуры туризма, однако их проектирование редко получает полноценное географическое обоснование. В статье обосновывается необходимость формирования «геоконцепции» туристской тропы, где ключевая роль отводится геоморфологическим, ландшафтным, эстетическим факторам. На примере горнолыжного комплекса «Губаха» (Пермский край), развивающегося как всесезонный курорт, предлагается проект пешеходной тропы, призванный расширить летние рекреационные предложения. Методологическая основа включает полевые ландшафтные исследования, анализ пространственной структуры территории, опросы потенциальных пользователей и картографическое моделирование на основе аэрофотоснимков. Выявлено, что совокупная природная аттрактивность района Губахи определяется уникальным рельефом (хребет Рудянский Спой, гора Крестовая, Ладейный лог), что делает геоморфологический каркас основой трассировки. Предложенная концепция включает два основных варианта маршрута (кольцевой вдоль скального гребня протяжённостью 5,4 км и расширенный – до 11 км с выходом к карстовому провалу и пещерам). Для наглядного воплощения замысла геоконцепция тропы представлена в виде художественной схемы, создающей целостный образ маршрута, а планируемые элементы благоустройства детально показаны на крупномасштабной карте, выполненной на основе аэрофотоснимка. Результаты анкетирования подтвердили высокий рекреационный потенциал территории. Выводы работы могут быть использованы при планировании тропиночных сетей в других горнозаводских районах Урала.

Ключевые слова: туризм, тропа, инфраструктура, горнолыжный комплекс, Губаха, Пермский край
Для цитирования: Зырянов А. И., Зырянова И. С., Косвинцева Е. Н., Лучников А. С., Мышлявцева С. Э. Геоконцепция туристской тропы горнолыжного комплекса «Губаха» // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 160–173. EDN: DGCDJH DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-160-173

Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-160-173
EDN: DGCDJH

GEOCONCEPT OF A TOURIST TRAIL AT THE GUBAKHA SKI RESORT

Aleksandr I. Zyrianov[1]✉, Inna S. Zyrianova[1], Ekaterina N. Kosvintseva[2], Andrey S. Luchnikov[1], Svetlana E. Myshliavtseva[2]
[1] Perm State University, Perm, Russia
[2] Ural Branch of the Russian Ilya Glazunov Academy of Painting, Sculpture, and Architecture, Perm, Russia
✉ aizyrianov@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6413-986x

Abstract. Developed trails are an essential element of modern tourist infrastructure; however, it is a rare case when the planning of such trails is geographically justified in a comprehensive manner. This article substantiates the need to form a "geoconcept" of a tourist trail, in which geomorphological, landscape, and aesthetic factors play a key role. Using the case of the Gubakha Ski Resort (Perm Krai), which is developing into an all-season resort, a pedestrian trail project is proposed to expand its summer recreational offerings. The methodological framework of the study includes field landscape studies, spatial structure analysis, potential user surveys, and cartographic modeling based on satellite imagery. It has been revealed that the overall natural attractiveness of the Gubakha area is determined by its unique topography (the Rudyansky Spoy ridge, Mount Krestovaya, and Ladeinyi Log ravine) making the geomorphological framework the basis for trail routing. The proposed concept includes two main route options (a loop trail along the rocky ridge of 5.4 km and an extended trail of up to 11 km leading to a karst sinkhole and caves). For a clear representation of the idea, the trail

© Зырянов А. И., Зырянова И. С., Косвинцева Е. Н., Лучников А. С., Мышлявцева С. Э., 2026

Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

geoconcept is presented as an artistic map, creating a holistic image of the route, while the planned elements of trail improvement are shown in detail on a large-scale map based on satellite imagery. The survey results confirmed a high recreational potential of the territory. The findings can be used in planning trail networks in other mining and industrial areas of the Urals.

Keywords: tourism, trail, infrastructure, ski resort, Gubakha, Perm Krai

For citation: Zyrianov A. I., Zyrianova I. S., Kosvintseva E. N., Luchnikov A. S., Myshliavtseva S. E. Geoconcept of a tourist trail at the Gubakha Ski Resort. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 160–173. EDN: DGCDJH DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-160-173

Введение

Развитие туризма сочетается с формированием соответствующей инфраструктуры. Туристская инфраструктура – понятие довольно широкое, оно объединяет разнообразную совокупность хозяйственных объектов, обслуживающую отрасль. К туристской инфраструктуре причисляются и те элементы, которые отвечают за туристское движение – дороги, транспорт, связь. Туризм характеризуется маршрутизацией, т.е. его территориальное выражение – это маршрутная сеть. Когда маршруты популяризируются, становятся не эпизодическими, а регулярными, они насыщаются сервисом [2; 6]. Таким образом, сформировавшуюся маршрутную сеть следует считать составной частью туристской инфраструктуры территории [7; 13]. Одним из важнейших элементов маршрута в программах многих видов туризма является ***тропа*** (туристская, экскурсионная, экологическая, курортная и т.д.), которая представляется и выражением туристского маршрута, и элементом туристской инфраструктуры. Отметим, что тропа – слово многосмысловое и романтическое, отсылает к путешествиям, первозданной природе, преодолению трудностей и познанию неизвестного. Поэтому тропа является абсолютно туристским понятием.

Поскольку туризм по своему содержанию географичен, при проектировании туристской инфраструктуры и маршрутной сети очень важно географическое обоснование. Географические идеи должны лежать в основе инфраструктурных и маршрутных проектов, особенно это касается проектирования туристской тропы [8]. Есть классические объекты: гора, река, город, дорога и др., которые являются главными элементами общегеографической карты и постоянными объектами изучения географической науки. К этому ряду понятий следует причислять и тропу. Туристская тропа формируется на основании многих географических предпосылок, ее проект невозможно представить без географической «подложки».

Географические факторы трассируют линию тропы. Они разномасштабны: могут быть выражены как на мелко-, так и на крупномасштабных картах. Эти факторы можно разложить по компонентам и качествам ландшафта, поскольку для проектирования тропы особенно важны геоморфология, гидрография, биогеография, экология, эстетика.

Многие отечественные географы в научных работах касаются вопросов маршрутного планирования. Среди них Ю. С. Воронов, Л. А. Галачиева, Л. О. Зелюткина, А. Ю. Королев, Е. Г. Кропинова, К. В. Кушнир, С. Б. Мичурин, Д. И. Тебиева. Анализ зарубежных источников показал, что тема туристских троп является весьма актуальной и в зарубежной научной литературе. Отмечается значительный рост числа публикаций [19; 22; 23]. Кристин Годтман Клинг с соавторами был выполнен обширный обзор публикаций, включающий анализ 195 научных работ, опубликованных в рецензируемых журналах [20]. Помимо прочего, авторы отмечают недостаток исследований, направленных на концептуальные обоснования создания троп в англоязычной литературе.

Обоснованием конкретных туристских троп занимались Е. В. Конышев и С. В. Герасимов (Всевятская тропа) [10], В. П. Чижова (тропы в национальных парках России) [16], И. М. Яковенко. Н. В. Страчкова и Е. А. Лукьяненко (тропы в Крыму) [17], Н. Н. Буторина и др. (тропы на Дальнем Востоке) [1], где географические факторы особенно учитывались при проектировании. Широкое внедрение в практику идей создания туристских троп проявилось в создании методических рекомендаций как в России, так и за рубежом [15; 18; 21], в РФ принят ряд Гостстандартов [3; 4].

В статье авторы постарались представить предлагаемый подход на примере проектирования конкретной туристско-экскурсионной тропы, дать географическое обоснование ее линии, функциональной значимости и инфраструктурного наполнения. Территория проекта – район Губахи, разнообразный по ландшафтному и хозяйственному составу, где можно выразительно показать географические подходы при создании тропы. Это территория, активно развивающаяся социально-экономически, где задача создания туристско-экскурсионной тропы актуальна, особенно учитывая развитие горнолыжного комплекса (ГЛК) [12], планирование его активной работы не только зимой, но и в теплый период года. Представим географическую концепцию Губахинской туристской тропы.

Материалы и методы

Географические особенности ГЛК «Губаха» как основа проектирования туристской тропы. Организация экскурсионных троп на ГЛК предполагает учет многих факторов, которые мы постараемся не упустить, поэтому подойдем к теме по возможности широко в следующем порядке. Опишем географические особенности ГЛК «Губаха», а сегодня – формирующегося всесезонного курорта, в разных планах: по отношению

к Губахе, а также другим близким и далеким городам в отношении транспортного положения, геоморфологии, гидрологии, климатических условий, особенно связанных со снегом. Охарактеризуем место в отношении растительности и живописности пейзажей, состава ландшафтной картины. Опишем развитие комплекса в контексте всего туристского развития Губахи. Отметим особенности ГЛК по сравнению с другими комплексами Урала и России. Посмотрим на микрорельеф комплекса, особенности горнолыжных склонов и трасс. Обсудим развитие на ГЛК всесезонной рекреации. Далее оценим аттрактивность окружения ГЛК, с чем будет связана возможная трассировка тропиночной сети. Дадим описание основных экскурсионных троп, их поясов и линий.

Горнолыжные комплексы располагаются в особенных местах, поэтому, как правило, географически и ландшафтно уникальны. Какие географические особенности ГЛК «Губаха» являются важными для его функционирования и развития? Выделим и опишем эти особенности.

Горнолыжный комплекс располагается в Губахе на расстоянии нескольких километров от жилой застройки, в 300 м от автодороги Кунгур – Соликамск, соединяющей все города Горнозаводского Прикамья. В связи с этим локальное транспортное положение комплекса очень удобно. Мезоположение не столь благоприятно, так как расстояние до Перми и аэропорта составляет 200 км. Однако такая дистанция имеет преимущество, поскольку позволяет развивать сферу коллективных и индивидуальных средств размещения в ГЛК и в городе, что и делается весьма успешно. Транспортное макроположение комплекса довольно выгодное ввиду того, что относительно проста логистика до крупнейших городов страны и регионов-потребителей горнолыжной рекреации. Следует отметить и высокое качество ведущих к Губахе автодорог, а также активно используемые возможности поездок с помощью железной дороги.

Для местоположения предприятия горнолыжной рекреации особое значение представляет рельеф. ГЛК «Губаха» находится на склонах горы Крестовой (471 м), которая является северным выступом западноуральского хребта Рудянский спой и вместе с другими вершинами оформляет левый берег р. Косьвы. Уральские горы в пределах Пермского края имеют хорошо выраженную западную границу в виде увалов и кряжей. В местах их пересечений реками Вишерой, Косьвой, Усьвой, Вильвой, Чусовой образуются относительно глубоко врезанные горные склоны. Такое место с превышением абсолютных отметок рельефа до 300 м оказалось и в месте пересечения Косьвой западноуральского выступа. Важно положение ГЛК и его трасс именно на горном склоне северной экспозиции, а его территориальное развитие планируется на восточном склоне. Это наиболее выгодно с позиции толщины и длительности залегания снежного покрова.

ГЛК «Губаха» – самый северный из горнолыжных комплексов в Уральском экономическим районе – имеет следующие климатические особенности. Зимы здесь чуть менее морозные и ветренные, чем на восточном склоне Урала (Свердловская и Челябинская области), и гораздо более снежные. Район Горнозаводского Прикамья, где г. Губаха занимает центральное место, считается одним из «снежных полюсов» Евразии. При более низких абсолютных отметках горных вершин по сравнению с горами Свердловской, Челябинской областей и Башкирии здесь имеется несравненный выигрыш за счет обилия снега. Преимущество комплексу создает хвойная растительность, которая, в отличии от лиственной, не теряет привлекательной зеленой окраски зимой. Плотные елово-пихтовые леса способствуют комфортному микроклимату на горнолыжных трассах, создавая естественные препятствия холодным ветрам.

Район Губахи отличается зрелищным, фактурным ландшафтом, позволяющим глубоко почувствовать древний и современный Урал. Живописность пейзажу придают разноуровневый рельеф пространства, глубокая долина реки, вогнутость гигантских логов, скульптурность привершинных скал, большая залесенность, проявление высотной поясности в растительности, малые и крупные карстовые формы, протяженные горизонтальные и вертикальные пещеры, речная долина. Разнообразие заключается еще и в том, что здесь ландшафт не только природный, но и хозяйственный. Панорамы, открывающиеся с верхних точек комплекса, охватывают не только девственные таежные дали, но и виды на два уральских завода, один из которых более старый (ОАО «Губахинский кокс»), где сооружения и пейзаж как сюрреалистические инсталляции и действо, второй (новая площадка «АКМ» ПАО «Метафракс Кемикалс») – совершенно новый, выглядящий как витрина современного техно.

Положение ГЛК в непосредственной близости города оказывает на него сильное влияние. Оно проявляется в комплексном развитии курорта как туристского места. Благодаря работе ГЛК в городе сегодня действует расширяющаяся совокупность гостиниц, предприятий общественного питания, другие объекты туристского сервиса (аренда спортивного инвентаря, продажа горнолыжного снаряжения, туристские перевозки, услуги гидов и экскурсоводов и т.д.). Жилищный фонд города в большой степени используется в качестве индивидуальных средств размещения для кратковременной аренды. Музейное дело также развивается. В течение последних десятилетий город массово привлекает посетителей разнообразных культурных событий. Городская среда насыщается объектами рекреации и экскурсий [11]. Это город оптимистичный, ярко отражающий уральскую горнозаводскую особенность, где можно увидеть горы и заводы. Поднявшись по городским тропам на скалы, можно восхищаться вдохновляющими далями седого Урала, панорамами необъятной тайги, ощущать значимость промышленных предприятий. Губаха вписалась в число самых популярных туристских городов Пермского края наряду с Кунгуром, Соликамском, Чердынью. При этом Губаха уверенно развивается в сторону города-курорта. Даже в теплый сезон года город принимает большой поток гостей.

Важно понять отличия комплекса «Губаха» от других ГЛК на Урале и в российских регионах. Отличия и преимущества состоят в следующем. Это определенная оптимальность перепадов и крутизны склонов, длины трасс, спортивная привлекательность линий спусков за счет разнообразной геоморфологии и топографии. Это полноценный и комфортно расположенный сервис в нижней и верхней точках подъемников. Также это создаваемая пространственной планировкой и творческими услугами атмосфера зимнего праздника.

В сравнении со многими другими ГЛК Урала «Губаха» выделяется обилием снега, аттрактивностью горы, привлекательными трассами, тусовочной атмосферой, возможностью встретиться с друзьями и пообщаться как в процессе катания, так и за пределами трасс. Микрорельеф склонов горы Крестовой позволяет выстраивать трассы непростой конфигурации и в горизонтальном, и в вертикальном плане. Это увеличивает эффект удовольствия от катания и созерцания ландшафта. В рельеф хорошо вписаны гостиницы и кафе, другая инфраструктура. ГЛК представляет собой визуально и функционально цельный горнолыжный ландшафт. Разные виды подъемников дополняют друг друга. Важным конкурентным преимуществом комплекса является сбалансированность нижней и верхней площадок в отношении насыщенности объектами сервиса. Обе площадки настроены на выполнение сразу многих функций.

Результаты и их обсуждение

Трассировка планируемой тропы. Ближайшее окружение ГЛК живописно и аттрактивно благодаря разнообразию территории в геолого-геоморфологическом, гидрологическом и биолого-ландшафтном отношениях, присутствию привлекательных антропогенных объектов. Много достопримечательностей содержат долина р. Косьвы, хребет Рудянский спой, соседние кряжи и Ладейный лог. Экскурсионные тропы, которые могут быть проложены и обустроены в окрестностях комплекса, будут востребованы его гостями и позволят разнообразить летние программы пребывания в Губахе.

Положение комплекса дает основание спроектировать основную тропиночную сеть как по его западному, так и по восточному склону горы Крестовой, а также в Ладейном логу. Это позволит комфортно пользоваться ею и со стороны всесезонного курорта, и со стороны города. В пояс экскурсионной тропы должны попасть водораздельная часть Рудянского Споя со скульптурными гребнями и тальвеговая часть Ладейного Лога с карстовыми и скальными формами. Опишем главную линию тропы по ее нескольким участкам: траверс хребта, спуск в Ладейный лог, путь вниз по логу, подъем на Крестовую.

Траверс хребта Рудянский спой. Гора Крестовая (471 м) является северным каменным выступом хребта Рудянский спой, вытянутого с севера на юг – от долины р. Косьвы до долины р. Усьвы. Отсюда должна начинаться экскурсионная тропа, которая будет идти по вершинным частям хребта на юг около 3 км.

Район Рудянского Споя, расположенный примерно в 2,5 км от вершины Крестовой, традиционно используется губахинцами как рекреационный объект. В этом месте уникально сочетаются скалы-останцы с открытой поляной/площадкой. Здесь возможно проведение массовых мероприятий в естественных декорациях, в том числе фестиваля «Тайны горы Крестовой». Горизонтальная луговая поляна тянется вдоль скального гребня на многие сотни метров. Такое естественное сочетание есть в Исландии – в Тингвелире [5], это было основное место схода древних исландцев, а сейчас является местом туристского паломничества! Возникает чувство, что, возможно, и здесь, у скал над нынешней Губахой, в глубокой древности проходили важные события для жившего здесь населения.

Тропу следует наметить так, чтобы она проходила в непосредственной близи от гребня и его скальных форм, в основном восточнее линии водораздела по поясу криволесья, что позволяло бы подниматься на каменные выступы и наслаждаться панорамами Уральских гор. Отсюда в ясную погоду хорошо видны хребет Басеги (994 м), гора Ослянка (1119 м), а осенью, когда атмосфера наиболее прозрачна, и вершины Конжаковского массива (1569 м).

Небольшие, но разнообразные по формам скалы-останцы высотой до 10–12 м следуют с перерывами на всем намеченном пути. Они различаются по экспозиции: с востока они наклонны, и на них легко взобраться с определенными мерами предосторожности. Некоторые из них имеют гладкую поверхность, напоминают пологие скаты крыш. С запада скалы крутые, обрывистые. Хребет Рудянский спой невысокий, но имеет характерную вертикальную поясность. На его склонах расположилась классическая тайга, а в вершинных частях – криволесье и даже редколесье, т.е. невысокие искривленные и сломанные зимними ветрами и снегами деревья, особенно с восточной стороны, обращенной к Уральским горам. Тропа по криволесью из ели и сосны, березы и рябины, где с запада по пути появляется скальная декорация, а с востока – уральские горно-таежные дали, будет очень привлекательна.

С западной стороны скального гребня проложена лесная дорога. Она может использоваться как широкая экскурсионная тропа, выполняющая роль и технической дорожки. С нее открываются интересные виды на вертикальные каменные утесы, они причудливы, напоминают различные фигуры. По обочинам дороги встречаются большие камни в виде ледниковых валунов, их, может быть, следует немного очистить от травы, сучков и листьев, чтобы использовать как естественные места отдыха/привала. В северной части поляны рядом с каменным гребнем расположены группы живописных выходов коренных пород в стиле крупных «бараньих лбов».

На этом участке в экскурсионной деятельности могут развиваться темы географии и происхождения Уральских гор, о том, как формируются скальные останцы, как безопасно забираться на скалы. Можно рассказывать о видимых вершинах и населенных пунктах, кинематографической истории Губахи, ее новой жизни как культурного центра Пермского края. Интересны будут местные легенды. Здесь могут быть организованы развлекательные элементы путешествий, особенно на поляне. Всем скальным выступам на хребте по маршруту целесообразно дать интересные названия, если они их еще не имеют. Отдельно следует выделить останец с оригинальным названием «Бремсберг», расположенный в самой дальней точке тропы, южнее всех остальных. Вокруг него экскурсионная программа должна быть связана с угольной историей Губахи, так как рядом с ним расположены и остатки горной выработки бывшей Шахты им. Первого мая, и старый зарастающий угольный террикон. Уголь лежит под ногами гостей Рудянского споя пластом, поднимающимся от берега Косьвы.

Поскольку верхняя часть Рудянского Споя обладает наибольшей аттрактивностью и обзорностью, тропу целесообразно проложить вблизи скальных гребней как по западному склону, так и по восточному склону, т.е. спроектировать в виде кольцевого маршрута от Смотровой башни с дистанцией 6 км. Путь на юг будет в основном по имеющейся дороге, которая должна быть переоборудована в комфортную пешеходную тропу.

Через 3 км пути почти сплошной скалистый гребень заканчивается, и тропу целесообразно вывести на восточный склон, а обратный путь (3 км) до Смотровой башни спланировать к востоку от скал. На этом склоне еще нет единой проложенной тропы, а только несколько отдельных участков. Тропу по восточному склону надо провести близко к скалам-останцам. Они представляют собой наклонные напластования в виде каменных поверхностей. На этом склоне присутствует ощущение тишины, нет звуков города и заводов, характеры иные пейзажи и впечатления по сравнению с западным склоном. Тропы вдоль гребня по западному и восточному склонам Рудянского Споя следует связать несколькими переходами не только для того, чтобы была возможность завершить маршрут ранее, сделать его короче, но также для удобства и безопасного подъема на скалы.

Таким образом, Рудянский спой позволяет сделать как кольцевой (туда и обратно) путь вдоль гребня (6 км), так и отправиться на более длинный маршрут (9 км), если спланировать также осмотр природных достопримечательностей Ладейного лога.

Спуск в Ладейный лог. Дорога, идущая на юг по вершине хребта, поворачивает на восток и уходит в низину Ладейного лога. Она почти прямолинейна до его тальвега, спускается на протяжении 2 км довольно круто, постепенно выполаживаясь. Пояс криволесья быстро заканчивается, деревья становятся высокими. Нижний ярус растительности также меняется – черничники ниже сменяются папоротниковым покровом. Путь идет по настоящей тайге, совершенно непроезжей дороге, где способны передвигаться только квадроциклы. Ландшафт на этом участке интересен девственностью леса и сменой растительности при потере высоты.

Экскурсионная составляющая может включать темы растительности и животного мира (определение растений, в т.ч. краснокнижных, наблюдение за пением птиц), важности охраны природы Прикамья, происхождения карста в пределах Западного Урала, местные легенды о логе. Привал можно сделать в условиях классической тайги, вспомнив слова А. С. Пушкина о нашем пейзаже: «Вот, пермские дремучие леса!» Для более безопасного передвижения следует расчистить тропу, установить несколько аншлагов для уточнения маршрута передвижения, а также мест для отдыха/сидения.

Путь вниз по Ладейному логу. Лесная дорога в виде расширенной тропы следует почти прямолинейно по тальвегу этого крупнейшего в Пермском крае лога. В нижней части он выглядит то вогнутой лесной долиной, то древним трогом, то ущельем. Путь живописен, плотный лес чередуется с небольшими полянками. Карстовый характер поверхности проявляется сразу. Большие воронки хорошо просматриваются за деревьями. Через полкилометра дороги, в ста метрах от нее к востоку, находится большой карстовый провал им. советского геолога В. И. Смирнова в виде глубокой каменной чаши диаметром до 50 м с десятиметровыми вертикальными стенами. Между глыб и скал разрослась лесная растительность, поэтому провал просматривается лишь частично с разных возможных смотровых точек. Поскольку на краях провала находиться опасно, необходимы соответствующие ограждения и аншлаги.

Путь далее по дороге повышает интерес у экскурсанта. Вдоль дороги в десятках метров с востока тянется каменный уступ с выходами известняков, но он проявляется не сплошной стеной, а фрагментарно, что добавляет аттрактивности тропе. Ландшафт меняется: в лесу появляется больше мелколиственных пород, что является следствием многовековых рубок. Известно, что в Ладейном логу и в XIX, и XX в. рубили лес для производства древесного угля. Курни стояли на берегу Косьвы, в устьевой части лога. Появляются большие травянистые поляны, на которых видны малые карстовые воронки. Дорога иногда обнаруживает признаки старинной гати, чувствуется горнозаводская история.

Экскурсионные темы могут включать рассказы о древней тектонике и современной геологии Западного Урала, карстовых формах рельефа, загадках спелеологии, мифах горы Ладейной, западный склон которой образует восточную часть одноименного лога, основании губахинских поселений вместе с горными заводами Прикамья, занятиях их жителей в прошлые столетия. Интерактивные программы могут проводиться на поляне около пещеры Обвальной, где можно сделать зону привала.

Подъем из Ладейного лога на Рудянский спой. Этот участок тропы наиболее сложно точно спланировать пока не завершатся работы по организации горнолыжных трасс на восточном склоне, поскольку тропа пройдет с

учетом общего инфраструктурного обустройства склона. До окончания строительства этот участок маршрута может быть намечен по прямолинейной просеке между насосными станциями, которая под крутым углом идет на Рудянский спой (дистанция менее 1 км). Ее следует по возможности превратить в лестницу из натуральных камней, запретив по ней передвижение на горных мотоциклах и квадроциклах. Эти виды транспорта на таком крутом участке лога деформируют поверхность тропы, формируют подвижные осыпи, способствуют быстрой эрозии склона. Кроме крутого участка целесообразно подъем из Лодейного лога сделать и по второму пути, более пологому, выбирая для этого наиболее приятные и интересные участки лесного склона. В целом все намеченные к обустройству экскурсионные тропы должны быть отданы только пешеходной рекреации с запрещением использования их для механизированного транспорта.

Путь из города по Октябрьскому проспекту к Святому источнику и далее по тропе к останцам на гребне хребта. Это любимый горожанами самый простой путь на скалистый верх Рудянского споя в его наиболее художественно выразительном виде. От источника тропа практически прямолинейна, поднимается не круто вверх. Постепенный набор стометровой высоты не утомителен, является своеобразным теренкуром для губахинцев. В окружающем тропу лесу много больших камней, что делает тропу необычной для жителей равнин. Стоит поручить человеку с художественным воображением решение по очистке некоторых валунов от зарослей кустов в тех местах, где они расположены рядом с тропой или хорошо с нее видны, поскольку это повышает примечательность пути. Такие небольшие, уютные, открытые участки могут быть обустроены беседками. Этот отрезок тропы может называться и продвигаться как «Дорога камней».

При входе на тропу из города есть мостик, за ним небольшая полянка, где бьет Святой источник и построена беседка. Недалеко от этого места может быть установлена архитектурная входная группа на маршрут с соответствующей информацией.

Желательно, чтобы все формы рельефа, даже малые, имели свои собственные названия, чтобы легче и интереснее было маркировать местность на карте, путешествовать по тропе. Для продвижения тропы можно объявить конкурс названий, сделать рекламную прогулку для специалистов, учителей, студентов, детей. Следует подумать и над названием всей тропы для ее узнавания. Кольцевой маршрут по Рудянскому спою можно именовать Верхней тропой, а путь по Лодейному логу – Нижней тропой. Можно придумать и более творческие названия в соответствии с их инфраструктурным обустройством и оформлением.

Геоконцепцию тропы можно изобразить в виде схемы, отразив разнообразный губахинский ландшафт, показав собственно территорию, где планируется тропа, а также окружение. На предпроектном этапе создания тропы, когда представляется ее концепция, будет лучше восприниматься пространственная схема, выполненная в художественной форме (рис. 1).

Для выделения участка, где будет проходить тропа, лучше использовать цветное изображение в отличие от окружающих пространств, которые можно показать в черно-белом виде.

Изучение впечатлений от посещения района тропы. Приведем ответы студентов на вопросы анкеты о Губахе и их соображения относительно работы ГЛК, прогулках по планируемым тропам, совершенных ими в мае-июне 2025 г. во время учебной практики по туристскому проектированию. Экспресс-опрос был проведен через полгода после полевых выездов для понимания остаточного впечатления.

В первом вопросе анкеты студентам было предложено сформулировать *несколько словосочетаний/предложений, описывающих впечатление от посещения Губахи*. Ими было отмечено, что Губаха – это небольшой город, но с быстро развивающимися объектами инфраструктуры. Он довольно приятный, спокойный, чем-то похож на Красновишерск, несуетливый. Это уральский заводской город, где студентам понравились цветные дома в центре города. Они смотрятся уютно, нет мрачности. Студенты отметили необычное сочетание ландшафтов, открывающихся с горнолыжного склона: крупные промышленные объекты и окружающая их живописная природа с густыми лесами и горными массивами вдалеке. Виды как в фильме «Властелин колец». В целом это прекрасное уединенное место с уникальными природными объектами, тропами и необычной атмосферой – своеобразный уездный курорт.

На предложение сформулировать *несколько словосочетаний/ предложений, описывающих впечатление от лесов вокруг Губахи,* были получены следующие ответы: это оплот цивилизации, окруженный вечной тайгой, большими массивами в основном елового леса; при прогулке по лесам иногда чувствовалась некая мистическая атмосфера и появлялся страх встретить диких животных, но при этом легкая безмятежность, свежий воздух, невообразимая загадочность, ощущение умиротворения и простора. Это такие места, где всегда можно выйти в лес и просто устроить там пикник, сидеть и смотреть вдаль, любоваться природой.

Студентам было предложено сформулировать *название/идею тропы* от лица губахинца и гостя-пермяка. В первом случае наиболее созвучными названиями стали: «Сердце Губахи», «По местам старой Губахи», «К дачам», «Тропой родных склонов». Было высказано предположение, что местные жители, скорее всего, захотят показать самые лучшие виды и рассказать о необычных фактах. Этот маршрут по тропе соединяет важные и знакомые каждому жителю уголки города и природные места. Здесь можно вспомнить моменты прошлого, когда ходили в эту школу, играли с друзьями на лесной поляне или, глядя на просторы с горы, представляли свое будущее. Можно соединить эти воспоминания с историями людей, живших в Губахе. Название/идея тропы глазами пермяка отражает другие стороны территории. Были предложены темы: «По местам угольной

промышленности», «Тайны Губахи» (жителю региона интересно узнать об истории города, открыть территорию с неожиданной стороны), «Вдоль хребта Урала», «Тропа уральского дыхания» (для пермяков Губаха может стать местом релакса и отдыха от городской суеты).



Рис. 1. Геоконцепция экскурсионных троп в районе Губахи
Fig. 1. Geoconcept of tourist trails in the Gubakha area

Название/идея тропы глазами студента – «Шесть граней КУБа». Эта ассоциация – прямое следствие посещения практикантами экспозиции Губахинского историко-краеведческого музея (Музея КУБа) и общения с хранителями музея. КУБ (Кизеловский угольный бассейн) – фундамент территории, а его гранями являются *уголь* (причина появления многих поселений, индустриальная эпоха); *горный хребет, горы* (Рудянский спой и Басеги – каркас земли, источник ресурсов, сила природы); *Губаха* (современный город, возникший как индустриальный очаг); *горнолыжный курорт* (символ туристского и сервисного развития места); *люди и культура* (быт и рабочие подвиги жителей, история освоения территории); *дороги* (линии движения и связи, исторические маршруты – Бабиновская дорога, Луньевская ветка, река Косьва). Студенту как заинтересованному исследователю хочется рассмотреть место со всех сторон и подробнее узнать о разных сферах жизни территории. Поэтому были такие предложения для названия тропы: «По спою двумя ногами», «Тропа открытий» – т.е. маршрут как приключение с исследованиями и квестами.

Говоря о *негативных эмоциях после полевой работы*, отмечалось некоторое напряжение от вида загрязнений, вызванных индустриальными объектами прошлого и настоящего: «рыжеватость» Косьвы вследствие самоизлива кислых шахтных вод, выбросы Коксохима. Смущал несколько депрессивный вид губахинских окрестностей с заброшенными постройками, подтопленными участками, состоянием некоторых

улиц. Для отдельных практикантов виды омрачались туманной («серой») погодой. Во время полевого выхода студенты увидели след медведя, который при этом не произвел особенного впечатления в моменте, но спустя полгода это событие трансформировалось в восклицание: «Чуть не встретили медведя! Там можно нарваться на медведя!»

Для проектировщика туристских троп важно умение видеть то, чего на самом деле здесь нет. На предложение сформулировать *самые фантазийные мысли по маршруту* были получены ответы о том, что территория может ассоциироваться с произведением Дж. Толкиена «Властелин колец». На это в первую очередь наталкивает дым из труб ОАО «Губахинский кокс», хорошо просматриваемый с горнолыжного курорта, который похож на башню Мордора. Губахинские леса можно сравнить с Лихолесьем. Горные массивы, окружающие город, р. Косьва – это Андуин и т.д.

В качестве мест, *где захотелось быть дольше по времени, чем были*, отмечен карстовый провал им. Смирнова. Студенты написали, что сам по себе объект для кого-то покажется малоинтересным, но он привлекает возможностью организации различных активностей, которые можно там устроить. Интересны для более длительного времяпрепровождения обзорные точки на господствующих высотах – смотровая площадка всесезонного курорта «Губаха» и скальные вершины Рудянского споя.

По просьбе *описать места, где на маршруте сильно устали физически*, был получен ответ студентов о том, что они ходили в комфортном темпе, поэтому сильно не уставали. Утомительным может быть подъем по горнолыжной трассе к горе Крестовая, а также путь во время дождя через лес в районе пещер. Если будет длительная дождливая погода, дорожка с хребта до СНТ превратится в подобие сели.

Также были заданы иные вопросы: *«Отметьте места, откуда сразу хотелось уйти», «За какие объекты зацепился взгляд в поездке, и они всплывают в памяти?», «С кем бы Вы вернулись в Губаху?», «Что бы Вы обязательно (в первую очередь) показали им?», «Какой вид потряс?», «Что вызвало удивление?»*

Среди видов, которые потрясли студентов, названа панорама с горы Крестовой на площадку коксохимического завода (вечером, когда садится солнце и идет дым), а также вид со смотровой площадки в сторону Уральских гор.

Рефлексия студентами туристских специальностей, проведенная спустя некоторое время, дает понимание молодежных впечатлений о районе организации предлагаемых троп, помогает наметить их обустройство и использование, тем самым расширить туристские предложения на курорте «Губаха» в теплый сезон года.

Обустройство и использование пешеходных троп. Детально привязанное к местности изображение тропы показано в виде карты на основе космоснимка (рис. 2). Построены высотные профили участков тропы (рис. 3–6).

Маршруты по тропе могут иметь несколько точек входа (пунктов начала):

– от вершины горы Крестовой;

– от большой автомобильной парковки верхнего кластера Всесезонного курорта «Губаха»;

– от Святого источника на юго-восточной окраине г. Губахи (5-й микрорайон) по дороге, являющейся продолжением Октябрьского проспекта.

Пункты начала маршрутов должны быть выполнены в виде входных групп, включающих стилизованные ворота, картосхемы, аншлаги с информацией о маршрутах и достопримечательностях, указатели направления движения. Места отдыха на тропе должны быть максимально вписаны в естественный ландшафт [15; 18].

Наиболее востребованным маршрутом, возможно, будет путь вдоль скального гребня с одной стороны и возвращение также вдоль скального гребня с другой его стороны. Протяженность маршрута в одну сторону от автомобильной парковки до отвалов бывшей шахты им. Первого мая составляет 2,7 км, а с возвращением к парковке – 5,4 км. Продолжительность прогулки может занять 1,5–2 часа. К основным объектам осмотра на данном маршруте относятся: скальный гребень на вершине Рудянского споя, его скульптурные формы, панорамные виды на Уральские горы с восточного склона, панорама г. Губахи, отдельные объекты. Среди них – скальный останец с названием «Голова», известный по художественному фильму «Последний богатырь: корень зла», фестивальная поляна, арт-объект «Медведь», местечко «Бремсберг»: отвалы породы и остатки стенки и оконного проема бремсберга шахты им. Первого мая. Этот короткий маршрут может быть как самостоятельным, так и частью более длинного маршрута со спуском в Ладейный лог к большому карстовому провалу, пещерам Российская и Обвальная.

Маршрут к большому карстовому провалу можно также начать от автомобильной парковки дороги, ведущей к верхнему кластеру Всесезонного курорта «Губаха». Первые 2,7 км тропа следует вдоль Рудянского споя (повторяя нитку маршрута «Вдоль Рудянского споя»), далее от отвалов б. шахты им. Первого мая продолжается еще 0,5 км вдоль хребта по старой дороге, ведущей к отвалам шахты Нагорная и пос. Нагорнский. В настоящее время ориентиром для окончания движения по дороге в южном направлении и повороте на восток служит лавочка, установленная на имеющемся в том месте перекрестке. Протяженность всего маршрута составляет 10 км (без посещения Российской и Обвальной пещер) и 11 км с посещением пещер. Продолжительность маршрута – от 4 часов.

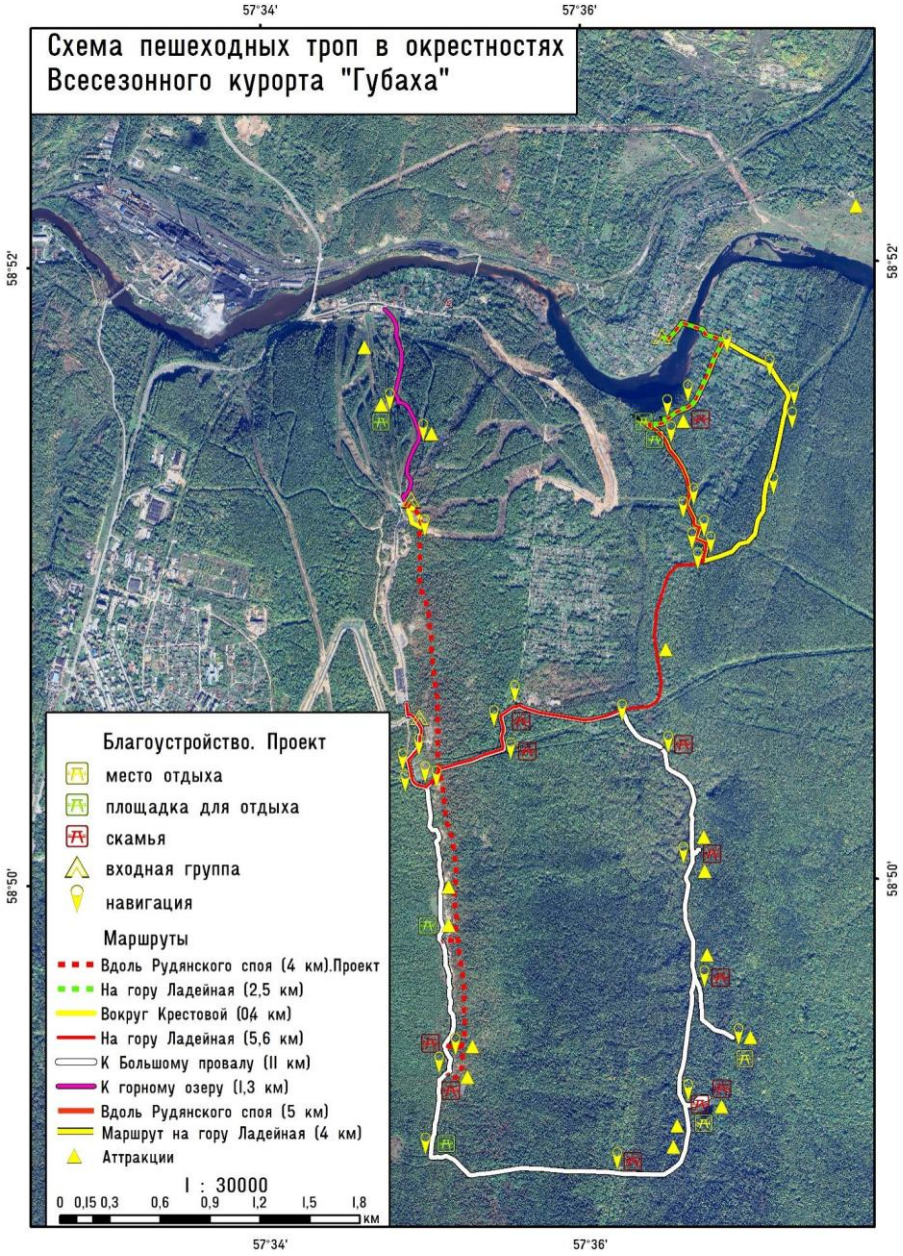


Рис. 2. Обустройство пешеходных троп в районе Губахи
Fig. 2. Improvement of tourist trails in the Gubakha area



Рис. 3. Высотный профиль маршрута «Вдоль Рудянского споя» (западный склон)
Fig. 3. Elevation profile of the route “Along the Rudyansky Spoy” (western slope)



Рис. 4. Высотный профиль планируемого маршрута «Вдоль Рудянского споя» (восточный склон)
Fig. 4. Elevation profile of the planned route “Along the Rudyansky Spoy” (eastern slope)



Рис. 5. Высотный профиль кольцевого маршрута «К Большому провалу»
Fig. 5. Elevation profile of the loop route “To the Large karst sinkhole”

В дальнейшем при развитии тропиночной сети вокруг всесезонного курорта «Губаха» можно будет ориентироваться и на иные маршруты, расположенные в непосредственной близости уже от горнолыжного комплекса (без захода со стороны города). Так, может быть реализован проект интересного путешествия на гору Ладейная и к Ладейной пещере. Он может иметь несколько вариантов трассировки (рис. 2):

– кольцевой маршрут со стартом в пос. Загубашка (стоянка на ул. Широкая) с переходом по подвесному мосту через Косьву, затем вдоль поселка Кировский с выходом на автомобильную дорогу, ведущую из Губахи, далее по окраине садового товарищества «Заречное», переходя на стихийно сложившуюся дорогу к плоской вершине г. Ладейная. Затем следует спуск через пещеру Ладейная вниз по склону с выходом на ул. Декабристов (пос. Кировский) и возвращением к берегу Косьвы (протяженность 4 км). К достоинствам этого варианта можно отнести более пологий путь на г. Ладейная, а к недостаткам то, что 1,5 км маршрута надо преодолеть вдоль действующей автомобильной дороги;

– линейный маршрут со стартовой точкой в пос. Загубашка, переходом по подвесному мосту через Косьву, подъемом по ул. Декабристов (пос. Кировский) в гору, затем вдоль пещеры Ладейная до вершины горы Ладейная и со спуском по пути подъема (протяженность 1,2 км в одну сторону (общая протяженность 2,5 км). Этот маршрут наиболее логичен с точки зрения геометрии тропы, ведет непосредственно к главным аттрактивным объектам – пещере и вершине горы, является наиболее коротким. Кроме того, эта прогулка проходит по привлекательным ландшафтам (подвесной мост с видом на долину реки, скальные выходы вдоль нее и гору Ладейная, деревенская улица, естественный лесной массив). К сложностям на маршруте можно отнести довольно крутой подъем на гору Ладейная, начинающийся на окраине пос. Кировский. Средний уклон составляет 11,3°, протяженность подъема – 320 м, перепад – 64 м;

– линейный маршрут с началом у большой автомобильной парковки на дороге к верхнему кластеру Всесезонного курорта «Губаха» с движением в сторону насосной станции, дальнейшим спуском с хребта Рудянский спой на восток, выходом на участок дороги, ведущей в пос. Кировский (1,9 км вдоль дороги). Общая протяженность маршрута составит 5,6 км.



Рис. 6. Высотный профиль маршрута «На гору Ладейная»
Fig. 6. Elevation profile of the route “To Mount Ladeynaya”

Должен быть организован и маршрут непосредственно вокруг вершины горы Крестовая как идеальный вариант для досуга гостей, проживающих на курорте, особенно его верхнем кластере, для семей с детьми и для гостей, кто только прибыл и хотел бы осмотреться в новом месте. Начало маршрута – у лестницы, ведущей к смотровой площадке на вершине горы Крестовой. Далее тропа несколько спускается на восточную сторону, проходит по привершинному елово-березовому криволесью, огибая скальные выходы, и возвращается к исходной точке – лестнице. Протяженность маршрута – 350 м, продолжительность прогулки может составлять от 20 мин. и дольше в зависимости от активностей на тропе. Одной из ключевых точек тропы является смотровая площадка на вершине горы Крестовой.

Выводы

Перспективное развитие Губахи, промышленного города в Горнозаводском Прикамье, связано и со сферой туристского сервиса. Благодаря горнолыжному комплексу в город направлен значительный туристский поток, который постепенно распространяется не только на зимний, но и на теплый сезон года.

Горнолыжный комплекс «Губаха» активно и масштабно развивается в отношении инфраструктуры и предложений на рынке рекреационных услуг, рассчитывая сделать полноценным летний туристский сезон. Для этого следует спроектировать и создать туристскую тропу, способную стать самостоятельным объектом интереса гостей города и курорта.

Губаха обладает наиболее разнообразным рельефом среди городов Пермского края, с наибольшими перепадами высотных уровней в пределах города и его ближайшего окружения. Поэтому концептуальной географической «подложкой» тропы должна быть геоморфологическая уникальность как наиболее важная составляющая ландшафтной эстетики.

Тропа должна давать возможность путешествовать по многим вариантам ее маршрута, но иметь две основные линии – короткую и длинную. Короткую тропу целесообразно создать вокруг скального гребня хребта Рудянский спой, которая не будет иметь значительных спусков и подъемов. Территория вокруг Рудянского споя уже стала местной достопримечательностью: активно используется в городских, региональных и общенациональных мероприятиях, стала кинематографической локацией, обладает высокой доступностью как из города, так и с верхней площадки курорта «Губаха». Также тропа должна затрагивать особо охраняемую природную территорию «Ладейный лог», непосредственно примыкающую к восточному склону хребта и включающую наиболее длинный лог-суходол Пермского края. В его пределах особенно интересны проявления карстового рельефа и биолого-ландшафтное разнообразие.

Несколько выходов к тропе позволят комфортно пользоваться ею как жителям и гостям города, так и отдыхающим на курорте. Анализ и многолетних впечатлений, и прошедшего года свидетельствует об аттрактивности района, широких маршрутных и брендовых возможностях проектируемой тропы.

Развитие сети пешеходных троп в окрестностях Губахи может быть продолжено. Помимо предлагаемых маршрутов, которые имеют организованные входы как со стороны горнолыжного комплекса, так и со стороны жилой части Новой Губахи, возможна реализация проектов троп, расположенных в непосредственной близости только от нижней и верхней площадок курорта: «На гору Ладейная», «К горному озеру», «Вокруг вершины Крестовой горы». Их появление в программе развития всесезонного курорта «Губаха» станет важной частью диверсификации его туристского предложения в летний период.

Библиографический список

1. *Буторина Н. Н., Лешина Е. В., Малиновская Я. В.* Тропа в гармонии с природой. Дальневосточный опыт. М.: Изд-во «Перо», 2019. 129 с.

2. *Воронов Ю. С.* Проблемы формирования и развития туристских троп в Российской Федерации // Проблемы и перспективы развития спортивного ориентирования и активных видов туризма: мат. III Всерос. науч-практ. конф. с междунар. участием (Смоленск, 15 марта 2024 г.). Смоленск, 2024. С. 108–121. EDN: QENUEO

3. ГОСТ Р 70585–2022 «Туризм и сопутствующие услуги. Туристические тропы. Требования по маркировке троп».

4. ГОСТ Р 70586–2022. Туризм и сопутствующие услуги. Туристские тропы. Обустройство троп в целях обеспечения безопасности туристов и охраны окружающей среды. Минимальные требования. Введ. 2023–06–30. М.: Стандартинформ, 2023. 12 с.

5. *Зырянов А. И., Зырянова И. С.* Самостоятельные путешествия. Маршрутное планирование. Пермь: ПГНИУ, 2015. 154 с. ISBN: 978-5-7944-2615-1 EDN: ZQOUBX

6. *Зырянов А. И., Зырянова И. С., Мышлявцева С. Э., Щепеткова И. О.* География туристского сервиса в горах Урала // Вопросы степеведения. 2023. № 4. С. 73–89. DOI: 10.24412/2712-8628-2023-4-73-89 EDN: WAHVKD

7. Зырянов А. И., Мышлявцева С. Э. Технология развития туризма в новом районе // Региональные исследования. 2011. № 4(34). С. 49–56. EDN: OXLQTB

8. *Зырянов А. И.* Концептуальная география в туризме // Региональные исследования. 2021. № 2(72). С. 24–31. DOI: 10.5922/1994-5280-2021-2-3 EDN: CNAFDQ

9. *Зырянов А. И., Шилова Д. И.* Горнолыжные комплексы – предприятия ландшафтного сервиса // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. № 2(49). С. 115–126. DOI: 10.17072/2079-7877-2019-2-115-126 EDN: TZZNPY

10. *Конышев Е. В., Герасимов С. В.* Технологические аспекты применения средств передвижения на Всевятской туристской тропе // Современные инструменты, методы и технологии управления знаниями. 2019. № 2. С. 61–68. EDN: PRIIDM

11. *Лучников А. С.* Туризм в Горнозаводском Прикамье: роль в трансформации функций территории и проблемы развития // География и туризм. 2019. № 1. С. 84–91. EDN: KOECMQ

12. *Лучников А. С., Лядова А. А., Меркушев С. А., Николаев Р. С.* Горное Прикамье: современные функциональные трансформации в муниципальных образованиях // Известия РАН. Серия географическая. 2023. Т. 87, № 7. С. 992–1004. DOI: 10.31857/S2587556623070105 EDN: HEQWXN

13. *Мышлявцева С. Э., Фирсова А. В.* Туризм в Пермском крае: видовая и территориальная структура. URL: http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnieposobiya/Myshlyavceva-Firsova-Turizm-v-Permskom-krae-vidovaya-i-territorialnaya-struktura.pdf (дата обращения: 05.02.2026)

14. *Мышлявцева С. Э.* Маршрутный принцип территориальной организации туризма // Теория социально-экономической географии: современное состояние и перспективы развития: мат. междунар. конф. под ред. А. Г. Дружинина, В. Е. Шувалова (Ростов-на-Дону, 4–8 мая 2010 г.). Ростов н/Д, 2010. С. 444–447. EDN: WHXCMZ

15. Технологии и практики организации туристических троп и сопутствующей инфраструктуры. Руководство. АСИ. URL: https://asi.ru/library/main/202815/ (дата обращения: 10.02.2026)

16. *Чижова В. П.* Эколого-географические аспекты создания зимних познавательных троп // Вопросы географии. 2014. № 139. С. 372–384. EDN: ZGQWMX

17. *Яковенко И. М., Страчкова Н. В., Лукьяненко Е. А.* Национальный опыт проектирования больших туристских троп // Общественная география в меняющемся мире: фундаментальные и прикладные исследования: мат. междунар. науч.-практ. конф. в рамках X научной Ассамблеи Ассоциации российских географов-обществоведов (АРГО) (Казань, 17–22 сентября 2019 г.). Казань, 2019. С. 453–456. EDN: JOXJVZ

18. Alberta TrailNet. Trail builder's companion: Manual for the planning and development of recreation trails in Alberta. Edmonton: Alberta Community Development, 2001. 185 p. URL: http://www.albertatrailnet.com/downloads/TBManual.pdf (Accessed 7 April 2026) DOI: 10.1016/j.jort.2023.100615

19. *Bowker J. M.* The economic impact of recreational trails: A systematic review // Journal of Outdoor Recreation and Tourism. 2023. Vol. 42. DOI: 10.1016/j.jort.2023.100615

20. *Godtman Kling K., Fredman P., Wall-Reinius S.* Trails for tourism and outdoor recreation: A systematic literature review // Tourism: An International Interdisciplinary Journal. 2017. Vol. 65, No. 4. P. 488–508. DOI: 10.20868/1450-7754.2017.65.4.488

21. *Hesselbarth W., Vachowski B., Davies M. A.* Trail construction and maintenance notebook. Missoula, MT: USDA Forest Service, 2007. 178 p. URL: https://www.fs.usda.gov/t-d/pubs/pdfpubs/pdf07232806/pdf07232806dpi300.pdf (Accessed 23 February 2026)

22. *Lukoseviciute G., Pereira L. N., Panagopoulos T. et al*. Recreational trail development within different geographical contexts as a determinant of income multiplier and local economic impact // Tourism Management Perspectives. 2023. Vol. 46. DOI: 10.1016/j.tmp.2023.101090 EDN: RJSBLH

23. *MacLeod N.* The role of trails in the creation of tourist space // Journal of Heritage Tourism. 2017. Vol. 12, No. 5. P. 423–430. DOI: 10.1080/1743873X.2016.1242590.Accessed5Mart2026

References

1. Butorina N. N., Leshina E. V., Malinovskaya Ya. V. *Tropa v garmonii s prirodoi. Dal'nevostochnyi opyt* [A trail in harmony with nature. Far Eastern case]. Moscow: Izd-vo «Pero», 2019. 129 p. (In Russ.)

2. Voronov Yu. S. Problemy formirovaniya i razvitiya turistskikh trop v Rossiiskoi Federatsii [Problems of formation and development of tourist trails in the Russian Federation]. In *Problemy i perspektivy razvitiya sportivnogo orientirovaniya i aktivnykh vidov turizma: Materialy III Vseros. nauch-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. (Smolensk, 15 marta 2024 g.).* Smolensk, 2024, pp. 108–121. (In Russ.)

3. *GOST R 70585–2022 Turizm i soputstvuyushchie uslugi. Turisticheskie tropy. Trebovaniya po markirovke trop* [GOST R 70585–2022 Tourism and related services. Hiking trails. Trail marking requirements]. Moscow: Standartinform, 2023. 12 p. (In Russ.)

4. *GOST R 70586–2022. Turizm i soputstvuyushchie uslugi. Turistskie tropy. Obustroistvo trop v tselyakh obespecheniya bezopasnosti turistov i okhrany okruzhayushchei sredy. Minimal'nye trebovaniya. Vved. 2023–06–30* [GOST R 70586–2022. Tourism and related services. Tourist trails. Design of trails to ensure the safety of tourists and protect the environment. Minimum requirements. Introduced. 2023–06–30]. Moscow: Standartinform, 2023. 12 p. (In Russ.)

5. Zyrianov A. I., Zyryanova I. S. *Samostoyatel'nye puteshestviya. Marshrutnoe planirovanie* [Independent Travel. Route Planning]. Perm': PGNIU, 2015. 154 p. (In Russ.) ISBN: 978-5-7944-2615-1

6. Zyrianov A. I., Zyryanova I. S., Myshlyavtseva S. E., Shchepetkova I. O. Geography of the tourist service objects in the Ural Mountains. *Steppe science*, 2023, no. 4, pp. 73–89. (In Russ.) DOI: 10.24412/2712-8628-2023-4-73-89

7. Zyrianov A. I., Myshlyavtseva S. E. Tekhnologiya razvitiya turizma v novom raione [Technology of tourism development in a new area]. *Regional'nye issledovaniya*, 2011, no. 4(34), pp. 49–56. (In Russ.)

8. Zyrianov A. I. Conceptual geography and tourism. *Regional Research*, 2021, no. 2, pp. 24–31. (In Russ.) DOI: 10.5922/1994-5280-2021-2-3

9. Zyrianov A. I., Shilova D. I. Ski resorts – centres of landscape service. *Geographical bulletin*, 2019, no. 2(49), pp. 115–126. (In Russ.) DOI: 10.17072/2079-7877-2019-2-115-126

10. Konyshev E. V., Gerasimov S. V. Tekhnologicheskie aspekty primeneniya sredstv peredvizheniya na Vsevyatskoi turistskoi trope [Technological Aspects of the Use of Means of Transportation on the Vsyatka Tourist Trail]. *Sovremennye instrumenty, metody i tekhnologii upravleniya znaniyami*, 2019, no. 2, pp. 61–68. (In Russ.)

11. Luchnikov A. S. Turizm v Gornozavodskom Prikam'e: rol' v transformatsii funktsii territorii i problemy razvitiya [Tourism in the Gornozavodskoye Prikamye: Role in the Transformation of Territory Functions and Development Challenges]. *Geografiya i turizm*, 2019, no. 1, pp. 84–91. (In Russ.)

12. Luchnikov A. S., Lyadova A. A., Merkushev S. A., Nikolaev R. S. Mountainous Part of Perm Krai (Gornoe Prikamie): Modern Functional Transformations in Municipalities. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 2023, no. 87(7), pp. 992–1004. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2587556623070105

13. Myshlyavtseva S. E., Firsova A. V. *Turizm v Permskom krae: vidovaya i territorial'naya struktura* [Tourism in the Perm Region: Species and Territorial Structure]. (In Russ.) URL: http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnieposobiya/Myshlyavceva-Firsova-Turizm-v-Permskom-krae-vidovaya-i-territorialnaya-struktura.pdf (Accessed 5 Febrary 2026).

14. Myshlyavtseva S. E. Marshrutnyi printsip territorial'noi organizatsii turizma [Route principle of territorial organization of tourism] In *Teoriya sotsial'no-ehkonomicheskoi geografii: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya: Materialy Mezhd. konf. (Rostov-on-Don, 4–8 maya 2010 g.).* Rostov-on-Don, 2010. pp. 444–447. (In Russ.)

15. *Tekhnologii i praktiki organizatsii turisticheskikh trop i soputstvuyushchei infrastruktury*. [Technologies and practices for organizing tourist trails and related infrastructure. Guidebook]. ASI, 2024, 230 p. (In Russ.) URL: https://asi.ru/library/main/202815/ (Accessed 10 February 2026)

16. Chizhova V. P. Ekologo-geograficheskie aspekty sozdaniya zimnikh poznavatel'nykh trop [Ecological and Geographical Aspects of Creating Winter Educational Trails]. *Voprosy geografii*, 2014, no. 139, pp. 372–384. (In Russ.)

17. Yakovenko I. M., Strachkova N. V., Luk'yanenko E. A. Natsional'nyi opyt proektirovaniya bol'shikh turistskikh trop [National Experience in Designing Large Tourist Trails]. In *Obshchestvennaya geografiya v menyayushchemsya mire: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. Konf. v ramkakh X nauchnoi Assamblei Assotsiatsii rossiiskikh geografov-obshchestvovedov (ARGO)* (Kazan', 17–22 sentyabrya 2019 g.). Kaazan', 2019, pp. 453–456. (In Russ.)

18. Alberta TrailNet. Trail builder's companion: Manual for the planning and development of recreation trails in Alberta. Edmonton: Alberta Community Development, 2001. 185 p. URL: http://www.albertatrailnet.com/downloads/TBManual.pdf (Accessed 7 April 2026).

19. Bowker J. M. The economic impact of recreational trails: A systematic review. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 2023, vol. 42. DOI: 10.1016/j.jort.2023.100615

20. Godtman Kling K., Fredman P., Wall-Reinius S. Trails for tourism and outdoor recreation: A systematic literature review. *Tourism: An International Interdisciplinary Journal*, 2017, vol. 65, no. 4, pp. 488–508. DOI: 10.20868/1450-7754.2017.65.4.488

21. Hesselbarth W., Vachowski B., Davies M. A. Trail construction and maintenance notebook. Missoula, MT: USDA Forest Service, 2007. 178 p. URL: https://www.fs.usda.gov/t-d/pubs/pdfpubs/pdf07232806/pdf07232806dpi300.pdf (Accessed 23 February 2026).

22. Lukoseviciute G., Pereira L. N., Panagopoulos T. Recreational trail development within different geographical contexts as a determinant of income multiplier and local economic impact. *Tourism Management Perspectives*, 2023, vol. 46. DOI: 10.1016/j.tmp.2023.101090

23. MacLeod N. The role of trails in the creation of tourist space. *Journal of Heritage Tourism*, 2017, vol. 12, no 5, pp. 423–430. DOI: 10.1080/1743873X.2016.1242590

Статья поступила в редакцию: 12.02.26, одобрена после рецензирования: 24.04.26, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 12 February 2026; approved after review: 24 April 2025; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах
Александр Иванович Зырянов
Доктор географических наук, профессор,
заведующий кафедрой туризма,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Information about the authors
Aleksandr I. Zyrianov
Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Head of the Department of Tourism,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: aizyrianov@gmail.com

Инна Станиславовна Зырянова
Старший преподаватель кафедры туризма,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Inna S. Zyrianova
Senior Lecturer, Department of Tourism,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: innaziryanova@mail.ru

Екатерина Николаевна Косвинцева
Студент кафедры живописи,
Уральский филиал Российской академии живописи,
ваяния и зодчества им. Ильи Глазунова;
614000, г. Пермь, ул. Ленина, д. 56

Ekaterina N. Kosvintseva
Student, Painting Department,
Ural Branch of the Ilya Glazunov Russian Academy of
Painting, Sculpture, and Architecture;
56, Lenina st., Perm, 614000, Russia

e-mail: katya2011kos@yandex.ru

Андрей Сергеевич Лучников
Старший преподаватель кафедры
социально-экономической географии,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Andrey S. Luchnikov
Senior Lecturer, Department of Social and Economic
Geography,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: aluchnikov@yandex.ru

Светлана Эдуардовна Мышлявцева
Кандидат географических наук,
доцент кафедры туризма,
Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Svetlana E. Myshliavtseva
Candidate of Geographical Sciences,
Associate Professor, Department of Tourism,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: mushl_sve@mail.ru

Вклад авторов

Зырянов А. И. – полевые исследования, разработка схемы, подготовка текста, научное редактирование.
Зырянова И. С. – полевые исследования, проведение интервью, обработка результатов, подготовка текста.
Косвинцева Е. Н. – художественное выполнение картосхемы.
Лучников А. С. – полевые исследования, подготовка текста.
Мышлявцева С. Э. – полевые исследования, разработка ГИС, выполнение карты, подготовка и редактирование текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Contribution of the authors

Aleksandr I. Zyrianov – field research; development of the schematic map; writing of the text; scientific editing.
Inna S. Zyrianova – field research; interviews; processing of the results; writing of the text.
Ekaterina N. Kosvintseva – artistic drawing of the map-scheme.
Andrey S. Luchnikov – field research; writing of the text.
Svetlana E. Myshlyavtseva – field research; development of the GIS project; creation of the map; writing and editing of the text.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Научная статья
УДК 911.3.338.48
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-174-185
EDN: CCEUZK

ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИАЗОВЬЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО ОСВОЕНИЯ

Ирина Михайловна Яковенко ✉, Наталья Васильевна Страчкова
Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, г. Симферополь, Россия
✉ yakovenko-tnu@ya.ru, ORCID: 0009-0006-4707-6549, SPIN-код: 6157-4858, eLibrary AuthorID: 871278

Аннотация. Статья посвящена общественно-географическому исследованию социально-экономической среды региона с позиций развития рекреации и туризма. Разработаны и апробированы методика и алгоритм комплексной оценки социально-экономической среды регионов Приазовья для обоснования стратегий туристско-рекреационного освоения. Проанализированы особенности территориальной структуры коллективных средств размещения, объектов общественного питания, инфраструктуры для организации досуга, трудовых ресурсов, транспортной инфраструктуры, инвестиционной активности. Разработка карт коллективных средств размещения и инфраструктуры для организации досуга туристов выявила значительный уровень пространственной дифференциации материально-технической базы туристско-рекреационного освоения. На основе статистической информации был проведен расчет интегральных индексов степени благоприятности социально-экономической среды. Он позволил оценить качество социально-экономических условий развития рекреации и туризма в большинстве муниципальных образований Приазовья как недостаточное для комплексного освоения туристско-рекреационного ресурсного потенциала региона на принципах конкурентоспособности и устойчивости. Наивысший показатель степени благоприятности социально-экономической среды зафиксирован в Темрюкском районе Краснодарского края, самые низкие значения – в регионах Херсонской и Запорожской областей, Донецкой Народной Республики. Сглаживание резких территориальных диспропорций в степени туристско-рекреационной освоенности территории может быть достигнуто путем согласования стратегических планов социально-экономического развития регионов и целевых комплексных программ туристско-рекреационной направленности. В укрупненном функциональном зонировании Приазовья должны быть учтены перспективные туристские кластеры и крупные инфраструктурные объекты, обеспечивающие высокую степень интеграции туристско-рекреационного пространства Приазовья.

Ключевые слова: туристско-рекреационное освоение, социально-экономическая среда, материально-техническая база рекреации и туризма, туристская инфраструктура

Для цитирования: Яковенко И. М., Страчкова Н. В. Оценка социально-экономической среды Приазовья для целей туристско-рекреационного освоения // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 174–185. EDN: CCEUZK DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-174-185

Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-174-185
EDN: CCEUZK

ASSESSMENT OF THE SOCIO-ECONOMIC ENVIRONMENT OF THE AZOV SEA REGION FOR THE PURPOSES OF TOURIST AND RECREATIONAL DEVELOPMENT

Irina M. Yakovenko ✉, Natalya V. Strachkova
V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia
✉ yakovenko-tnu@ya.ru, ORCID: 0009-0006-4707-6549, SPIN-code: 6157-4858, eLibrary AuthorID: 871278

Abstract. The article studies the socio-economic environment of the Azov Sea region from the perspective of tourist and recreational development. The aim was to devise and test a methodology and algorithm for a comprehensive assessment of the socio-economic environment of the territories constituting the region. We analyze the territorial structure of collective accommodation facilities, catering facilities, leisure infrastructure, labor resources, transport infrastructure, and investment activity. The developed maps of collective accommodation facilities and infrastructure for organizing tourist leisure activities have revealed a significant level of spatial differentiation of the material and technical base of the tourist and recreational development. Using statistical information, we calculated integral indices showing the degree of favorability of the socio-economic environment. Basing on these, we assessed the quality of the socio-economic

© Яковенко И. М., Страчкова Н. В., 2026

Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

conditions for the development of recreation and tourism in most municipalities of the Azov Sea region: it was found to be insufficient for the comprehensive development of the region's tourist and recreational resource potential on the basis of the principles of competitiveness and sustainability. The highest indicator of the socio-economic environment's favorability is demonstrated by the Temryuk District of the Krasnodar Territory, the lowest values – by territories of the Kherson and Zaporizhzhia regions, the Donetsk People's Republic. The sharp territorial disparities in the degree of tourist and recreational development within the region can be smoothed by means of coordinating strategic plans for the socio-economic development of the territories and targeted integrated programs of tourist and recreational orientation. The enlarged functional zoning of the Azov Sea region should take into account promising tourist clusters and large infrastructure facilities that ensure a high degree of integration of the region's tourist and recreational space.

Keywords: tourist and recreational development, socio-economic environment, material and technical base for recreation and tourism, tourist infrastructure

For citation: Yakovenko I. M., Strachkova N. V. Assessment of the socio-economic environment of the Azov Sea region for the purposes of tourist and recreational development. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 174–185. EDN: CCEUZK DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-174-185

Введение

Туристско-рекреационное освоение, под которым понимается процесс приспособления территории под выполнение туристско-рекреационных функций, определяется многими факторами внутреннего и внешнего порядка. Туристско-рекреационный ресурсный потенциал продолжает играть роль ведущего реализующего фактора в процессе туристско-рекреационного освоения территории, а различия между регионами в объеме, структуре, качестве, степени актуализации природных и социокультурных туристско-рекреационных ресурсов определяют разрыв в уровне туристско-рекреационной освоенности территории. В то же время важное значение приобретает совокупность социально-экономических факторов, обусловливающих материально-техническое и инфраструктурное обеспечение процесса освоения и создающих благоприятный или неблагоприятный фон для его протекания.

Приазовский регион в настоящее время выступает перспективным полигоном для реализации крупных стратегических планов, которые будут способствовать созданию единого туристского пространства вокруг Азовского моря и налаживанию межрегионального взаимодействия.

Начиная с 1960-х годов, в рамках обоснования архитектурно-планировочных решений по курортному освоению новых районов Юга СССР проводились исследования туристско-рекреационных ресурсов Приазовья. Комплексная характеристика социально-экономических условий туристско-рекреационного освоения региона впервые была предпринята при подготовке монографии Института географии Академии наук СССР «География рекреационных систем СССР» [6]. Было отмечено слабое развитие общехозяйственной и туристской инфраструктуры, малое число и крайне неравномерное распределение рекреационных предприятий.

Одной из первых диссертаций в области рекреационной географии Приазовья стала работа Н. М. Сажневой, посвященная территориальной организации приморских рекреационных систем оазисного типа освоения на примере Западного Приазовья (1988 г.) [20]. Автор констатировала проявление очаговой рекреационной освоенности в исследуемом районе, характеризующееся дисперсным стихийным характером формирования территориальной структуры, разбросанностью рекреационных, преимущественно ведомственных, предприятий среди малоосвоенных пространств, нередко лишенных регулярного транспортного обслуживания и других элементов инфраструктуры.

В исследовании краснодарских авторов проанализированы ключевые проблемы Темрюкского рекреационного района, типичные и для других муниципальных районов Приазовья: неразвитость туристской инфраструктуры; преимущественно низкий уровень сервиса; слабый уровень коммунальной инфраструктуры курортных поселков; неразвитость сотовой связи [9]. Наличие в регионе системных инфраструктурных проблем подтверждают также Т. А. Ирисова, Е. В. Колотова, Д. В. Денисова [13], Т. А. Волкова и М. Ю. Беликов [6].

Территориальным особенностям туристско-рекреационного потенциала Российского Приазовья посвящены работы О. В. Ивлиевой и К. В. Кушнир [11; 15]. На основе исходных количественных показателей (число объектов природного и культурного наследия, количество и емкость средств размещения, число объектов туристской инфраструктуры и др.) К. В. Кушнир произведена балльная оценка туристско-рекреационного потенциала 13 муниципальных районов. На ее основе выделены типы районов по уровню и перспективам развития рекреации и туризма, в том числе лидеры (Темрюкский), районы с потенциалом выше среднего (Ейский), со средним уровнем (Неклиновский, Азовский, Каневский, Приморско-Ахтарский, Славянский, Ленинский, Джанкойский), районы с низким уровнем туристско-рекреационного потенциала развития (Щербиновский, Кировский, Советский, Нижнегорский).

Целью данной статьи явилась разработка и апробация методики и алгоритма комплексной оценки социально-экономической среды регионов Приазовья с целью географического обоснования стратегий туристско-рекреационного освоения.

Материалы и методы

Исследование строилось на статистических данных управлений Федеральной службы государственной статистики РФ и информации официальных сайтов муниципальных образований шести регионов РФ, выходящих к побережью Азовского моря, а именно Республики Крым, Ростовской области, Краснодарского края, присоединившихся территорий Херсонской и Запорожской областей и Донецкой Народной Республики. Первичные данные также были получены авторами в ходе полевого этапа комплексной исследовательской экспедиции на побережье Азовского моря в рамках проекта Русского географического общества «Туристско-рекреационный ресурсный потенциал побережья Азовского моря и перспективные направления его использования» (апрель-октябрь 2024 г.). В ходе экспедиции был проведен анализ социально-экономических условий развития рекреации и туризма на береговой линии протяженностью около 3 тыс. км.

В группе факторов, определяющих качество социально-экономической среды регионов для целей туристско-рекреационного освоения, особое внимание уделялось обеспеченности коллективными средствами размещения, объему и качеству трудоресурсного потенциала, транспортно-логистической ситуации и инвестиционной активности.

Результатом синтеза информации стала оценка *степени благоприятности социально-экономической среды для туристско-рекреационного освоения региона*. Формализованная оценка интегрального индекса благоприятности строилась на расчете репрезентативных частных индексов [24] (по формуле 1):

$$I_s = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} P_{ij}, \quad (1)$$

где: P_{ij} – частные индексы благоприятности социально-экономической среды; m – число оцениваемых признаков.

Частные индексы для показателей, увеличение которых позитивно отражается на степени благоприятности среды, рассчитываются по формуле 2:

$$P_{ij} = k_j \frac{l_{ij}}{l_{max\,j}}, \quad (2)$$

где: P_{ij} – частный индекс степени благоприятности социально-экономической среды; l_{ij} – значение j-го признака степени благоприятности социально-экономической среды для i-го района; $l_{max\,j}$ – максимальное значение j-го признака для всех районов; $l_{min\,j}$ – минимальное значение j-го признака для всех районов; k_j – весовой коэффициент влияния j-го признака на степень благоприятности социально-экономической среды (определяется экспертным путем как среднеарифметическое от оценок экспертов и измеряется от 0,1 до 0,3 баллов).

Полученные значения интегральных индексов в разрезе регионов разбивались на группы, соответствующие градациям оценочной шкалы («высокая», «средняя», «низкая»). Интервалы индексов (h) рассчитывались по формуле 3:

$$h = \frac{I_{max} - I_{min}}{Z}, \quad (3)$$

где: I_{max}, I_{min} – максимальное и минимальное значение индексов для всей территории соответственно; Z – число ступеней оценочной шкалы (в данном случае = 3).

В качестве оцениваемых признаков использовались следующие показатели в разрезе муниципальных районов Приазовья:

– оборот розничной торговли в расчете на 1 чел., тыс. руб.;
– инвестиции в основной капитал на 1 чел., руб.;
– плотность автомобильных дорог, км на 100 км^2;
– число мест в коллективных средствах размещения на 1000 чел.;
– удельный вес занятых от общей численности населения, %.

С целью визуализации пространственной картины дифференциации социально-экономических условий развития рекреации и туризма в регионах Приазовья были разработаны и составлены авторские тематические карты.

Результаты и их обсуждение

Современное функционирование туристской отрасли невозможно без наличия необходимой материально-технической базы, в первую очередь без объектов размещения. Анализ *коллективных средств размещения (КСР)* в динамике демонстрирует тенденцию к росту числа КСР во всех регионах Приазовья, за исключением приморских регионов Херсонской, Запорожской областей и Донецкой Народной Республики (табл. 1). Из-за отсутствия объективных современных статистических данных, характеризующих работу средств размещения данных регионов, в исследовании используются статистические материалы Укрстата периода до 2022 г. и материалы сервисов «Яндекс Карты». Для оценки современного состояния коллективных средств размещения применен экспертный метод в процессе экспедиционных исследований.

Среди муниципальных образований Приазовья лидерами по количеству коллективных средств размещения являются Темрюкский и Ейский районы Краснодарского края. При этом следует отметить процесс деконцентрации туристско-рекреационных функций в регионе – если в 2014 г. на долю Темрюкского района приходилось 76 % числа КСР, то к 2023 г. его доля снизилась до 59,0 %. Минимальный коечный фонд зафиксирован в Акимовском муниципальном округе Запорожской области и Щербиновском районе Краснодарского края.

Таблица 1
Table 1

Деятельность коллективных средств размещения регионов Приазовья [25]
Collective accommodation facilities in the territories of the Azov Sea region [25]

Регионы	*Число коллективных средствах размещения*		*Число мест в коллективных средствах размещения*		*Число размещенных лиц в коллективных средствах размещения, чел*		*Удельный вес работающих коллективных средств размещения*
	*2014/ 2020**	*2023/ 2024***	*2014/ 2020**	*2023/ 2024***	*2014/ 2020**	*2023/ 2024***	*2024*
Херсонская область							
Область в целом	319/70	–	4012/ 12582	–	159879/ 66506	12000	–
Генический МО	–	179	–	5922	–	нет данных	до 20 %
Запорожская область							
Область в целом	355/ 119	–	6956/ 16169	–	283468/ 92794	100000	–
Акимовский МО	–	18	–	36	–	нет данных	0 %
Мелитополь и Мелитопольский МО	–	406	–	6583	–	нет данных	до 60 %
Приазовский МО	–	38	–	625	–	нет данных	до 40 %
Приморский МО	–	46	–	770	–	нет данных	до 40 %
Бердянск и Бердянский МО	–	245	–	4273	–	нет данных	до 60 %
Донецкая Народная Республика							
Республика в целом	112/ 65	–	3578/ 7396	–	127205/ 73285	134000	–
Мариуполь	–	39	–	1222	–	нет данных	до 30 %
Мангушский МО	–	249	–	2527	–	нет данных	до 70 %
Новоазовский МО	–	33	–	758	–	нет данных	до 50 %
Ростовская область							
Таганрог	28	44	1768	2097	–	138185	–
Неклиновский район	18	30	4956	11172	–	58057	–
Азовский район	10	10	526	744	–	19339	–
Азов	5	11	689	1065	–	20660	–
Краснодарский край							
Щербиновский район	3	3	156	118	–	1240	–
Ейский район	43	100	6025	9255	–	106763	–
Каневской район	8	8	347	274	–	3164	–
Приморско-Ахтарский район	27	20	949	669	–	7903	–
Славянский район	15	32	362	1361	–	20253	–
Темрюкский район	297	243	14450	15249	–	106142	–
Республика Крым							
Керчь	31	62	3700	5193	–	303162	–
Ленинский район	37	46	5883	5277	–	175675	–

Примечания: *2020 г. – данные для Херсонской, Запорожской области и Донецкой Народной Республики по Укрстат (без учета КСР частного сектора). **2024 г. – данные для Херсонской, Запорожской области и Донецкой Народной Республики с использованием сервисов «Яндекс Карты».
Notes: *2020 – data for Kherson and Zaporizhzhia regions and the Donetsk People's Republic according to Ukrstat (excluding collective accommodation facilities of the private sector). **2024 – data for Kherson and Zaporizhzhia regions and the Donetsk People's Republic using Yandex maps services.

Территориальную дифференциацию по уровню рекреационной освоенности территории передает показатель плотности койко-мест в КСР в расчете на 1 км^2 (рис. 1).

Сопоставление структуры КСР в северо-западных, восточных, южных частях Приазовья отражает современную тенденцию к росту удельного веса предприятий гостиничного типа. Многие районы с советских времен задержались на стадии освоения территории преимущественно базами отдыха и пансионатами, позже – частными гостевыми домами. Сеть санаторно-курортных учреждений Приазовья насчитывает всего 14 объектов. В Запорожской области санатории и другие оздоровительные учреждения в течение 2000–2020 гг. под влиянием ряда негативных факторов оказались в крайне неудовлетворительном состоянии. Так, в 2019–2021 годы прекратили функционирование санатории «Кирилловка», «Бердянск» (мощность – 2500 мест), «Азов», «Лазурный», санаторий медицинской реабилитации «Глория». Традиционный для Приазовья тип предприятий – детские оздоровительные лагеря и комплексы – представлен неравномерно. Известные в России ДОК работают в Ростовской области (ДОК «Спутник» в с. Натальевка Неклиновского района и ДОЛ «Мир» близ Таганрога, который в 2023 г. был признан победителем Всероссийского конкурса детских лагерей). В новых приазовских регионах многие объекты находятся в заброшенном состоянии.

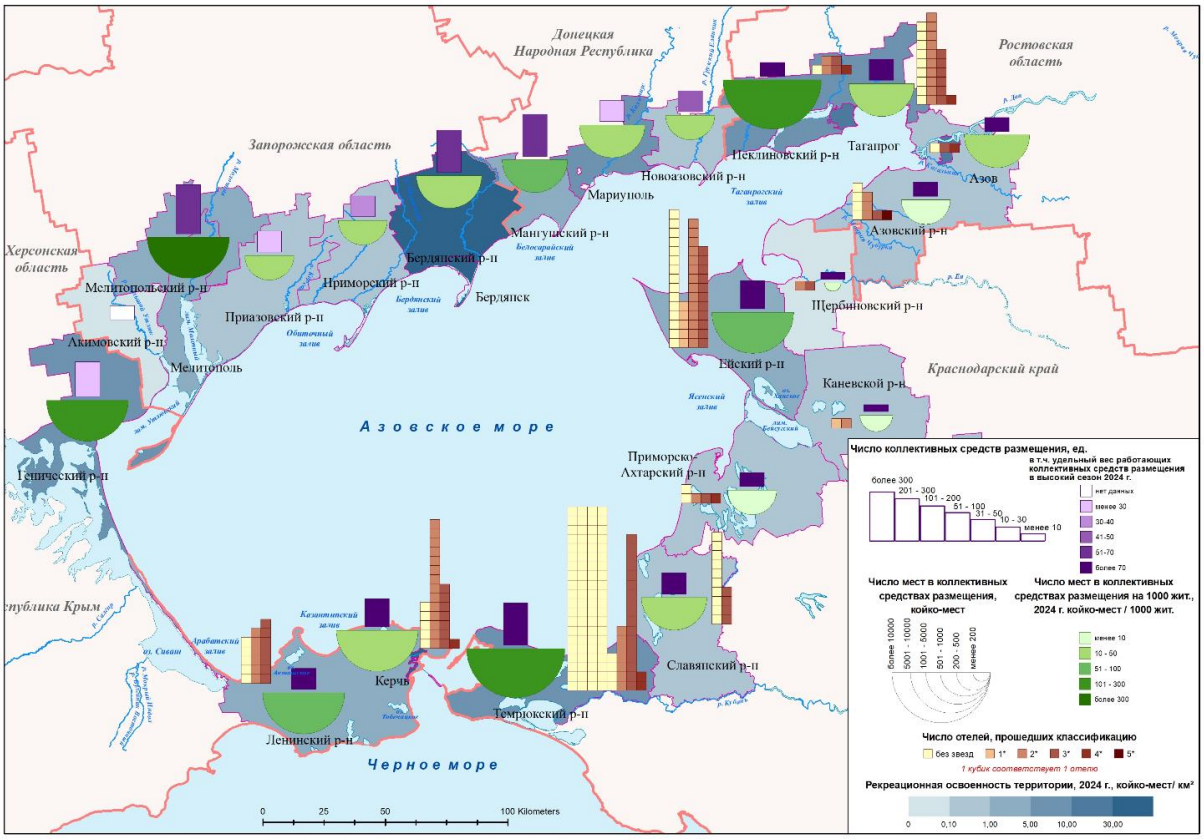


Рис. 1. Территориальная структура коллективных средств размещения в Приазовье
Fig. 1. Territorial structure of collective accommodation facilities in the Azov Sea region

Процесс классификации КСР Приазовья не завершен, однако очевидно, что в их структуре преобладают средства размещения категорий без звезд, 2* и 3*. Отели класса 5* немногочисленны и расположены в Ростовской области (отель SOHO Grand Hotel, г. Азов) и Темрюкском районе Краснодарского края (отели Tizdar Family Resort & SPA и Villa Romanov Wine Club & SPA). В целом коллективные средства размещения Приазовья не отличаются высоким уровнем комфортности, большинство объектов не рассчитано на круглогодичный отдых и предоставляет услуги отдыха выходного дня чаще всего без питания. Позитивной тенденцией дальнейшего рекреационного освоения можно считать строительство баз отдыха с бассейнами в районах с отсутствием пляжей, пригодных для организации купания, включая лиманы, протоки и плавни (базы отдыха «Абрау Дюрсо на плавнях», «На Сладком лимане», «Грегори клаб»).

Система общественного питания Приазовья на 1 января 2024 г. насчитывала 1888 предприятий. Максимальное число объектов зафиксировано в крупных городских округах – Керчи (371), Таганроге (250), Мариуполе (131), а также в популярных курортных дестинациях (Ейский район – 204 объекта). В курортный сезон число точек питания увеличивается за счет открытия летних площадок, принадлежащих, как правило, предпринимателям малого бизнеса. Обеспеченность посадочными местами в прибрежной курортной зоне, по расчетам Т. А. Джум и др., увеличивается в летний сезон более чем на 60 % [9]. Расчет показателя общего числа

посадочных мест в предприятиях общественного питания на 1000 чел. позволил определить значительный разрыв между регионами Приазовья в продовольственном обеспечении туристско-рекреационной деятельности: при среднем значении по региону 48,3 мест на 1000 чел. максимальное значение составляет 103,5 мест в Керчи, минимальное – 12,9 мест на 1000 чел. – в Щербиновском районе Краснодарского края.

В структуре объектов общественного питания высока доля сетевых кафе (в том числе пиццерий – «Додо-Пицца», «Челентано», домов суши – «Суши Wok», «Суши Весла», бургерных – «Вкусно – и точка»), кофеен и кондитерских («Шоколадница», «Медоборы», «Чао»). Вместе с тем отмечается недостаточное число объектов, предлагающих блюда средиземноморской и качественной этнической (включая казачью) и местной кухни. Во многих приморских поселениях Неклиновского, Приморского, Акимовского, Приазовского, Щербиновского, Каневского, Ленинского районов объекты общественного питания вообще отсутствуют; очень редка сеть заведений питания в системе придорожного сервиса.

Инфраструктура для организации досуга туристов имеет сложный отраслевой состав. К ней относятся: а) *спортивные сооружения* (спортивные комплексы, а также отдельные стадионы, плавательные бассейны, велотреки, гольф-поля, фитнес-клубы и др.), где туристы наряду с местными жителями удовлетворяют потребности в физической активности; б) *пункты проката спортивного оборудования и снаряжения*, обслуживающие участников самодеятельных видов активного туризма, а также любителей прогулочной рекреации; в) *объекты культуры*, обеспечивающие культурный досуг в туристских дестинациях – театры, музеи, картинные галереи, филармонии, выставки, кинотеатры и др.; г) *разнообразные предприятия розничной торговли* – от местных рынков до крупных торговых центров, элитных бутиков и сувенирных лавок, где туристы могут заниматься шоппингом и закупать памятные сувениры; д) *объекты развлечений* – парки аттракционов, тематические парки, казино, боулинг-центры, бильярдные, мультимедийные залы и др.

Размещение объектов инфраструктуры для организации досуга туристов в Приазовье представлено на рис. 2. Абсолютные количественные характеристики спортивных сооружений в сфере туризма имеют отчетливо выраженные территориальные диспропорции: наименьшее число объектов расположено в Щербиновском районе (61), максимальное – в г. Таганроге (472). Расчет относительного показателя (числа спортивных сооружений, приходящихся на 1000 чел.) не дал столь разительного контраста: напротив, в г. Таганроге зафиксирована низкая обеспеченность (1,9 объекта на 1000 чел.), а в г. Керчь – минимальная (1,5 объекта на 1000 чел.).

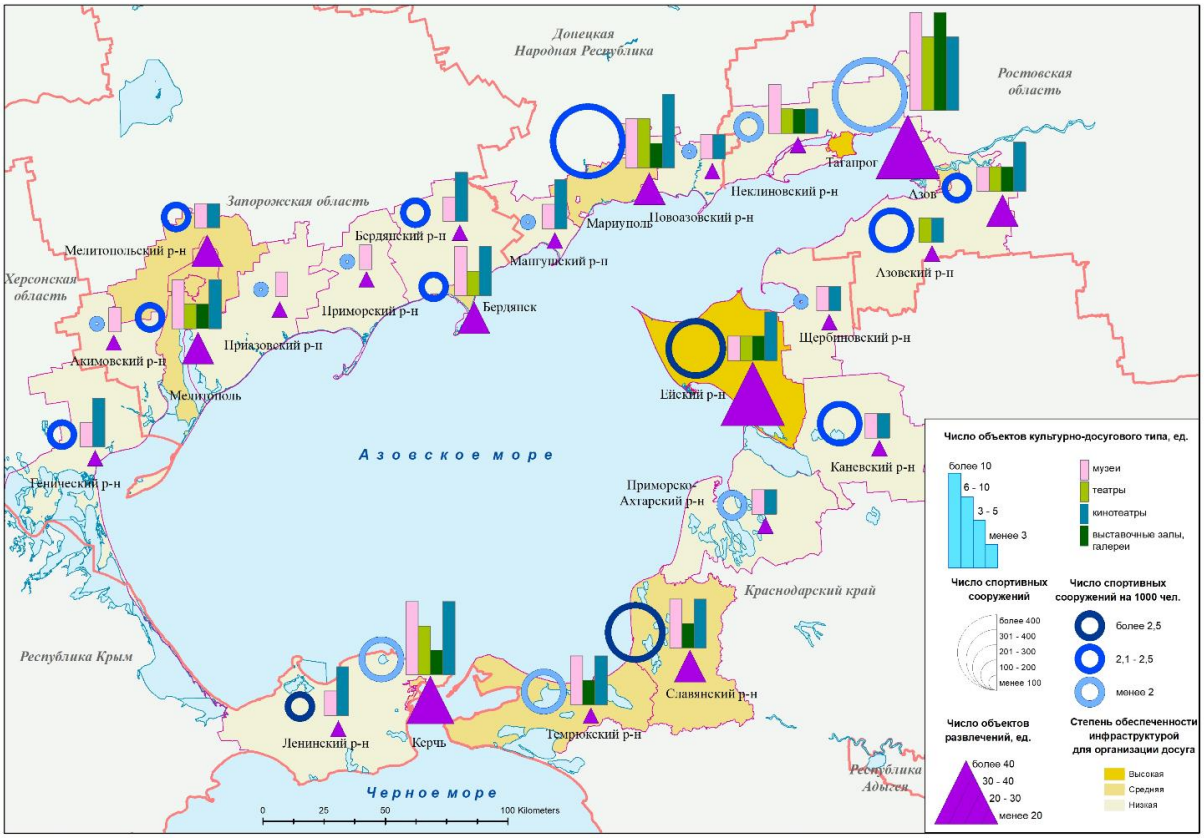


Рис. 2. Инфраструктура для организации досуга туристов в Приазовье, 2024 г.
Fig. 2. Infrastructure for organizing leisure activities for tourists in the Azov Sea region, 2024

С 2010 года в муниципальных образованиях Приазовья велось строительство физкультурно-оздоровительных комплексов не только в городах, но и в сельской местности. Примером может служить Азовский район, где в этот период были сооружены: ФОК – в с. Порт-Катон, спортивный зал и бассейн в с. Александровка, хоккейное поле в с. Кулешовка и др. Тем не менее в большинстве муниципальных районов нормативные показатели пока не достигнуты. В новых регионах Приазовья в период военных действий 2022 г. многие объекты были частично или полностью разрушены, сейчас на более чем 80 из них ведутся ремонтно-восстановительные работы.

В системе проката туристского оборудования и снаряжения наиболее популярен прокат плавательных средств. Данное направление получило развитие преимущественно в Ейском, Приморско-Ахтарском, Темрюкском районах; этот вид сервиса налажен домами отдыха, кемпингами, гостевыми домами и другими средствами размещения, частными владельцами яхт, лодок и катеров, а также оборудованными пляжами.

Объекты культуры сконцентрированы в городах региона. Из 293 культурно-досуговых учреждений более 45 % составляют школы танцев, 23 % – кинотеатры; ощущается дефицит тематических музеев, выставочных залов и галерей.

Большинство курортов Приазовья отличается хаотичным скоплением торговых ларьков непосредственно в пляжных зонах. На пляжах с высоким уровнем функциональной организации торговые ряды выстроены в одну линию или вынесены во «въездные ворота» пляжа (например, Центральный городской пляж Ейска). Торговые центры региона пока не могут претендовать на масштабное развитие шоппинг-туризма, однако с учетом превращения ТЦ в центры «lifestyle» (стиля жизни), где посетители стремятся приятно провести время с различными целями, особую злободневность приобретает задача обеспечения их оптимального количества и уровня обустройства.

Развлекательная деятельность в Приазовье представлена главным образом пляжной анимацией – игровыми детскими площадками и аттракционами, аквапарками, морскими водно-развлекательными занятиями (катание на бананах, гидроциклах, катамаранах), водноспортивными занятиями (каякинг, сапбординг, виндсерфинг, кайтбординг), а также пляжными командными играми. Так, пляж «Волна» на Павлово-Очаковской косе (Азовский район, Ростовская область), получивший свидетельство Национальной сертификации пляжей категории «Синий флаг» за высокий уровень оборудованности и безопасности, имеет и достаточно широкий ассортимент развлекательных услуг. Пляж Ейска «Елена Wave», помимо прочих, предлагает услуги кайт-клуба и обучения виндсерфингу на специальной искусственной волне. Крупные пляжи организуют пляжные клубы с ежевечерними программами, тематическими вечеринками, выступлениями известных диджеев.

По сравнению с многими черноморскими курортными центрами (Ялта, Сочи и др.) для Приазовья в целом характерен низкий уровень оснащенности и разнообразия анимационного сервиса в отелях. В частности, обращает на себя внимание отсутствие концертных залов и площадок для проведения развлекательных шоу, концертов и фестивалей не только в средствах размещения бюджетного типа, но и в отелях класса 4–5*. Среди городов региона выделяются Таганрог с 66 развлекательными центрами (значительная их часть ориентирована на детскую аудиторию) и 40 ночными клубами, а также Керчь и Ейск. Существенно слабее уровень анимационной активности в небольших курортных городских поселениях – Темрюке, Славянске-на-Кубани, Приморско-Ахтарске, Азове. На курортах Западного Приазовья лидером по числу и разнообразию доступных развлечений был Бердянск, однако вследствие сложной геополитической ситуации большинство объектов развлечения не функционирует. Аналогичная ситуация наблюдается в Геническе и его пригородах.

Существенным недостатком многих анимационных объектов Приазовья, в первую очередь связанных с аквааниматией, является сезонный режим их работы.

Для оценки *трудоресурсного потенциала Приазовья* в контексте задач перспективного туристско-рекреационного освоения была проанализирована динамика демографической ситуации. В целом для всех регионов Приазовья характерна естественная убыль населения, а наиболее сложная демографическая ситуация сложилась в исторических регионах – Херсонской и Запорожской областях, Донецкой Народной Республике [14]. Наибольший отток населения был характерен для весны-лета 2022 г., при этом убыль городского населения была гораздо выше, чем сельского. Максимальные потери населения понесли приднепровские города и поселенческая сеть прифронтовой зоны Запорожской области. В обеих областях выявлены деформация возрастной структуры населения (значительный рост доли пожилых и старых людей) и дефицит специалистов в основных сферах социально-экономической деятельности [21].

В большинстве регионов Приазовья наблюдается механическая убыль населения. Рост численности населения за счет миграционного прироста характерен только для наиболее развитого и освоенного в туристском отношении Темрюкского района. В целом негативные процессы естественного и механического движения населения усиливают рост демографической нагрузки в регионе и обусловливают дефицит трудовых ресурсов в ближайшей перспективе.

Проведенный в экспедиционный период 2024 г. онлайн-опрос представителей турбизнеса и администраций регионов Приазовья подтвердил нехватку рабочей силы для сферы туризма и гостеприимства региона, что связано с незначительным объемом выпуска и дальнейшим трудоустройством выпускников профильных направлений подготовки, сезонностью занятости в сфере гостеприимства, а в исторических

регионах в современных условиях – нестабильностью деятельности из-за геополитической ситуации и незначительного объема туристского потока. Администрации муниципальных образований часто ориентируются на поиск и привлечение специалистов из других регионов страны, используя для этого инструменты государственной поддержки в части субсидируемой миграции (отметили 21,4 % респондентов).

Уровень развития транспортной инфраструктуры выступает важнейшим фактором туристско-рекреационного освоения Приазовья. Многие авторы отмечают наличие сложных транспортных проблем в регионе [8; 19]. Нами обозначены следующие направления по оптимизации транспортно-логистической ситуации:

– автомобильные дороги местного значения практически во всем Приазовье имеют низкое качество дорожного покрытия. Например, по данным Федеральной службы государственной статистики, в 2023 г. в Ленинском районе Республики Крым доля дорог, не отвечающих нормативным требованиям, составляла 57,2 % от общей протяженности дорог, а в городском округе Керчь – 33,1 %;

– отсутствие удобных подъездных путей к средствам размещения («Абрау Дюрсо на плавнях», базы отдыха косы Пересыпь, объекты Арабатской Стрелки Херсонской области и др.) и объектам экскурсионного показа. Показателен пример транспортно-логистической проблемы урочища Кучугуры – доступ к нему осуществляется через участок местной дороги х. Верхний – урочище Кучугуры, 9 км из 13 км которой выполнены в гравийном исполнении;

– слабый уровень оснащенности автомобильных трасс заправочными станциями и объектами придорожного сервиса;

– строительство кольцевой трансазовской автомобильной магистрали. Согласно проекту скоростного транспортного сообщения вокруг Азовского моря, кольцевая автодорога протяженностью 1400 км объединит трассы М-4 «Дон» и «Таврида» и свяжет Ростов-на-Дону, Таганрог, Новоазовск, Мариуполь, Бердянск, Мелитополь, Геническ, Джанкой, Керчь, далее через Крымский мост – Темрюк, Ейск, Азов [1; 22];

– отсутствие современных пассажирских портов для реализации морских пассажирских, круизных и экскурсионных перевозок по Азовскому морю. АСИ также отмечает необходимость расширения причального фронта и создание сети марин 2, 3, 4 поколения [10];

– восстановление аэропортов, аэродромов и использование потенциала малой авиации в развитии авиационного спорта и туризма [4].

Значительный туристско-рекреационный потенциал Приазовья для развития купально-пляжной рекреации, лечебно-оздоровительного, культурно-познавательного и других видов туризма обусловливает высокий уровень инвестиционной привлекательности не только непосредственно туристской отрасли, но и связанных с ней отраслей – агропромышленного комплекса, гостиничного хозяйства и предприятий общественного питания, транспортно-дорожной, портовой инфраструктуры и пр. Государственная поддержка и реализация федеральных проектов в регионе создают дополнительные стимулы для инвестиционной активности, привлечения не только государственных, но и частных инвесторов [18].

Инвестиционная деятельность в сфере рекреации и туризма имеет выраженные региональные различия. 73,38 % объема инвестиций в основной капитал приходится на Кубанское Приазовье; здесь реализуется 18 инвестпроектов в санаторно-курортной сфере и выделено 22 инвестиционно-привлекательных земельных участка [16]. В Ейском районе доля туристско-рекреационных проектов в отраслевом инвестиционном портфеле составляет 17 %, в Темрюкском – 34 %.

В Ростовской области завершен инвестиционный проект по строительству лечебно-оздоровительного комплекса «Морской лев» в пос. Приазовский Неклиновского района стоимостью 280 млн руб., а также строительство пансионата «Легенда» для привлечения населения для занятий спортом, проведения соревнований, спортивных сборов, фестивалей стоимостью 150 млн руб. Город Азов в рамках федерального подпроекта «Повышение туристической привлекательности города Азова – стратегический фактор развития региона» получит 1,62 млрд руб. [12]. Деньги будут направлены на реконструкцию «Остатков Азовской крепости», «Стены Верхне-Таганрогских ворот», «Дома коменданта крепости» и на строительство центра декоративно-прикладного искусства и народных промыслов. В Таганроге в 2022 году был представлен проект по созданию всесезонного туристического кластера «Приазовье» – одного из ключевых мероприятий дорожной карты по комплексному развитию Таганрога. Успешная реализация проекта позволит привлечь инвестиции в размере 2 млрд руб., создать более 200 новых рабочих мест, обеспечить стабильный турпоток, сформировать имидж города как территории, благоприятной для комфортного круглогодичного отдыха [5].

Для исторических регионов Приазовья период 2022–2023 гг. характеризовался резким спадом экономической активности, связанным с проведением СВО. В настоящее время ожидается постепенное восстановление объема ВРП, уже отмечается рост деловой активности во многих сферах экономики, в первую очередь в агропромышленном комплексе, энергетическом и промышленном секторах. Важность активизации инвестиционных процессов в регионе стала повесткой на Первом Таврическом инвестиционно-экономическом форуме (ТИЭФ), который был проведен в ноябре 2024 г. в Геническе Херсонской области. В форуме приняли участие 177 предпринимателей, заинтересованных в реализации проектов на территории Донбасса и Новороссии [2]. На исторических территориях действует свободная экономическая зона (СЭЗ) до 31 декабря

2050 г., а для участников СЭЗ введены специальные налоговые льготы – освобождение от земельного налога на 3 года, освобождение от налога на имущество в течение 10 лет, снижены основные ставки налога на прибыль – с 20 до 0–13,5 % с учетом ускоренной амортизации в отношении основных средств с коэффициентом 2; ставки страховых взносов снижены с 30 до 7,6 % в течение 5 лет.

В 2024–2025 годы Херсонская область получила 509 млн руб. на развитие туризма в рамках программы социально-экономического развития области [23]; основные средства будут направлены на развитие приморской инфраструктуры, создание круглогодичных курортов и филиала арт-кластера «Таврида» в с. Счастливцево на Арабатской стрелке. Крупнейшим инвестиционным проектом в Запорожской области является проект круглогодичного морского курорта «Приморск» на 6000 га. Привлечение 351 млрд руб. инвестиций со строительством только на первом этапе более 5 тыс. гостиничных номеров позволит организовать около 1200 новых рабочих мест и принимать более 700 тыс. туристов в год. В Донецкой Народной Республике разработано 10 инвестиционных проектов, связанных со строительством гостиниц, баз отдыха и детских оздоровительных лагерей, благоустройством социально-городской среды на побережье Азовского моря, а также созданием 5 туристских кластеров [17].

В заключительной части исследования, посвященного изучению факторов рекреационного освоения Приазовья, проведена оценка степени благоприятности социально-экономической среды отдельных регионов Приазовья для развития рекреации и туризма. Исходные показатели, расчетные значения и результаты оценивания отражены в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Оценка степени благоприятности социально-экономической среды
в отдельных регионах Приазовья для развития рекреации и туризма
Assessment of the favorability of the socio-economic environment
for the development of recreation and tourism in certain territories of the Azov Sea region

Городские округа, муниципальные районы	*Оборот розничной торговли в расчете на 1 чел., тыс. руб.*	*Инвестиции в основной капитал на 1 чел., тыс. руб.*	*Плотность автомобильных дорог, км/100 км²*	*Число мест в коллективных средствах размещения на 1000 чел.*	*Удельный вес занятых от общей численности населения, %*	*Интегральный индекс*	*Оценка степени благоприятности социально-экономической среды*
	k_q= 0,1	k_q= 0,2	k_q= 0,3	k_q= 0,3	k_q= 0,1		
Неклиновский	68,6	38,1	60,0	124,3	9,4	0,0667	Средняя
Таганрог	183,6	52,5	59,9	8,7	21,7	0,0378	Низкая
Азов и Азовский район	76,5	13,0	39,3	9,6	12,9	0,0246	Низкая
Щербиновский	66,4	43,8	46,0	3,5	15,4	0,0267	Низкая
Ейский	116,3	15,9	66,3	68,9	13,6	0,0543	Средняя
Каневской	99,0	40,9	31,5	2,8	16,7	0,0267	Низкая
Приморско-Ахтарский	87,5	9,6	27,5	11,9	10,8	0,0232	Низкая
Славянский	126,1	134,5	54,6	10,8	22,7	0,0463	Низкая
Темрюкский	166,4	506,1	34,5	121,2	26,2	0,1138	Высокая
Керчь	49,5	43,1	303,5	34,0	14,4	0,0803	Средняя
Ленинский	26,6	14,9	18,8	89,9	9,4	0,0406	Низкая

В расчет принималось пять наиболее значимых для успешного функционирования туристско-рекреационного комплекса параметров. В итоге высокую оценку получил Темрюкский район, среднюю – Неклиновский, Ейский районы и г. Керчь, низкую – Азовский, Щербиновский, Каневской, Приморско-Ахтарский, Славянский районы и г. Таганрог (последний – вследствие малых показателей обеспеченности коллективными средствами размещения). Районы Херсонской, Запорожской областей и Донецкой Народной Республики в процедуре оценивания не участвовали в связи с отсутствием достоверной и сопоставимой исходной статистической информации. Однако по ряду имеющихся показателей можно предположить, что в большинстве муниципальных образований этих субъектов РФ социально-экономический фон развития туристско-рекреационной деятельности пока остается неблагоприятным.

Выводы

Факторы и условия социально-экономической среды определяют саму возможность туристско-рекреационного освоения определенной территории, а также влияют на скорость и пространственно-временную структуру данного процесса. В пионерных районах процесс туристско-рекреационного освоения тормозится отсутствием необходимой материально-технической и социальной инфраструктуры, в то время как в освоенных районах нерекреационной специализации актуальными проблемами становятся смена функций территории и необходимость разрешения возникающих межотраслевых конфликтов.

Приазовский регион обладает значительным нереализованным туристско-рекреационным потенциалом, однако социально-экономическая среда процесса туристско-рекреационного освоения отличается высокой степенью пространственной дифференциации. Имеются значительные диспропорции между традиционными рекреационными районами Ростовской области, Краснодарского края, Республики Крым и новыми территориями Российской Федерации в обеспеченности коллективными средствами размещения, объектами общественного питания, транспортной инфраструктурой, трудовыми и финансовыми ресурсами. Преодоление разрыва в степени благоприятности социально-экономической среды возможно путем реализации стратегий социально-экономического развития городских советов и муниципальных образований региона, базирующихся на инновационно-инвестиционной модели развития рекреации и туризма и использовании государственно-частного партнерства.

Курорты и туризм должны играть приоритетную роль в общественной организации территории регионов Приазовья при условии бесконфликтного сочетания рекреационной функции с производственными, селитебными, природоохранными, транспортно-логистическими и прочими функциями территории.

Библиографический список

1. Азовское море до конца 2024 года возьмут в кольцо : сайт. URL: https://rg.ru/2023/08/23/reg-ufo/azovskoe-more-do-konca-2024-goda-vozmut-v-avtodorozhnoe-kolco.html?ysclid=m3vgsjj2lv417752599 (дата обращения: 23.09.2024)

2. В Геническе состоялся первый в Донбассе и Новороссии экономический форум : сайт. URL: https://tass.ru/ekonomika/22414069?ysclid=m3q45frcvc480761543 (дата обращения: 05.08.2025)

3. *Веселов Д. С., Рябошапко О. В., Сергеева И. С.* Темрюкский район как перспективная зона развития рекреационной сферы на Азово-Черноморском побережье // Курортно-рекреационный комплекс в системе регионального развития: материалы II рег. науч.-практ. конф. (Краснодар, 22 апреля 2005 г.). Краснодар: Просвещение-Юг, 2005. С. 39–44. EDN: SUEMJL

4. В Краснодарском крае планируют развивать сферу малой авиации : сайт. URL: https://tvkrasnodar.ru/obshchestvo/2022/08/30/v-krasnodarskom-krae-planiruyut-razvivat-sferu-maloy-aviatsii/ (дата обращения: 12.11.2024)

5. В Таганроге проект туристического кластера «Приазовье» позволит привлечь 2 млрд рублей инвестиций : сайт. URL: https://www.donland.ru/news/18386/ (дата обращения: 26.10.2024)

6. *Волкова Т. А., Беликов М. Ю.* Побережья Черного и Азовского морей как основные рекреационные зоны Краснодарского края // Успехи современного естествознания. 2021. № 8. С. 41–46. DOI: 10.17513/use.37668 EDN: QDHHUY

7. География рекреационных систем СССР. М.: Наука, 1980. 219 с.

8. *Горошкина Е. Ю., Ярош Е. Ю.* Исследование качества автомобильных дорог общего пользования в Республике Крым // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2020. Т. 6, № 4. С. 261–270. EDN: NMLZPX

9. *Джум Т. А., Заднепровская Е. Л., Ползикова Е. В.* Анализ развития общественного питания на курортных территориях Краснодарского края // Сервис в России и за рубежом. 2018. Т. 12, № 2(80). С. 90–101. DOI: 10.24411/1995-042X-2018-10207 EDN: YUVGRN

10. Для пассажирского сообщения в Азовском море необходим ремонт причалов и постройка новых : сайт. URL: https://morvesti.ru/news/1679/110021/?ysclid=m3vgw479vc534152169 (дата обращения: 18.11.2024)

11. *Ивлиева О. В., Кушнир К. В.* Современное состояние средств размещения туристов на российском побережье Азовского моря // Географический вестник. 2017. № 3(42). С. 116–125. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-3-116-125 EDN: ZOWURV

12. Импульс в ₽1,6 млрд: как Азов будет развивать туристический потенциал : сайт. URL: https://rostov.rbc.ru/rostov/22/07/2022/62da6e5e9a794758bb289c2b (дата обращения: 15.11.2024)

13. *Ирисова Т. А., Колотова Е. В., Денисова Д. В.* Проблемы и перспективы рекреационного освоения Азовского побережья России // Индустрия туризма: возможности, приоритеты, проблемы и перспективы. 2016. Т. 9, № 1. С. 74–97. EDN: XEGILH

14. *Коваленко В. П., Стрельченко Д. И.* Демографическая ситуация в Донецкой Народной Республике в контексте качества жизни населения // Вестник Института экономических исследований. 2023. № 2(30). С. 97–108. EDN: ERJQYI

15. *Кушнир К. В.* Опорный туристско-рекреационный каркас Российского Приазовья и перспективы его развития // Современные проблемы сервиса и туризма. 2023. Т. 17, № 2. С. 110–119. DOI: 10.5281/zenodo.7997374 EDN: UNCNDP

16. На Азовском побережье Кубани реализуются 18 туристических инвестпроектов : сайт. URL: https://south.vedomosti.ru/south/news/2024/07/25/1052067-na-azovskom-poberezhe-kubani-realizuyutsya-18-turisticheskih-investproektov?from=copy_text (дата обращения: 06.11.2024)

17. На Азовском побережье ДНР планируют создать пять туристических кластеров : сайт. URL: https://regnum.ru/news/3902210 (дата обращения: 05.11.2024).

18. *Овчаренко Л. А., Черкашина Т. В.* Перспективы развития туризма в ДНР в контексте формирования эффективного механизма государственно-частного партнерства // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. 2022. № 4(42). С. 153–161. DOI: 10.17122/2541-8904-2022-4-42-153-161 EDN: ERLZOT

19. *Патракеева О. Ю.* Транспортная инфраструктура Ростовской области: проблемы и перспективы развития в контексте реализации национальных проектов // Экономический анализ: теория и практика. 2020. Т. 19, № 6(501). С. 1015–1034. DOI: 10.24891/ea.19.6.1015 EDN: IIKJSY

20. *Сажнева Н. М.* Территориальная организация приморских рекреационных систем оазисного типа освоения (на материалах Западного Приазовья): автореф. дис…канд. геогр. Наук / Ленингр. гос. ун-т. Л., 1988. 17 с. EDN: ZJZETH

21. *Сущий С. Я.* Северное Причерноморье – Приазовье: демографо-экономический потенциал и перспективы хозяйственного развития новых регионов России // Регионология. 2024. Т. 32, № 2. С. 345–367. DOI: 10.15507/2413-1407.127.032.202402.345-367 EDN: DPDTYO

22. Транспортные маршруты вокруг Азовского моря планируют модернизировать : сайт. URL: https://taganrogprav.ru/transportnye-marshruty-vokrug-azovskogo-morya-planiruyut-modernizirovat/?ysclid=m3ve7yjzsh366696545 (дата обращения: 05.11.2024)

23. Херсонская область получит более 500 млн рублей на развитие туризма : сайт. URL: https://bloknot-herson.ru/news/khersonskaya-oblast-poluchit-bolee-500-mln-rubley--1783047 (дата обращения: 14.11.2024).

24. *Яковенко И. М., Карлов Л. С.* Методические подходы к оценке социально-экономической среды региона для развития культурного туризма // Туристско-рекреационный комплекс в системе регионального развития: мат. XI междун. науч.-практ. конф. (Небуг, 12–16 апреля 2023 г.). Небуг: Кубанский государственный университет, 2023. С. 375–378. EDN: MXCLLL

25. Яндекс Карты : сайт. URL: https://yandex.ru/maps (дата обращения: 14.11.2024)

References

1. *Azovskoe more do konca 2024 goda voz'mut v kol'co* [The Azov Sea will be encircled by the end of 2024]. (In Russ.) URL: https://rg.ru/2023/08/23/reg-ufo/azovskoe-more-do-konca-2024-goda-vozmut-v-avtodorozhnoe-kolco.html?ysclid=m3vgsjj2lv417752599 (Accessed 23 September 2024).

2. *V Genicheske sostojalsja pervyj v Donbasse i Novorossii jekonomicheskij forum* [The first economic forum in Donbass and Novorossiya was held in Genichesk] (In Russ.). URL: https://tass.ru/ekonomika/22414069?ysclid=m3q45frcvc480761543 (Accessed 5 August 2025).

3. Veselov D. S., Rjaboshapko O. V., Sergeeva I. S. Temryukskii raion kak perspektivnaya zona razvitiya rekreatsionnoi sfery na Azovo-Chernomorskom poberezh'e [Temryuksky district as a promising zone for the development of the recreational sphere on the Azov-Black Sea coast]. In *Kurortno-rekreatsionnyi kompleks v sisteme regional'nogo razvitiya: Mat. II Reg. nauch.-prakt. konf. (Krasnodar, 22 aprelya 2005 g.)*. Krasnodar: Prosveshchenie-Yug, 2005, pp. 39–44. (In Russ.) EDN: SUEMJL

4. *V Krasnodarskom krae planirujut razvivat' sferu maloj aviacii* [The Krasnodar region plans to develop the field of small aircraft]. (In Russ.) URL: https://tvkrasnodar.ru/obshchestvo/2022/08/30/v-krasnodarskom-krae-planiruyut-razvivat-sferu-maloy-aviatsii/ (Accessed 12 November 2024).

5. *V Taganroge proekt turisticheskogo klastera «Priazov'e» pozvolit privlech' 2 mlrd rublej investicij*. [The Priazovye tourism cluster project in Taganrog will attract 2 billion rubles of investment]. (In Russ.) URL: https://www.donland.ru/news/18386/ (Accessed 26 October 2024).

6. Volkova T. A., Belikov M. Ju. The coast of the Black and the Sea of Azov as the main tourist and recreation zones of the Krasnodar Region. *Advances in current natural sciences*, 2021, no. 8, pp. 41–46. (In Russ.) DOI: 10.17513/use.37668. EDN: QDHHUY

7. *Geografija rekreacionnyh sistem SSSR* [Geography of recreational systems of the USSR]. Nauka, Moscow, 1980. 219 p. (In Russ.)

8. Goroshkina E. Ju., Jarosh E. Ju. Issledovanie kachestva avtomobil'nykh dorog obshchego pol'zovaniya v Respublike Krym [Research on the Quality of Public Roads in the Republic of Crimea]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, 2020, vol. 6, no. 4, pp. 261–270. (In Russ.) EDN: NMLZPX

9. Dzhum T. A., Zadneprovsky E. L., Polzikova E. V. Analyzing civil society development in the resort territories of Krasnodar krai. *Servis v Rossii i za rubezhom [Services in Russia and Abroad]*, 2018, vol. 12, no. 2(80), pp. 90–101. (In Russ.) DOI: 10.24411/1995-042X-2018-10207. EDN: YUVGRN

10. *Dlja passazhirskogo soobshhenija v Azovskom more neobhodim remont prichalov i postrojka novyh* [Passenger traffic in the Sea of Azov requires the repair of berths and the construction of new ones]. (In Russ.) URL: https://morvesti.ru/news/1679/110021/?ysclid=m3vgw479vc534152169 (Accessed 18 November 2024).

11. Ivlieva O. V., Kushnir K. V. The current state of tourist accommodation on the Russian coast of the Azov Sea. *Geographical bulletin*, 2017, no. 3(42), pp. 116–125. (In Russ.) DOI: 10.17072/2079-7877-2017-3-116-125. EDN: ZOWURV

12. *Impul's v ₽1,6 mlrd: kak Azov budet razvivat' turisticheskij potencial* [1,61.6 billion impulses: how will Azov develop its tourism potential]. (In Russ.) URL: https://rostov.rbc.ru/rostov/22/07/2022/62da6e5e9a794758bb289c2b (Accessed 15 November 2024).

13. Irisova T. A., Kolotova E. V., Denisova D. V. Problemy i perspektivy rekreatsionnogo osvoeniya Azovskogo poberezh'ya Rossii [Problems and Prospects of Recreational Development of the Azov Coast of Russia]. *Industriya turizma: vozmozhnosti, prioritety, problemy i perspektivy*, 2016, vol. 9, no. 1, pp. 74–97. (In Russ.) EDN: XEGILH

14. Kovalenko V. P., Strel'chenko D. I. Demograficheskaya situatsiya v Donetskoi Narodnoi Respublike v kontekste kachestva zhizni naseleniya [Demographic Situation in the Donetsk People's Republic in the Context of the Population's Quality of Life]. *Vestnik Instituta ekonomicheskikh issledovanii*, 2023, no. 2(30), pp. 97–108. (In Russ.) EDN: ERJQYI

15. Kushnir, K. V. The basic tourist and recreational framework of the Russian Azov Sea region and the prospects of its development. *Sovremennye problemy servisa i turizma [Service and Tourism: Current Challenges]*, 2023, vol. 17, no. 2, pp. 110–119. (In Russ.) DOI: 10.5281/zenodo.7997374. EDN: UNCNDP

16. *Na Azovskom poberezh'e Kubani realizujutsja 18 turisticheskih investproektov* [18 tourist investment projects are being implemented on the Azov coast of Kuban]. (In Russ.) URL: https://south.vedomosti.ru/south/news/2024/07/25/1052067-na-azovskom-poberezhe-kubani-realizuyutsya-18-turisticheskih-investproektov?from=copy_text (Accessed 6 November 2024).

17. *Na Azovskom poberezh'e DNR planirujut sozdat' pjat' turisticheskih klasterov* [There are plans to create five tourist clusters on the Azov coast of the DPR]. (In Russ.) URL: https://regnum.ru/news/3902210 (Accessed 5 November 2024).

18. Ovcharenko L. A., Cherkashina T. V. Prospects for the tourism development in the DPR in the context of forming an effective public-private partnership structure. *Bulletin USPTU. Science, education, economy. Series economy*, 2022, no. 4(42), pp. 153–161. (In Russ.) DOI: 10.17122/2541-8904-2022-4-42-153-161. EDN: ERLZOT

19. Patrakeeva O. Yu. Transport Infrastructure of the Rostov Oblast: Problems and Prospects for Development in the Context of National Projects Implementation. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2020, vol. 19, no. 6(501), pp. 1015–1034. (In Russ.) DOI: 10.24891/ea.19.6.1015. EDN: IIKJSY

20. Sazhneva N. M. Territorial'naya organizatsiya primorskikh rekreatsionnykh sistem oazisnogo tipa osvoeniya (na materialakh Zapadnogo Priazov'ya) [Territorial organization of coastal recreational systems of the oasis type of development (based on the materials of the Western Azov region)]. Extended abstract of Cand.Sc. dissertation, Leningrad State University, 1988. 17 p. (In Russ.)

21. Suschiy S. Ya. Northern Black – Azov Sea Region: Demographic and Economic Potential and Prospects of Economic Development of New Regions of Russia. *Russian Journal of Regional Studies.*, 2024, vol. 32, no. 2, pp. 345–367. (In Russ.) DOI: 10.15507/2413-1407.127.032.202402.345-367

22. *Transportnye marshruty vokrug Azovskogo morja planirujut modernizirovat'* [Transport routes around the Sea of Azov are planned to be upgraded]. (In Russ.). URL: https://taganrogprav.ru/transportnye-marshruty-vokrug-azovskogo-morya-planiruyut-modernizirovat/?ysclid=m3ve7yjzsh366696545 (Accessed 5 November 2024).

23. *Hersonskaja oblast' poluchit bolee 500 mln. rublej na razvitie turizma* [The Kherson region will receive more than 500 million rubles for the development of tourism]. (In Russ.). URL: https://bloknot-herson.ru/news/khersonskaya-oblast-poluchit-bolee-500-mln-rubley--1783047 (Accessed 14 November 2024).

24. Jakovenko I. M., Karlov L. S. Metodicheskie podkhody k otsenke sotsial'no-ekonomicheskoi sredy regiona dlya razvitiya kul'turnogo turizma [Methodological Approaches to Assessing the Socioeconomic Environment of a Region for the Development of Cultural Tourism]. In *Turistsko-rekreatsionnyi kompleks v sisteme regional'nogo razvitiya: Mat. XI Mezhdun. nauch.-prakt. konf. (Nebug, 12–16 aprelya 2023 g.)*. Nebug: Kubanskii gosudarstvennyi universitet, 2023, pp. 375–378. (In Russ.) EDN: MXCLLL

25. *Yandeks Karty* [Yandex Maps]. (In Russ.) URL: https://yandex.ru/maps (Accessed 14 November 2024).

Статья поступила в редакцию: 24.12.25, одобрена после рецензирования: 23.03.26, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 24 December 2025; approved after review: 23 March 2026; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах

Ирина Михайловна Яковенко
Доктор географических наук, профессор,
заведующая кафедрой туризма,
Крымский федеральный университет
им. В. И. Вернадского;
295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, д. 4
ORCID: 0009-0006-4707-6549, SPIN-код: 6157-4858,
eLibrary AuthorID: 871278

Information about the authors

Irina M. Yakovenko
Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Tourism, V. I. Vernadsky Crimean Federal University;
4, prospekt Akademika Vernadskogo, Simferopol, 295007, Russia
ORCID: 0009-0006-4707-6549, SPIN-code: 6157-4858,
eLibrary AuthorID: 871278

e-mail: yakovenko-tnu@ya.ru

Наталья Васильевна Страчкова
Кандидат географических наук,
декан факультета географии, геоэкологии и туризма,
Крымский федеральный университет
им. В. И. Вернадского;
295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, д. 4
ORCID: 0000-0002-3852-0592, SPIN-код: 1592-9009,
eLibrary AuthorID: 797358

Natalya V. Strachkova
Candidate of Geographical Sciences, Dean of the Faculty of Geography, Geoecology, and Tourism,
V. I. Vernadsky Crimean Federal University;
4, prospekt Akademika Vernadskogo, Simferopol, 295007, Russia
ORCID: 0000-0002-3852-0592, SPIN-code: 1592-9009,
eLibrary AuthorID: 797358

e-mail: natastrachkova@mail.ru

Вклад авторов

Яковенко И. М. – идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, разработка и построение картографических материалов.

Страчкова Н. В. – сбор материала, обработка материала, написание статьи, редактирование текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Irina M. Yakovenko – idea; material collection and processing; writing of the article; development and construction of cartographic materials.

Natalya V. Strachkova – material collection and processing; writing of the article; editing of the text.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

.

Научная статья
УДК 911.5:338.48(100)
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-186-199
EDN: AQMLBF

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТУРИСТСКОЙ ЕМКОСТИ ТЕРРИТОРИИ

Анна Юрьевна Александрова ✉
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия
✉ analexan@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1772-8431, Scopus Author ID: 7003949615, ResearcherID: D-6234-2015

Аннотация. Современные формы освоения туристского пространства, сопряженные со сверхтуризмом и реализацией крупномасштабных инвестиционных проектов, актуализируют вопрос, является ли оценка туристской емкости территории (ТЕТ) заманчивой утопией или эффективным рабочим инструментом. Цель исследования – определить возможность и результативность использования концепции ТЕТ для устойчивого развития туризма. В рамках научной дискуссии представлена оригинальная концептуальная рамка изучения ТЕТ, основанная на управляемости, адаптивности и устойчивости. ТЕТ рассматривается как своеобразный динамический маркер жизнедеятельности территории, интегративный индикатор и гибкий инструмент адаптивного управления туристскими потоками для долгосрочного процветания туристской дестинации, способный обеспечить баланс между экологическими, социокультурными и экономическими компонентами в условиях стремительно возрастающей туристской нагрузки. На основе анализа свыше 1000 наиболее значимых научных работ, высокорелевантных теме исследования, проведена периодизация истории научных воззрений на ТЕТ с середины XX в. Выделено шесть главных ее этапов – от главенства цифр при оценке ТЕТ до современного многомерного и динамического моделирования, в том числе с использованием новейших интеллектуальных вычислительных методов. Сформулированы перспективные направления дальнейших исследований ТЕТ. Сделан вывод о том, что успешное применение ТЕТ требует научного сопровождения в сочетании с вовлеченностью местных сообществ и гибкой регуляторной политикой, ориентированной на долгосрочную устойчивость туристских дестинаций, а не на сиюминутные выгоды. Подлинная ТЕТ оценивается не числом туристов, а качеством жизни будущих поколений, которое мы закладываем сегодня.

Ключевые слова: туристская емкость территории, рекреационная нагрузка, адаптивное управление, сверхтуризм, устойчивое развитие, моделирование

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В.Ломоносова «Географические технологии комплексного освоения и устойчивого развития туристско-рекреационного пространства регионов России и мира в условиях глобальных изменений».

Для цитирования: Александрова А. Ю. Методологические ограничения и практические вызовы измерения туристской емкости территории // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 186–199. EDN: AQMLBF DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-186-199

Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-186-199
EDN: AQMLBF

METHODOLOGICAL LIMITATIONS AND PRACTICAL CHALLENGES IN MEASURING THE TOURISM CARRYING CAPACITY OF A DESTINATION

Anna Yu. Aleksandrova ✉
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
✉ analexan@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1772-8431, Scopus Author ID: 7003949615, ResearcherID: D-6234-2015

Abstract. Contemporary patterns of tourist space appropriation, driven by overtourism and large-scale investment projects, have brought renewed urgency to the question of whether carrying capacity assessments represent an alluring utopia or an effective practical tool. This study aims to determine the feasibility and efficacy of applying the concept of tourism carrying capacity (TCC) to foster sustainable tourism development. Within an ongoing scholarly debate, the paper proposes an original conceptual framework for analyzing TCC, grounded in the principles of manageability, adaptability, and sustainability. TCC is reconceptualized as a dynamic marker of territorial vitality, an integrative indicator, and a

© Александрова А. Ю., 2026

Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

flexible instrument for adaptive tourism flow management aimed at ensuring the long-term prosperity of tourist destinations by balancing ecological, socio-cultural, and economic dimensions under rapidly intensifying tourism pressure. Drawing on a systematic analysis of over 1,000 highly relevant and influential academic publications, the study traces the evolution of scientific perspectives on TCC since the mid-20th century, identifying six distinct historical phases − from early quantitative approaches focused on numerical thresholds to contemporary multidimensional, dynamic modeling, this increasingly incorporating advanced computational and artificial intelligence techniques. The paper outlines promising avenues for future TCC research and concludes that successful implementation of TCC requires robust scientific support, active engagement of local communities, and adaptive regulatory policies oriented toward the long-term sustainability of tourist destinations rather than short-term gains. Genuine carrying capacity should not be measured by tourist numbers alone, but by the quality of life we secure for future generations through the decisions we make today.

Keywords: tourism carrying capacity, recreational pressure, adaptive management, overtourism, sustainable development, modeling

Funding. The study was conducted under the state assignment of Lomonosov Moscow State University “Geographic technologies for integrated development and sustainable management of tourism and recreational spaces in Russian and global regions under conditions of global changes”.

For citation: Aleksandrova A. Yu. Methodological limitations and practical challenges in measuring the tourism carrying capacity of a destination. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 186–199. EDN: AQMLBF DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-186-199

Введение

Оценка туристской (рекреационной) емкости (пропускной способности, несущей способности) территории – одна из немногих тем наряду с оценкой туристско-рекреационного потенциала, к которой географы и специалисты смежных областей знаний обращаются уже не одно десятилетие. В последнее время научная дискуссия вспыхнула с новой силой в связи с проблемой сверхтуризма.

В начале XXI века одним из серьезных вызовов для современного общества стал сверхтуризм как результат реализации модели массового, конвейерного туризма, основанной на эффективных маркетинговых кампаниях. Все больше природных и культурных ландшафтов в мире приобретают излишнюю популярность, не справляются с растущими туристскими потоками и страдают от чрезмерный антропогенной нагрузки. Это нередко приводит к деградации экосистем и острым конфликтам на социально-экономической почве.

В России комплекс факторов привел к подъему внутреннего туризма. Основные туристские потоки концентрируются в небольшом числе традиционных туристских дестинаций. В некоторых самых популярных из них по ряду показателей уже превышены пределы роста.

Для более полного удовлетворения внутреннего спроса на путешествия по России на правительственном уровне принято решение о реализации масштабных инфраструктурных проектов в сфере туризма. В указанном контексте задача установления туристской емкости территории (ТЕТ) и оптимизации рекреационных нагрузок на природные комплексы с целью предупреждения их деградации, обеспечения комфортных условий отдыха и повышения эффективности туристской деятельности представляет собой необходимое условие устойчивого развития сферы туризма. Неслучайно в «Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года» появилось понятие экологической емкости как допустимого совокупного воздействия на природу в пределах туристской территории, а ее расчет является частью мастер-плана этой территории и основанием для получения финансирования [16].

Признавая негативные последствия туристской деятельности и необходимость управления связанными рисками, специалисты возвращаются к концепции ТЕТ. В этой связи приобретают актуальность анализ пройденного пути как в теоретическом, так и в практическом отношении, периодизация эволюции научных взглядов и подходов, обобщение накопленного положительного и отрицательного исследовательского опыта, определение дальнейших перспектив изучения ТЕТ применимо к новым условиям. Цель исследования – оценить возможность и результативность использования концепции ТЕТ для устойчивого развития туризма.

Материалы и методы

В процессе исследования была сформирована представительная источниковая база, охвачена и проанализирована значительная масса научной литературы. В качестве первичной информации использовались текстовые, графические и статистические материалы, взятые из научных электронных баз данных и открытых ресурсов сети Интернет. Они послужили основой для последующего анализа, систематизации и обобщения полученной информации.

При отборе материалов из научных электронных баз данных приоритет отдавался публикациям, отличающимся научной достоверностью и высокой экспертной оценкой, в рецензируемых изданиях. Для поиска актуальной отечественной научной информации использовались две ведущие онлайн-платформы – eLibrary.ru, на которой размещается национальная справочно-библиографическая система Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), и научная электронная библиотека «КиберЛенинка». Была также задействована база Научной электронной библиотеки диссертаций и авторефератов (disserCat).

В результате поиска и последующей ручной обработки полученного массива информации было отобрано 894 научные работы, высокорелевантные теме исследования. При дальнейшем анализе особое внимание обращалось на уровень цитируемости работ.

Поиск зарубежной литературы для российских ученых в настоящее время осложняется из-за ограниченного доступа к ведущим международным базам данных – Web of Science и Scopus. В качестве альтернативы в данном исследовании используется ресурс крупнейшего мирового издателя научной продукции – компании Elsevir. Ее цифровая платформа ScienceDirect предоставляет доступ к более чем 23 млн научных публикаций, в том числе по туризму.

Параметры поиска научных работ в базе данных ScienceDirect были определены на основе тщательно подобранных ключевых слов – Carrying capacity AND tourism. Поисковый запрос применялся к названию, аннотации и ключевым словам публикаций. Первоначально было автоматически получено 6430 результатов. Для повышения точности поиска был применен расширенный поиск, что позволило отфильтровать и повысить релевантность результатов. В итоге список был сокращен до 174 наиболее значимых работ, которые были подробно проанализированы и систематизированы в ходе дальнейшего исследования.

Для всестороннего определения и оценки ТЕТ был применен комплексный подход, включающий как общенаучные, так и специальные методы, адаптированные к пространственной специфике исследуемого объекта. Среди общенаучных методов использовались системный, описательный, сравнительный, исторический методы, а также анализ и контент-анализ научных документов, дополненные приемами систематизации, абстрагирования, аналогии. Для повышения точности и объективности литературного обзора в рамках библиометрического анализа были задействованы методы математической статистики. Из частных методов особое значение имело применение информационных технологий и программных средств для обработки и визуализации данных. Обработка больших объемов библиографической информации и ее графическое представление осуществлялись с помощью программного обеспечения VOSviewer. Оно обладает высоким аналитическим потенциалом и позволяет строить когнитивные карты научных публикаций, отражающие структуру и динамику исследований в интересующей области.

Результаты и их обсуждение

Теоретико-методологические основы исследования ТЕТ. В специальной литературе по туризму и рекреации общепринятое определение ТЕТ отсутствует. Она часто определяется как некий пороговый уровень, превышение которого чревато негативными последствиями для природных комплексов, местного сообщества, самих туристов и в целом для территории [24]. Разные интерпретации ТЕТ обусловлены, с одной стороны, сложной природой самого туризма, а с другой – динамизмом, способностью к изменчивости природных и антропогенных систем, на которые оказывает воздействие туристская деятельность.

Управление ООН по туризму (в разные годы ВТО, ЮНВТО) обобщило существующие подходы и дало следующее определение этому понятию. Под ТЕТ понимается максимальное число посетителей, которое может единовременно принять дестинация без ущерба для природной, экономической и социально-культурной среды, а также снижения степени удовлетворенности посетителей [41]. Несмотря на широкий резонанс в научных кругах, это определение подверглось острой критике. В частности, обращалось внимание на некоторую его расплывчатость: что значит «без ущерба для среды», каковы конкретные критерии «степени удовлетворенности посетителей» и т.п.

Тем не менее это определение дало толчок дальнейшему углублению исследований в области ТЕТ. В частности, в специальной литературе сегодня различаются следующие понятия:

– туристская емкость, которая позволяет оценить возможность достижения баланса между снижением негативного воздействия на окружающую среду и местное население, с одной стороны, и обеспечением удовлетворенности туристов – с другой;

– экологическая емкость как часть более общего понятия ТЕТ отражает степень антропогенного влияния на природные комплексы и отдельные их компоненты в туристских дестинациях;

– рекреационная емкость используется для определения максимально допустимой нагрузки на территорию от рекреационной деятельности. Применяется при оценке нагрузки на особо охраняемые природные территории (ООПТ) и пригородные лесные зоны [12].

Несмотря на усилия международных организаций, таких как Управление ООН по туризму, ЮНЕСКО и др., а также ряда зарубежных исследователей, направленные на социологизацию и разработку многофакторных моделей ТЕТ, анализ обширного массива, прежде всего отечественной, научной литературы свидетельствует об устойчивом доминировании экологического подхода в оценке ТЕТ, унаследованного еще с советских времен. В подавляющем большинстве исследований ТЕТ традиционно сводится к «нагрузочному потенциалу природных экосистем», главным образом применительно к ООПТ. Внимание акцентируется на биофизических лимитах, восстановительном потенциале экосистем, ущербе биоразнообразию, который причиняет туристская деятельность. При этом социокультурные, институциональные, инфраструктурные и экономические аспекты устойчивости туристских территорий либо сводятся ко второстепенным, либо вовсе исключаются из аналитического поля.

Вместе с усилением процессов глобализации в туризме, застройкой рекреационных зон и ростом сверхтуризма в XXI в. обостряется научная и практическая необходимость в ретрансляции и существенном расширении трактовки ТЕТ. Имеющаяся в настоящее время методологическая асимметрия затрудняет применение концепции ТЕТ к урбанизированным, культурно-историческим, высокоразвитым рекреационным

пространствам. Здесь главенствующую роль в лимитировании туристской нагрузки играют не столько экологические пределы, сколько социальная толерантность местного населения, пропускная способность инженерной инфраструктуры, устойчивость культурной идентичности, сохранность культурно-исторического наследия, качество туристского опыта как суммы полученных впечатлений, а также адаптационные возможности управленческих систем. Таким образом, остающийся монодисциплинарный уклон в трактовке ТЕТ заметно снижает ее аналитическую и прогностическую ценность. Следовательно, актуализируется задача теоретико-методологического переосмысления ТЕТ как интегративного индикатора и гибкого инструмента устойчивого развития туристских территорий, способного обеспечить баланс между экологическими, социокультурными, экономическими компонентами в условиях стремительно возрастающей туристской нагрузки.

В этих целях предлагается использовать следующую концептуальную рамку исследования ТЕТ, основанную на «трех китах»:

1. *Управляемость*. ТЕТ представляет собой гибкий, основанный на системном подходе инструмент управления, встроенный в процессы мониторинга, планирования и принятия решений в области туризма. Она не просто содержит оценку максимального числа туристов, которое может вместить территория без ущерба для ее природных и социальных ресурсов, а также инфраструктурной базы, но позволяет активно управлять туристскими потоками в пространственно-временном разрезе. На основе расчетов ТЕТ туристские администрации могут выравнивать сезонные и локальные нагрузки, планировать развитие туристской инфраструктуры, а также внедрять обоснованные лимиты на посещение зон повышенной уязвимости. Кроме того, ТЕТ создает фундамент для введения механизмов контроля от гибких систем бронирования и установления дифференцированных туристских сборов до динамического зонирования территории по уровням допустимой нагрузки с соответствующими режимами туристской деятельности и пр. Таким образом, ТЕТ не пассивный показатель, а динамический инструмент стратегического и оперативного управления туристскими потоками в целях устойчивого развития территории. Его применение требует участия всех заинтересованных сторон, учета качества туристского опыта, местной специфики и постоянной адаптации к изменяющимся условиям.

2. *Адаптивность*. ТЕТ не является раз и навсегда заданной константой. Ее значение меняется в зависимости от целого ряда факторов: сезона; готовности инфраструктуры оперативно, качественно и устойчиво обеспечивать установленный стандарт обслуживания; уровня профессиональной компетенции кадров; внедренных технологий; реакции территории и ее сообщества на угрозы внутренней и внешней среды, включая экологические, экономические, социальные, геополитические, техногенные и прочие вызовы. От адаптивного потенциала территории зависит отнюдь не только, сможет ли она пассивно выдержать их натиск, но и активно трансформироваться, поддерживая при этом или даже увеличивая ТЕТ.

В этом контексте ТЕТ предстает как своеобразный динамический маркер жизнедеятельности территории, а не просто как жестко установленный абсолютный порог. Как основа для адаптивного управления ТЕТ отражает:

– гибкость инфраструктурных систем – их способность своевременно изменять масштабы, структуру и функции в ответ на изменение туристского спроса и другие вызовы в туризме;

– институциональную готовность – склонность к проактивному и устойчивому управлению туризмом благодаря наличию четких механизмов координации, актуальной нормативно-правовой базы, управленческих компетенций, ресурсов и готовности к сотрудничеству;

– социальную устойчивость и вовлеченность – способность местного сообщества поддерживать качество жизни и культурную самобытность при расширении туристской деятельности, а также его активное участие в управлении туризмом и справедливом распределении выгод от него;

– экологическую резильентность – способность природных систем восстанавливаться после туристской нагрузки и прочих внешних воздействий и адаптироваться к ним без необратимых изменений;

– экономическую диверсификацию – процесс повышения разнообразия туристского предложения и расширения структуры смежных секторов экономики с целью усиления устойчивости местной экономики к внешним шокам (сезонным колебаниям, кризисам, изменениям туристского спроса).

С позиций устойчивого туризма наращивание потенциала адаптации выступает главным условием сбалансированного развития туристской дестинации и сохранения ее долгосрочной привлекательности.

3. *Устойчивость*. Устойчивое развитие туризма подразумевает хрупкое равновесие между экономическим благополучием, социальной ответственностью, сохранностью природной среды. Обеспечение этого баланса достигается благодаря такому стратегическому инструменту ответственного управления, как ТЕТ. Вместо технического расчета максимального числа туристов речь идет о многоуровневом управленческом ориентире, интегрирующем ключевые параметры устойчивого развития: экологические, социальные, инфраструктурные, культурные. Таким образом ТЕТ становится одним из центральных элементов устойчивого подхода. Это та самая «красная черта», за которой негативные последствия туристской деятельности начинают превышать выгоды от нее, происходит системная деградация природной и социокультурной среды и, как следствие, падение долгосрочной конкурентоспособности дестинации. Без опоры на реальную емкость любые заявления об устойчивости рискуют превратиться в лозунги, не имея практической основы для управления. Именно поэтому ТЕТ не сводится к подсчету числа человек, которые могут одновременно находиться на туристской тропе, а соотносится с расширенным этическим принципом – «сохраняя приумножай», а не просто «не навреди». Таким

образом, подлинная ТЕТ оценивается не числом туристов, а качеством жизни будущих поколений, которое мы закладываем сегодня.

Эволюция научных представлений о ТЕТ. Мировой опыт ее оценки. Концепция емкости (пропускной способности) территории стала широко применяться в исследованиях туризма и рекреации, начиная с 60-х гг. XX в. Некоторые исследователи отсылают к еще более раннему периоду – 1930-м гг. – и выделяют несколько исследовательских этапов [30; 35].

1 этап: главенство цифр. В самом конце XVIII века английский священник и ученый, демограф и экономист Т. Р. Мальтус выдвинул теорию народонаселения. Она гласила, что численность населения увеличивается в геометрической прогрессии, удваиваясь каждые четверть века в отсутствие войн и болезней, тогда как ресурсы Земли, прежде всего продовольственные, ограничены. Для того чтобы избежать снижения благосостояния и массового голода, делает вывод Т. Р. Мальтус, необходимо контролировать рост народонаселения [1]. Несмотря на критику, особенно острую со стороны К. Маркса, теория Т. Р. Мальтуса получила широкую известность, что привело к появлению целого научного направления – мальтузианства. И в наши дни ученые заняты поиском несущей способности (потенциальной емкости) природно-ресурсной системы Земли, пределов роста и оптимальной численности населения на Земном шаре.

В сферу рекреации и туризма мальтузианство (неомальтузианство) пришло из аграрного сектора. В растениеводстве потенциальная емкость угодий определялась в целях оптимизации норм запасов сельскохозяйственных культур. В животноводстве под несущей способностью понималась максимальная численность поголовья скота, которую может прокормить территория. Потенциальная емкость территории также измерялась в экологии, биологии, популяционных исследованиях, пока не была заимствована в туризм и рекреацию. С этого времени во многих туристских работах ставилась задача определить оптимальное количество туристов, которое может принять территория. В них, как и в сельском хозяйстве, научный подход основывался на использовании природных ресурсов. Расчет ТЕТ был одной из самых ранних попыток установить пределы роста туризма, поскольку стремительное развитие туристской индустрии вызывало опасения в научных кругах и среди управленцев. Таким образом, концепция потенциальной емкости территории в туризме и рекреации разрабатывалась с неомальтузианских позиций и рассматривала возможность роста туристской деятельности при ограниченных запасах туристских ресурсов.

Ориентация на конкретные цифровые значения потенциальной ТЕТ была характерна для раннего периода исследований. В скором времени выяснилось, что такие оценки имеют существенные ограничения, а некоторые специалисты даже считают их ненаучными. Тем не менее попытки соответствующих расчетов продолжились и позднее.

В начале 1970-х годов ВТО предлагала следующую формулу (1) для определения несущей способности (емкости) туристских территорий:

$$K = S\ K_0/N, \quad (1)$$

где К – максимальная несущая способность туристской территории; S – общая площадь туристской территории; K_0 – поправочный коэффициент от 0,5 до 1, учитывающий геологический, гидрологический фактор, особенности ландшафта и пр.; N – норматив площади на 1 человека, $м^2$/человек.

В качестве нормативов рассматривались следующие значения:

580 человек на 1 акр пляжа, оборудованного и пригодного для отдыха;

40 человек на 1 милю пешеходной тропы или маршрута на лошадях;

1 лодка или водный лыжник на акр водной поверхности;

5 человек на $милю^2$ девственной горной территории;

25 человек на $милю^2$ открытой территории;

40 человек на $милю^2$ береговой полосы моря или озера;

440 человек на 1 милю пляжа [41, p. 18–19].

Предлагая нормативы, ВТО между тем подчеркивала, что потенциальная ТЕТ очень различается и зависит от локальных условий.

2 этап: потенциальная ТЕТ есть нечто большее, чем просто цифра. Оценка предельного числа туристов, которые могут единовременно находиться на территории в течение определенного отрезка времени, является понятной и на первый взгляд простой задачей. Однако со временем все больше экспертов (как из числа ученых, так и практиков) констатировали, что найти подходы для расчета потенциальной ТЕТ, которые были бы комплексными и объективными, не удается. Пришло осознание того факта, что ТЕТ не сводится к какой-то «магической цифре».

В 1960-е годы все подходы к определению числовых значений потенциальной ТЕТ строились на предположении, что размер нагрузки на территорию и степень последующего воздействия на нее связаны прямолинейно. Однако более поздние исследования показали, что туристские дестинации могут по-разному реагировать на использование ресурсного потенциала территории в туристских (рекреационных) целях. Одни из них обладают и демонстрируют некую внутреннюю устойчивость к воздействию, что предполагает криволинейную зависимость между величиной нагрузки и реакцией на нее. Такая взаимосвязь означает, что

экологический и социальный ответ на возрастание туристского (рекреационного) потока остается слабым до некоторого порогового уровня, после преодоления которого условия быстро и резко ухудшаются. Другие туристские дестинации остро реагируют даже на несильные воздействия, но по мере того как объемы использования ресурсного потенциала возрастают, реакция дестинации «остывает». В любом случае этот пороговый уровень будет представлять собой ТЕТ.

Постепенному отходу от прямых математических расчетов потенциальной ТЕТ способствовало и то, что все больше ученых стали склоняться к мнению о наличии связи между ТЕТ, с одной стороны, и потребностями, которые турист стремится удовлетворить, мотивами его поездки и характером занятий в дестинации – с другой [21].

3 этап: акцент на целях управления. Новый этап в осмыслении ТЕТ был связан с накоплением практического опыта в регулировании числа посетителей на ООПТ в США. В 70-х годах XX века многие американские национальные парки столкнулись с чрезмерным наплывом людей. Администрации парков прикладывали большие усилия по его ограничению. Вводились лимиты на посещение парковых территорий, и это, по существу, означало попытку определить их ТЕТ. Так, для одного из старейших национальных парков США в 1972 г. был установлен порог ТЕТ в размере 96 500 чел.-дней для рафтинга и каякинга. За основу был взят уровень предшествующего года; никакие научные исследования при этом не проводились. Более того, в скором времени потенциальная ТЕТ была пересмотрена и доведена до 169500 чел.-дней [35, p. 376]. Показатель потенциальной ТЕТ и политика ограничений рекреационного природопользования были приняты многими ООПТ США.

Обобщив опыт по лимитированию посещаемости американских национальных парков, ряд ученых пришли к выводу, что туристская емкость ООПТ в решающей степени определяется целями их создания и функционирования. В частности, предлагалось рассматривать ТЕТ как величину изменений на территории, которая допускается, исходя из целей управления этой территорией [25]. Таким образом территория может иметь не одну, но много разных туристских емкостей. Все зависит от управленческих целей. Проблема состояла лишь в том, что многие цели ООПТ были сформулированы слишком широко и расплывчато, допускали разные толкования, как например охрана природного комплекса, что не позволяло установить обоснованные числовые значения ТЕТ.

Тем не менее новый подход стал ключевым шагом вперед в области управления рекреацией и туризмом. Он заставил администрации ООПТ и ученых конкретизировать цели освоения территорий. Стало очевидным, что выбор целей и определяемые ими направления развития суть социальные и не являются физическими или биологическими процессами.

4 этап: ограничение рекреационного природопользования в целях контроля негативных последствий. В то время как ученые вели исследования ТЕТ, администрации ООПТ в США продолжали вводить ограничения на рекреационное природопользование в надежде снизить антропогенное воздействие на охраняемые природные комплексы. Эта политика привела к возникновению большого числа проблем, связанных с социальной справедливостью. Очереди, раннее бронирование, лотереи с выигрышем в виде пропуска на ООПТ, установление запретительных цен и прочие специальные меры, направленные на сдерживание туристского (рекреационного) спроса, привели к социальной дискриминации и возникновению этического дискурса.

Острая дискуссия развернулась вокруг Закона о дикой природе, принятого Конгрессом США в 1964 г. и учредившем Национальную систему охраны дикой природы. Он закреплял право на уединение человека на природной территории при условии, что его влияние будет сведено к минимуму. Это положение, которое по-разному трактовалось специалистами, вызвало дебаты в научных кругах. Первоначально носившие внутриамериканский характер, они довольно быстро вышли за границы США и подстегнули интерес к вопросам определения ТЕТ в других странах. В результате были существенно наращены знания об ожиданиях людей от отдыха в дикой природе, влиянии разных административных мер на удовлетворенность посетителей, а также об интенсивности и пространственном распределении биофизической нагрузки, вызванной рекреационным природопользованием, и пр. [22].

Особое значение имел вывод о том, что разные туристы рассчитывают получить разный опыт от посещения ООПТ, и лишь на некоторые их ожидания оказывает влияние плотность людей. Следовательно, не существует «среднего» посетителя, так же как и «среднего» местного жителя, в силу разницы в оценках приемлемых условий отдыха в первом случае и отношении к наплыву туристов – во втором. Но если туристы и местные жители имеют разные представления о приемлемых условиях, то какие из них следует учитывать при определении ТЕТ? По итогам научных дебатов этот вопрос остался открытым.

5 этап: новые постановки вопроса. Нерешенность многих вопросов на предшествующих исследовательских этапах привела в 1990-е гг. к новой волне критики в адрес сторонников количественной оценки ТЕТ, выраженной конкретным числом туристов и отдыхающих. Примерно в то же время в научном сообществе усилились опасения относительно негативных экологических и социальных последствий дальнейшего, все более масштабного развития массовых форм туризма, которые в конечном счете были сформулированы в рамках дискурса об устойчивом туризме и экологическом туризме. В процессе обсуждения принципов устойчивости вновь зазвучали призывы установить пределы посещаемости для отдельных туристских

территорий. Появились расчеты ТЕТ для некоторых дестинаций и даже целых стран – Мальдивских островов, Непала, Кипра, пляжной зоны ЮАР. Однако эти оценки по-прежнему вызывали вопросы. Высказывалось мнение, что ущерб, наносимый туристами, можно предотвратить или снизить более эффективными способами, нежели прямым ограничением туристской деятельности, а именно путем изменения поведения посетителей, их занятий на отдыхе или методов управления [42].

Переосмысление проблемы шло в направлении поиска альтернативных парадигм управления и методов планирования в туризме. Речь не велась о создании какой-то научной теории, но скорее о механизмах принятия решений. Для оценки роста туризма и смягчения его негативных последствий в 1990-е гг. был разработан ряд моделей: VIM (Visitor Impact Management), VERP (Visitor Experience Resource Protection), ROS (Recreation Opportunity Spectrum), VAMP (Visitor Activity Management Planning), TOMM (Tourism Optimizaton Management Model). Наиболее заметной среди них была Модель пределов допустимых изменений (LAC, Limits of Acceptable Change) [34].

Новый подход был основан на консенсусе всех заинтересованных сторон; они совместно определяли общие цели и конкретные средства для их достижения. Местное население, администрации ООПТ и прочие стейкхолдеры согласовывали ключевые показатели, которые потом использовались при управлении туристскими ресурсами, и их пороговые значения, превышение которых было неприемлемо. В отличие от прежних оценок ТЕТ теперь ограничения туристской деятельности устанавливались исходя из изменений ключевых показателей, а не абсолютного числа туристов. Этот подход был положен в основу методики «пределов допустимых изменений» природных ландшафтов, разработанной Службой охраны лесов США в 1985 г. [38]. Сегодня она получила широкое применение не только в США, но и далеко за их пределами.

Хотя указанные выше модели разрабатывались и использовались только применительно к ООПТ, их появление означало овладение новыми знаниями и практикой управления туристскими (рекреационными) территориями.

Отечественный опыт оценки ТЕТ. В СССР рассматриваемая проблематика стала предметом научных исследований примерно в тот же период, что и за рубежом, а именно с конца 60-х гг., когда закладывались основы отечественной школы рекреационной географии. Но освещалась она несколько в ином ключе, нежели в остальном мире.

Начало положили комплексные физико-географические исследования территорий, отводимых под массовую рекреацию советских трудящихся, которые вели многие университеты и педагогические вузы страны, а также Институт географии АН СССР. С 1968 года изучение пространственных аспектов организации отдыха и туризма сосредоточилось в Институте географии АН СССР. К середине 1970-х годов определение устойчивости природных комплексов к рекреационным нагрузкам и емкости природного ландшафта, а также установление стадий рекреационной дигрессии и допустимых рекреационных нагрузок на территорию сформировалось как прикладное научное направление на пересечении физической, экономической и зарождающейся в то время рекреационной географии [7].

В 1975 году вышла коллективная монография «Теоретические основы рекреационной географии» под ред. В. С. Преображенского, в которой были обобщены сделанные к тому времени наработки и заложены направления развития рекреационной географии на последующие годы [17]. Особое теоретико-методологическое и одновременно практическое значение имело рассмотрение рекреационной деятельности в контексте окружающей среды. Существенная часть монографии посвящена вопросам резистентности природных и культурных ландшафтов к рекреационному воздействию, а также подходам к оценке допустимых рекреационных нагрузок в зависимости от типа природно-территориального комплекса. Введено и обосновано понятие «рекреационная емкость территории», величина которой определялась экологической устойчивостью и психофизиологической комфортностью рекреантов.

Представления о предельной нагрузке опирались на эмпирический опыт регулирования рекреационного природопользования на лесопарковых территориях, расположенных в пригородах крупнейших городских агломераций [9; 19 и др.]. Позднее, в начале 1980-х гг. в целом ряде работ были даны количественные оценки рекреационной нагрузки, выраженные числом человек на единицу площади. Так, в монографии М. И. Пронина, Я. С. Русанова (1981) для пяти классов устойчивости насаждений приводятся следующие значения интенсивности рекреационного лесопользования: от 15 чел.-день/га (135 чел./ч) в год для ельников и сосняков, которые являются самыми неустойчивыми, до 500 чел.-день/га (6500 чел./ч) в год для березняков [15, с. 57–58]. Подобные расчеты для разных зональных и геоморфологических условий велись на всем протяжении 1980-х гг. и увенчались разработкой нормативов предельно допустимых нагрузок.

После создания в СССР первых национальных парков в начале 1970-х гг. одним из направлений исследований, последовательно освещавшихся на всех этапах развития теоретических и практических аспектов рекреационного природопользования в нашей стране, стал расчет антропогенных нагрузок на экологические тропы, которые являются формой организации туристско-рекреационных потоков на ООПТ. В. П. Чижова, основываясь на результатах собственных исследований и работах других авторов, предложила методику расчета емкости туристско-рекреационных зон, представленных преимущественно линейными элементами [20].

В дальнейшем оценка рекреационного воздействия на ландшафты характеризовалась переходом от жестких нормативных методов, основанных на установлении регламентированных рекреационных нагрузок, к поисковым подходам, направленным на определение «пределов допустимых изменений» природно-территориальных комплексов [8]. В России метод «пределов допустимых изменений» был впервые реализован на Байкале. Его применение обеспечило новую научную базу для организации туризма на территории Прибайкальского и Забайкальского национальных парков [10]. Это способствовало методическому сближению отечественных и зарубежных географов и экологов, занимающихся туристской проблематикой.

Научная картина исследований в XXI в. Анализ большого массива современной отечественной научной литературы по интересующей тематике показал, что постановка проблемы, а также основные подходы к ее решению, сложившиеся на предшествующих этапах научного поиска, не претерпели принципиальных изменений. По-прежнему выделяется два больших кластера работ. Первый посвящен изменениям, протекающим в природных комплексах вследствие рекреационной деятельности, второй – научно-методическому обоснованию параметров рекреационной нагрузки и ТЕТ.

Влияние рекреационных нагрузок на состояние хвойных насаждений изучалось в национальном парке «Лосиный остров» [14]. В Мордовском заповеднике, национальном парке «Красноярские столбы» и Прибайкальском национальном парке оценивали деградацию почвенно-растительного покрова в условиях массового туризма [4; 13; 3]. Оценка устойчивости природных комплексов к рекреационным нагрузкам проводилась в биосферном заповеднике «Даурский» [2], а мониторинг рекреационной нагрузки на туристские маршруты и береговые линии озер с целью оценки их экологического состояния – в национальном парке «Бурабай» [5]. Эти и подобные им исследования имели важное значение для установления допустимых границ изменений в природных комплексах, происходящих под воздействием рекреации, и их количественной оценки.

Попытки определить рекреационную нагрузку и рекреационную емкость предпринимались не только для ООПТ, но имели место и в отношении обычных (неохраняемых) мест массового отдыха населения – лесов, лесопарковых зон, пляжей, береговых территорий озер и пр. [11; 18 и др.]. В этой связи Н. М. Забелина, В. П. Чижова (2009) предостерегают от распространенной ошибки – проведения рекреационных исследований на ООПТ без учета специфики последних [6].

Дискуссия о методах определения рекреационных нагрузок и ТЕТ не утихает по сей день. Одни из самых цитируемых среди отечественных специалистов в соответствующей области − А. В. Завадская и В. В. Непомнящий − являются противниками нормативных моделей рекреационной емкости и активно продвигают современные управленческие подходы к предмету исследования [7]. Схожих взглядов придерживаются и другие авторы, которые приложили немало усилий, чтобы переориентировать методики определения рекреационной емкости ООПТ с нормативной парадигмы на управленческую (А. В. Дроздов, Е. Ю. Колбовский, Е. Ю. Ледовских, Н. В. Моралева, В. П. Чижова и др.).

Однако, как отмечают А. В. Завадская и В. В. Непомнящий, проблема остается нерешенной. Абсолютное большинство ООПТ нашей страны не готово к переменам и используют предлагаемые инновационные наработки лишь фрагментарно [7].

За рубежом внимание исследователей к ТЕТ можно отследить по публикациям на платформе ScienceDirect. В первой четверти XXI века отмечается устойчивый их рост, несмотря на колебания в динамике по годам (рис. 1). Эпизодически поднимающиеся волны публикационной активности хорошо корреспондируются с периодами обострения проблемы сверхтуризма. Например, заметный всплеск 2017 г. пришелся на время, когда сразу в нескольких крупных городах Европы прошли массовые выступления местного населения против наплыва туристов.

Основная часть публикаций (88 %) представлена исследовательскими статьями в авторитетных международных специализированных изданиях, таких как Tourism Management, Ocean & Coastal Management, Annals of Tourism Research, Journal of Environmental Management. Наибольшее число исследований по интересующей тематике проводится в США, Китае, Испании.

Анализ современной иностранной литературы показывает, что зарубежное научное сообщество движется в направлении достижения консенсуса относительно концепции и содержания ТЕТ, хотя некоторые расхождения еще остаются.

Все тематическое разнообразие работ сводится к трем ключевым кластерам (рис. 2). Первый (синий) – методологический – объединяет научные труды, посвященные концептуализации и содержательному наполнению ТЕТ, подходам к ее оценке, индикаторам и алгоритмам расчета. Второй (зеленый) рассматривает ТЕТ в контексте устойчивого туризма и экотуризма. В третий (красный) попадают работы экономического содержания. Особенно многочисленны первый и второй блоки.

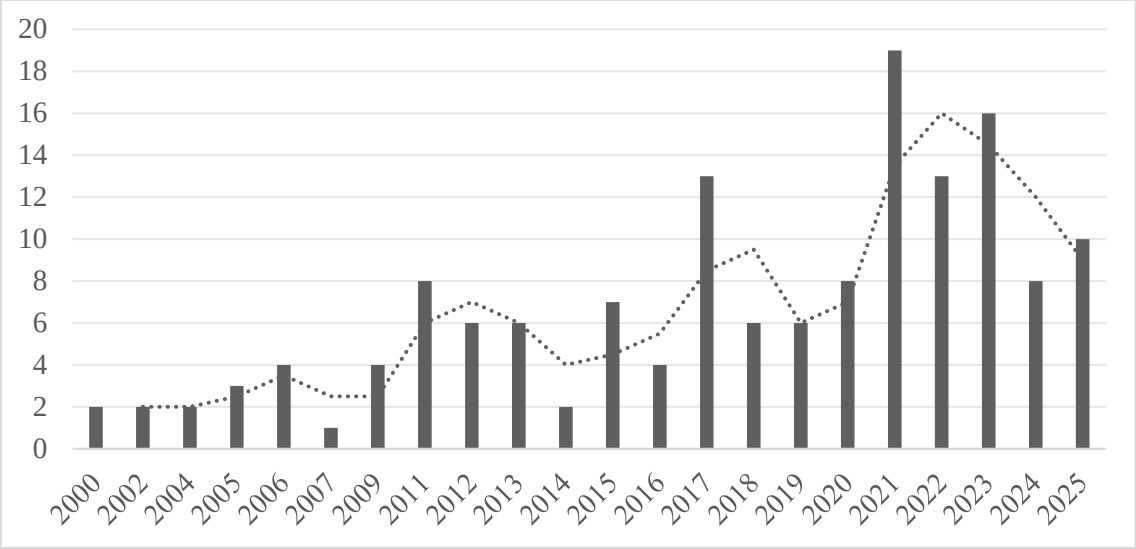


Рис. 1. Динамика публикационной активности за рубежом
по теме туристской емкости территории в первой четверти XXI в.
По оси X отложены года, по оси Y – число публикаций на платформе ScienceDirect.
Пунктиром обозначена линия тренда, построенная методом скользящей средней.
Составлено по данным ScienceDirect
Fig. 1. Dynamics of publication activity abroad
on the topic of tourism carrying capacity in the first quarter of the 21st century.
The X-axis represents years, the Y-axis shows the number of publications on the ScienceDirect platform.
The dashed line indicates the trend line constructed using the moving average method.
Compiled based on ScienceDirect data

Современные подходы к оценке ТЕТ все больше опираются на интегративные, многомерные и динамические модели, выходящие за рамки простого подсчета посетителей. В специальной литературе обсуждаются такие системные рамочные модели устойчивого развития, как «Давление – Состояние – Ответная реакция» [32], и ее модифицированный вариант «Движущие силы – Давление – Состояние – Воздействие – Ответная реакция» [44], а также модель «Нагрузка – Носитель» [27]. Они позволяют не только оценить текущую ТЕТ, но и спрогнозировать последствия изменений, будь то рост числа туристов, строительство новых объектов инфраструктуры или климатические риски, как в случае с пляжами Каталонии, где повышение уровня моря может сократить их рекреационную емкость на 26−47 % к 2050 г. [33].

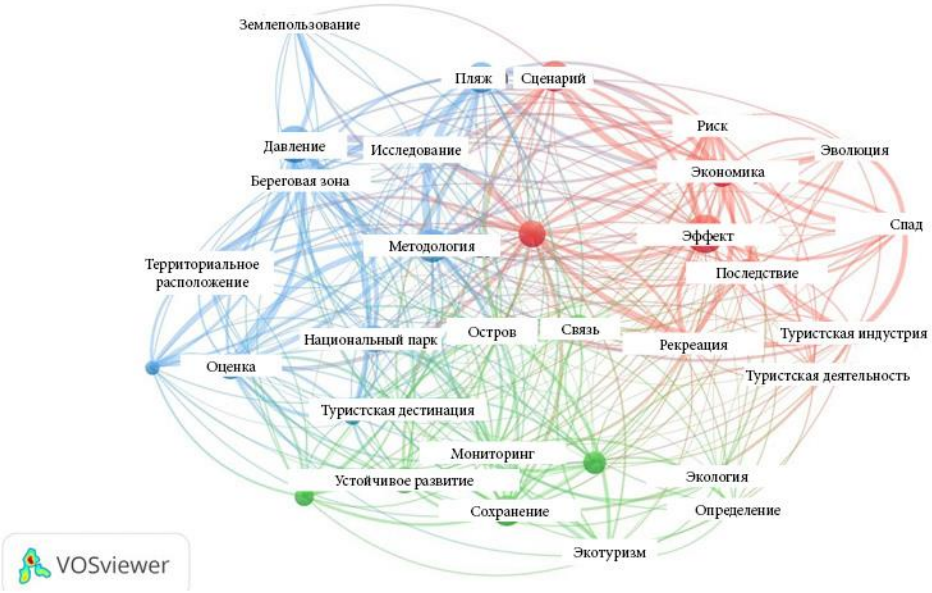


Рис. 2. Группировка ключевых слов по тематическим направлениям исследований ТЕТ
Fig. 2. Thematic clustering of keywords in tourism carrying capacity (TCC) research

В последнее время фокус в исследованиях ТЕТ все больше смещается на социальное измерение. Емкость оценивается не только через физические лимиты, но и через восприятие туристами переполненности дестинации [26], готовность местных жителей принимать туристов [36] и даже эмоциональную тональность онлайн-отзывов туристов [23; 40]. Вводятся «эмоциональные индексы», «индикаторы удовлетворенности», нередко более чувствительные, чем чисто физические метрики.

Например, наблюдения в Гонконге показывают, что дайверы начинают чувствовать дискомфорт при наличии 7–8 других ныряльщиков в поле зрения, что указывает на превышение социальной емкости [45]. А в Республике Корея пожилые туристы на лесных тропах более терпимы к скученности, чем молодежь [43]. Это свидетельствует о переходе от чисто экологических моделей оценки ТЕТ к «участническим подходам», в которых мнение заинтересованных сторон – туристов и местных жителей – становится ключевым критерием устойчивого развития туристских дестинаций.

В последние годы в исследованиях ТЕТ все более значимую роль играет пространственный подход, отражающий стремление к более точному и дифференцированному управлению туристскими потоками. Этот сдвиг стал возможен благодаря активному внедрению ГИС-технологий, позволяющих визуализировать и количественно оценивать туристский потенциал с учетом ландшафтных, экологических, инфраструктурных характеристик. Современные исследования показывают, что туристская нагрузка распределена крайне неравномерно: отдельные участки (например, популярные видовые площадки, входные зоны, дайв-центры или пляжи) могут испытывать критическую перегрузку, в то время как другие зоны остаются недоиспользованными.

Например, в исследовании Nahuelhual L. et al. (2013) на юге Чили была разработана методология картографирования рекреационного и экотуристского потенциала на муниципальном уровне с учетом ТЕТ. Полученные результаты были дифференцированы погектарно [37]. Такой подход позволяет точнее распределять потоки, снижать локальные перегрузки и повышать устойчивость управления. Дополнительные возможности для пространственной детализации открывают технологии видеонаблюдения за туристами, автоматического подсчета посетителей и дистанционного зондирования Земли [28; 29].

Наконец, для анализа и прогнозирования ТЕТ все шире используются современные интеллектуальные вычислительные методы:

– оптимизационные алгоритмы, в частности многокритериальной оптимизации (алгоритм NSGA-II с улучшенными операторами) – для баланса экологических, социальных, экономических целей [39];

– машинное обучение: нейронные сети обратного распространения (BP-нейросети) и метод случайного леса (Random Forest) – для прогнозирования посещаемости туристской дестинации и ТЕТ [46];

– нечеткие логические модели (fuzzy logic) и нечеткое линейное программирование. Применяются q-ранговые нечеткие гипермягкие множества для учета субъективности и неопределенности, присущих восприятию и суждениям людей, а также сложности социальных предпочтений при оценке ТЕТ [31].

Заключение

Несмотря на все тщетные попытки оценить ТЕТ в виде простого числа туристов, интерес к этой проблематике сохраняется. Однако дальнейший научный поиск связан с решением ряда фундаментальных проблем, препятствующих сегодня как теоретическому осмыслению, так и практическому применению ТЕТ. Прежде всего отсутствует общепринятая научная парадигма. Многочисленные дефиниции и модели ТЕТ, часто противоречащие друг другу, приводят к методологической несравнимости результатов исследований. Эта концептуальная неопределенность обостряется устойчивой распространенностью узкоэкологического подхода, особенно в отечественных исследованиях. Таким образом, первый ключевой вектор развития – переход к мультидисциплинарности в трактовке ТЕТ, требующий интеграции знаний из экологии, экономики, социологии, психологии, урбанистики, управления, геоинформатики. Это особенно важно, когда речь идет о ТЕТ для урбанизированных, историко-культурных или специализированных дестинаций, столкнувшихся с угрозой сверхтуризма.

Серьезной проблемой остается исходное положение о естественной заданности ТЕТ. Деятельностная сущность человека, в том числе в сфере туризма, всегда приводит к изменениям в природной, социальной, экономической среде. Масштаб и интенсивность этого воздействия, а также его последствия определяются системой управления и планирования. Полностью устранить туристскую нагрузку невозможно, но воздействие можно регулировать, смягчать и контролировать в соответствии с целями устойчивого развития. Между тем потенциал управляемости лимитирован не столько наличием подходящих инструментов, сколько институциональной готовностью адекватно финансировать проведение регулятивных мероприятий. Перспективным становится научное обоснование и сопровождение трансформации системы управления и планирования в туризме с принципа «не навреди» на парадигму «восстанови и приумножь». Это диктует необходимость разработки критериев оценки, ориентированных не только на поддержание баланса, но и на активное улучшение состояния природных и социально-экономических систем в результате туристской деятельности. Перейти на новую парадигму развития может только гибкая и адаптивная система управления.

Слабая востребованность ТЕТ в управленческой практике также представляет насущную проблему. Ее причины кроются в ведомственной разобщенности, а также отсутствии соответствующих правовых норм, институциональных рамок и финансовых механизмов для введения ограничений или регулирования туризма. Кроме того, часть последствий от туристской деятельности, прежде всего кумулятивные и косвенные эффекты,

не улавливается традиционными методами, например рост цен на жилье и вытеснение местных жителей на окраины в городских сверхтуристских дестинациях, потеря культурной самобытности локальными сообществами и пр. Все это делает актуальным прикладные исследования, посвященные практической интеграции ТЕТ в системы территориального планирования, экологического регулирования, туристской политики.

К числу прочих перспективных направлений исследования ТЕТ можно отнести следующие:

– изучение особенностей восприятия «комфорта», «приемлемой нагрузки» и «перегруженности территории» туристами и местными жителями в зависимости от пола, возраста, межкультурных различий и т.д.;

– оценка ТЕТ в контексте цифровизации туристского пространства. Роль цифровых платформ (онлайн-бронирование, AR/VR-экскурсии, цифровые двойники достопримечательностей) в структурной перестройке туристской нагрузки: смена фокуса с физического посещения туристской дестинации на виртуальное взаимодействие и коммерциализацию туристского опыта без непосредственного присутствия в локации;

– исследование восстановительного потенциала туристских систем на постконфликтных и посткризисных территориях и разработка стратегий «щадящего» возобновления туризма без перегрузки уязвимых природных комплексов и локальных сообществ;

– ТЕТ и «медленный» туризм (slow tourism): моделирование емкости территории для маломасштабного туризма, но с длительным пребыванием туристов, при которых устойчивость зависит от социокультурной гармонии и качества социального обмена, а не от физических или инфраструктурных параметров;

– этические аспекты ТЕТ: включение принципов экологической и социальной справедливости в оценку ТЕТ; социальная легитимность ТЕТ в связи с ограничением доступа к популярным достопримечательностям и пр.

Эти направления исследований лежат в русле перехода от ресурсоцентричной парадигмы ТЕТ к системному, этически рефлексивному и ориентированному на долгосрочную перспективу подходу, в рамках которого ТЕТ выступает не как статический барьер, а как инструмент динамического управления в целях регенерации и справедливого развития туристских территорий.

Библиографический список

1. Антология экономической классики. М.: Эконов, 1993. 486 с.

2. *Ведрова С. В.* Рекреационная емкость территории ГПБЗ «Даурский» // Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. № 1. С. 80–84. EDN: QDFECJ

3. *Вологжина С. Ж., Сутырина Е. Н., Ахтиманкина А. В.* Рекреационная нагрузка на природные комплексы побережья озера Байкал на примере острова Ольхон // Возможности развития краеведения и туризма Сибирского региона и сопредельных территорий: сб. мат. XVII междунар. науч.-практ. конф. (Томск, 30 октября – 1 ноября 2018 г.). Томск, 2018. С. 16–19. EDN: WNWNMU

4. *Гришуткин О. Г., Щуряков Д. С.* Оценка рекреационной нагрузки на ландшафты Мордовского заповедника в 2021 г. // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. 2021. № 27. С. 193–200. EDN: IUPBIV

5. *Егембердиева К. Б., Валеев А. Г., Юшина Ю. А., Скоринцева И. Б.* Оценка рекреационной нагрузки на туристские маршруты и береговые линии озер ГНПП «Бурабай» // География и водные ресурсы. 2025. № 1. С. 140–152. DOI: 10.55764/2957-9856/2025-1-140-152.13 EDN: NEQZOD

6. *Забелина Н. М., Чижова В. П.* О методике определения рекреационной емкости национального парка // География и туризм. 2009. Вып. 7. С. 28–51.

7. *Завадская А. В., Непомнящий В. В.* Рекреационная емкость особо охраняемых природных территорий – от нормирования к управлению. Государственный природный заповедник «Хакасский». Новосибирск: СО РАН, 2024. 143 с. DOI: 10.53954/9785605098768 ISBN: 978-5-605-09876-8 EDN: MPJCAL

8. *Исаченко Т. Е., Косарев А. В.* Рекреационное природопользование. М.: Юрайт, 2024. 268 с.

9. *Казанская Н. С., Ланина В. В., Марфенин Н. Н.* Рекреационные леса (состояние, охрана, перспективы использования). М.: Лесная промышленность, 1977. 96 с.

10. *Калихман А. Д., Педерсен А. Д., Савенкова Т. П., Сукнев А. Я.* Методика «Пределов допустимых изменений» на Байкале – участке Всемирного наследия ЮНЕСКО. Иркутск: Оттиск, 1999. 100 с. ISBN: 5-93219-004-3 EDN: UOAQEP

11. *Карташова Н. П., Селиванова А. С.* Рекреационная емкость пляжных территорий и их благоустройство (на примере береговой линии реки Воронеж) // Изв. Самар. науч. центра Рос. академии наук. 2013. Т. 15, № 3–2. С. 638–642. EDN: RVSHFV

12. *Климанова О. А., Колбовский Е. Ю., Илларионова О. А., Землянский Д. Ю.* Концепция экологической емкости: современное содержание и алгоритм оценки для разных типов туристских территорий // Вест. Санкт-Петербург. гос. ун-та. Науки о Земле. 2021. Т. 66, № 4. С. 806–830. DOI: 10.21638/spbu07.2021.409 EDN: ZSOQZI

13. *Кнорре А. А., Барабанцова А. Е., Тропина Е. Ф., Гирева А. В., Шестакова А. В., Левкович М. Ю.* Оценка рекреационной нагрузки на природный комплекс национального парка «Красноярские столбы» // Научные исследования в заповедниках и национальных парках Южной Сибири. Новосибирск: СО РАН, 2024. С. 79–87. EDN: YRVEQS

14. *Ломов В. Д., Янгутов А. И., Ефимова Е. В.* Влияние рекреационных нагрузок на лесоводственно-экологическую оценку состояния хвойных насаждений НП «Лосиный остров» // Вест. Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. 2005. № 5. С. 114–118. EDN: ITBLLZ

15. *Пронин М. И., Русанов Я. С.* Человек, лес, фауна. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 168 с.

16. Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года: утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 сентября 2019 года № 2129-р. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72661648/ (дата обращения: 16.12.2025)

17. Теоретические основы рекреационной географии / отв. ред. В. С. Преображенский. М.: Наука, 1975. 223 с.

18. *Терешкин А. В.* Специфика оптимизации рекреационного потенциала лесопарка (на примере зеленой зоны г. Саратова) // Наука. Мысль: электронный периодический журнал. 2018. Т. 8, № 2. С. 60–70. DOI: 10.25726/NM.2018.2.2.006 EDN: YOLWST

19. *Чижова В. П.* Рекреационные нагрузки в зонах отдыха. М.: Знание, 1977. 49 с.

20. *Чижова В. П., Добров А. В., Захлебный А. Н.* Учебные тропы природы. М.: Агропромиздат, 1989. 157 с.

21. *Carey D. I.* Development based on carrying capacity: A strategy for environmental protection // Global Environmental Change. 1993. No. 3. P. 140–148. DOI: 10.1016/0959-3780(93)90002-3

22. *Cole D. N.* Research on soil and vegetation in wilderness: A state-of-knowledge review // USDA Forest Service, International Research Station: Issues, State-of-Knowledge, Future Directions: National Wilderness Research Conference (Fort Collins, Colorado, USA, from July 23 to 26, 1987). Fort Collins, 1987. P. 137–177.

23. *Corbau C., Benedetto G., Congiatu P. P., Simeoni U., Carboni D.* Tourism analysis at Asinara Island (Italy): Carrying capacity and web evaluations in two pocket beaches // Ocean & Coastal Management. 2019. Vol. 169. P. 27–36. DOI: 10.1016/J.OCECOAMAN.2018.12.004

24. Defining, Measuring and Evaluating Carrying Capacity in European Tourism Destinations: Report for a Document B4-3040/2000/294577/MAR/D2. Athens: University of Aegean, 2002. 99 p.

25. *Frissell S. S., Stankey G. H.* Wilderness Environmental Quality: search for social and ecological harmony: proceedings // Society of American Foresters annual meeting. Hot Springs. 1972. P. 170–183.

26. *Gonson Ch., Pelletier D., Alban F.* Social carrying capacity assessment from questionnaire and counts survey: Insights for recreational settings management in coastal areas // Marine Policy. 2018. Vol. 98. P. 146–157. DOI: 10.1016/J.MARPOL.2018.08.016

27. *He H., Shen L., Wong S.W., Cheng G., Shu T.* A "load-carrier" perspective approach for assessing tourism resource carrying capacity // Tourism Management. 2023. Vol. 94(2). DOI: 10.1016/j.tourman.2022.104651 EDN: KARKBN

28. *Huamantinco Cisneros M. A., Revollo Sarmiento N. V., Delrieux C. A., Piccolo M. C., Perillo G. M. E.* Beach carrying capacity assessment through image processing tools for coastal management // Ocean & Coastal Management. 2016. Vol. 130. P. 138–147. DOI: 10.11137/2019_3_27_41

29. *Jiménez J. A., Osorio A., Marino-Tapia I., Davidson M. A.* Beach recreation planning using video-derived coastal state indicators // Coastal Engineering. 2007. Vol. 54, No. 6. P. 507–521. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2007.01.012

30. *Kennell J*. Carrying capacity // Encyclopedia of Tourism. 2016. P. 133–135. DOI: 10.1007/978-3-319-01384-8_24

31. *Khan S., Gulistan M., Kausar N., Kadry S.* A Novel Method for Determining Tourism Carrying Capacity in a Decision-Making Context Using q−Rung Orthopair Fuzzy Hypersoft Environment // CMES – Computer Modeling in Engineering and Sciences. 2023. Vol. 138, No. 2. P. 1951–1979. DOI: 10.32604/cmes.2023.030896 EDN: JVJGHI

32. *Leka A., Lagarias A., Panagiotopoulou M., Stratigea A.* Development of a Tourism Carrying Capacity Index (TCCI) for sustainable management of coastal areas in Mediterranean islands – Case study Naxos, Greece // Ocean & Coastal Management. 2022. Vol. 216. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2021.105978 EDN: EFZUOY

33. *López-Dóriga U., Jiménez J., Valdemoro H., Nicholls R J.* Impact of sea-level rise on the tourist-carrying capacity of Catalan beaches // Ocean & Coastal Management. 2019. Vol. 170. P. 40–50. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2018.12.028

34. *McCool S. F.* Planning for Sustainable Nature-Dependent Tourism Development: The Limits of Acceptable Change System // Tourism Recreation Research. 1994. Vol. 19, No. 2. P. 51–55. DOI: 10.1080/02508281.1994.11014708

35. *McCool S. F., Lime D. W.* Tourism Carrying Capacity: Tempting Fantasy or Useful Reality? // Journal of Sustainable Tourism. 2001. Vol. 9, No. 5. P. 372–388. DOI: 10.1080/09669580108667409

36. *Muler Gonzalez V., Coromina L., Galí N.* Overtourism: residents' perceptions of tourism impact as an indicator of resident social carrying capacity – case study of a Spanish heritage town // Tourism Review. 2018. Vol. 73, No. 3. P. 277–296. DOI: 10.1108/TR-08-2017-0138

37. *Nahuelhual L., Carmona A., Lozada P., Jaramillo A., Aguayo M.* Mapping recreation and ecotourism as a cultural ecosystem service: An application at the local level in Southern Chile // Applied Geography. 2013. Vol. 40. P. 71–82. DOI: 10.1016/j.apgeog.2012.12.004

38. *Stankey G. H., Cole D. N., Lucas R. C. et. al.* The Limits of Acceptable Change (LAC) System for Wilderness Planning: Gen. Tech. Rep. INT-176. Ogden: USDA, For. Serv., 1985. 37 p. DOI: 10.5962/bhl.title.109310

39. *Tan Q.* Research on sustainable carrying capacity of urban tourism environment based on multi objective optimization algorithm // Results in Engineering. 2023. Vol. 19. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.101344 EDN: BLTWWE

40. *Tokarchuk O., Barr J. Ch., Cozzio C.* How much is too much? Estimating tourism carrying capacity in urban context using sentiment analysis // Tourism Management. 2022. Vol. 91. DOI: 10.1016/j.tourman.2021.104395 EDN: PWSJYM

41. Tourist markets, promotion and marketing. Saturation of tourist destinations: Report of the Secretary-General on the General Programme of Work for the Period 1980–1981. Madrid: World Tourism Organization, 1981. 37 p.

42. *Wight P. A.* Tools for sustainability analysis in planning and managing tourism and recreation in the destination // Sustainable Tourism: A Geographical Perspective. 1998. P. 75–91.

43. Yoon T. K., Myeong J. Y., Lee Y., Choi Y. E., Lee S., Lee Su., Byun Ch. Are you okay with overtourism in forests? Path between crowding perception, satisfaction, and management action of trail visitors in South Korea // Forest Policy and Economics. 2024. Vol. 161. DOI: 10.1016/j.forpol.2024.103184 EDN: LHRDJZ

44. *Yuan L. Z.* Water resources carrying capacity of wetland conservation in Dongting // Desalination and Water Treatment. 2022. Vol. 267. P. 83–88. DOI: 10.5004/dwt.2022.28675 EDN: EPGRBN

45. *Zhang L. Y., Qiu J. W., Chung Sh. Sh.* Assessing perceived crowding of diving sites in Hong Kong // Ocean & Coastal Management. 2015. Vol. 116. P. 116–177. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.07.025

46. *Zhou Y.* Prediction of tourist carrying capacity of scenic spots based on Neural Network // Procedia Computer Science. 2023. Vol. 228. P. 798–807. DOI: 10.1016/j.procs.2023.09.091 EDN: NMZRSE

References

1. *Antologiya ekonomicheskoi klassiki* [Anthology of Economic Classics]. Moscow: Ekonov, 1993. 486 p. (In Russ.)

2. Vedrova S. V. Rekreatsionnaya emkost' territorii GPBZ "Daurskii" [Recreational Capacity of the Daursky State Nature Reserve]. *Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2013, no. 1, pp. 80−84. (In Russ.)

3. Vologzhina S. Zh., Sutyrina E. N., Akhtimankina A. V. Rekreatsionnaya nagruzka na prirodnye kompleksy poberezh'ya ozera Baikal na primere ostrova Ol'khon [Recreational Load on the Natural Complexes of Lake Baikal's Coast: The Case of Olkhon Island]. In *Vozmozhnosti razvitiya kraevedeniya i turizma Sibirskogo regiona i sopredel'nykh territorii: sb. materialov XVII Mezhdunar. nauch.-praktich. konf (Tomsk, 30 oktyabrya–1 noyabrya 2018 g.).* Tomsk, 2018, pp. 16−19. (In Russ.)

4. Grishutkin O. G., Shchuryakov D. S. Otsenka rekreatsionnoi nagruzki na landshafty Mordovskogo zapovednika v 2021 g. [Assessment of the recreational load on the landscapes of the Mordovian Nature Reserve in 2021]. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika im. P. G. Smidovicha*, 2021, no. 27, pp. 193−200. (In Russ.)

5. Yegemberdiyeva K. B., Valeyev A. G., Yushina Yu. A., Skorintseva I. B. Assessment of recreational load on tourist routes and shorelines of lakes of the "Burabay" SNNP. *Geography and water resources*, 2025, no. 1, pp. 140−152. (In Russ.) DOI: 10.55764/2957-9856/2025-1-140-152.13

6. Zabelina N. M., Chizhova V P. O metodike opredeleniya rekreatsionnoi emkosti natsional'nogo parka [On the methodology for determining the recreational capacity of the national park]. *Geografiya i turizm*, 2009, vyp. 7, pp. 28−51. (In Russ.)

7. Zavadskaya A. V., Nepomnyashchii V. V. *Rekreatsionnaya emkost' osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii − ot normirovaniya k upravleniyu. Gosudarstvennyi prirodnyi zapovednik "Khakasskii"* [Recreational capacity of specially protected natural territories-from rationing to management. State Nature Reserve "Khakassky"]. Novosibirsk: SO RAN, 2024. 143 p. (In Russ.)

8. Isachenko T. E., Kosarev A. V. *Rekreatsionnoe prirodopol'zovanie* [Recreational environmental management]. Moscow: Yurait, 2024. 268 p. (In Russ.)

9. Kazanskaya N. S., Lanina V. V., Marfenin N. N. *Rekreatsionnye lesa (sostoyanie, okhrana, perspektivy ispol'zovaniya)* [Recreational forests (condition, protection, prospects of use)]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1977. 96 p. (In Russ.)

10. Kalikhman A. D., Pedersen A. D., Savenkova T. P., Suknev A. Ya. *Metodika "Predelov dopustimykh izmenenii" na Baikale − uchastke Vsemirnogo naslediya YUNESKO* [Methodology of "Limits of permissible changes" on Lake Baikal, a UNESCO World Heritage Site]. Irkutsk: Ottisk, 1999. 100 p. (In Russ.)

11. Kartashova N. P., Selivanova A. S. Rekreatsionnaya emkost' plyazhnykh territorii i ikh blagoustroistvo (na primere beregovoi linii reki Voronezh) [Recreational capacity of beach areas and their improvement (on the example of the shoreline of the Voronezh River)]. *Izv. Samar. nauch. tsentra Ros. akademii nauk*, 2013, vyp. 15, no. 3−2, pp. 638−642. (In Russ.)

12. Klimanova O. A., Kolbowsky E. Yu., Illarionova O. A., Zemlyansky D. Yu. The concept of ecological carrying capacity: current state and algorithm of assessment for different types of tourist areas. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 2021, vyl. 66, no. 4, pp. 806–830. (In Russ.) DOI: 10.21638/spbu07.2021.409

13. Knorre A. A., Barabantsova A. E., Tropina E. F., Gireva A. V., Shestakova A. V., Levkovich M. Yu. Otsenka rekreatsionnoi nagruzki na prirodnyi kompleks natsional'nogo parka "Krasnoyarskie stolby" [Assessment of the Recreational Load on the Natural Complex of the Krasnoyarsk Stolby National Park]. *Nauchnye issledovaniya v zapovednikakh i natsional'nykh parkakh Yuzhnoi Sibiri. Novosibirsk: SO RAN*, 2024, pp. 79–87. (In Russ.)

14. Lomov V. D., Yangutov A. I., Efimova E. V. Vliyanie rekreatsionnykh nagruzok na lesovodstvenno-ekologicheskuyu otsenku sostoyaniya khvoinykh nasazhdenii NP "Losinyi ostrov" [Influence of recreational loads on the forestry and ecological assessment of the state of coniferous plantations of the NP "Losiny Ostrov"]. *Vest. Mosk. gos. un-ta lesa – Lesnoi vestnik*, 2005, no. 5, pp. 114–118. (In Russ.)

15. Pronin M. I., Rusanov Ya. S. *Chelovek, les, fauna* [Man, Forest, Fauna]. Moscow: Lesn. prom-st', 1981. 168 p. (In Russ.)

16. *Strategiya razvitiya turizma v Rossiiskoi Federatsii na period do 2035 goda: utv. Rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 20 sentyabrya 2019 goda № 2129-r* [Tourism Development Strategy in the Russian Federation for the period up to 2035: approved by Order No. 2129-r of the Government of the Russian Federation dated September 20, 2019]. (In Russ.) URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72661648/ (Accessed 16 December 2025).

17. *Teoreticheskie osnovy rekreatsionnoi geografii* [Theoretical Foundations of Recreational Geography]. Ed. by V. S. Preobrazhenskii. Moscow: Nauka, 1975. 223 p. (In Russ.)

18. Tereshkin A. V. specificity of optimization of recreational potential forest park (on the example of the green zone of Saratov). Science. Thought: electronic periodic journal, 2018, vyp. 8, no. 2, pp. 60–70. (In Russ.) DOI: 10.25726/NM.2018.2.2.006

19. Chizhova V. P. *Rekreatsionnye nagruzki v zonakh otdykha* [Recreational Loads in Recreation Areas]. Moscow: Znanie, 1977. 49 p. (In Russ.)

20. Chizhova V. P., Dobrov A. V., Zakhlebnyi A. N. *Uchebnye tropy prirody* [Educational Nature Trails]. Moscow: Agropromizdat, 1989. 157 p. (In Russ.)

21. Carey D. I. Development based on carrying capacity: A strategy for environmental protection. *Global Environmental Change*, 1993, no. 3, pp. 140–148.

22. Cole D. N. Research on soil and vegetation in wilderness: A state-of-knowledge review. In *USDA Forest Service, International Research Station: Issues, State-of-Knowledge, Future Directions: National Wilderness Research Conference (Fort Collins, Colorado, USA, from July 23 to 26, 1987).* Fort Collins, 1987, pp. 137–177.

23. Corbau C., Benedetto G., Congiatu P. P., Simeoni U., Carboni D. Tourism analysis at Asinara Island (Italy): Carrying capacity and web evaluations in two pocket beaches. *Ocean & Coastal Management*, 2019, vol. 169, pp. 27–36. DOI: 10.1016/J.OCECOAMAN.2018.12.004

24. Defining, Measuring and Evaluating Carrying Capacity in European Tourism Destinations: Report for a Document B4-3040/2000/294577/MAR/D2. Athens: University of Aegean, 2002. 99 p.

25. Frissell S. S., Stankey G. H. Wilderness Environmental Quality: search for social and ecological harmony: proceedings. *Society of American Foresters annual meeting. Hot Springs*, 1972, pp. 170–183.

26. Gonson Ch., Pelletier D., Alban F. Social carrying capacity assessment from questionnaire and counts survey: Insights for recreational settings management in coastal areas. *Marine Policy*, 2018, vol. 98, pp. 146–157. DOI: 10.1016/J.MARPOL.2018.08.016

27. He H., Shen L., Wong S.W., Cheng G., Shu T. A "load-carrier" perspective approach for assessing tourism resource carrying capacity. *Tourism Management*, 2023, vol. 94(2). DOI: 10.1016/j.tourman.2022.104651

28. Huamantinco Cisneros M. A., Revollo Sarmiento N. V., Delrieux C. A., Piccolo M. C., Perillo G. M. E. Beach carrying capacity assessment through image processing tools for coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 2016, vol. 130, pp. 138–147. DOI: 10.11137/2019_3_27_41

29. Jiménez J. A., Osorio A., Marino-Tapia I., Davidson M. A. Beach recreation planning using video-derived coastal state indicators. *Coastal Engineering*, 2007, vol. 54, no. 6, pp. 507–521. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2007.01.012

30. Kennell J. Carrying capacity. *Encyclopedia of Tourism*, 2016, pp. 133–135. DOI: 10.1007/978-3-319-01384-8_24

31. Khan S., Gulistan M., Kausar N., Kadry S. A Novel Method for Determining Tourism Carrying Capacity in a Decision-Making Context Using q−Rung Orthopair Fuzzy Hypersoft Environment. *CMES – Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 2023, vol. 138, no. 2, pp. 1951–1979. DOI: 10.32604/cmes.2023.030896

32. Leka A., Lagarias A., Panagiotopoulou M., Stratigea A. Development of a Tourism Carrying Capacity Index (TCCI) for sustainable management of coastal areas in Mediterranean islands – Case study Naxos, Greece. *Ocean & Coastal Management*, 2022, vol. 216. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2021.105978

33. López-Dóriga U., Jiménez J., Valdemoro H., Nicholls R J. Impact of sea-level rise on the tourist-carrying capacity of Catalan beaches. *Ocean & Coastal Management*, 2019, vol. 170, pp. 40–50. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2018.12.028

34. McCool S. F. Planning for Sustainable Nature-Dependent Tourism Development: The Limits of Acceptable Change System. *Tourism Recreation Research*, 1994, vol. 19, no. 2, pp. 51–55. DOI: 10.1080/02508281.1994.11014708

35. McCool S. F., Lime D. W. Tourism Carrying Capacity: Tempting Fantasy or Useful Reality? *Journal of Sustainable Tourism*, 2001, vol. 9, no. 5, pp. 372–388. DOI: 10.1080/09669580108667409

36. Muler Gonzalez V., Coromina L., Galí N. Overtourism: residents' perceptions of tourism impact as an indicator of resident social carrying capacity – case study of a Spanish heritage town. *Tourism Review*, 2018, vol. 73, no. 3, pp. 277–296. DOI: 10.1108/TR-08-2017-0138

37. Nahuelhual L., Carmona A., Lozada P., Jaramillo A., Aguayo M. Mapping recreation and ecotourism as a cultural ecosystem service: An application at the local level in Southern Chile. *Applied Geography*, 2013, vol. 40, pp. 71–82. DOI: 10.1016/j.apgeog.2012.12.004

38. Stankey G. H., Cole D. N., Lucas R. C. et. al. The Limits of Acceptable Change (LAC) System for Wilderness Planning: Gen. Tech. Rep. INT-176. Ogden: USDA, For. Serv., 1985. 37 p.

39. Tan Q. Research on sustainable carrying capacity of urban tourism environment based on multi objective optimization algorithm. *Results in Engineering*, 2023, vol. 19. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.101344

40. Tokarchuk O., Barr J. Ch., Cozzio C. How much is too much? Estimating tourism carrying capacity in urban context using sentiment analysis. *Tourism Management*, 2022, vol. 91. DOI: 10.1016/j.tourman.2021.104395

41. Tourist markets, promotion and marketing. Saturation of tourist destinations: Report of the Secretary-General on the General Programme of Work for the Period 1980–1981. Madrid: World Tourism Organization, 1981. 37 p.

42. Wight P. A. Tools for sustainability analysis in planning and managing tourism and recreation in the destination. *Sustainable Tourism: A Geographical Perspective*, 1998, pp. 75–91.

43. Yoon T. K., Myeong J. Y., Lee Y., Choi Y. E., Lee S., Lee Su., Byun Ch. Are you okay with overtourism in forests? Path between crowding perception, satisfaction, and management action of trail visitors in South Korea. *Forest Policy and Economics*, 2024, vol. 161. DOI: 10.1016/j.forpol.2024.103184

44. Yuan L. Z. Water resources carrying capacity of wetland conservation in Dongting. *Desalination and Water Treatment*, 2022, vol. 267, pp. 83–88. DOI: 10.5004/dwt.2022.28675

45. Zhang L. Y., Qiu J. W., Chung Sh. Sh. Assessing perceived crowding of diving sites in Hong Kong. *Ocean & Coastal Management*, 2015, vol. 116, pp. 116–177. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.07.025

46. Zhou Y. Prediction of tourist carrying capacity of scenic spots based on Neural Network. *Procedia Computer Science*, 2023, vol. 228, pp. 798–807. DOI: 10.1016/j.procs.2023.09.091

Статья поступила в редакцию: 24.12.25, одобрена после рецензирования: 23.03.26, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 24 December 2025; approved after review: 23 March 2026; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторе
Анна Юрьевна Александрова
Доктор географических наук, профессор,
Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова;
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1
ORCID: 0000-0002-1772-8431,
Scopus Author ID: 7003949615,
ResearcherID: D-6234-2015

Information about the author
Anna Yu. Aleksandrova
Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Lomonosov Moscow State University;
1, Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia
ORCID: 0000-0002-1772-8431,
Scopus Author ID: 7003949615,
ResearcherID: D-6234-2015

e-mail: analexan@mail.ru

Научное издание

Географический вестник
Geographical Bulletin

Выпуск №2(77)/2026

Редактор *А. С. Серебреников*
Корректор *С. А. Вороненко*
Компьютерная верстка *Е. Л. Гатина, В.В. Четыркина*

Подписано в печать 24.06.2026. Выход в свет 30.06.2026.
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 23,25. Тираж 500 экз. Заказ № 82

Пермский государственный национальный исследовательский университет
Управление издательской деятельности
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15. Тел. (342) 239-66-36

Отпечатано в типографии ПГНИУ
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15. Тел. (342) 239-65-47

Подписка на журнал осуществляется через сайт подписного агентства «Урал-пресс»
https://www.ural-press.ru/catalog/97266/8651105/?sphrase_id=396141. Подписной индекс 41001

Распространяется бесплатно и по подписке