

Географический вестник
= *Geographical bulletin*

Выпуск 1/2025

Научный журнал

Основан в 2005 году. Выходит 4 раза в год

Geographical Bulletin

Issue 1/2025

Scientific Journal

Founded in 2005. Published 4 times a year

УЧРЕДИТЕЛЬ

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

- 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*

Главный редактор

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

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. (342) 239-66-01, 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.

FOUNDER

Perm State University

*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*

Editor-in-Chief

Alexander I. Zyryanov, Doctor of Geographical
Sciences, Professor, Head of the Department of Tourism,
Perm State University

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. (342) 239-66-01, 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.

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., заведующий кафедрой региональной и муниципальной экономики 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 (Institute of Environmental Radioactivity) 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

Alexander I. Zyryanov, 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 and Municipal Economy, 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)

Kholsnazar 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 Дальневосточного отделения
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, Doctor of 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**

**Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А.,
Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.**
Современное состояние антропогенно нарушенных
болот юга Томской области

6

**Sinyutkina A.A., Kharanzhevskaya Yu.A.,
Gashkova L.P., Ivanova E.S., Kirillova M.E.**
The current state of anthropogenically disturbed
mires in the south of the Tomsk region

Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.
Физико-химические параметры воды эрозионно-
термокарстовых озер якутской Арктики

20

Gorodnichev R.M., Pestryakova L.A.
Physico-chemical parameters of water of erosion-
thermokarst lakes in the Yakutian Arctic

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ
И ПОЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ****31****ECONOMIC, SOCIAL AND POLITICAL
GEOGRAPHY**

Безруков Л.А., Фартышев А.Н.
Зависимость географической структуры экспорта
внутриконтинентальных стран от транспортабель-
ности товаров (на примере Монголии)

31

Bezrukov L.A., Fartyshev A.N.
Dependence of the geographical structure of in-
tracontinental countries' exports on the transporta-
bility of goods (a case study of Mongolia)

Валеева О.В., Шеховцова Т.Н.
Медико-демографические процессы в Байкальском
регионе

40

Valeeva O.V., Shekhovtsova T.N.
Medical and demographic processes in the Baikal
region

Воробьев Н.В., Воробьев А.Н., Ипполитова Н.А.
Опорный каркас населения и производства
Байкальского региона в пределах Транссибирского
транспортного коридора

50

Vorobyev N.V., Vorobyev A.N., Ippolitova N.A.
The population and production framework in the
Baikal region within the Trans-Siberian transport
corridor

Биктимиров Н.М.
Разработка и применение новой теории
«новеиторов» в географических исследованиях

62

Biktimirov N.M.
Development and application of the new 'noveitor'
theory in geographical research

ГИДРОЛОГИЯ**73****HYDROLOGY**

**Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д.,
Краморенко С.В.**
Оценка поступления тяжелых металлов в реку
Иртыш и ее притоки с водосборной площади

73

**Yakovchenko S.G., Zherelina I.V., Rybkina I.D.,
Kramorenko S.V.**
Assessment of heavy metal input into the Irtysh
river and its tributaries from the catchment area

**Микова К.Д., [Калинин В.Г.], Фасахов М.А.,
Шайдулина А.А., Ясинский С.В.**
Сезонные и многолетние изменения концентраций
биогенных веществ в водохранилищах Камского
каскада

86

**Mikova K.D., [Kalinin V.G.], Fasakhov M.A.,
Shaydulina A.A., Yasinsky S.V.**
Seasonal and long-term changes in the concentra-
tions of biogenic substances in the Kama cascade
reservoirs

Чернова М.А., Кузьмин К.А., Иванова С.А.
Изменчивость гидрологического режима малых
и средних рек Волжского бассейна Окско-Донской
низменности

99

Chernova M.A., Kuzmin K.A., Ivanova S.A.
Variability of the hydrological regime of small and
medium-sized rivers in the Volga basin of the Oka-
Don lowland

Шмакова М.В.
Моделирование руслового и бассейнового
компонентов твёрдого стока рек
(на примере реки Нарвы)

108

Shmakova M.V.
Modeling of the channel and basin components of
river solid runoff (using the example of the Narva
River)

МЕТЕОРОЛОГИЯ**116****Безуглова Н.Н., Суковатов К.Ю., Носкова Т.В., Папина Т.С.**

Сезонные особенности циркуляционных процессов и изменений высоты облачности над территорией юга Западной Сибири

Аль-хулайфави И.А.Д., Иощпа А.Р.

Синоптические условия и анализ грозовой активности на территории Ирака и Ростовской области России

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Долговременные изменения режима снежного покрова по данным метеостанции Нальчик

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**147****Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.**

Ландшафтно-экологические аспекты состояния природной среды реки Колымы

Кучин Л.С.

Мультиспектральная съемка на платформе беспилотного летательного аппарата районов природно-техногенной аккумуляции углеводородов

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА**174****Московченко Д.В., Фахретдинов А.В.**

Крупномасштабное картографирование мерзлых торфяников на юге криолитозоны Западной Сибири

METEOROLOGY**Bezuglova N.N., Sukovatov K.Yu., Noskova T.V., Papina T.S.**

Seasonal features of circulation processes and changes in cloud height over the territory of the south of Western Siberia

Al-khulaifawi I.A.J., Ioshpa A.R.

Synoptic conditions and analysis of thunderstorm activity in Iraq and the Rostov region of Russia

Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V.

Long-term changes in the snow cover regime according to data of the Nalchik weather station

ECOLOGY AND NATURE USE**Nikolaeva N.A., Pinigin D.D., Nikulin K.V.**

The Kolyma River basin: landscape-ecological / aspects of the state of the environment

Kuchin L.S.

Multispectral survey of hydrocarbons natural and man-made accumulation areas using an unmanned aerial vehicle

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS**Moskovchenko D.V., Fakhretdinov A.V.**

Large-scale mapping of palsas in the south of the cryolithozone of Western Siberia

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.312.2+571.16

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-6-19

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ БОЛОТ ЮГА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Анна Алексеевна Синюткина¹, Юлия Александровна Харанжевская², Людмила Павловна Гашкова³,
Екатерина Сергеевна Иванова⁴, Марина Евгеньевна Кириллова⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского
федерального научного центра агробиотехнологий РАН, г. Томск, Россия

¹ ankalaeva@yandex.ru, ResearcherID: E-8020-2014, Scopus Author ID: 56946911900, РИНЦ Author ID: 633163

² kharan@yandex.ru, ResearcherID: J-6772-2013, Scopus Author ID: 36995712000, РИНЦ Author ID: 162733

³ gashkova-lp@rambler.ru, ResearcherID: M-7651-2014, Scopus Author ID: 57194219406, РИНЦ Author ID: 747354

⁴ ivanova_e_s@bk.ru, РИНЦ Author ID: 750227

⁵ kirillovame1965@mail.ru, РИНЦ Author ID: 1020103

Аннотация. Проведена комплексная оценка состояния осушенных и частично выработанных в 1970–1980 гг. болот Томской области на примере трех ключевых участков (Таган, Каргалинское, Поротниковское). Выполнены оценки состояния и динамики растительного покрова, трансформации водно-физических свойств торфяной залежи, химического состава торфа и болотных вод. Использованы данные полевых и лабораторных исследований, проведенных в 2023 г., разновременных космических снимков и архивных карт. В результате исследования выявлено, что на всех исследуемых болотах отмечена высокая степень трансформации растительного покрова, происходящая как на участках болот, непосредственно подверженных осушению и добыче торфа, так и на прилегающих частях болот за пределами осушительной сети, выраженная в увеличении облесенности болот, замещении болотных видов на лесные и луговые. Выработанные участки представляют собой брошенные земли, покрытые открытой водной поверхностью (карьеры экскаваторной добычи торфа) или занятые зарослями деревьев и кустарников на остаточном слое торфа с низкой влажностью, и поэтому характеризуются высокой пожарной опасностью. Исключение составляет болото Таган, где на одном из выработанных участков в настоящее время происходит интенсивная дачная застройка. Трансформация верхних слоев торфяной залежи проявляется в увеличении зольности, плотности, степени разложения и снижения влажности. Современная аккумуляция торфа отмечена только на естественной точке Поротниковского болота. В результате снижения уровня болотных вод отмечается рост концентраций $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$ в торфе, повышение содержания $Fe_{обш}$, NH_4^+ и снижение NO_3^- , $С_{орг}$ в болотных водах, что является результатом минерализации верхних слоев торфяной залежи.

Ключевые слова: добыча торфа, осушение болот, торфяное месторождение, водно-физические свойства торфа, химический состав торфа, болотные воды

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств государственного задания Сибирского научно-исследовательского института агрокультуры и торфа (№ FNUU-2024-0002), финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Для цитирования: Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е. Современное состояние антропогенно нарушенных болот юга Томской области // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 6–19. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-6-19

PHYSICAL GEOGRAPHY, LANDSCAPES AND GEOMORPHOLOGY

Original article

doi 10.17072/2079-7877-2025-1-6-19

THE CURRENT STATE OF ANTHROPOGENICALLY DISTURBED MIRES IN THE SOUTH OF THE TOMSK REGION

Anna A. Sinyutkina¹, Yulia A. Kharanzhevskaya², Lyudmila P. Gashkova³, Ekaterina S. Ivanova⁴,
Marina E. Kirillova⁵



© 2025 Эта работа Синюткиной А.А., Харанжевской Ю.А., Гашковой Л.П., Ивановой Е.С., Кирилловой М.Е. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1, 2, 3, 4, 5 Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Tomsk, Russia

¹ ankalaeva@yandex.ru, ResearcherID: E-8020-2014, Scopus Author ID: 56946911900, RSCI Author ID: 633163

² kharan@yandex.ru, ResearcherID: J-6772-2013, Scopus Author ID: 36995712000, RSCI Author ID: 162733

³ gashkova-lp@rambler.ru, ResearcherID: M-7651-2014, Scopus Author ID: 57194219406, RSCI Author ID: 747354

⁴ ivanova_e_s@bk.ru, RSCI Author ID: 750227

⁵ kirillovame1965@mail.ru, RSCI Author ID: 1020103

Abstract. The condition of drained and partially worked-out in 1970-1980 mires of the Tomsk region was comprehensively assessed using the example of three key sites (Tagan, Kargalinskoye, Porotnikovskoye). We evaluated the state and dynamics of vegetation cover, transformation of the hydrophysical properties of peat deposits, and the chemical composition of peat and mire waters. Data from field and laboratory studies conducted in 2023, multi-time satellite images, and archival maps were used. The research has revealed a high degree of vegetation transformation in all of the studied sites, occurring in mire areas directly exposed to drainage and peat extraction as well as in adjacent parts of mires outside the drainage network, and expressed in increasing afforestation of mires, replacement of mire species with forest and meadow ones. The worked-out areas are abandoned lands covered with an open water surface (peat excavation pits) or occupied by thickets of trees and shrubs on a residual layer of peat with low water content, which are therefore characterized by a high fire hazard. An exception is the Tagan mire, where intensive suburban development is currently taking place on one of the worked-out sites. The transformation of the upper layers of the peat deposit is manifested in an increase in ash content, density, and degree of decomposition, and a decrease in water content. The modern accumulation of peat is noted only at the pristine plot of the Porotnikovsky mire. As a result of the decrease in the level of mire waters, there is noted an increase in N-NH_4^+ and N-NO_3^- concentrations in peat, an increase in Fe_{total} and NH_4^+ content, and a decrease in NO_3^- and C_{org} in mire waters, which is the result of mineralization of the upper layers of the peat deposit.

Keywords: peat extraction, drainage of mires, peatland, hydrophysical peat properties, chemistry of peat, mire waters

Funding. The research was carried out as part of state assignment of the Siberian Research Institute of Agriculture and Peat No. FNUU-2021-0004, funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

For citation: Sinyutkina, A.A., Kharanzhevskaya, Yu.A., Gashkova, L.P., Ivanova, E.S., Kirillova, M.E. (2025). The current state of anthropogenically disturbed mires in the south of the Tomsk region. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp. 6–19. doi:10.17072/2079-7877-2025-1-6-19

Введение

В естественном состоянии болота являются ценными ресурсами, выполняющими множество экосистемных функций, включая регулирование климата посредством связывания и накопления углерода и формирование местообитаний для флоры и фауны [30]. Использование болот для целей лесного и сельского хозяйства, добычи торфа требует их предварительного осушения, что является основной причиной деградации этих экосистем [34, 36]. Снижение уровня болотных вод и уничтожение естественного растительного покрова приводит к коренному изменению структуры и физических свойств торфяной залежи, ускоренной деградации торфа вследствие быстрого биохимического разложения органического вещества [25, 28]. Кроме того, неэффективное использование осушенных и выработанных болот способствует их зарастанию древесно-кустарниковой растительностью, что усиливает степень их пожароопасности [19, 25]. Существует несколько путей эксплуатации ранее осушенных болот: восстановление путем вторичного заболачивания [21], использование для добычи торфа с последующей рекультивацией, создание лугопастбищных агроценозов при небольшой реконструкции мелиоративных систем [1], создание плантаций ягодных растений (брусники, клюквы, голубики и др.) [17, 21]. При выборе направления дальнейшей деятельности на ранее осушенных территориях необходимо прогнозировать экологическую обстановку с учетом рационального землепользования [21]. Обязательным условием продуктивного и рационального использования нарушенных болот является их всесторонняя оценка и инвентаризация с учетом произошедших за прошлые годы изменений площадей, запасов, состояний [23].

На территории Российской Федерации оценки состояния и динамики антропогенно нарушенных болот, в том числе с использованием методов геоинформационного картографирования, проведены на территориях некоторых областей европейской части [3, 14, 16, 18–20, 22, 24], в то время как информация о современном состоянии осушенных и частично выработанных болот на территории Западной Сибири, в частности в Томской области, практически отсутствует. Некоторые более ранние данные по выработанным болотам Томской области представлены в монографии [15].

Использование болот Томской области для добычи торфа началось в 1960-х гг. и продолжалось до начала 1990-х гг. Механизированная добыча торфа проводилась на 64 болотах, в основном относящихся к низинному типу и расположенных в поймах и на террасах рек. За весь период площадь болот, нарушенных в результате торфоразработок, оценивается в 62,4 км² [15]. Добыча торфа осуществлялась главным образом неспециализированными организациями для нужд сельского хозяйства, поэтому ее последствия были непредсказуемыми и отличались между болотами. Максимальные объемы добычи были достигнуты к 1988 г. и составляли 2,8 млн т/год. В то время добыча велась на 39 месторождениях. В 1990-е гг. нарушенные после осушения и торфоразработок

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гаикова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

болота были брошены, мероприятия по рекультивации практически не проводились [2, 27]. На протяжении более чем 30 лет здесь проходили неконтролируемые процессы зарастания, трансформации физических и химических свойств остаточной торфяной залежи на выработанных участках и на прилегающих к ним территориях в результате косвенного влияния осушительной сети.

Оценки современного состояния ранее используемых для добычи торфа болот Томской области отсутствуют, что и стало целью данного исследования. Задачи исследования: 1) оценить состояние и динамику растительного покрова на основе материалов полевых исследований и геоинформационного картографирования с использованием разновременных спутниковых данных; 2) провести анализ водно-физических свойств торфа для определения тренда торфонакопления/деградации торфяной залежи; 3) изучить особенности химического состава торфов и болотных вод.

Объекты исследований

Объектами исследования являются три ключевые участка на осушенных и частично выработанных в 1970–1980 гг. болотах, расположенные в юго-восточной части Западной Сибири в пределах Томской области (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения объектов исследования:

1 – болото Таган; 2 – Каргалинское болото; 3 – Поротниковское болото

Fig. 1. The study area: 1 – Tagan mire; 2 – Kargalinskoe mire; 3 – Porotnikovskoe mire

Территория исследования относится к подзонам южной тайги (Поротниковское болото) и подтайги (Каргалинское болото и болото Таган). Климат континентальный, среднегодовая температура воздуха за период 1960–2022 гг. по данным метеостанции в с. Бакчар (южная тайга) составляет 0,02 °С, в Томске (подтайга) – 0,66 °С, количество осадков изменяется в пределах 534–598 мм [4]. Территория южной тайги отличается высокой заболоченностью, достигающей 54 %. Здесь преобладают верховые болота на междуречных равнинах и низинные и переходные в поймах и на террасах рек. Заболоченность подтайги составляет 16 %, здесь наиболее распространены низинные и переходные болота. Антропогенно нарушенные болота расположены преимущественно в южной части области [26].

Болото Таган расположено в Томском районе Томской области в окрестностях с. Тахтамышцево на первой надпойменной террасе р. Томи и в ложбине древнего стока на Обь-Томском междуречье. Общая площадь болота составляет 63,1 км², ключевой участок охватывает северную часть болота площадью 18,7 км². Осушение проведено сетью открытых каналов в 1960-х гг. на площади 1,3 км², расстояние между каналами – 50–100 м. Водоприемником является р. Черная.

Каргалинское болото расположено в Шегарском районе Томской области на второй надпойменной террасе р. Оби. Общая площадь болота составляет 0,87 км², из которой осушение проведено на площади 0,22 км², на большей части осушенного участка осуществлялась добыча торфа. Осушение проводилось сетью открытых каналов в конце 1970-х – начале 1980-х гг., расстояние между каналами – 35–50 м. Водоприемником является р. Мундрова.

Болото Поротниковское расположено в Бакчарском районе Томской области на первой надпойменной террасе р. Бакчар. Болото частично осушено. Общая площадь болота составляет 7 км², в том числе осушенная и выработанная часть – 1,2 км². Осушение было проведено сетью открытых каналов в 1980-х гг. Расстояние между каналами – 40 м, водоприемником является р. Бакчар.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

Материалы и методы

Полевые исследования на ключевых участках проведены в 2023 г. Точки полевых исследований выбраны при визуальном дешифрировании космических снимков высокого пространственного разрешения (менее 10 м/пикс), находящихся в открытом доступе на картографических онлайн-сервисах (Yandex-карты, SASPlanet и др.). Точки полевых исследований располагались в наиболее распространенных геосистемах для исследуемого болота и охватывали участки естественных болот, условно естественных болот, находящиеся за пределами осушительной сети, но подверженные косвенному влиянию осушения, а также осушенные и выработанные участки (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика точек полевых исследований
Characteristics of field research plots

Болото	Таган		Каргалинское			Поротниковское	
Фитоценоз	Березово-сосновый травяной	Травяной	Елово-березовый травяной	Березовый	Травяной	Березово-кедрово- сосновый кустар- ничковый разно- травно-сфагновый	Сосново-березовый крапивный
Антропогенная нагрузка*	2	3	2	3	3	1	3
УБВ, см	-150	**	-37	**	**	-24	**
Мощность торфа, см	300	40–50	300	0–50	0–50	190	100
Проективное покрытие/сомкнутость крон %							
<i>Pinus sylvestris</i> L.	65	–	–	–	–	25	10
<i>Pinus sibirica</i> Du Tour	2	–	1	–	–	5	–
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	3	–	10	10	–	–	–
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	15	–	50	60	–	5	20
<i>Padus avium</i> Mill.	2	–	–	–	–	–	–
<i>Rubus idaeus</i> L.	2	–	–	–	–	–	–
<i>Ribes nigrum</i> L.	–	–	15	–	–	–	–
<i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench	–	–	–	–	–	30	–
<i>Salix</i> L.	–	5	–	–	–	–	–
<i>Urtica dioica</i> L.	80	20	–	–	50	–	95
<i>Pteridium pinetorum</i> C.N.Page & R.R.Mill	5	–	–	–	–	–	–
<i>Poaceae</i>	5	30	–	–	–	30	–
<i>Vicia</i> L.	–	20	–	–	–	–	–
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	–	20	–	–	–	–	–
<i>Rhododendron tomentosum</i> (Stokes) Harmaja	–	–	–	–	–	10	–
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	–	–	–	–	–	10	–
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	–	–	40	–	50	–	–
<i>Dryopteris</i> Adans.	–	–	30	–	–	–	–
<i>Carex</i> L.	–	–	30	–	–	5	–
<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	–	–	5	–	–	–	–
<i>Comarum palustre</i> L.	–	–	–	–	–	20	–
<i>Bryidae</i>	–	–	5	–	–	10	–
<i>Sphagnum angustifolium</i> (Rus-sow) C.E.O.Jensen	–	–	–	–	–	30	–
<i>Sphagnum warnstorffii</i> Russow	–	–	–	–	–	15	–

*1 – естественное болото; 2 – условно естественное болото, косвенное влияние осушения; 3 – выработанный участок.

** ниже торфяной залежи

Полевые исследования включали: 1) геоботанические описания с указанием видов растений всех ярусов, проективного покрытия каждого вида и высоты растений; 2) определение общей мощности торфяной залежи и мощности слоев по видам и типам торфа на всех точках. В соответствии с выделенными слоями проведен отбор образцов торфа для лабораторного анализа водно-физических и химических свойств торфа на точках, расположенных вне участков добычи торфа – на естественной точке Поротниковского болота и условно естественных точках на болотах Каргалинское и Таган. Шаг отбора составил 10–25 см до глубины 50 см и 50 см в нижележащих слоях; 3) измерение

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гаикова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

уровня болотных вод (УБВ); 4) отбор проб болотных вод с применением скважинного пробоотборника из прозрачного ПВХ высокой плотности Solinst 428. Сразу после отбора определялась температура воды и неустойчивые компоненты. Определение растворенного O_2 в болотных водах проводилось с использованием оксиметра HI 9146-04 фирмы HANNA Instruments (Германия). Величину pH измеряли с помощью полевого прибора pH-200 фирмы HM Digital (Южная Корея), окислительно-восстановительный потенциал (Eh) – при использовании ORP-200 фирмы HM Digital (Южная Корея). Электропроводность (ЕС) болотных вод измеряли с применением кондуктометра HI8733 фирмы HANNA Instruments (Германия).

Химический анализ болотных вод выполнен с применением аттестованных методик в Лабораторно-аналитическом центре Сибирского НИИ сельского хозяйства и торфа – филиале Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН. Концентрацию HCO_3^- , Cl^- в воде устанавливали титриметрическим методом, $Fe_{общ}$, NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} – спектрофотометрическим методом (Specol-1300, Analytik Jena AG, Германия), концентрацию ионов K^+ , Na^+ – методом пламенной фотометрии (ПФА-378, Россия). Минерализацию вод оценивали по сумме ионов. Содержание $C_{орг}$ в болотных водах определяли в соответствии с СТП 0493925-008-93.

Оценка особенностей химического состава торфа включала вычисление содержания CaO , MgO [12], NO_3^- [8], NH_4^+ [7], Fe_2O_3 [11], K_2O [10], P_2O_5 [9], органического вещества (фотометрическим методом). Оценка трансформации химического состава торфяной залежи на ключевых участках проведена относительно полученных ранее данных для естественного древесно-кустарничково-мохового низинного болота на террасе р. Бакчар.

Лабораторное определение водно-физических свойств торфа выполнено в соответствии с ГОСТ 11305-2013 [5] (определение влажности торфа), ГОСТ 11306-2013 [6] (определение зольности торфа), ГОСТ 28245-89 [13] (определение степени разложения и ботанического состава торфа); плотность – по соотношению массы образца к его объему; объем образца – при замораживании исходных образцов ненарушенной структуры [32].

Проведено геоинформационное картографирование состояния и динамики ключевых участков на основе данных современных и архивных данных дистанционного зондирования (Landsat 1976 и 2023 гг.), а также материалов полевых исследований.

Результаты исследования и обсуждение

Антропогенная трансформация и современное состояние растительного покрова ключевых участков

По данным архивных спутниковых данных Landsat (1976 г.), растительный покров на большей части **болота Таган** в пределах ключевого участка (16,4 км²) был представлен травяным сообществом с редкими деревьями, окраинные части были заняты древесными сообществами (2,1 км²). Болото имело два изолированных контура, разделенных заболоченным лесом. В настоящее время в результате высокой интенсивности антропогенной нагрузки произошли следующие изменения (рис. 2). По результатам визуального дешифрирования разновременных спутниковых данных было отмечено увеличение высоты и плотности древесного яруса на болоте за пределами осушительной сети (условно естественный участок болота). Увеличение облесенности болота более выражено вдоль его границ. Площадь древесных фитоценозов увеличилась с 2,1 до 3,6 км². Кроме того, произошла смена болотных видов на лесные в составе кустарникового и травяного ярусов, деградация мохового яруса.

В современном растительном покрове условно естественного участка в составе древесного яруса преобладает *Pinus sylvestris* высотой 15–20 м в хорошем состоянии. В подросте встречаются *P. sylvestris*, *P. sibirica*, *Picea obovata*, *Populus tremula*. В травяном ярусе доминирует *Urtica dioica*, моховой ярус отсутствует (табл. 1). Под влиянием осушения и освоения территории, сопровождающихся вырубками, произошла смена заболоченного леса на суходольные участки, частично занятые луговой, кустарниковой и древесной растительностью. Добыча торфа, строительство насыпных дорог, препятствующие стоку с болота, в центральной части ключевого участка привели к формированию участков с открытой водной поверхностью, зарослями кустарников, к гибели древесного яруса в зоне затопления. В северной части болота на площади 0,9 км² в 1960–1970 гг. проведено осушение и добыча торфа. В настоящее время на этой территории происходит строительство дачных домов в рамках организации садового некоммерческого товарищества. Здесь сохранилась осушительная сеть, вдоль которой проложены дороги. Полосы вдоль каналов заняты древесной растительностью из сосны и березы. Между каналами преобладают травяные сообщества, представленные луговыми видами с отдельными ивами (табл. 1).

На большей части **Каргалинского болота** (0,59 км²) до антропогенной нагрузки растительный покров был представлен травяным сообществом с редкими деревьями, окраинные части были заняты древесными сообществами (рис. 3). В настоящее время поверхность и растительный покров выработанной части характеризуются высокой неоднородностью и мелкоконтурностью растительных сообществ. Чередуются участки со взрослым древесным ярусом из *Betula pubescens* высотой 15–18 м, участки, занятые подростом *Picea obovata*, открытые участки с травяной растительностью (*Urtica dioica*, *Filipendula ulmaria*) и участки с открытой водной поверхностью. Уровень болотных вод составил –37 см. Отмечено обсыхание условно естественной части болота в сравнении с состоянием 1976 г., выраженное в зарастании древесной растительностью и замещением болотных видов на лесные в травяном и кустарниковом ярусах, что, вероятно, произошло за счет влияния осушительной сети в северной части болота и углубления ручья вдоль западной границы болота, по которому производится сток с осушительной сети. Доминантом древесного яруса с общей сомкнутостью крон 60 % является *B. pubescens* высотой около 18 м. В ярусе подроста отмечены *Pinus sylvestris*, *P. obovata*. Кустарниковый ярус с проективным

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гаикова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

покрытием 15 % образован *Ribes nigrum*. Доминантом травяного яруса с общим проективным покрытием 80 % является *Filipendula ulmaria*, в понижениях микрорельефа встречаются осоки (табл. 1).

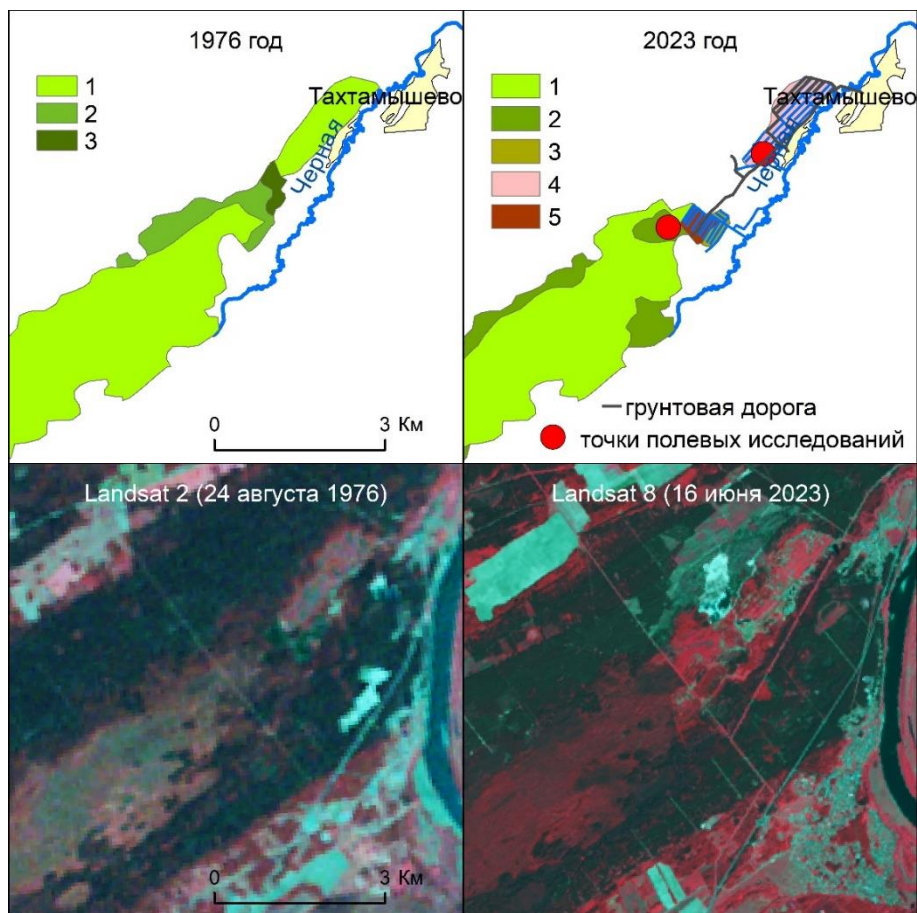


Рис. 2. Карты и космические снимки Landsat ключевого участка болота Таган:

1976 г.: 1 – травяное низинное болото с отдельными деревьями;

2 – древесное низинное болото; 3 – заболоченный лес;

2023 г.: 1 – древесно-травяное низинное болото; 2 – древесное низинное болото;

3 – осушенный участок с древесной и кустарниковой растительностью; 4 – земли строящегося садового некоммерческого товарищества на выработанном участке болота;

5 – выработанный участок болота с древесной,

кустарниково-травяной растительностью и открытыми водными поверхностями

Fig. 2. Maps and Landsat imagery of the Tagan mire key site:

1976: 1 – grass fen with single trees; 2 – swamp; 3 – swamp forest;

2023: 1 – wood-grass fen; 2 – swamp; 3 – drained site with trees and shrubs; 4 – gardens on the drained and peat-extracted site. 5 – peat-extracted site with trees, shrubs, grasses, and open water surfaces

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

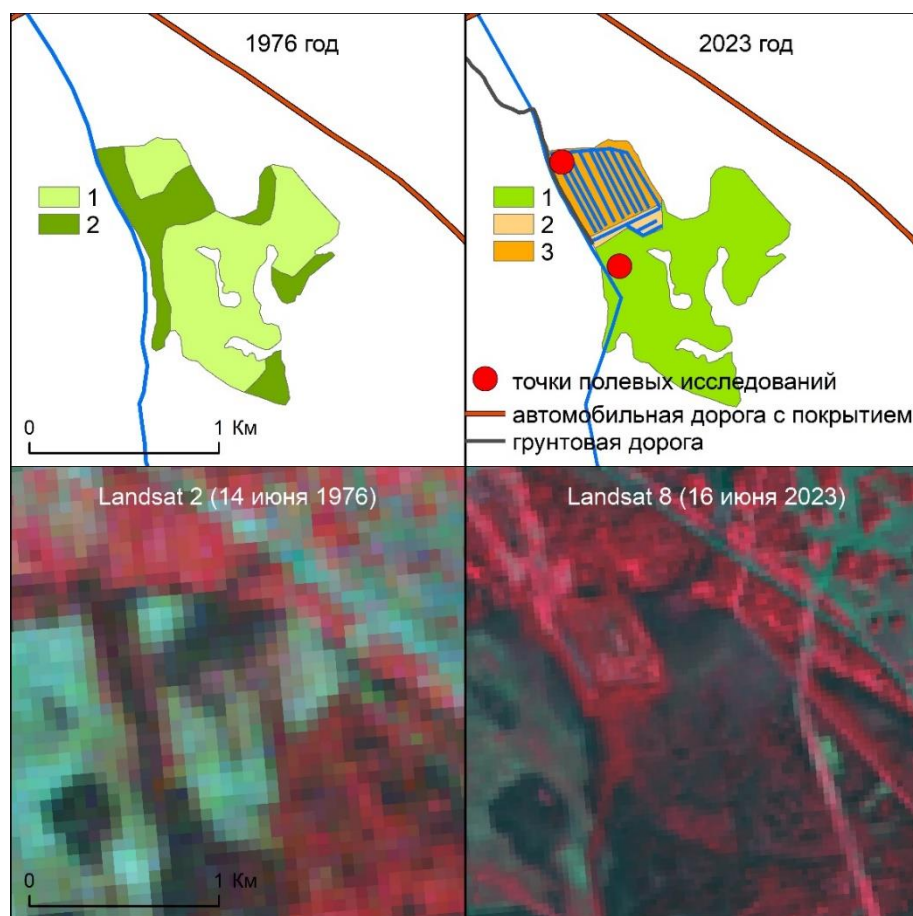


Рис. 3. Карты и космические снимки Landsat ключевого участка болота Каргалинского:
 1976 г.: 1 – травяное низинное болото с отдельными деревьями; 2 – древесное низинное болото;
 2023 г.: 1 – елово-березовое травяное низинное болото; 2 – осушенное елово-березовое травяное
 низинное болото; 3 – выработанный участок болота с древесной, травяной растительностью
 и открытыми водными поверхностями

Fig. 3. Maps and Landsat imagery of the Kargalinskoe mire key site:
 1976: 1 – grass fen with single trees; 2 – swamp;
 2023: 1 – fir-birch grass fen; 2 – fir-birch grass drained mire; 3 – peat-extracted site with trees, grasses,
 and open water surfaces

На **Поротниковском болоте** растительный покров центральной части до осушения был представлен древесно-моховым фитоценозом с деревьями высотой менее 5 м. В результате осушения и частичной добычи торфа произошло разрастание древесного яруса из *Betula pubescens* и *Pinus sylvestris* с увеличением высоты до 15 м в восточной части осушенного участка. Осушительная сеть здесь продолжает функционировать, что проявляется в низком уровне болотных вод (ниже торфяной залежи) и хорошем состоянии древесного яруса. В западной части было проведено сведение древесной растительности с последующей добычей торфа. В настоящее время этот участок представляет собой затопленное понижение с травяной и ивовой растительностью (рис. 4). Растительный покров естественной части представлен березово-кедрово-сосновым кустарничковым разнотравно-сфагновым фитоценозом по видовому составу с доминированием типичных болотных видов. Доминантом древесного яруса высотой 7–12 м и сомкнутостью крон 30–40 % является *P. sylvestris*. Проективное покрытие кустарничковым ярусом из *Chamaedaphne calyculata* и *Rhododendron tomentosum* составляет 40 %. В травяном ярусе распространены *Calamagrostis* sp., *Comarum palustre*. В моховом ярусе преобладают сфагновые мхи (табл. 1).

Таким образом, снижение уровня болотных вод на исследуемых болотах до –37 см и глубже способствовало деградации болотной растительности. Схожие результаты были получены при исследовании антропогенно нарушенных низинных болот Беларуси [28], где было отмечено, что снижение уровня болотных вод до 21–40 см с амплитудой колебаний 45–100 см является критическим для роста болотной растительности и способствует смене болотных видов на луговые.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

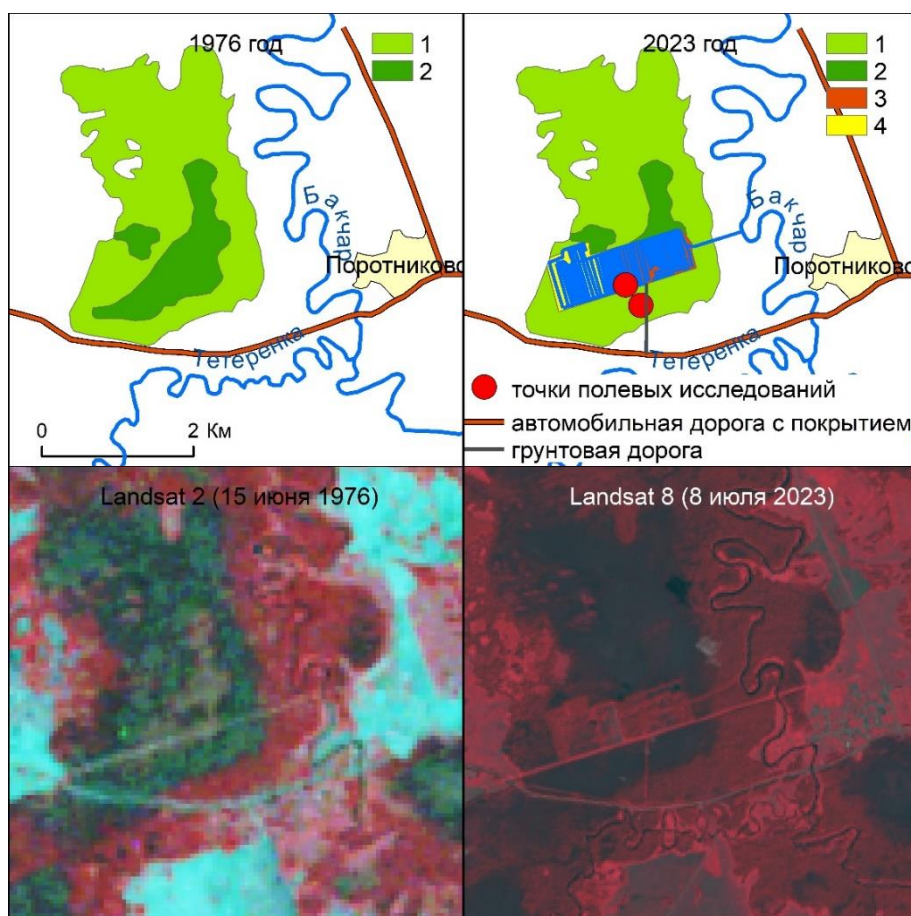


Рис. 4. Карты и космические снимки Landsat ключевого участка болота Поротниковское: 1976, 2023 гг.: 1 – березово-кедрово-сосновое кустарничковое разнотравно-сфагновое переходное болото; 2 – древесно-моховое переходное болото; 3 – выработанный участок болота с сосново-березовой крапивной растительностью; 4 – выработанный участок болота с ивово-травяной растительностью

Fig. 4. Maps and Landsat imagery of the Porotnikovskoe mire key site:
 1976, 2023: 1 – birch-pine, dwarf shrub, grass-sphagnum mesotrophic mire; 2 – wood-moss mesotrophic mire;
 3 – peat-extracted site with pine, birch, and nettle; 4 – peat-extracted site with willows and grasses

Водно-физические свойства торфа

Торфяная залежь на точках за пределами осушительной сети на всех ключевых участках имеет схожее строение и сложена древесным, древесно-травяным, травяно-гипновым и травяным видами торфа, за исключением верхнего горизонта на Поротниковском болоте, образованного древесно-сфагновым торфом (рис. 5). Средняя влажность по глубине изменяется в пределах 86,6–89,5 %. На болоте Таган для верхнего слоя до глубины 25 см характерно экстремальное снижением влажности до 63–69 %, что ниже на 20 % в сравнении со средними значениями, характерными для древесного и древесно-травяного низинного торфа [29]. Менее значимое снижение влажности (до 80,2 %) отмечено на Каргалинском болоте, а на Поротниковском болоте верхний слой, наоборот, характеризуется высокой влажностью (92,1 %). В нижележащих слоях на всех болотах происходит стабилизация значений на уровне 85–90 %, что соответствует или на 2–3 % ниже в сравнении с типичными значениями для травяного и травяно-гипнового низинных торфов (рис. 6) [29].

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
 Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гаикова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

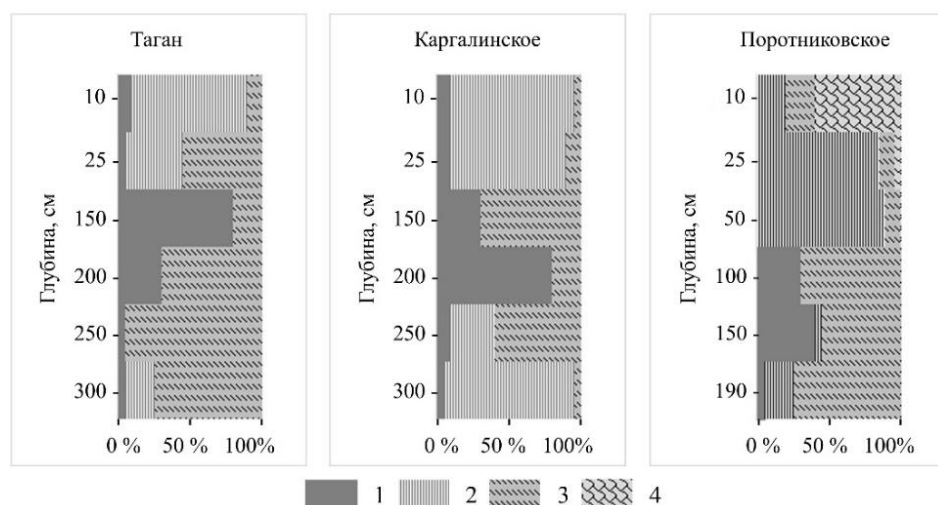


Рис. 5. Ботанический состав торфа:

1 – гипновые мхи; 2 – древесные остатки; 3 – травяные остатки; 4 – сфагновые мхи

Fig. 5. Botanical composition of peat:

1 – bryidae; 2 – wood; 3 – herb; 4 – sphagnum

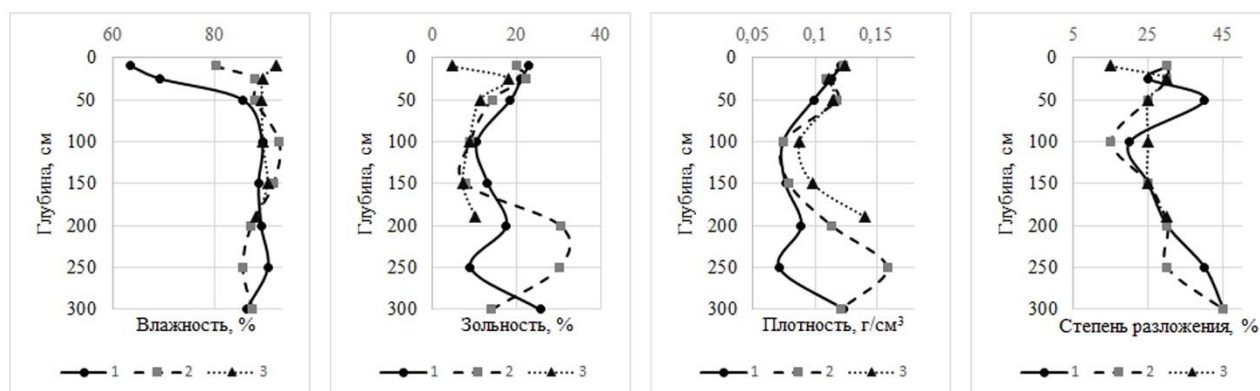


Рис. 6. Водно-физические свойства торфяной залежи:

1 – болото Таган; 2 – Каргалинское болото; 3 – Поротниковское болото

Fig. 6. Water and physical properties of peat deposits:

1 – Tagan mire; 2 – Kargalinskoe mire; 3 – Porotnikovskoe mire

Болота Таган и Каргалинское характеризуются высокой зольностью, средние значения по глубине составляют 15,9 и 18,1 % соответственно. На Поротниковском болоте среднее значение – 9,3 %. Наблюдаются колебания значений по глубине, определяющиеся ботаническим составом торфа, тем не менее на болоте Таган зольность во всех слоях оказалась выше значений, характерных для представленных видов торфа, на 2–5 % (рис. 6) [29]. При исследовании нарушенных болот Беларуси также было отмечено увеличение зольности с 3–17 до 6–35 % и снижение влажности в верхнем слое (0–25 см) с 73–92 до 56–89 %, что объясняется процессами минерализации органического вещества [28]. На болотах Таган и Каргалинское максимальные значения плотности характерны для верхних горизонтов торфяной залежи, где она составляет 0,11–0,12 г/см³, в нижележащих слоях плотность снижается до 0,07–0,08 г/см³ (рис. 6). В верхнем слое также происходит увеличение степени разложения в сравнении с нижележащими слоями в среднем на 5 %. На Поротниковском болоте плотность изменяется в пределах 0,09–0,14 г/см³ и определяется ботаническим составом торфа. Таким образом, увеличение плотности и степени разложения в верхних слоях залежи осушенных болот может быть связано как с особенностями ботанического состава торфа (большая доля древесных остатков), так и с просадкой торфяной залежи вследствие низкого уровня болотных вод. Вероятно, увеличение доли древесных остатков в верхних слоях торфяной залежи на сухих болотах объясняется быстрым разложением травяных остатков в условиях критически низкой влажности торфа, что также было отмечено на верховом болоте в Финляндии [31].

Особенности химического состава торфа и болотных вод

Химический состав торфяной залежи объясняется естественными процессами торфонакопления и антропогенными факторами. Содержание CaO, MgO, Fe₂O₃ в торфе связано с выклиниванием высокоминерализованных подземных вод и подтоплением паводковыми водами на ранних стадиях развития болот. Максимальным

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гаикова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

содержанием СаО и MgO характеризуется Каргалинское болото, максимальное содержание Fe_2O_3 отмечено на болоте Таган (табл. 2). В целом содержание элементов оказалось сопоставимо или ниже значений на естественном низинном болоте, где содержание СаО в торфе составило 103167–107959 мг/кг, MgO – 15354–16543 мг/кг, Fe_2O_3 – 17506–43937 мг/кг. Концентрации СаО, MgO, Fe_2O_3 в торфе существенно превышают содержание этих компонентов в подстилающих породах, что свидетельствует о том, что болота являются геохимическими барьерами и элементы аккумулируются в торфяной залежи. Содержание P_2O_5 различается между болотами в 30 раз и определяется составом поступающих грунтовых вод. Максимальное содержание, достигающее 70489 мг/кг, отмечено на болоте Таган на глубине 150–200 см. На болотах Каргалинское и Поротниковское содержание P_2O_5 ниже и близко к естественному болоту (2345 мг/кг).

В условиях снижения уровней болотных вод в торфе отмечается рост концентраций N-NH_4 , N-NO_3 , что отражает процессы деградации торфяной залежи. На всех болотах отмечены высокие значения N-NH_4 и N-NO_3 . Содержание N-NH_4 в среднем в 1,7–2,3 раза, N-NO_3 в 2,4–4 раза выше в сравнении с естественным болотом на террасе р. Бакчар. Среднее по глубине содержание углерода $\text{C}_{\text{орг}}$ соответствует значению на естественном болоте (41,8 %). В верхних слоях торфяной залежи (0–25) на болотах Таган и Каргалинское происходит снижение значений до 32,5–36,0 %, что отражает процесс деградации торфяной залежи в этом слое. На Поротниковском болоте снижение содержания $\text{C}_{\text{орг}}$ в верхнем слое не происходит. Содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ составляет 46,7 %, что даже выше в сравнении с верхним слоем на естественном болоте (43,1 %) (табл. 2).

Таблица 2

Среднее содержание химических веществ в торфе ключевых участков, мг/кг

Mean content of chemicals in peat of key sites, mg/kg

Точка отбора проб	СаО	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	C _{орг} , %
Таган	38560	11935	74	26241	31282	3936	98	42
Каргалинское	123415	14460	97	2307	24113	2245	67	42
Поротниковское	34846	9372	247	864	15718	2555	64	45

Анализ данных по химическому составу болотных вод показал, что проба на естественной точке Поротниковского болота характеризуется содержанием химических веществ, весьма близким к естественным низинным болотам района исследований [33]. В качестве отличий следует отметить только повышение концентраций SO_4^{2-} до 11,3 мг/л, Na^+ до 8,30 мг/л. Проба, отобранная на участке торфодобычи на Поротниковском болоте, в сравнении с естественным характеризуется повышенным содержанием (в 1,3–3,5 раза) в водах K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, NH_4^+ , CO_2 и общего содержания ионов. Наоборот, в водах естественного участка отмечаются более высокие концентрации $\text{C}_{\text{орг}}$ (96,2 мг/л) и, как следствие, снижение величины pH вод, а также повышенное содержание SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ , Cl^- , что может быть связано с поступлением элементов путем дальнего аэрозольного переноса в результате природных пожаров, которые были отмечены в начале летнего периода 2023 г. В пробе с условно естественной точки Каргалинского болота присутствуют более высокие содержания K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , а содержание HCO_3^- и общая минерализация вод в пробах Каргалинского и с участка торфодобычи на Поротниковском болоте сопоставимы. В водах формируется переходная окислительно-восстановительная обстановка от 12 до –100 мВ.

Болотные воды исследуемых ключевых участков болот имеют типичный химический состав, характерный для низинных болот речных долин региона, который формируется под влиянием выклинивания высоко-минерализованных подземных вод, что определяет повышение в водах pH, концентраций Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, HCO_3^- и общей минерализации вод. Под влиянием торфодобычи и, как следствие, снижения уровней болотных вод в пробе с Поротниковского болота отмечено в сравнении с естественным участком повышение содержания в водах $\text{Fe}_{\text{общ}}$, NH_4^+ и, наоборот, наблюдается снижение NO_3^- , $\text{C}_{\text{орг}}$, что является результатом минерализации верхних слоев торфяной залежи.

Заключение

В результате исследования отмечено, что смена растительного покрова и свойств торфяной залежи происходит не только на участках болот, непосредственно подверженных антропогенной нагрузке, но и на прилегающих территориях за пределами осушительной сети, что было присуще болотам Таган и Каргалинское. Здесь происходит увеличение облесенности болот, замещение болотных видов на лесные и луговые в кустарниковом и травяном ярусах. В верхних горизонтах торфяной залежи до глубины 25 см отмечено снижение влажности, увеличение зольности, плотности торфа и степени разложения торфа. Анализ водно-физических свойств торфа показал, что на болотах Таган и Каргалинское происходит деградация торфяной залежи даже на участках за пределами осушительной сети и добычи торфа. На естественной точке Поротниковского болота наличие сфагновых мхов как в составе современного фитоценоза, так и в ботаническом составе верхнего слоя торфяной залежи сви-

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология**Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.*

детельствует о процессах современной аккумуляции торфа. На всех болотах в пределах осушенной части происходит деградация остаточного слоя торфа, что является следствием активизации процессов аэробного разложения при низких уровнях болотных вод [31]. В результате снижения уровня болотных вод отмечается рост концентраций $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$ в торфе, повышение содержания $Fe_{общ}$, NH_4^+ и снижение NO_3^- , $C_{орг}$ в болотных водах, что является результатом минерализации верхних слоев торфяной залежи.

Библиографический список

1. Анисимова Т.Ю., Лученок Л.Н. Проблематика эффективного использования осушенных торфяников в России и Беларуси: теоретические и практические основы // Проблемы агрохимии и экологии. 2018. № 4. С. 78–84. DOI: 10.26105/AE.2018.4.33.017
2. Бернатонис П.В., Боярко Г.Ю., Бернатонис В.К. Эффективность разработки торфяных месторождений Томской области в современных условиях // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 344. С. 195–199.
3. Бричёва С.С., Магасов В.М., Шилов П.М. Георадар в геоэкологических исследованиях при искусственном обводнении торфяников // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2017. № 3. С. 76–83.
4. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России: свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394.
5. ГОСТ 11305-2013 Торф и продукты его переработки. Методы определения влаги. М.: Стандартинформ, 2014. 8 с.
6. ГОСТ 11306-2013 Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. М.: Стандартинформ, 2014. 6 с.
7. ГОСТ 27894.3-88 Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения аммиачного азота. 1988. 11 с.
8. ГОСТ 27894.4-88 Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения нитратного азота. 1988. 13 с.
9. ГОСТ 27894.5-88 Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения подвижных форм фосфора. 1988. 8 с.
10. ГОСТ 27894.6-88 Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения подвижных форм калия. 1988. 5 с.
11. ГОСТ 27894.7-88 Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения подвижных форм железа. 1988. 7 с.
12. ГОСТ 27894.12-88 Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения обменного кальция и обменного магния. 1988. 7 с.
13. ГОСТ 28245-89 Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения. 2-е изд. М.: Стандартинформ, 2006. 7 с.
14. Ильясов Д.В., Сирин А.А., Макарова Л.Ю., Букин А.В., Кораблина Н.Е. ГИС-картографирование торфяных болот и антропогенно измененных торфяников Рязанской области // Вестник РГГУ. 2019. № 1 (41). С. 30–38.
15. Инишева Л.И., Аристархова В.Е., Порохина Е.В., Боровкова А.Ф. Выработанные торфяные месторождения, их характеристика и функционирование. Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2007. 225 с.
16. Курбатова И.Е., Верещака Т.В., Иванова А.А. Космический мониторинг трансформации болотных ландшафтов в условиях антропогенных воздействий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 4. С. 216–227. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-216-227
17. Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Заушинцева А.В., Куликова Е.И., Тяк Г.В., Курлович Т.В. Повышение эффективности многоцелевого лесопользования на выработанных торфяниках // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 3. С. 91–102. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-3-91-102
18. Медведева М.А., Возбранная А.Е., Барталев С.А., Сирин А.А. Оценка состояния заброшенных торфоразработок по многоспектральным спутниковым изображениям // Исследование земли из космоса. 2011. № 5. С. 80–88.
19. Медведева М.А., Возбранная А.Е., Сирин А.А., Маслов А.А. Возможности различных многоспектральных спутниковых данных для оценки состояния неиспользуемых пожароопасных и обводняемых торфоразработок // Исследование Земли из космоса. 2017. № 3. С. 76–84. DOI: 10.7868/S0205961417020051
20. Медведева М.А., Макаров Д.А., Сирин А.А. Применимость различных спектральных индексов на основе спутниковых данных для оценки площадей торфяных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17, № 5. С. 157–166. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-157-166
21. Москаленко Н.В., Булко Н.И., Толкачёва Н.В., Машков И.А., Серенкова В.А. К вопросу о состоянии мелиорированных земель, находящихся в составе лесного фонда // Вестник гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 5. Экономика. Социология. Биология. 2020. Т. 10, № 1. С. 125–132.
22. Муравьева Л.В., Сидорова Е.В. Создание базы данных нарушенных болот Тверской области // Вестник ТвГУ. Серия География и геоэкология. 2016. № 1. С. 27–33.
23. Навоша Ю.Ю., Тановицкая Н.И. Оценка состояния торфяных месторождений на основе дешифрирования спутниковых снимков сверхвысокого разрешения (на примере Брестской области) // Природопользование. 2019. № 2. С. 168–176.
24. Панов В.В., Женихов Ю.Н. Структура и учет пожароопасных торфяников Тверской области // Труды Инсторфа. 2021. № 24 (77). С. 26–33.
25. Ракович В.А. Экологические последствия промышленной эксплуатации нарушенных торфяных месторождений Брестской области и возможности их реабилитации // Природопользование. 2021. № 2. С. 31–37. DOI: 10.47612/2079-3928-2021-2-31-37
26. Синюткина А.А. Ландшафтное картографирование болот Томской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология. 2017. № 2. С. 21–28.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

27. Синюткина А.А., Малолетко А.А., Беленко А.А., Гашкова Л.П., Харанжевская Ю.А. Оценка современного состояния перспективных для освоения участков торфяных месторождений Томской области // Достижения науки и техники АПК. 2014. Т. 28, № 12. С. 72–75.
28. Тановицкая Н.И., Ратникова О.Н. Методика оценки нарушенности торфяных месторождений // Природопользование. 2017. № 31. С. 94–104.
29. Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 487 с.
30. Bonn A., Reed M.S., Evans C.D., Joosten H., Bain C., Farmer J., Emmer I., Couwenberg J., Moxey A., Artz R., Tanneberger F., von Unger M., Smyth M.-A., Birnie D. Investing in nature: Developing ecosystem service markets for peatland restoration // Ecosystem Services. 2014. No. 9. P. 54–65. DOI: 10.1016/j.ecoser.2014.06.011
31. Brouns K., Verhoeven J.T.A., Hefting M.M. Short period of oxygenation releases latch on peat decomposition // Science of the Total Environment. 2014. Vol. 481. P. 61–68. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.02.030
32. Chambers F.M., Beilman D.W., Yu Z. Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics // Mire Peat. 2011. Vol. 7. P. 1–10.
33. Kharanzhevskaya Yu.A., Voistinova E.S., Sinyutkina A.A. Spatial and temporal variations in mire surface water chemistry as a function of geology, atmospheric circulation and zonal features in the south-eastern part of Western Siberia // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 733. 139343. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139343
34. Minayeva T.Yu., Bragg O.M., Sirin A.A. Towards ecosystem-based restoration of peatland biodiversity // Mire and Peat. 2017. Vol. 19 (1). P. 1–36. 10.19189/MaP.2013.OMB.150. DOI: 10.19189/MaP.2013.OMB.150
35. Straková P., Penttilä T., Laine J., Raija Laiho R. Disentangling direct and indirect effects of water table drawdown on above- and belowground plant litter decomposition: Consequences for accumulation of organic matter in boreal peatlands // Global Change Biology. 2012. Vol. 18. P. 322–335. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02503.x
36. Williamson J., Rowe E., Reed D., Ruffino L., Jones P., Dolan R., Buckingham H., Norris D., Astbury S., Evans C.D. Historical peat loss explains limited short term response of drained blanket bogs to rewetting // Journal of Environmental Management. 2017. Vol. 188. P. 278–286. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.12.018

References

1. Anisimova T.Yu., Luchanok L.N. (2018) Problems of effective use of drained peatlands in Russia and Belarus: theoretical and practical basis, Agrochemistry and ecology problems, no. 4, pp. 78–84. doi: 10.26105/AE.2018.4.33.017
2. Bernatoniš P.V., Boyarko G.Yu., Bernatoniš V.K. (2011) Efficiency of peat production (Tomsk region) in present-day conditions, Tomsk state university journal, no. 344, pp. 195–199.
3. Bricheva S.S., Matasov V.M., Shilov P.M. (2017) Ground penetrating radar (GPR) as a part of integrated landscape studies on peatlands, Geoekologiya. Inzheneraya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya, no. 3, pp. 76–83.
4. Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Korshunova N.N., Shvets N.V. Description of the data array of monthly precipitation amounts at Russian stations. Certificate of state registration of the database no 2015620394.
5. GOST 11305-2013 Peat and products of its processing. Methods for determining moisture content. Moscow: Standartinform Publ., 2014. 8 p.
6. GOST 11306-2013 Peat and products of its processing. Methods for determining ash content. Moscow: Standartinform Publ., 2014. 6 p.
7. GOST 27894.3-88 Peat and products of its processing for agriculture. Methods for determination of ammonia nitrogen, 1988. 11 p.
8. GOST 27894.4-88 Peat and products of its processing for agriculture. Methods for determination of nitrate nitrogen, 1988. 13 p.
9. GOST 27894.5-88 Peat and products of its processing for agriculture. Methods for determination of mobile forms of phosphorus, 1988. 8 p.
10. GOST 27894.6-88 Peat and products of its processing for agriculture. Method for determination of mobile forms of potassium, 1988. 5 p.
11. GOST 27894.7-88 Peat and products of its processing for agriculture. Methods for determination of mobile forms of iron, 1988. 7 p.
12. GOST 27894.12-88 Peat and products of its processing for agriculture. Method for determination of exchangeable calcium and magnesium, 1988. 7 p.
13. GOST 28245-89 Peat. Methods for determining the Botanical composition and degree of decomposition. 2nd ed. Moscow: Standartinform Publ., 2006. 7 p.
14. Il'yasov D.V., Sirin A.A., Makarova L.Yu., Bukin A.V., Korablina N.E. (2019) GIS mapping of natural and human-disturbed peatlands in Ryazan oblast, Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, no. 1(41), pp. 30–38.
15. Inisheva L.I., Aristarkhova V.E., Porokhina E.V., Borovkova A.F. (2007) Cutaway peat deposits, their characteristics and functioning, Tomsk, Russia.
16. Kurbatova I.E., Vereshchaka T.V., Ivanova A.A. (2021) Space monitoring bog landscape transformation under anthropogenic impact conditions, Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa, vol. 18, no. 4, pp. 216–227. doi: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-216-227.
17. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Zaushintsena A.V., Kulikova E.I., Tyak G.V., Kurlovich T.V. (2022) Improving the efficiency of multipurpose forest management of depleted peatlands, Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal, no. 3, pp. 91–102. doi: 10.37482/0536-1036-2022-3-91-102.
18. Medvedeva M.A., Vozbranaya A.E., Bartalev S.A., Sirin A.A. (2011) Multispectral remote sensing for assessing changes on abandoned peat extraction lands, Issledovanie Zemli iz kosmosa, no. 5, pp. 80–88.
19. Medvedeva M.A., Vozbranaya A.E., Sirin A.A., Maslov A.A. (2017) Capabilities of multispectral remote sensing data in assessment of the status of abandoned fire hazardous and rewetting peat extraction lands, Issledovanie Zemli iz kosmosa, no. 3, pp. 76–84.
20. Medvedeva M.A., Makarov D.A., Sirin A.A. (2020) Applicability of different spectral indexes based on satellite data for peat fire area estimation, Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, vol. 17, no. 15, pp. 157–166. doi: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-157-166

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология**Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.*

21. Moskalenko N.V., Bulko N.I., Tolkacheva N.V., Mashkov I.A., Serenkova V.A. (2020) To the question of the state of reclaimed land as part of the forest fund, *Vesnik of Yanka Kupala State university of Grodno. Series 5. Economics. Sociology. Biology*, vol. 10, no. 1, pp. 125–132.
22. Muraviova L.V., Sidorova E.V. (2016) Creating a database of disturbed bogs of Tver region, *Herald of Tver state university. Series: geography and geocology*, no.1, pp. 27–33.
23. Navosha Yu.Yu., Tanavitskaya N.I. (2019) Assessment of peatlands on the basis of interpretation of satellite images of ultrahigh resolution (on the example of the Brest region), *Nature management*, no. 2, pp. 168–176.
24. Panov V.V., Jenikhov Yu.N. (2021) Structure and accounting of fire-hazardous peatlands of the Tver region, *Proceedings of Instorf*, no. 24(77), pp. 26–33.
25. Rakovitch V.A. (2021) Environmental consequences of the industrial operation of the disturbed peat deposits of Brest region and the possibilities of their rehabilitation, *Nature management*, no. 2, pp. 31–37. doi: 10.47612/2079-3928-2021-2-31-37.
26. Sinyutkina A.A. (2017) Landscape mapping of bogs in the Tomsk region, *Proceedings of Voronezh state university. Series: Geography. Geocology*, no. 2, pp. 21–28.
27. Sinyutkina A.A., Maloletko A.A., Belenko A.A., Gashkova L.P., Kharanzhevskaya Y.A (2014) Assessments of the current state of the peatlands prospective areas for their wise use in Tomsk region, *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*, vol. 28, no. 12, pp. 72–75.
28. Tanovitskaya N.T., Ratnikova O.N. (2017) The assessment methodology categories of the disturbance of peat deposits, *Nature management*, no. 31, pp. 94–104.
29. Tyuremnov S.N. (1976) *Peatlands*, Moskva, Russia.
30. Bonn A., Reed, M.S., Evans, C.D., Joosten, H., Bain, C., Farmer, J., Emmer, I., Couwenberg, J., Moxey, A., Artz, R., Tanneberger, F., von Unger, M., Smyth, M.-A., Birnie, D. (2014) Investing in nature: Developing ecosystem service markets for peatland restoration, *Ecosystem Services*, no. 9, pp. 54–65. doi: 10.1016/j.ecoser.2014.06.011.
31. Brouns K., Verhoeven J.T.A., Hefting M.M. (2014) Short period of oxygenation releases latch on peat decomposition, *Science of the Total Environment*, vol. 481, pp. 61–68. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.02.030.
32. Chambers, F.M., Beilman, D.W., Yu, Z. (2011) Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics, *Mire Peat*, vol. 7, pp. 1–10.
33. Kharanzhevskaya Yu.A., Voistinova E.S., Sinyutkina A.A. (2020) Spatial and temporal variations in mire surface water chemistry as a function of geology, atmospheric circulation and zonal features in the south-eastern part of Western Siberia, *Science of the Total Environment*, vol. 733, 139343. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139343.
34. Minayeva T.Yu., Bragg, O.M., Sirin, A.A. (2017) Towards ecosystem-based restoration of peatland biodiversity, *Mire and Peat*. vol. 19 (1), p. 1–36. doi: 10.19189/Map.2013. OMB.150.
35. Straková P., Penttilä T., Laine J., Rajia Laiho R. (2012) Disentangling direct and indirect effects of water table drawdown on above- and belowground plant litter decomposition: Consequences for accumulation of organic matter in boreal peatlands, *Global Change Biology*, vol. 18, pp. 322–335. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02503.x.
36. Williamson J., Rowe, E., Reed, D., Ruffino, L., Jones, P., Dolan, R., Buckingham, H., Norris, D., Astbury, S., Evans, C.D. (2017) Historical peat loss explains limited short term response of drained blanket bogs to rewetting, *Journal of Environmental Management*, vol. 188, pp. 278–286. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.12.018.

Статья поступила в редакцию: 09.07.24, одобрена после рецензирования: 11.11.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 9 July 2024; approved after review: 11 November 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторах

Анна Алексеевна Синюткина

кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН;

634050, Россия, г. Томск, ул. Гагарина, 3

e-mail: ankalaeva@yandex.ru

Юлия Александровна Харанжевская

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН;

634050, Россия, г. Томск, ул. Гагарина, 3

e-mail: kharan@yandex.ru

Information about the authors

Anna A. Sinyutkina

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat;

3, Gagarina st., Tomsk, 634050, Russia

Yulia A. Kharanzhevskaya

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat;

3, Gagarina st., Tomsk, 634050, Russia

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Синюткина А.А., Харанжевская Ю.А., Гашкова Л.П., Иванова Е.С., Кириллова М.Е.

Людмила Павловна Гашкова

кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН;

634050, Россия, г. Томск, ул. Гагарина, 3

e-mail: gashkova-lp@rambler.ru

Lyudmila P. Gashkova

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat;

3, Gagarina st., Tomsk, 634050, Russia

Екатерина Сергеевна Иванова

научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН;

634050, Россия, г. Томск, ул. Гагарина, 3

e-mail: ivanova_e_s@bk.ru

Ekaterina S. Ivanova

Researcher, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat;

3, Gagarina st., Tomsk, 634050, Russia

Марина Евгеньевна Кириллова

старший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН;

634050, Россия, г. Томск, ул. Гагарина, 3

e-mail: kirillovame1965@mail.ru

Marina E. Kirillova

Senior Researcher, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat;

3, Gagarina st., Tomsk, 634050, Russia

Вклад авторов

Синюткина А.А. – проведение полевых и лабораторных работ, геоинформационное картографирование, анализ данных, подготовка рукописи статьи и рисунков.

Харанжевская Ю.А. – проведение полевых и лабораторных работ, анализ данных, подготовка рукописи статьи.

Гашкова Л.П. – проведение лабораторных работ, анализ данных.

Иванова Е.С. – проведение лабораторных работ, анализ данных.

Кириллова М.Е. – проведение лабораторных работ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Anna A. Sinyutkina – field and laboratory research; GIS mapping; data analysis; preparation of the manuscript and figures.

Yulia A. Kharanzhevskaya – field and laboratory research; data analysis; preparation of the manuscript.

Lyudmila P. Gashkova – laboratory research; data analysis.

Ekaterina S. Ivanova – laboratory research; data analysis.

Marina E. Kirillova – laboratory research.

The authors declare no conflict of interest.

Научная статья

УДК 504.455+543.32/.34

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-20-30

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДЫ
ЭРОЗИОННО-ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР ЯКУТСКОЙ АРКТИКИ****Руслан Михайлович Городничев¹, Людмила Агафьевна Пестрякова²**^{1,2} Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия¹ rusgorodnichev@gmail.com² lapest@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены основные физико-химические параметры 33 эрозионно-термокарстовых озер – одного из наиболее широко распространенных типов водоемов Якутии, образующихся в значительной степени за счет таяния грунтовых льдов многолетней мерзлоты. Рассмотренные арктические озера обладают небольшой площадью зеркала и малой глубиной. Вода объектов исследования ультрапресная, главным образом очень мягкая, характеризуется низкой прозрачностью. Водородный показатель изменяется в широких пределах от слабокислых до щелочных значений. Для воды исследуемых озер характерны высокие естественные концентрации общего железа и фосфатов. Концентрации кремния варьируют в широких границах, достигая максимальных значений в воде озер северной тайги. Содержание ионов аммония в воде озер сильно отличается, что может быть следствием влияния местных условий на накопление данного биогенного компонента. В ионном составе воды исследуемых озер преобладают гидрокарбонаты (в 88 % водоемов) и ионы кальция (в 70 % выборки). По сочетаниям катионов и анионов доминируют магниевые-кальциевые (45 % озер) и гидрокарбонатные воды (76 % озер). Прозрачность воды статистически значимо возрастает при увеличении высоты расположения озер над уровнем моря, а концентрация кремния (зонально) – при продвижении с севера на юг района исследования. Указанные закономерности отмечены на фоне параллельного изменения ионного состава и минерализации воды. По совокупности исследуемых гидрохимических параметров озера могут быть объединены в 2 группы: кластер безлесных территорий и группа озер северной тайги. Выделенные объединения озер значительно отличаются по основным гидрохимическим параметрам: минерализации, общей жесткости, pH, концентрации общего железа, кремния и фосфатов.

Ключевые слова: озеро, Якутия, Арктика, эрозионно-термокарстовый тип, гидрохимия, Анабар, Оленек, Лена, Индигирка, Колыма

Финансирование. Работа выполнена в рамках Проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования РФ по теме FSRG-2023-0027 «Биота и абиотические компоненты экосистем Северо-Востока России, и рациональное освоение природных ресурсов криолитозоны в условиях изменения климата и техногенного воздействия», 2023–2025 гг.

Для цитирования: Городничев Р.М., Пестрякова Л.А. Физико-химические параметры воды эрозионно-термокарстовых озер якутской Арктики // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 20–30. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-20-30

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-20-30

**PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF WATER OF EROSION-THERMOKARST LAKES
IN THE YAKUTIAN ARCTIC****Ruslan M. Gorodnichev¹, Lyudmila A. Pestryakova²**^{1,2} M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia¹ rusgorodnichev@gmail.com,² lapest@mail.ru

Abstract. The paper considers the main physical and chemical parameters of 33 erosion-thermokarst lakes, one of the most widespread types of water bodies in Yakutia, formed largely due to the melting of permafrost ground ice. The considered lakes have a small mirror area and shallow depth. The water of the lakes is ultrafresh, mostly very soft, and



© 2025 Эта работа Городничева Р.М., Пестряковой Л.А. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

characterized by low transparency. pH varies in wide ranges from weakly acidic to alkaline values. The water is distinguished by high natural concentrations of total iron and phosphate. Silicon concentrations vary widely, reaching maximum values in the water of northern taiga lakes. The content of ammonium ions in the water of the lakes differs greatly, which may be caused by the influence of local conditions on the accumulation of this biogenic component in water. The ionic composition is dominated by hydrocarbonates (in 88 % of the water bodies) and calcium ions (in 70 % of the sample). In terms of combinations of cations and anions, there dominate magnesium-calcium (45 % of the lakes) and hydrocarbonate waters (76 % of the lakes). Water transparency demonstrates a statistically significant increase with an increase in the lakes' altitude above sea level, while silicon concentration increases (zonally) with moving from north to south of the study area. These regularities are noted against the background of parallel changes in the ionic composition and mineralization of water. According to the totality of the investigated hydrochemical parameters, the lakes can be divided into 2 groups: a cluster of non-forested areas and a group of lakes of northern taiga. The selected lake groups differ significantly in the main hydrochemical parameters: mineralization, total hardness, pH, concentrations of total iron, silicon, and phosphates.

Keywords: lake, Yakutia, Arctic, erosion-thermokarst type, hydrochemistry, Anabar, Olenek, Lena, Indigirka, Kolyma

Funding. The study was carried out within the framework of the Project part of the state assignment in the field of scientific activity of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, topic FSRG-2023-0027 'Biota and abiotic components of ecosystems of the North-East of Russia and rational development of natural resources of the cryolithozone in the conditions of climate change and anthropogenic impact', 2023-2025.

For citation: Gorodnichev, R.M., Pestryakova, L.A. (2025). Physico-chemical parameters of water of erosion-thermokarst lakes in the Yakutian Arctic. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp.20–30. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-20-30

Введение

На территории Якутии насчитываются сотни тысяч озер [1]. Для региона озера выступают важным объектом окружающей среды [19, 20, 25] и народного хозяйства [6, 11]. Они используются в качестве источника пресной воды, места рыбного промысла, территории для отдыха и проведения массовых мероприятий. Высокое значение озер для региона обусловило необходимость разработки морфогенетической классификации озер И.И. Жиркова [5]. Одним из наиболее распространенных типов, согласно данной классификации, являются эрозионно-термокарстовые водоемы [10, 12, 24]. Котловины озер такого типа образованы в результате комбинированного воздействия эрозионных процессов, обусловленных функционированием водотоков, и протаивания грунтовых льдов многолетней мерзлоты. Несмотря на обилие такого рода озер, сведения об особенностях химического состава их воды обрывочны и не отражают в полной мере ни номенклатуру растворенных в воде компонентов, ни территориальный охват района исследования. Наиболее изученными по совокупности параметров водными объектами региона являются озера Центральной Якутии [23], водоемы арктических районов Республики ввиду удаленности и труднодоступности изучены слабо. Данная работа ставит своей целью получить новые сведения об основных физико-химических параметрах воды эрозионно-термокарстовых озер якутской Арктики и особенностях их изменений по территории района исследования.

Высокая перспектива хозяйственного освоения Арктики Якутии, вызванная ее значительным ресурсным потенциалом и уникальными экосистемными компонентами, обуславливает высокую актуальность исследования естественного состояния водных объектов, сведения о котором могут быть использованы в природоохранных целях для определения степени антропогенного нарушения в будущем. В этой связи в рамках исследования для получения представлений о природных гидрохимических особенностях водоемов изучен химический состав воды 33 эрозионно-термокарстовых озер, не испытывающих выраженного антропогенного воздействия и трансформации. Объекты исследования находятся выше Северного полярного круга (67,47–73,38 °с.ш.; 110,82–153,66 °в.д.) в бассейнах рек Анабар, Оленек, Лена, Индигирка и Колыма, на территориях охватывающих северную тайгу, лесотундру, типичную тундру и горные области высотной поясности (рис. 1). Вопрос принадлежности территорий и объектов на них, расположенных в зоне Арктики, является дискуссионным [21]. В данном исследовании все озера отнесены к арктическим, так как расположены севернее 66,55 °с.ш.

Материал и методы

Полевые исследования озер проведены в летний период времени с 2002 по 2009 г. по схожей программе работ в ходе экспедиций Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова (СВФУ) и совместных экспедиций сотрудников СВФУ с коллегами из Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера. Методика определения параметров местоположения и морфометрических характеристик озер приведена в ранее опубликованных работах авторами исследования [2].

Для изучения химического состава отобраны поверхностные пробы воды (с погружением бутылки на 0,2–0,5 м) [4]. Определение pH осуществлено в полевых условиях с применением потенциометрического метода (прибор WTW Multi 340i и аналоги). Изучение характеристик химического состава воды произведено с применением широко распространенных методов и оборудования непосредственно в полевых условиях (гидрокарбонаты) или в лабораторных условиях после окончания полевых экспедиций. Концентрация гидрокарбонатов определена стандартными титриметрическими методами [15]. Концентрации главных катионов (кальций, магний, натрий и калий) и анионов (сульфаты, хлориды) определены на системе капиллярного электрофореза «Капель-105м» и

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

ионном жидкостном хроматографе Dionex DX-320. Содержания в воде общего железа [14], кремния [18], ионов аммония [13] и фосфатов [17] определены стандартными фотометрическими методами.

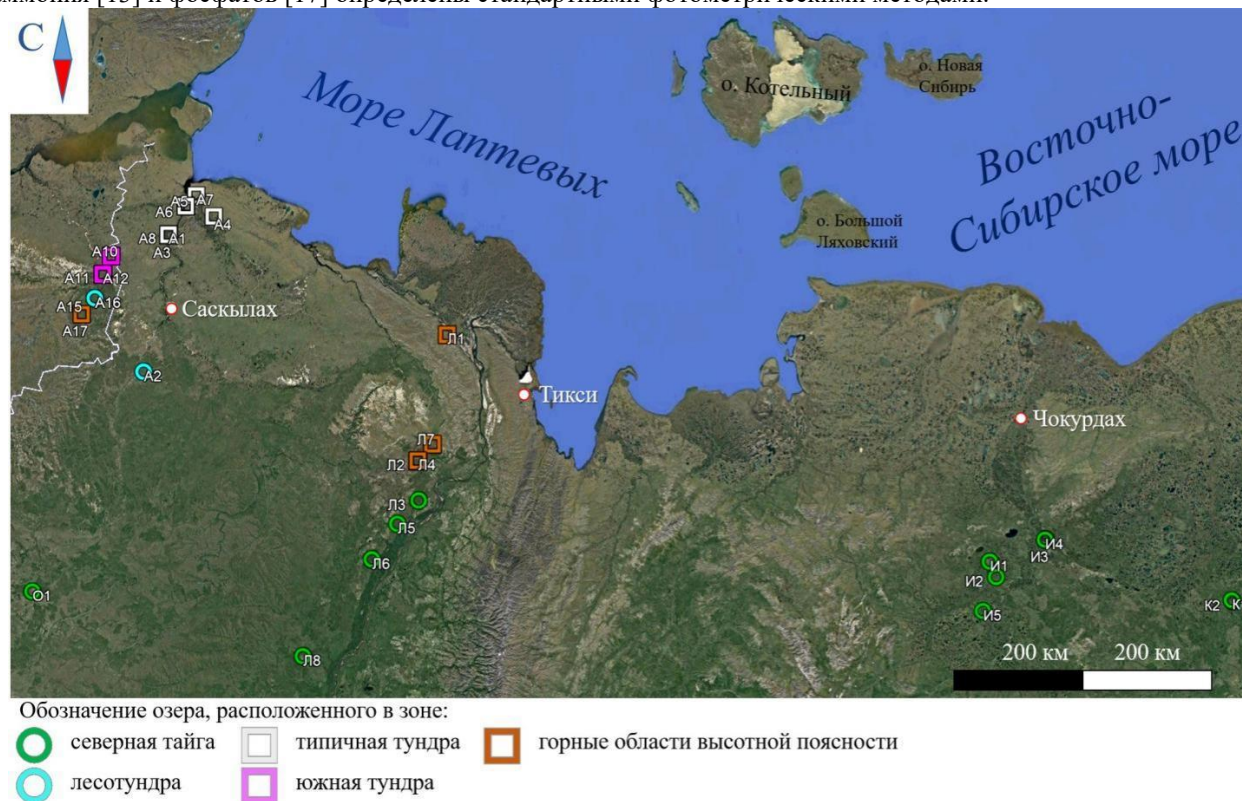


Рис. 1. Местоположение исследуемых озер

Fig. 1. Location of the studied lakes

Примечание: буквенное обозначение озера указывает на первую букву реки, в бассейне которой оно расположено: А – бассейн р. Анабар; О – р. Оленек; Л – р. Лена; И – р. Индигирка; К – р. Колыма. Цифровое обозначение соответствует порядковому номеру

Note: the letter designation of the lake indicates the first letter of the river in whose basin it is located: A - Anabar River basin; O - Olenek River; L - Lena River; I - Indigirka River; K - Kolyma River. The numeric designation corresponds to the sequence number.

Вычисление коэффициента корреляции Спирмена [26] и процедуры кластерного анализа проведены при помощи компьютерной программы PAST Ver. 4.0. Кластерный анализ осуществлен методом Варда [28]. В качестве исходных значений для процедур кластерного анализа использованы такие параметры, как pH, общая жесткость (в мг-экв/л), минерализация (в мг/л), концентрации общего железа (в мг/л), кремния (в мг/л), кальция (в мг-экв/л), магния (в мг-экв/л), суммы натрия и калия (в мг-экв/л), гидрокарбонатов (в мг-экв/л), сульфатов (в мг-экв/л) и хлоридов (в мг-экв/л). Концентрации аммония и фосфатов в анализ не включены, так как в воде значительной части озер указанные параметры отсутствуют. Все исходные данные предварительно были подвергнуты стандартизации путем вычитания от каждого индивидуального значения параметра среднего значения и деления на стандартное отклонение характеристики, которые были вычислены по всей исследуемой выборке (z-стандартизация).

Треугольные диаграммы соотношений главных ионов были построены в программе Grapher Ver. 3.02. Исходные концентрации ионов были выражены в мг-экв/л. При словесном описании ионного состава воды название соответствующего иона добавлялось, если его доля составляла не менее 25 % мг-экв/л от общего количества катионов или анионов.

Результаты и их обсуждение

Размеры исследуемых озерных котловин изменяются в широких пределах (табл. 1). Площадь водного зеркала варьирует от 0,003 (озеро Л8) до 7,14 км² (И5), в среднем составляя 0,48 км². Оба крайних значения площади зеркала принадлежат озерам северной тайги. По классификации П.В. Иванова [7], размеры водных объектов изменяются от озерков до малых озер. Средние значения соответствуют очень малым озерам. Максимальная глубина исследуемых водоемов, по классификации С.П. Китаева [8], охватывает диапазон от очень малой до средней – от 1,1 (озеро АН25, типичная тундра) до 12,4 м (А1, типичная тундра) – при среднем арифметическом 4,1 м, что позволяет отнести исследуемые озера к водным объектам, обладающим малой глубиной. Коэффициент изрезанности береговой линии изменялся в диапазоне от 1,04 (объект А4, типичная тундра) до 2,3 (И5, северная тайга). Средние значения коэффициента (1,25) характеризуют изученные озера как округлые, для которых характерна низкая степень развития береговой линии.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

Таблица 1

Характеристики местоположения и морфометрические параметры озер
 Location characteristics and morphometric parameters of the lakes

Природная зона	горные области высотной поясности (n=5)	лесотундра (n=4)	северная тайга (n=11)	типичная тундра (n=7)	южная тундра (n=6)	Вся выборка (n=33)
Место расположения (бассейн реки)	Анабар, Лена	Анабар, Лена	Оленек, Лена, Индигирка, Колыма	Анабар	Анабар	Анабар, Оленек, Лена, Индигирка, Колыма
Широта, °	70,70–72,29 (71,22)	70,21–71,75 (71,19)	67,47–69,89 (68,59)	72,80–73,38 (73,06)	72,07–72,32 (72,15)	67,47–73,38 (70,90)
Долгота, °	110,82–125,7 (122,44)	111,13–125,27 (115,37)	112,27–153,66 (138,37)	113,27–114,96 (113,71)	111,11–111,19 (111,14)	110,82–153,66 (122,99)
Высота над уровнем моря, м	25–139 (97)	41–147 (77)	15–155 (46)	8–23 (15)	37–77 (53)	8–155 (52)
Площадь водного зеркала, км ²	0,02–0,76 (0,3)	0,017–1,39 (0,4)	0,003–7,14 (0,98)	0,007–0,62 (0,15)	0,042–0,22 (0,13)	0,003–7,14 (0,48)
Максимальная глубина, м	2,9–7 (5,5)	2,4–5 (3,8)	1,8–3,5 (2,9)	1,1–12,4 (4,2)	3,4–6,9 (5,3)	1,1–12,4 (4,1)
Развитие (изрезанность) береговой линии	1,05–1,27 (1,12)	1,08–1,18 (1,14)	1,04–2,3 (1,38)	1,04–1,54 (1,20)	1,15–1,30 (1,22)	1,04–2,30 (1,25)

Примечание: n – количество озер. В ячейках приведен диапазон значений от минимального до максимального. В скобках указано среднее арифметическое. Серой заливкой выделены ячейки с максимальным средним значением параметра

Note: n is the number of lakes. The range of values from minimum to maximum is given in the cells. The arithmetic mean is given in round brackets. The cells with the maximum average value of the parameter are highlighted in grey

Прозрачность воды (табл. 2) варьирует в широких пределах от очень малой (0,2 м – озеро И5, расположенное в зоне северной тайги) до высокой (4,5 м – водоем А9, южная тундра), в среднем составляя 1,6 м, что позволяет описать их как обладающих малой прозрачностью.

Вода всех исследуемых озер является ультрапресной. Минерализация варьирует от 9,5 (озеро А13 – южная тундра) до 198 мг/л (водоем А2 – лесотундра) при среднем значении 53,4 мг/л. Наибольшими значениями суммы растворенных в воде солей в целом (по среднему арифметическому) обладают озера зоны северной тайги, наименьшие значения принадлежат озерам горных областей высотной поясности.

Водородный показатель изменяется от слабокислых (5,21 – озеро Л4, горные области высотной поясности) до щелочных значений (8,95 – И4, северная тайга), в среднем составляя 7,2. Наименьшими и наибольшими средними значениями водородного показателя обладают озера горных областей высотной поясности и северной тайги.

Общая жесткость характеризуется диапазоном значений от 0,09 до 2,1 (при среднем 0,52) мг-экв/л. Основная масса озер характеризуется очень мягкой водой (<1,5 мг-экв/л). Лишь одно озеро северной тайги обладает мягкой водой (Л8), жесткость воды которой соответствует верхнему диапазону параметра, отмеченному для объектов исследуемой выборки. Наименьшими и наибольшими средними значениями общей жесткости воды обладают озера горных областей и высотной поясности, а также северной тайги.

Таблица 2

Физико-химические параметры воды озер
 Physico-chemical parameters of lake water

Природная зона	горные области высотной поясности (n=5)	лесотундра (n=4)	северная тайга (n=11)	типичная тундра (n=7)	южная тундра (n=6)	Вся выборка (n=33)
Место расположения (бассейн реки)	Анабар, Лена	Анабар, Лена	Оленек, Лена, Индигирка, Колыма	Анабар	Анабар	Анабар, Оленек, Лена, Индигирка, Колыма

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

Окончание таблицы 2

Природная зона	горные области высотной поясности (n=5)	лесотундра (n=4)	северная тайга (n=11)	типичная тундра (n=7)	южная тундра (n=6)	Вся выборка (n=33)
Прозрачность, м	2,0–4,35 (3,56)	1,50–2,50 (1,79)	0,20–1,73 (0,68)	0,60–2,30 (1,20)	1,20–4,5 (2,08)	0,20–4,50 (1,60)
pH	5,21–7,18 (6,36)	6,27–7,42 (6,97)	6,50–8,95 (7,67)	6,70–7,42 (7,15)	7,15–7,55 (7,34)	5,21–8,95 (7,22)
Жесткость общая расчетная, мг-экв/л	0,11–0,47 (0,21)	0,32–1,44 (0,65)	0,20–2,09 (0,80)	0,09–0,88 (0,41)	0,13–0,65 (0,31)	0,09–2,09 (0,52)
Минерализация, мг/л	11,66–34,34 (18,17)	22,63–198,05 (71,78)	17,82–172,44 (87,68)	11,09–73,21 (38,96)	9,46–51,52 (24,50)	9,50–198,05 (53,40)
Fe, мг/л	0,44–1,97 (1,17)	0,00–0,48 (0,18)	0,00–0,79 (0,16)	0,08–0,51 (0,25)	0,02–0,41 (0,22)	0,00–1,97 (0,35)
Ca ²⁺ , мг/л	1,25–5,67 (2,45)	3,49–15,60 (7,56)	3,21–35,20 (9,89)	0,94–9,20 (4,54)	1,41–7,46 (3,47)	0,94–35,20 (6,18)
Mg ²⁺ , мг/л	0,59–2,25 (1,09)	1,49–8,02 (3,35)	0,00–8,51 (3,71)	0,48–5,10 (2,28)	0,68–3,42 (1,63)	0,00–8,51 (2,60)
Si, мг/л	0,11–1,03 (0,59)	0,10–1,29 (0,70)	0,10–7,40 (2,30)	0,10–1,40 (0,43)	0,15–0,50 (0,32)	0,10–7,4 (1,09)
NH ₄ ⁺ , мг/л	0,00	0,02 (только в 1 озере)	0,00–1,00 (0,22)	0,00–0,33 (0,097)	0,1 (только в 1 озере)	0,00–1,00 (0,23*/0,10**)
ΣNa ⁺ +K ⁺ , мг/л	0,87–1,30 (1,04)	0,51–26,30 (7,26)	0,10–36,67 (8,88)	1,36–13,22 (3,92)	0,59–2,22 (1,04)	0,10–36,67 (5,02)
PO ₄ ³⁻ , мг/л	0,10–0,10 (0,10)	<0,01–0,11 (0,10)	0,00–0,10 (0,02*/0,04**)	0,00–0,10 (0,07*/0,10**)	0,10–0,10 (0,10)	0,00–0,11 (0,06*/0,09**)
HCO ₃ ⁻ , мг/л	7,55–24,10 (12,23)	16,11–134,20 (49,59)	12,66–122 (46,56)	4,12–45,80 (20,76)	5,64–34,92 (16,77)	4,12–134,20 (30,84)
SO ₄ ²⁻ , мг/л	0,73–1,52 (0,98)	0,16–6,80 (1,88)	0,00–63,84 (14,08)	0,10–1,77 (0,51)	0,14–0,32 (0,26)	0,00–63,84 (5,22)
Cl ⁻ , мг/л	0,17–0,51 (0,27)	0,22–7,10 (2,05)	0,28–8,52 (4,31)	1,16–24,83 (6,78)	0,42–3,11 (1,22)	0,17–24,83 (3,39)
Ca ²⁺ , %	20,4–28,1 (22,7)	15,6–32,5 (24,8)	4,84–44,2 (23,41)	14,6–24,4 (19,7)	22,4–25,8 (24,2)	4,8–44,2 (22,8)
Mg ²⁺ , %	15,7–19,5 (17,1)	11,4–21,8 (16,9)	0–38,52 (14,83)	9,3–20,8 (16,6)	17,9–20,4 (19)	0–38,5 (16,6)
ΣNa ⁺ +K ⁺ , %	3,5–13,6 (10,2)	2,9–21,1 (8,3)	0,25–35,49 (11,76)	5,5–24,4 (13,7)	3,8–9,7 (6,8)	0,25–35,5 (10,6)
HCO ₃ ⁻ , %	41,3–46,2 (43,2)	43,3–48,7 (46,6)	16,59–47,71 (34,88)	16,5–46,1 (32,4)	37,4–48,4 (41,7)	16,5–48,7 (38,3)
SO ₄ ²⁻ , %	2,1–6,7 (5,1)	0,6–2,8 (1,2)	0–31,52 (8,63)	0,2–4,1 (1,3)	0,4–2,2 (1,2)	0–31,5 (4,3)
Cl ⁻ , %	1,4–2,1 (1,7)	0,6–3,9 (2,2)	1,82–16,65 (6,49)	3,6–33,3 (16,3)	1,2–10,5 (7,1)	0,6–33,3 (7,4)

Примечание: * – указана средняя концентрация, рассчитанная с учетом нулевых значений; ** – указана средняя концентрация, рассчитанная с исключением водных объектов, в которых компонент не обнаружен. Серой заливкой выделены ячейки с максимальным средним значением параметра

Note: * – the average concentration is calculated taking into account zero values; ** – the average concentration is calculated excluding water bodies in which the component has not been detected. The cells with the maximum average value of the parameter are highlighted in grey

Концентрация общего железа воды озер варьирует от 0 (несколько озер различных природных зон) до 1,97 мг/л (Л17, горные области высотной поясности), в среднем составляя 0,35 мг/л. Наименьшие и наибольшие средние значения принадлежат озерам северной тайги и горных областей высотной поясности. В целом средние значения для озер всех природных зон указывают на высокие концентрации общего железа, значительно превышающие предельно допустимые концентрации (0,1 мг/л) для водных объектов рыбохозяйственного значения (приказ Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. № 552).

Концентрация кремния, одного из лимитирующих факторов для важнейшей группы продуцентов водной среды – диатомовых водорослей, варьирует в широких пределах от 0,1 (несколько водоемов различных природных зон) до 7,4 мг/л (О1, северная тайга), в среднем составляя 1,09 мг/л. Наименьшие и наибольшие средние значения для озер различных природных зон принадлежат озерам южной тундры и северной тайги. Большие концентрации на юге района исследования, возможно, обусловлены привнесением большего количества кремния

талыми водами и атмосферными осадками с водосборных территорий озер. Озера, находящиеся южнее, расположены в местах с большей мощностью сезонно талого слоя, что позволяет стоку атмосферных осадков реагировать с грунтом водосборных территорий, богатых кремнием, более интенсивно, что, вероятно, способствует возращанию растворенных в воде форм кремния.

Ионы аммония в воде большей части озер (19 из 33) отсутствовали. Диапазоны изменений концентрации показателя для водных объектов, в воде которых он установлен, составляют 0,02 и 1,0 мг/л. Наименьшее значение отмечено для водоема А2, расположенного в лесотундре, наиболее высокое – для северотаежного озера О1. Среднее значение концентрации ионов аммония в воде озер, в которых он присутствует, составляет 0,23 мг/л. Для озера О1 установлены концентрации иона аммония, превышающие ПДК рыбохозяйственных водоемов (0,5 мг/л).

Концентрации растворенных в воде фосфатов изменяются в диапазоне от 0 до 0,11 мг/л. Фосфаты отсутствуют в воде 2 озер типичной тундры и 6 водных объектов северной тайги. Наибольшая концентрация параметра отмечена в воде озера А15, расположенного в лесотундре. Среднее значение концентрации фосфатов для воды озер, в которых установлено наличие данных анионов, составляет 0,09 мг/л. В целом концентрация растворенных в воде фосфатов большинства озер (21 из 33) является высокой и превышает ПДК олиготрофных водоемов рыбохозяйственного назначения в 2 раза. Для озер Якутии повышенная концентрация фосфатов является распространенным явлением [9, 16] и, вероятно, связана с высокими фоновыми значениями указанного иона в горных породах водосборных территорий озер.

Ионный состав воды (рис. 2) исследуемых озер характеризуется выраженным преобладанием гидрокарбонатов (в воде 29 озер, 88 % выборки). Для воды 2 озер свойственно доминирование хлоридов, а для воды 2 водных объектов – преобладание сульфатов. В воде большинства озер (23 водных объекта, 70 % выборки) преобладают ионы кальция. 5 озер характеризуются водой с доминированием магния и натрия.

По сочетаниям процентных долей анионов 25 озер (76 %) обладали гидрокарбонатной водой (доля и сульфатов, и хлоридов была менее 25 %), 4 водных объекта – хлоридно-гидрокарбонатной, 2 – гидрокарбонатно-хлоридной и 2 – гидрокарбонатно-сульфатной. В составе катионов наблюдаются 11 различных сочетаний их долей. Вода 15 озер обладала магниевым-кальциевым, 5 – кальциевым и 3 – натриево-магниевым-кальциевым составом. Остальные 8 сочетаний положительно заряженных ионов включают по 1–2 водоема. В целом изменчивость ионного состава воды исследуемых озер свидетельствует о сложном сочетании различных факторов, оказывающих влияние на его формирование в каждом конкретном случае.

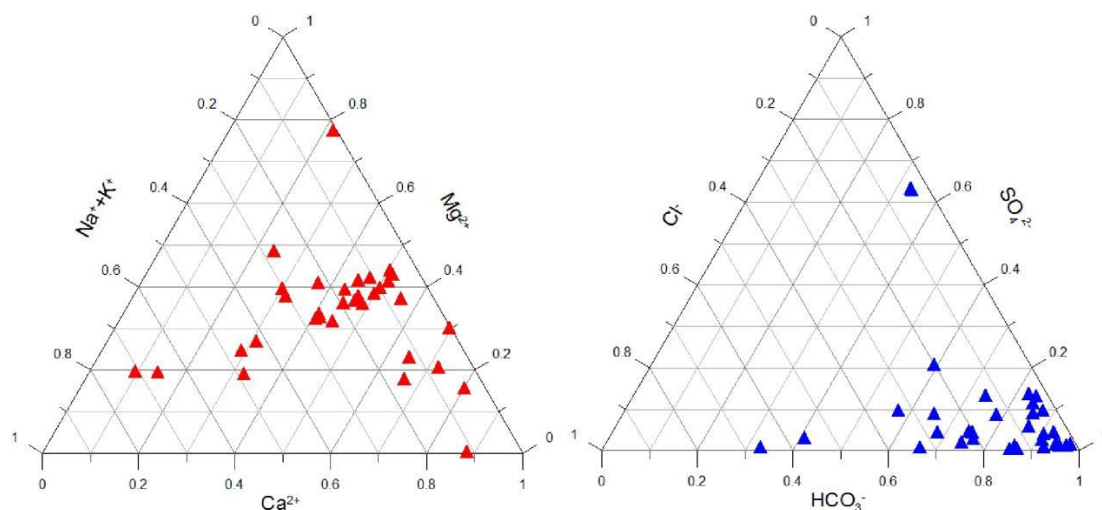


Рис. 2. Ионный состав воды исследуемых озер
Fig. 2. Ionic composition of water of the studied lakes

Результаты проведенного корреляционного анализа (рис. 3) позволяют проследить закономерность в расположении исследуемых озер, которая выражается в том, что при продвижении с запада на восток координаты широты водоемов уменьшаются. Данное обстоятельство не является природной детерминантой, а обусловлено территориальными особенностями проведенных экспедиционных работ.

Прозрачность воды увеличивается с ростом высоты расположения озер над уровнем моря, при этом наблюдается сокращение общей жесткости, минерализации, концентрации хлоридов и возрастание доли гидрокарбонатов в ионном составе воды.

Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о зональных изменениях концентрации кремния. Его количество в единице объема воды уменьшается с продвижением на север района исследования, при этом возрастание концентраций кремния происходит по мере увеличения значений общей жесткости, минерализации воды, концентраций ионов магния и гидрокарбонатов, зональные изменения концентраций которых, отмечены в

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

работах, проведенных в регионе ранее [3]. Водоемы, расположенные южнее, как правило, обладают большей минерализацией, связанной с ней общей жесткостью и концентрациями ионов. Более благоприятные климатические условия способствуют повышению концентраций кремния и снижению прозрачности, которая в значительной степени обусловлена попаданием в озеро взвешенного грунта [27] и развитием планктонной биоты [22], лучше развивающейся в относительно благоприятном климате южных территорий.

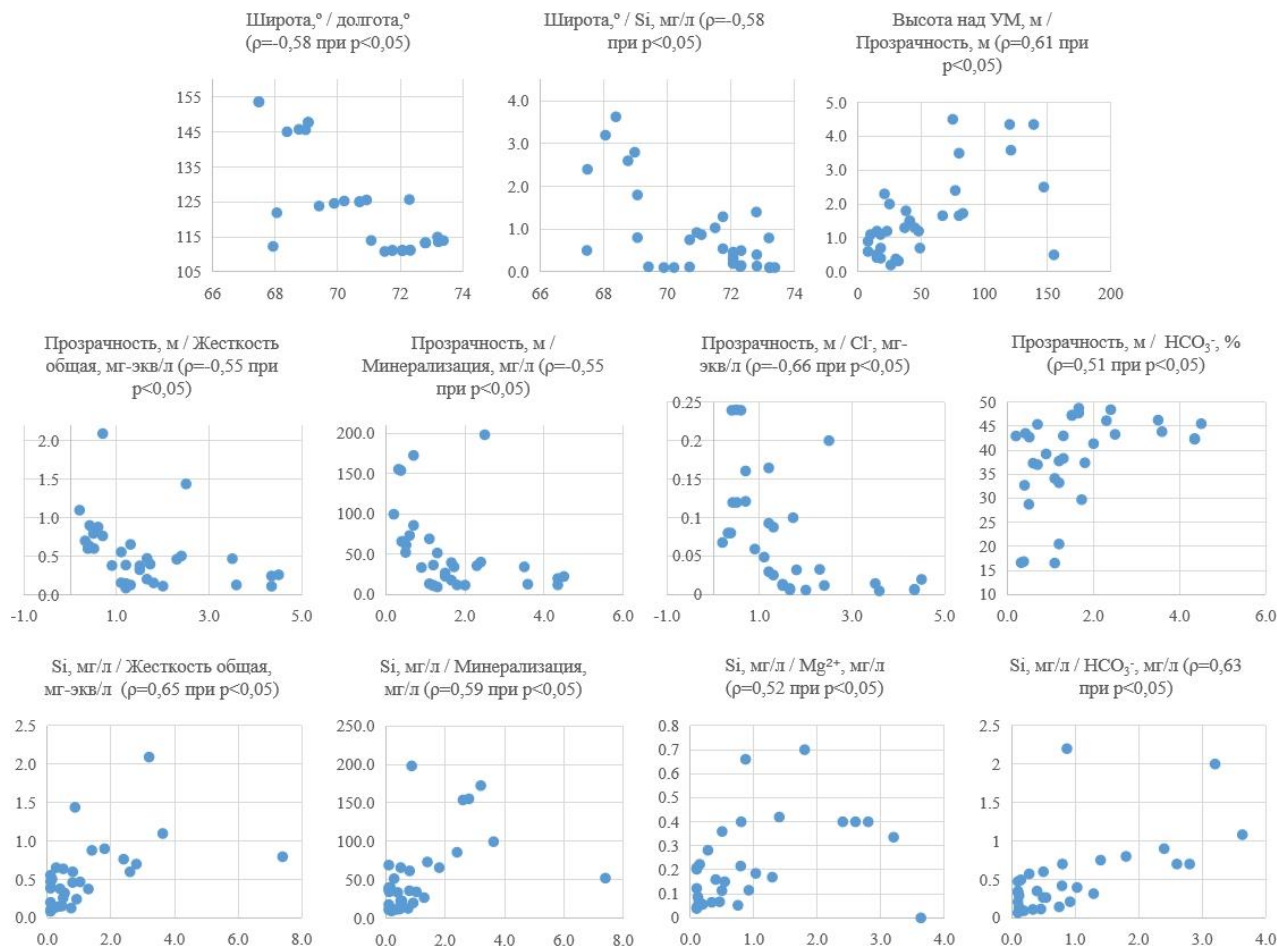


Рис. 3. Взаимосвязи характеристик исследуемых озер
Fig. 3. Relationships between the characteristics of the studied lakes

В результате проведенного кластерного анализа с применением метода Варда установлено 2 кластера (группы), объединяющих схожие по совокупности исследуемых параметров водоемы (рис. 4, табл. 3). Кластер I представлен главным образом озерами территорий, лишенных лесной растительности (южная субарктическая и типичная тундра, горные области высотной поясности). Кластер II, напротив, включает в основном водные объекты зоны северной тайги.

Озера кластера I характеризуются более высокими в сравнении с водными объектами группы II значениями прозрачности воды, концентрации общего железа и фосфатов. Средние значения прозрачности, концентрации общего железа и фосфатов здесь выше по сравнению с аналогичными параметрами кластера II в 3,1, в 2,4 и 7,7 раза соответственно. Остальные физико-химические параметры воды выше у водных объектов группы II, озера которой обладают намного более высокоминерализованной и жесткой водой. Средние значения минерализации и общей жесткости здесь выше в 4,3 раза и 3,1 раза соответственно. Для водных объектов кластера, представленного главным образом озерами северной тайги, характерны более высокие значения концентрации кремния и аммония, которые превышают значения соответствующих параметров озер кластера I в 5,6 и 13,5 раз соответственно.

Ионный состав воды озер кластера I характеризуется в среднем более высокой долей ионов кальция, магния и гидрокарбонатов. В воде озер кластера II более высокие доли суммарной концентрации натрия и калия, сульфатов и хлоридов, что характерно для более высокоминерализованных вод.

Таким образом, по результатам кластерного анализа также можно сделать вывод о зональных различиях химического состава воды эрозионно-термокарстовых озер арктической части Якутии.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

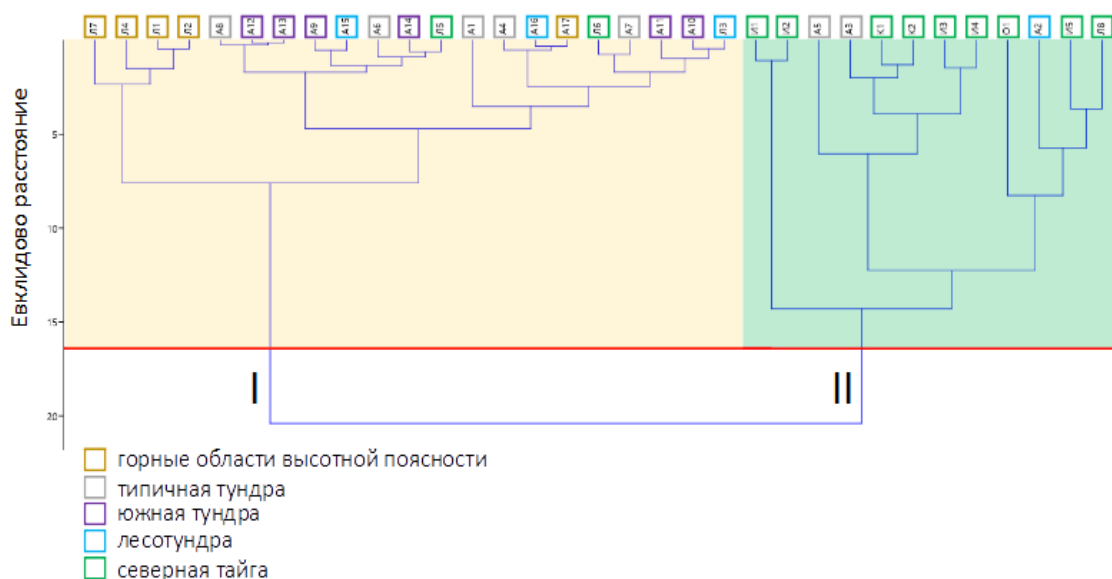


Рис. 4. Кластеры эрозионно-термокарстовых озер
Fig. 4. Clusters of erosion-thermokarst lakes

Таблица 3

Характеристика групп, выделенных в результате кластерного анализа озер
Characteristics of the groups of lakes identified as a result of cluster analysis

Кластер №	I (n=21)	II (n=12)
Широта, °	69,40–73,38 (71,79)	67,47–73,22 (69,36)
Долгота, °	110,82–125,70 (116,38)	112,27–153,66 (134,54)
Высота над уровнем моря, м	8–139 (57)	8–155 (44)
Прозрачность воды, м	0,90–4,50 (2,14)	0,20–2,50 (0,69)
pH	5,21–7,55 (7,00)	6,27–8,95 (7,58)
Жесткость общая расчетная, мг-экв/л	0,09–0,65 (0,29)	0,55–2,09 (0,92)
Минерализация, мг/л	9,46–51,52 (24,26)	52,21–198,05 (104,39)
Fe, мг/л	0,02–1,97 (0,44)	0,00–0,79 (0,18)
Ca ²⁺ , мг/л	0,94–7,46 (3,46)	4,01–35,2 (10,93)
Mg ²⁺ , мг/л	0,48–3,42 (1,46)	0,00–8,51 (4,57)
Si, мг/л	0,10–1,29 (0,41)	0,10–7,4 (2,29)
NH ₄ ⁺ , мг/л	0,00–0,28 (0,02)	<0,05–1,00 (0,27)
ΣNa ⁺ +K ⁺ , мг/л	0,51–4,30 (1,27)	0,10–36,67 (11,58)
PO ₄ ³⁻ , мг/л	0,00–0,11 (0,10)	<0,01–0,1 (0,013)
HCO ₃ ⁻ , мг/л	4,12–34,92 (15,94)	21,20–134,20 (56,91)
SO ₄ ²⁻ , мг/л	0,10–4,80 (0,70)	0,00–63,84 (13,15)
Cl ⁻ , мг/л	0,17–5,84 (1,32)	2,40–24,83 (7,00)
Ca ²⁺ , %	14,60–36,15 (24,33)	4,84–44,20 (20,20)
Кластер №	I (n=21)	II (n=12)
Mg ²⁺ , %	8,76–21,81 (17,08)	0,00–38,52 (15,62)
ΣNa ⁺ +K ⁺ , %	2,92–23,23 (8,58)	0,25–35,49 (14,18)
HCO ₃ ⁻ , %	20,47–48,72 (40,96)	16,51–45,36 (33,61)
SO ₄ ²⁻ , %	0,21–10,15 (2,54)	0,00–31,52 (7,34)
Cl ⁻ , %	0,64–28,14 (6,50)	1,90–33,27 (9,04)

Примечание: серой заливкой выделены ячейки с максимальным средним значением параметра
Note: The cells with the maximum average value of the parameter are highlighted with grey shading

Заключение

Исследуемые арктические озера эрозионно-термокарстового типа обладают главным образом небольшой площадью зеркала, малой глубиной и прозрачностью воды. Вода озер ультрапресная, преимущественно очень мягкая. Водородный показатель изменяется в широких пределах от слабокислых до щелочных значений. Для воды исследуемых озер характерны высокие концентрации общего железа и фосфатов, что отмечается в других проведенных в регионе исследованиях и, вероятно, связано с высокими фоновыми концентрациями указанных компонентов в районе исследования. Содержание кремния в воде озер варьирует в широких пределах, достигая максимальных значений в озерах северной тайги. Ионы аммония в воде большинства озер отсутствовали. В

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология**Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.*

оставшейся части концентрации изменяются в широком диапазоне, указывая на выраженное влияние местных условий на накопление в воде данного биогенного компонента.

В ионном составе воды исследуемых озер преобладают гидрокарбонаты (в 88 % водоемов) и ионы кальция (в 70 % выборки). Сочетания долей положительно заряженных ионов разнообразны (11 вариаций), однако наиболее часто вода озер является магниев-кальциевой (45 % озер). Состав анионов воды более однороден, в большинстве случаев она относится к гидрокарбонатному классу (для 76 % озер).

Установлены пространственные изменения прозрачности воды и концентрации растворенных в воде форм кремния. Прозрачность статистически значимо возрастает при увеличении высоты расположения озер над уровнем моря, а концентрация кремния (зонально) – при продвижении с севера на юг района исследования. Указанные закономерности отмечены на фоне параллельного изменения ионного состава воды и минерализации. По совокупности исследуемых параметров озера могут быть объединены в 2 группы. К первой группе относятся главным образом озера пространств, лишенных сплошной лесной растительности, во втором объединении преобладают озера зоны северной тайги, что может быть косвенным свидетельством действия зонального аспекта на формирование химического состава воды объектов исследования. Выделенные объединения озер значительно отличаются по основным гидрохимическим параметрам: минерализации, общей жесткости, pH, концентрации общего железа, кремния и фосфатов.

Библиографический список

1. Аржакова С.К., Жирков И.И., Кусатов К.И., Андросов И.М. Реки и озера Якутии: крат. справ. Якутск: Бичик, 2007. 136 с.
2. Городничев Р.М., Левина С.Н., Ушницкая С.Н., Давыдова П.В., Пестрякова Л.А. Морфометрические параметры разнотипных озер Севера Якутии // Успехи современного естествознания. 2020. № 1. С. 18–25.
3. Городничев Р.М., Пестрякова Л.А., Ядрихинский И.В. Взаимосвязи диатомовых водорослей с морфометрическими, гидрохимическими характеристиками и параметрами местоположения озер Севера Якутии // Вестник СВФУ. 2015. № 6 (50). С. 14–26.
4. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. Введ. 2014-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2013. 64 с.
5. Жирков И.И. К ландшафтно-генетической классификации озер Центральной Якутии // Природа и хозяйство Сибири. Якутск, 1977. С. 32–33.
6. Жирков И.И. О Запасах и качестве сапропелевых месторождений разнотипных озер Центральной Якутии // Сапропель в сельском хозяйстве. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1983. С. 58–72.
7. Иванов П.В. Классификация озер мира по величине и по их средней глубине // Бюллетень ЛГУ. Ленинград, 1948. № 20. С. 29–36.
8. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с. ISBN: 978-5-9274-0274-8
9. Макаров В.Н., Чижук А.Л. Поступление фосфатов в озера Якутска // Наука и образование. 2009. № 4. С. 66–69.
10. Нестерева М.И. Пространственные особенности строения разнотипных озерных котловин на территории Якутии // Общество. Среда. Развитие. 2011. № 4. С. 227–230.
11. Пестрякова Л.А. Диатомовые комплексы озер Якутии. Якутск: Изд-во ЯГУ, 2008. 197 с.
12. Пестрякова Л.А. Типологическое значение морфометрических показателей озер Центральной Якутии // Вопросы рационального использования и охраны природных ресурсов разнотипных озер криолитозоны (На примере Центральной Якутии): межвузовский сборник. Якутск: Изд-во ЯГУ, 1983. С. 89–96.
13. ПНД Ф 14.1:2.1-95. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. Введ. 1995-03-25. М.: Минприроды РФ, 2004. 20 с.
14. ПНД Ф 14.1:2.50-96. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации общего железа в природных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. Введ. 1995-03-20. М.: Минприроды РФ, 2004. 18 с.
15. ПНД Ф 14.2.99-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений содержания гидрокарбонатов в пробах природных вод титриметрическим методом. Введ. 1997-03-21. М.: Минприроды РФ, 1997. 20 с.
16. Попова Н.В., Аргунов М.А. Экологическая оценка состояния водоёмов -источников хозяйственно-питьевого водоснабжения сельских населенных пунктов Таттинского района Якутии // АгроЭкоИнфо. 2020, № 4. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/4/st_417.pdf. (дата обращения: 30.12.2023)
17. РД 52.24.382-2006. Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом. Введ. 2006-04-01. Ростов н/Д: Росгидромет, 2006. 32 с.
18. РД 52.24.433-2005. Массовая концентрация кремния в поверхностных водах суши. Методика выполнения фотометрическим методом. Введ. 2005-07-01. М.: Гидрохимический ин-т, 2005. 25 с.
19. Biskaborn B., Herzschuh U., Bolshiyakov D.Y., Schwamborn G., Diekmann B. Thermokarst processes and depositional events in a tundra lake, Northeastern Siberia // Permafrost and Periglacial Processes. 2013. Vol. 24, No. 3. P. 160–174. DOI: 10.1002/ppp.1769
20. Desyatkin A.R., Takakai F., Hatano R. Flood effect on CH₄ emission from the Alas in Central Yakutia, East Siberia // Soil Science and Plant Nutrition. 2014. Vol. 60, No. 2. P. 242–253. DOI: 10.1080/00380768.2014.883486
21. Federov V., Zhuravel V., Grinyaev S., Medvedev D. Scientific approaches to defining the territorial boundaries of the Arctic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 302 (1). DOI: 10.1088/1755-1315/302/1/012012
22. Horn W. The influence of biomass and structure of the crustacean plankton on the water transparency in the Saldenbach storage reservoir // Biology of Cladocera. Developments in Hydrobiology. 1991. Vol. 71. P. 115–120. DOI: 10.1007/978-94-017-0918-7_11

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

23. Kumke T., Ksenofontova M., Pestryakova L., Nazarova L., Hubberten H.-W. Limnological characteristics of lakes in the lowlands of Central Yakutia, Russia // *Journal of Limnology*. 2007. Vol. 66, No. 1. P. 40–53. DOI: 10.4081/jlimnol.2007.40
24. Pestryakova L.A., Herzschuh U., Wetterich S., Ulrich M. Present-day variability and Holocene dynamics of permafrost-affected lakes in central Yakutia (Eastern Siberia) // *Quaternary Science Reviews*. 2012. Vol. 51. P. 56–70. DOI: 10.1016/j.quascirev.2012.06.020
25. Semiletov I.P., Pipko I.I., Pivovarov N.Ya., Popov V.V., Zimov S.A., Voropaev Yu.V., Davydov S. Atmospheric carbon emission from North Asian Lakes: A factor of global significance // *Atmospheric Environment*. 1996. Vol. 30, No. 10–11. P. 1657–1671. DOI: 10.1016/1352-2310(95)00426-2
26. Spearman C. The proof and measurement of association between two things // *The American Journal of Psychology*. 1904. Vol. 15, No. 1. P. 72–101.
27. Tyler J.E. The Secchi disc // *Limnology and Oceanography*. 1968. Vol. 13, No. 1. P. 1–6.
28. Ward J.H. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function // *Journal of the American Statistical Association*. 1963. Vol. 58, No. 301. P. 236–244. DOI: 10.1080/01621459.1963.10500845

References

1. Arzhakova, S.K., Zhirkov, I.I., Kusatov K.I., Androsov, I.M. (2007). Rivers and lakes of Yakutia. Yakutsk: Bichik, 136 p.
2. Gorodnichev, R.M., Levina, S.N., Ushnitskaya, S.N., Davydova, P.V., Pestryakova, L.A. (2020). Morphometric parameters of different-type lakes in the North of Yakutia. *Uspekhi sovremennogo estestvosnaniya*. No 1. pp. 18–25. doi: 10.17513/use.37316.
3. Gorodnichev, R.M., Pestryakova, L.A., Yadrikhinsky, I.V. (2015). Relationships of diatom algae with morphometric, hydrochemical characteristics and location parameters of lakes in the North of Yakutia. *Vestnik SVFU*. No 6(50). pp. 14–26.
4. GOST 31861-2012 (2013). Water. General requirements for sampling. Introduced 2014-01-01. Moscow: Standards Publisher. 64 p.
5. Zhirkov, I.I. (1977). To landscape-genetic classification of lakes of Central Yakutia. *Priroda I khozaystvo Sibiri* [Nature and economy of Siberia]. Yakutsk. pp. 32–33.
6. Zhirkov, I.I. (1983). On Reserves and quality of sapropel deposits of different types of lakes in Central Yakutia. *Sapropel in agriculture*. Yakutsk: YaF SO AN USSR, 1983. pp. 58–72.
7. Ivanov, P.V. (1948). Classification of lakes of the world by size and by their average depth. *Byulleten' LGU* [Bulletin of LSU]. Leningrad, No 20. pp. 29–36.
8. Kitaev, S.P. (2007). Fundamentals of Limnology for Hydrobiologists and Ichthyologists. Petrozavodsk: Karelian Scientific Centre of RAS. 395p.
9. Makarov, V.N., Chizhuk, A.L. (2009). Phosphate inflow into the lakes of Yakutsk. *Nauka I obrazovanie* [Science and Education]. No 4. pp.66–69.
10. Nestereva, M.I. (2011). Spatial features of the structure of different types of lake basins on the territory of Yakutia. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie*. [Society. Environment. Development]. No 4. pp.227–230.
11. Pestryakova, L.A. (2008). Diatom complexes of lakes of Yakutia. Yakutsk: YaGU Publishing House. 197p.
12. Pestryakova, L.A. (1983). Typological significance of morphometric indicators of lakes of Central Yakutia. *Issues of rational use and protection of natural resources of different types of cryolithozone lakes (On the example of Central Yakutia)*. *Interuniversity collection*. Yakutsk: YaGU Publishing House. pp. 89–96.
13. PND F 14.1:2.1-95 (2004). Quantitative chemical analysis of waters. Methodology for measuring mass concentration of ammonium ions in natural and waste waters by photometric method with Nessler's reagent. Introduced 1995-03-25. Moscow: Minprirody RF. 20 p.
14. PND F 14.1:2.50-96 (2004). Quantitative chemical analysis of waters. Methodology for measuring mass concentration of total iron in natural and waste waters by photometric method with sulphosalicylic acid. Introduced 1995-03-20. Moscow: Minprirody RF. 18 p.
15. PND F 14.2.99-97 (1997). Quantitative chemical analysis of waters. Methodology for measurement of hydrocarbonate content in natural water samples by titrimetric method. Introduced 1997-03-21. Moscow: Minprirody RF. 20 p.
16. Popova, N.V., Argunov, M.A. (2020). Ecological assessment of the state of water bodies – sources of household and drinking water supply in rural settlements of the Tattinsky district of Yakutia. *AgroEcoInfo*. No 4. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/4/st_417.pdf. (Access: 30.12.2023).
17. RD 52.24.382-2006 (2006). Mass concentration of phosphates and polyphosphates in waters. Methodology of measurements by photometric method. Introduced 2006-04-01. Rostov-na-Donu: Rosgidromet. 32 p.
18. RD 52.24.433-2005 (2005). Mass concentration of silicon in terrestrial surface waters. Methodology by photometric method. Introduced 2005-07-01. Moscow: Hydrochemical Institute. 25 p.
19. Biskaborn, B., Herzschuh, U., Bolshiyarov, D.Y., Schwamborn, G., Diekmann, B. (2013). Thermokarst processes and depositional events in a tundra lake, Northeastern Siberia. *Permafrost and Periglacial Processes*. Vol. 24. No 3. pp. 160–174.
20. Desyatkin, A.R., Takakai, F., Hatano, R. (2014). Flood effect on CH₄ emission from the Alas in Central Yakutia, East Siberia. *Soil Science and Plant Nutrition*. Vol. 60, No 2. pp. 242–253.
21. Federov, V., Zhuravel, V., Grinyaev, S., Medvedev, D. (2019). Scientific approaches to defining the territorial boundaries of the Arctic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 302(1). doi: 10.1088/1755-1315/302/1/012012.
22. Horn, W. (1991). The influence of biomass and structure of the crustacean plankton on the water transparency in the Saldenbach storage reservoir. *Biology of Cladocera. Developments in Hydrobiology*. Vol 71. pp. 115–120. doi: 10.1007/978-94-017-0918-7_11
23. Kumke, T., Ksenofontova, M., Pestryakova, L., Nazarova, L., Hubberten, H.-W. (2007). Limnological characteristics of lakes in the lowlands of Central Yakutia, Russia. *Journal of Limnology*. Vol. 66. No 1. pp. 40–53.
24. Pestryakova, L.A., Herzschuh, U., Wetterich, S., Ulrich, M. (2012). Present-day variability and Holocene dynamics of permafrost-affected lakes in central Yakutia (Eastern Siberia). *Quaternary Science Reviews*. Vol. 51. pp. 56–70.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

25. Semiletov, I.P., Pipko, I.I., Pivovarov, N.Ya., Popov, V.V., Zimov, S.A., Voropaev, Yu.V., Davydov, S. (1996). Atmospheric carbon emission from North Asian Lakes: A factor of global significance. *Atmospheric Environment*. Vol. 30. No 10–11. pp. 1657–1671.

26. Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology*. Vol. 15. No 1. pp. 72–101.

27. Tyler, J.E. (1968). The Secchi disc. *Limnology and Oceanography*. Vol. 13. No 1. pp. 1–6.

28. Ward, J.H. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 58. No 301. pp. 236–244. doi: 10.1080/01621459.1963.10500845

Статья поступила в редакцию: 29.05.24, одобрена после рецензирования: 13.11.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 29 May 2024; approved after review: 13 November 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторах

Руслан Михайлович Городничев

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией БиоМ, доцент эколого-географического отделения Института естественных наук Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова; 677000, Россия, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58

e-mail: rusgorodnichev@gmail.com

Information about the authors

Ruslan M. Gorodnichev

Candidate of Biological Sciences, Head of the BioM Laboratory, Associate Professor, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University; 58, Belinskogo st., Yakutsk, 677000, Russia

Людмила Агафьевна Пестрякова

доктор географических наук, главный научный сотрудник эколого-географического отделения Института естественных наук Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова; 677000, Россия, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58

e-mail: lapest@mail.ru

Lyudmila A. Pestryakova

Doctor of Geographical Sciences, Chief Researcher, Professor, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University; 58, Belinskogo st., Yakutsk, 677000, Russia

Вклад авторов

Городничев Р.М. – идея, обработка материалов, написание статьи.

Пестрякова Л.А. – сбор материала, планирование структуры текста, редактирование текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Ruslan M. Gorodnichev – the idea; material processing; writing of the article.

Lyudmila A. Pestryakova – material collection; planning of the text structure; scientific editing.

The authors declare no conflict of interest.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ И ПОЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ

Научная статья

УДК 911.3 (517.3)

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-31-39

ЗАВИСИМОСТЬ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЭКСПОРТА ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ СТРАН ОТ ТРАНСПОРТАБЕЛЬНОСТИ ТОВАРОВ (НА ПРИМЕРЕ МОНГОЛИИ)**Леонид Алексеевич Безруков¹, Арсений Николаевич Фартышев²**^{1,2} Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия² Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия¹ bezrukov@irigs.irk.ru, ResearcherID: AAZ-6372-2020, Scopus Author ID: 8508086500² fartyshhev.an@gmail.com, ResearcherID: AAZ-6198-2020, Scopus Author ID: 57200918495

Аннотация. Исходя из произошедшего во второй половине XX в. удешевления перевозок, вопрос о роли в современной экономике транспортно-географического фактора остается дискуссионным, возникают суждения о том, что «принцип платы за расстояние» теряет свое определяющее влияние. Вместе с тем резкое удешевление во второй половине XX в. морских перевозок привело к еще большей транспортно-экономической поляризации мира в континентально-океаническом разрезе: основные конкурентные преимущества получили приморские страны и районы, тогда как для внутриконтинентальных высокие транспортные издержки остались важным препятствием для эффективного выхода на мировой рынок. Поэтому цель исследования состоит в установлении на примере Монголии зависимости географической структуры экспорта внутриконтинентальных стран от транспортабельности товаров. По авторской методике осуществлена оценка распределения экспортных товаров Монголии с учетом их относительной транспортабельности по зонам удаленности. Выявлена закономерность вывоза малотранспортабельных минерально-сырьевых товаров (уголь, железная руда, нефть, руды и концентраты ряда цветных металлов) почти исключительно в ближние страны, главным образом в Китай. Это обусловлено влиянием значительных транспортных затрат, ограничивающих перемещение массовых грузов на большие расстояния из-за ощутимого снижения рентабельности экспорта. В то же время в дальние страны экспортируются более дорогостоящие виды монгольской продукции (золото, одежда, шерсть и др.). Обозначены распределение и транспортабельность экспорта Монголии по пограничным пунктам пропуска с Россией и Китаем. Установлена доминирующая роль использования железнодорожного транспорта для перевозки массовых грузов внутриконтинентальных стран. Сделан вывод о том, что в перспективе наиболее приоритетным направлением экспортной специализации Монголии является углубление переработки минерального сырья в полуфабрикаты или готовую продукцию, что позволит увеличить рентабельные расстояния их перевозки и расширить размеры рынков сбыта.

Ключевые слова: экономическая география, транспортабельность товара, транспортные издержки, экспорт, зоны удаленности, минерально-сырьевые товары, внешние рынки, Монголия

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-47-03004, <https://rscf.ru/project/24-47-03004/>.

Для цитирования: Безруков Л.А., Фартышев А.Н. Зависимость географической структуры экспорта внутриконтинентальных стран от транспортабельности товаров (на примере Монголии) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 31–39. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-31-39

ECONOMIC, SOCIAL AND POLITICAL GEOGRAPHY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-31-39

DEPENDENCE OF THE GEOGRAPHICAL STRUCTURE OF INTRACONTINENTAL COUNTRIES' EXPORTS ON THE TRANSPORTABILITY OF GOODS (A CASE STUDY OF MONGOLIA)**Leonid A. Bezrukov¹, Arseniy N. Fartyshhev²**^{1,2} V.B. Sochava Institute of Geography, SB RAS, Irkutsk, Russia² Irkutsk State University, Irkutsk, Russia¹ bezrukov@irigs.irk.ru, ResearcherID: AAZ-6372-2020, Scopus Author ID: 8508086500² fartyshhev.an@gmail.com, ResearcherID: AAZ-6198-2020, Scopus Author ID: 57200918495

© 2025 Эта работа Безрукова Л.А., Фартышева А.Н. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Экономическая, социальная и политическая география
Безруков Л.А., Фартышев А.Н.

Abstract. Following the reduction in transportation costs that occurred in the second half of the 20th century, the role of the transport-and-geographical factor in the modern economy remains a debatable question, and judgments arise that the principle of ‘payment for distance’ is losing its decisive influence. At the same time, a sharp reduction in price of maritime transport has led to an even greater transport-and-economic polarization of the world in the continental-oceanic context: the main competitive advantages were gained by coastal countries and regions, while for inland countries high transport costs remained a major obstacle to effective entry into the world market. Hence, the purpose of the study is to establish, using the example of Mongolia, the dependence of the geographical structure of intracontinental countries’ exports on the transportability of goods. The authors proposed their own methodology to assess the distribution of Mongolia’s export goods by remoteness zones with relative transportability of the goods taken into account. The study has revealed that low-transportable mineral raw materials (coal, iron ore, oil, ores, and concentrates of a number of non-ferrous metals) are transported almost exclusively to neighboring countries, mainly to China. This is due to the impact of significant transportation costs, which limit the movement of bulk goods over long distances due to a noticeable decrease in export profitability. At the same time, more expensive types of Mongolian products (gold, clothing, wool, etc.) are exported to distant countries. The authors have established the distribution and transportability of Mongolia’s exports by border checkpoints located on the border with Russia and China. Rail transport was found to play the dominant role in the transportation of bulk cargoes of intracontinental countries. It is concluded that the main priority of Mongolia’s export specialization in the long term is to deepen the processing of mineral raw materials into semi-finished or finished products, which will extend the cost-effective distances of their transportation and expand the size of sales markets.

Keywords: economic geography, transportability of goods, transport costs, exports, remoteness zones, mineral commodities, foreign markets, Mongolia

Financing. The research was carried out under grant from the Russian Science Foundation No. 24-47-03004, <https://rscf.ru/project/24-47-03004/>.

For citation: Bezrukov, L.A., Fartyshev, A.N. (2025). Dependence of the geographical structure of intracontinental countries’ exports on the transportability of goods (a case study of Mongolia). *Geographical Bulletin*. No. 4(71). Pp. 31–39. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-31-39

Введение

Вопрос связи географических факторов с экономическим развитием стран и регионов является одним из ключевых в общественной географии. Примером может служить разработка концепции континентально-океанической дихотомии, которая, объясняя экономико-географические следствия разделения поверхности земного шара на сушу и Мировой океан, рассматривает планетарную неоднородность пространства через призму разницы в величине транспортных издержек между сухопутными и морскими перевозками – более затратными первыми и экономичными вторыми [3]. В общем случае «континентально-океаническая» поляризация, наряду с климатическими, ландшафтными и прочими особенностями, по праву относится к числу тех важнейших географических факторов, которые наиболее заметно детерминируют и экономическую, и общественно-политическую жизнь человечества, что находит весомое подтверждение в многочисленных фактах прошлого и настоящего. Под континентально-океанической дихотомией понимается последовательное и фундаментальное раздвоение целостного мирового хозяйства (и мира в целом) на два противоположных и одновременно взаимодополняющих типа экономик – континентальный и океанический (приморский), резко различающихся в зависимости от их макрорасположения относительно моря организацией и эффективностью хозяйства, спецификой взаимодействия с внешним миром и путями развития.

Вместе с тем вопрос о роли в современной экономике транспортно-географического фактора остается дискуссионным. Исходя из произошедшего во второй половине XX в. резкого удешевления перевозок, общеэкономическая роль транспорта и торговли в настоящее время незаслуженно принижается. Возникают суждения зарубежных и отечественных исследователей о том, что транспортно-географический фактор больше не играет былой роли, поскольку «принцип платы за расстояние» теряет свое определяющее влияние, а уровень развития стран становится все более независимым от расстояний, природных ресурсов и географического положения [1, 2, 12, 15].

Однако, как метко заметил Б. Хендрикус, в экономических теориях «производство, потребление, капиталовложения и даже внешняя торговля обычно рассматриваются условно в народном хозяйстве такой страны, где нет ни расстояний, ни транспортных издержек» [18, с. 20]. О том же самое говорит Б.Б. Родоман: «Экономисты, да и многие географы, любят объяснять местные особенности стран и районов пестротой природных условий, но нередко недооценивают значение положения и расстояний» [13, с. 418]. Следовательно, и сегодня очень актуально звучат слова основоположника экономической географии А. Лёша о том, что «законом расстояния» явно пренебрегают, а это связано с большими потерями [8].

Транспортная составляющая цены многих товаров все еще достигает значительных размеров, в связи с чем транспортные издержки по-прежнему сохраняют большое значение в формировании международных и межрегиональных хозяйственных связей. Выдающийся шведский экономист Б. Улин еще в 1930-х гг. указывал, что некоторые базисные элементы размещения и ценообразования, в том числе транспортные издержки, носят более

фундаментальный характер, чем другие, т.е. они менее всего поддаются регулированию [16]. Поэтому транспортные издержки до сих пор остаются едва ли не важнейшим фактором, определяющим процессы хозяйственного обмена, а в конечном счете и самого производства.

Проблема транспортировки товаров (грузов) занимала ранее центральное место во всей теории размещения производства, связанной с именами таких классиков экономики и экономической географии, как И.Г. Тюнен, А. Вебер, Т. Паландер, А. Лёш, А. Маршалл, Б. Улин, У. Изард и др. Влияние транспортных издержек на экономические показатели предприятий и отраслей хозяйства плодотворно рассматривалось также отечественными экономистами-транспортниками и экономико-географами [5–7, 10, 11, 19]. К сожалению, содержащаяся в их трудах информация уже в значительной мере устарела, причем подобные исследования в настоящее время практически свернуты.

Между тем с позиций континентально-океанической дихотомии результаты сокращения транспортных издержек очень дифференцированы по районам и странам мира, так как для различных видов транспорта были характерны принципиально различные темпы удешевления перевозок [3]. Самое значительное их удешевление произошло на морском транспорте за счет увеличения размеров судов, контейнеризации грузов, создания мощной и специализированной портовой инфраструктуры, применения новой техники погрузочно-разгрузочных работ, формирования общемировой логистической системы поставок сырьевых товаров [9, 10].

Однако такое резкое сокращение расходов морской транспортировки привело к еще большей транспортно-экономической поляризации районов и стран мира в континентально-океаническом разрезе, прежде всего к усилению и без того заметной «ущемленности» внутриматериковых областей по сравнению с приморскими. Так, по данным Л. Анноваци-Джакаб [20], транспортные расходы на перемещение стандартного контейнера из Балтимора (США) морским путем до побережья Африки (Камерун) на расстояние 9 тыс. км составляют примерно 3 тыс. долл., а доставка этого же самого контейнера от побережья во внутриконтинентальную Центральноафриканскую республику железнодорожным и автомобильным транспортом на 950 км обойдется уже в 13 тыс. долл. Как видим, в приведенном примере в расчете на одинаковое расстояние сухопутные перевозки дороже морских в 40 раз.

В итоге основные конкурентные экономические преимущества от удешевления транспорта получили приморские районы и главным образом ведущие океанические страны. В то же время во внутриконтинентальных районах транспортно-экономическая ситуация остается принципиально иной, поскольку разрыв между тарифами железнодорожного и автомобильного транспорта, с одной стороны, и морского – с другой, не только не сократился, но и даже существенно вырос. Для большинства удаленных от моря районов и стран высокие транспортные издержки до сих пор остаются важным препятствием эффективного выхода на мировой рынок и обеспечения равноправной конкуренции с другими странами.

Удешевление перевозок проявляется очень дифференцированно не только в территориальном аспекте (прежде всего в зависимости от расстояния от моря), но и в отраслевом (т. е. по группам товаров). Так, транспортные издержки по-прежнему велики при перевозках массовых сырьевых грузов сухопутными видами транспорта, в связи с чем эти издержки остаются чрезвычайно острой проблемой для экономики континентальных и внутриконтинентальных стран и районов.

Цель работы в рамках рассматриваемой тематики – установление зависимости географической структуры экспорта внутриконтинентальных стран от транспортабельности товаров. Из 194 суверенных государств мира 44 являются внутриконтинентальными. Среди них ООН официально выделил группу из 32-х т. н. «развивающихся стран, не имеющих выхода к морю» [21]. Страны данной группы в целом заметно отличаются от совокупности других государств относительно низкими экономическими показателями, что обусловлено, очевидно, и удаленностью от моря, и отсутствием свободного доступа к нему. Типичной страной этой группы является Монголия, ситуация с которой весьма показательна с точки зрения оценки совместного влияния на особенности внешней торговли как большого расстояния до морских портов, так и отсутствия свободного (прямого) выхода к ним и потенциальным рынкам сбыта из-за зависимости от транзита через соседние страны.

Материалы и методы

Достижение сформулированной цели требует разработки специальной методики. Важное методическое значение имеет понятие «относительная транспортабельность товара» (подвижность), которое, согласно П. Хаггету [17], означает относительные возможности преодоления расстояния тем или иным видом товара, выраженные через цену (ценность) единицы его веса или массы. Согласно нашей схеме группировки видов товаров по транспортабельности [3], все они, исходя из цен единицы массы (в ценах 2000 г.), распределены по шести следующим категориям: очень высокая транспортабельность (свыше 1000 тыс. долл./т), высокая (100–1000), повышенная (10–100), средняя (1–10), пониженная (0,1–1), низкая (ниже 0,1 тыс. долл./т). Дорогие виды товаров (с высокой ценой единицы массы) могут перевозиться на большие расстояния, тогда как дешевые товары – на относительно меньшие расстояния, поскольку затраты на транспортировку становятся сравнимыми с ценами их производства. При перевозках дешевых товаров (сырья) с низкой и пониженной транспортабельностью неизбежно ограничение средней дальности сухопутных поставок, сопровождаемое жесткой локализацией соответствующих товарных рынков.

Согласно предложенной схеме, распределение вывозимых товаров Монголии по их транспортабельности в 2021 г. осуществлено с учетом средних экспортных цен 2021 г. и инфляции доллара США с 2000 по 2021 г. в 1,57 раза [25]. Основные виды экспортных товаров распределяются следующим образом: в категорию низкой

Экономическая, социальная и политическая география
Безруков Л.А., Фартышев А.Н.

транспортабельности входят бурый уголь и железная руда; пониженной – каменный уголь (на грани перехода в предыдущую категорию), нефть, плавиковый шпат, цинковый концентрат, свинец необработанный; средней – медный, свинцовый, молибденовый и вольфрамовый концентраты, медь рафинированная, драгоценные и полудрагоценные камни, шерсть, мясо; повышенной – оловянный концентрат, кашемир, одежда из кашемира; очень высокой – золото необработанное. Можно отметить общую закономерность: чем выше степень обработки продукции (за исключением золота) и готовности для конечного потребления, тем лучше экономические возможности ее транспортировки (выше транспортабельность). Так, исходя из средних экспортных цен 2021 г., транспортабельность медного концентрата (сырья) в 4 раза ниже аналогичного показателя получаемой из него рафинированной меди (полуфабриката).

Перевозки продукции предприятий Монголии к странам-партнерам осуществляются сначала почти исключительно железнодорожным и автомобильным, а затем с большинством стран – еще и морским видом транспорта. Поэтому измерению подлежат реальные расстояния по железнодорожным и морским путям (от столицы Монголии Улан-Батора до столиц или главных портов стран-импортеров согласно действующим транспортным схемам). Поскольку важны не сами по себе расстояния, а размер затрат, необходимых на их преодоление, далее при расчетах определялись «экономические» расстояния. С этой целью для морских путей введен поправочный понижающий коэффициент (0,2), учитывающий удешевление морских перевозок по сравнению с железнодорожными в расчете на единицу расстояния. Соотношение между стоимостью железнодорожных и морских перевозок, равное в среднем 5, получено в результате анализа современных фактических данных и подтверждено результатами других исследователей [22].

Все страны-импортеры товаров Монголии сгруппированы в зависимости от «экономических» расстояний до Улан-Батора по четырем зонам удаленности. Приняты следующие градации удаленности зон: первая зона – 0–2 тыс. км, вторая – 2–4, третья – 4–6, четвертая – свыше 6 тыс. км (рис. 1). В первую зону вошли ближайшие регионы Китая (автономные районы Внутренняя Монголия и Нинся-Хуэйский, города центрального подчинения Пекин и Тяньцзинь, провинции Шаньси, Шэньси, Хэбэй, Ляонин и Шаньдун) и России (Иркутская область, Республика Бурятия и Забайкальский край), а также Республика Корея и КНДР. Во второй зоне находятся прочие регионы Китая, часть сибирских и дальневосточных регионов России, северо-восточная половина Казахстана, страны Восточной, Юго-Восточной и Южной Азии. Третья зона включает более отдаленные государства Юго-Западной и Центральной Азии, Австралии и Океании, Северной Америки, Южной Европы, Северной и Восточной Африки, а также подавляющую часть регионов Европейской России. К четвертой зоне принадлежат страны Северной и Восточной Европы, Южной Америки и большей части Африки, крайние западные регионы России.

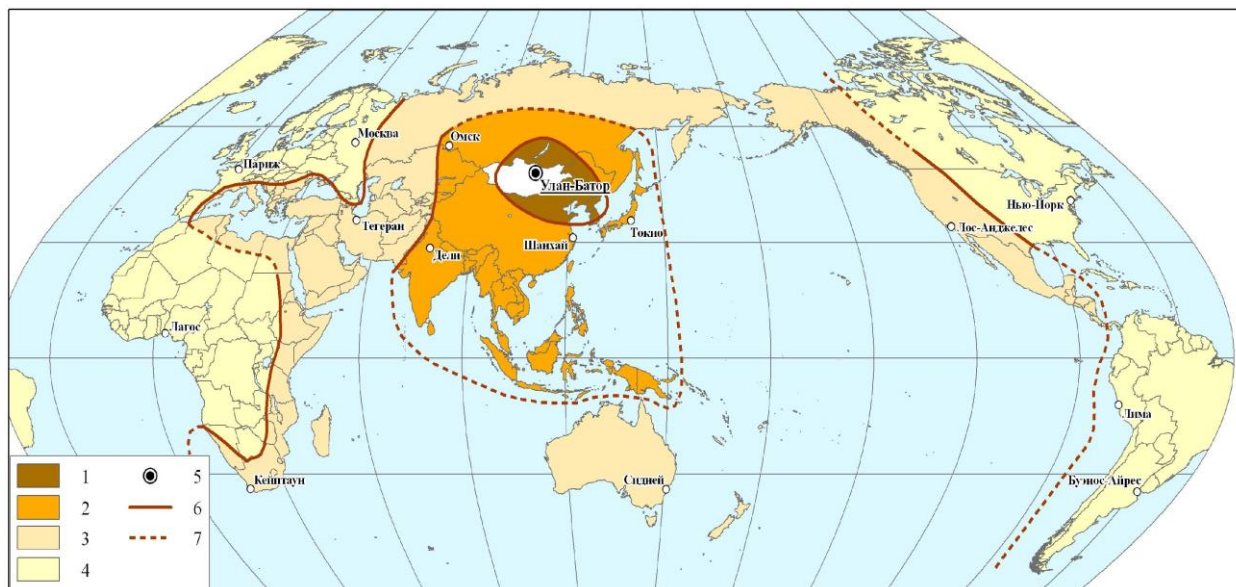


Рис. 1. Зоны удаленности от Монголии стран-импортеров ее товаров

Зоны удаленности от Монголии (от Улан-Батора), тыс. км: 1 – 0–2, 2 – 2–4, 3 – 4–6, 4 – свыше 6. 5 – условный центр экспорта Монголии (Улан-Батор). Границы зон удаленности: 6 – на территориях с сетью железных дорог, 7 – на морских акваториях и территориях без железных дорог

Fig. 1. The zones of remoteness from Mongolia of the countries importing its goods

Zones of remoteness from Mongolia (from Ulaanbaatar), thousand km: 1 – 0–2, 2 – 2–4, 3 – 4–6, 4 – over 6. 5 is the conditional export center of Mongolia (Ulaanbaatar). The boundaries of the remoteness zones: 6 – in territories with a railway network, 7 – in marine areas and territories without railways.

Экономическая, социальная и политическая география

Безруков Л.А., Фартышев А.Н.

В качестве необходимой информации использовались различные статистические источники. В первую очередь применялись данные официальной статистики Монголии [24] и информационной системы ее главного таможенного управления [23]. Информация о внешнеторговых связях Монголии с регионами России получена из материалов ее Федеральной таможенной службы [14].

Результаты и их обсуждение

В течение трех последних десятилетий рост экспорта минерального сырья в значительной мере определял экономический рост Монголии. Доля экспорта к ВВП (экспортная квота) повысилась с 12–17 % в 1980-х гг. до 60 % и выше в последние годы [4]. Монголия по душевому экспорту опережает в разы и десятки раз все остальные внутриконтинентальные страны Азии (за исключением нефтедобывающих Казахстана и Азербайджана) и Африки (за исключением алмазодобывающей Ботсваны). Вместе с тем в результате узкой специализации и малого размера внутреннего рынка динамика монгольской экономики находится в сильной зависимости от экспорта минерального сырья и мировых цен на него.

В товарной структуре экспорта Монголии в 2021 г. всецело доминировали – 93,1 % – минерально-сырьевые товары, где основной вклад вносят каменный уголь, медный концентрат, золото, железная руда, нефть, цинковый концентрат, плавленый шпат, драгоценные металлы (в сумме 90,4 %) (табл. 1). Меньшее значение имеют медь рафинированная, молибденовый и свинцовый концентраты, бурый уголь, драгоценные и полудрагоценные камни, вольфрамовый и оловянный концентраты, свинец необработанный. Второе место в товарной структуре экспорта – 5,4 % – занимает традиционная продукция животноводства и предметов ее переработки (шерсть, волос, пряжа и пух, одежда, мясо и мясопродукты и др.).

Наибольшая часть экспорта Монголии по массе (86,4 %) идет в близлежащие страны, т.е. в первую зону, тогда как ее доля в стоимости экспорта существенно меньше – 67,6 % (табл. 2). В остальных зонах, наоборот, удельные веса стоимостных объемов экспорта доминируют над весами натуральных, превышая их в 1,7–1,8 раза во второй и третьей зонах, в 33,7 раза – в четвертой. Получается, что товаропроизводители Монголии стремятся вывозить самую многотоннажную сырьевую продукцию в ближние страны, тогда как в дальние уходят более дорогостоящие ее виды (золото, шерсть, пряжа, одежда и др.).

Таблица 1

Товарная структура экспорта Монголии в 2021 г.
The commodity structure of Mongolia's exports in 2021

Товарная группа / товар	Млн долл.	%
Медные руды и концентраты	2899,9	31,4
Уголь каменный	2763,9	29,9
Золото необработанное	1004,5	10,3
Железная руда	952,0	10,3
Шерсть, волос, пряжа, пух	325,0	3,5
Нефть сырая	273,4	3,0
Цинковые руды и концентраты	176,0	1,9
Плавленый шпат	143,0	1,5
Руды и концентраты драгоценных металлов	136,8	1,5
Медь рафинированная и ее сплавы	88,0	1,0
Молибденовые руды и концентраты	82,4	0,9
Свинцовые руды и концентраты	58,8	0,6
Предметы одежды	39,0	0,4
Мясо и мясопродукты	38,0	0,4
Прочие товары	260,4	2,8
ИТОГО	9241,1	100

Таблица 2

Распределение экспорта Монголии по зонам удаленности в 2021 г.
Distribution of Mongolia's exports by remoteness zones in 2021

Зоны удаленности от Монголии (от Улан-Батора)		Экспорт			
№ п/п	км	в натуральном выражении		в стоимостном выражении	
		тыс. т	%	млн долл.	%
1	0–2000	23491	86,4	6245,7	67,6
2	2000–4000	3378	12,4	1916,4	20,7
3	4000–6000	233	0,9	151,2	1,6
4	более 6000	72	0,3	927,8	10,1
Итого		27174	100,0	9241,1	100,0

Географическая структура экспорта Монголии отличается высокой концентрацией – 82,7 % его объема приходится на Китай. Второе место – 9,4 % – занимает Швейцария, куда поступает подавляющая часть (85 %) экспортируемого монгольского золота. На третьем месте находится Сингапур (2,7 %), на четвертом – Республика

Корея (2,4 %), на пятом – Россия (1,2 %). На долю всех остальных стран остается всего 1,6 % стоимостного объема экспорта Монголии.

Отметим, что концентрация экспорта по странам мира в натуральном виде выражена заметно сильнее, чем в стоимостном. Исходя из массы товаров, 93,1 % монгольского экспорта приходится на Китай, 6,2 % – в совокупности на Сингапур, Японию, Республику Корея и Россию, лишь 0,7 % – на все прочие страны.

Подавляющую часть экспортируемых минерально-сырьевых товаров потребляет Китай: 100 % железной руды, нефти, бурого угля, медного, цинкового, свинцового и оловянного концентрата, рафинированной меди, необработанного свинца, драгоценных и полудрагоценных камней; более 97 % драгоценных металлов, 92 % – каменного угля, 90 % – молибденового концентрата, 72 % – плавикового шпата. При этом поставляемые в Китай виды минерального сырья с наиболее низкой транспортабельностью оседают в ближней первой зоне. Так, на долю непосредственно прилегающего к Монголии автономного района Внутренняя Монголия приходится по стоимости 55,6 % (по массе – 76,3 %) монгольского экспорта в Китай. Следовательно, поставки относительно дешевых массовых минерально-сырьевых товаров низкой, пониженной и отчасти средней транспортабельности – железной руды, угля, нефти, необработанного свинца, медного, цинкового и свинцового концентрата – ограничиваются почти исключительно Китаем.

В то же время более дорогие и, соответственно, транспортабельные виды сырья – молибденовый и вольфрамовый концентраты (с транспортабельностью переходной от средней к повышенной), а также золото (очень высокая транспортабельность) – вывозятся, кроме Китая, на дальние расстояния в другие страны. Молибденовый концентрат поступает в Республику Корея; вольфрамовый – в Австрию и США; золото – в Швейцарию и Республику Корея. К немногим исключениям из указанной закономерности можно отнести экспорт угля Сингапуром (вторая зона) и плавикового шпата Россией (главным образом в Поволжье и на Урал, т. е. в третью зону), что определяется особыми качествами или дефицитностью данных видов минерального сырья.

Выявленные закономерности распределения экспорта Монголии по зонам удаленности уточним с помощью анализа дополнительной информации по пограничным пунктам пропуска (ППП). В настоящее время на регулярной основе в Монголии работает 24 ППП, из которых 10 расположено на границе с Россией, 13 – на границе с Китаем, один – в международном аэропорту «Чингисхан» Улан-Батора (воздушный ППП).

Через монгольско-китайские ППП в 2021 г. уходило 99 % экспорта Монголии в натуральном выражении и 85 % – в стоимостном, через монгольско-российские ППП – 1 % и 4 % соответственно. При этом 11 % экспорта в стоимостном выражении вывозится воздушным транспортом через пункт пропуска аэропорта Улан-Батора (по массе объем экспортных авиаперевозок незначителен).

Распределение экспортных товаров Монголии по используемым видам транспорта говорит о приоритетности железных дорог для перевозки массовых грузов внутриконтинентальных стран. Железнодорожными ППП на границе с Россией являются два пункта – Сухэ-Батор и Эрэнцав, на границе с Китаем три пункта – Замын-Уудэ, Гашуунсухайт и Ханги. В качестве железнодорожных условно учтены также монгольско-китайские ППП Шивээхурэн и Бичигт, к которым с китайской стороны непосредственно к границе подходят железные дороги, предназначенные для вывоза монгольского минерального сырья. На железнодорожный транспорт (в сумме 7 ППП) приходится 94 % по массе и 84 % по стоимости всего экспорта страны, на автомобильный (16 ППП) – 6 и 5 % соответственно. Воздушным транспортом (11 % экспорта по стоимости) доставляются только самые транспортабельные виды товаров, прежде всего золото.

С учетом инфляции доллара за 2000–2021 гг. значения транспортабельности экспорта через монгольско-российские ППП (0,8 тыс. долл./т) в 4 раза выше, чем через монгольско-китайские ППП (0,2 тыс. долл./т). Это обусловлено, во-первых, жесткой приуроченностью наименее транспортабельного минерально-сырьевого экспорта Монголии к ближайшим регионам Китая. Во-вторых, через главные монгольско-российские ППП по железнодорожному отлаженному маршруту экспортируются более транспортабельные товары, предназначенные не только для рынка России, но и для рынков удаленных стран (Восточной Европы, Центральной Азии и др.).

Сопоставление работы монгольско-российских и монгольско-китайских ППП говорит о следующем. Рельефно отражается преобладание монгольского экспорта (особенно в натуральном выражении) по пунктам на китайской границе по сравнению с пунктами на российской границе. Другая особенность – доминирование экспорта над импортом на всех монгольско-китайских ППП, тогда как для большинства монгольско-российских ППП отмечается противоположная картина. Третья характерная черта заключается в высокой степени концентрации внешнеторгового товарооборота в небольшом числе монгольско-китайских ППП, что определяется экспортом через четыре пункта (Гашуунсухайт, Шивээхурэн, Замын-Уудэ и Ханги) огромных объемов минерального сырья в приграничные районы Китая.

Таким образом, для Монголии как типичной внутриконтинентальной страны распределение по зонам удаленности экспорта товаров упорядочено в зависимости от их транспортабельности. Минеральное сырье как наименее транспортабельная многотоннажная продукция почти полностью направляется в ближние страны (в основном в Китай). В то же время с удалением от Монголии стран-импортеров растет доля вывоза туда более дорогостоящей продукции (золото и др.) или продукции, прошедшей определенные стадии обработки (шерсть, пряжа, одежда и др.). Столь сильное влияние транспортабельности экспортируемых товаров на их распределение

*Экономическая, социальная и политическая география**Безруков Л.А., Фартышев А.Н.*

по зонам удаленности и географическую структуру экспорта ведет к некоторому уменьшению транспортных издержек в конечной цене товаров и, соответственно, к частичному ослаблению негативного действия внутриконтинентального положения.

Развитие горнодобывающего сектора в обозримой перспективе будет по-прежнему определять рост экономики Монголии. Уже сейчас величина монгольского экспорта по ряду минерально-сырьевых товаров превосходит российские показатели: по плавиковому шпату – в 70 раз, по молибденовым рудам и концентратам – в 50 раз, по медным – в 8 раз [4]. Не столь уж значительно уступает монгольский экспорт российскому по железной руде, углю, цинковым и вольфрамовым рудам и концентратам. При этом по углю и меди в ближайшей перспективе возможно обострение конкуренции между экспортерами Монголии и восточных регионов России за внешние рынки, прежде всего за рынок Китая [4].

Ключевые особенности географического положения Монголии, в частности отсутствие выхода к морю и «зажатость» между двумя мощными державами – Россией и Китаем, предопределяют сильную степень зависимости от них в транспортно-логистическом отношении. Вследствие определенной однотипности осваиваемых ресурсов и экспортной специализации Монголии и восточных регионов России последняя почти не нуждается в монгольском минеральном сырье, а его транзит по российской территории к морским портам затрудняется недостаточной пропускной способностью железных дорог в восточном направлении и конкуренцией с российскими компаниями, контролирующими терминалы в портах Дальнего Востока. Поэтому экспорт Монголии жестко привязан к рынку ближайших регионов Китая и находится в сильной зависимости от транзита через его территорию к портам Желтого моря (Тяньцзинь, Далянь, Цзиньчжоу, Циньхуандао и др.). Усиливая хозяйственное взаимодействие со смежными областями соседних стран, Монголия активно использует принцип «континентальных соседств», однако его позитивный эффект ограничивается монополизмом главного внешнеторгового партнера – Китая, прежде всего заинтересованностью китайских предпринимателей покупать сырье по низким (демпинговым) ценам сразу на монгольско-китайской границе.

Заключение

Практическая значимость исследования заключается в том, что полученные результаты могут стать исходной базой для обоснования оптимальной стратегии российско-монгольского торгово-экономического взаимодействия, в том числе для разработки таких направлений экспортной специализации Монголии и восточных регионов России, которые бы дополняли друг друга, а не конкурировали между собой на рынках минерально-сырьевых товаров. Назовем три возможные направления решения проблемы рационализации монгольского экспорта. Первое из них заключается в широкой диверсификации поставок минерально-сырьевых товаров во многие страны с освоением новых рынков сбыта, но реализация этого затруднена недостатками географического положения и транспортно-логистическими ограничениями Монголии. Второе направление означает уменьшение зависимости от экспорта минерального сырья на основе формирования относительно самодостаточной экономики и емкого внутреннего рынка, достижение чего в обозримой перспективе явно нереально. Наиболее приоритетным представляется третье направление – углубление переработки минерального сырья в полуфабрикаты или готовую продукцию, вследствие чего рентабельные расстояния перевозки многократно увеличиваются, а размеры рынков сбыта расширяются, что позволяет устранить жесткую прикрепленность экспорта сырья к близлежащим странам и регионам, а также ослабить остроту международной конкуренции.

Переходя к более широким обобщениям, укажем, что, вопреки бытующим представлениям, транспортно-географический фактор по-прежнему играет огромную дифференцирующую роль в международном и региональном развитии, поскольку сохранились коренные различия в эффективности сухопутных и морских перевозок, определяющие анизотропность и неодинаковую проницаемость пространства. В современную эпоху больших скоростей, глобальных информационных сетей и дальнейшего «сжатия» пространства осуществление международных хозяйственных связей внутриконтинентальных стран, как и ранее, затруднено высокими транспортными издержками на преодоление затратных сухопутных расстояний и различными препятствиями на пути транзитных перевозок к морским портам через территории других государств. Установленные закономерности упорядоченного распределения по зонам удаленности экспортных товаров в зависимости от их относительной транспортабельности наглядно подтверждают сильное удорожающее и ограничивающее влияние транспортных издержек при перевозках многотоннажной сырьевой продукции из внутриматериковых районов мира.

Библиографический список

1. Арманд А.Д. География информационного века // Изв. РАН. Серия География. 2002. № 1. С. 10–14.
2. Бауман З. Глобализация. Последствия для человека и общества. М.: Изд-во «Весь мир», 2004. 188 с.
3. Безруков Л.А. Континентально-океаническая дихотомия в международном и региональном развитии. Новосибирск: Гео, 2008. 369 с.
4. Безруков Л.А., Фартышев А.Н. Особенности внешней торговли Монголии: риски для России // Мировая экономика и международные отношения. 2022. Т. 66, № 3. С. 101–109. DOI: 10.20542/0131-2227-2022-66-3-101-109
5. Гольц Г.А. Культура и экономика России за три века, XVIII–XX вв. Менталитет, транспорт, информация (прошлое, настоящее, будущее). Новосибирск: Сибирский хронограф, 2002. Т. 1. 536 с.
6. Канторович Л.В. Проблемы эффективного использования и развития транспорта. М.: Наука, 1989. 304 с.
7. Лейзерович Е.Е. К вопросу о количественной оценке экономико-географического положения промышленного предприятия // Количественные методы исследования в экономической географии. М.: ВИНТИ МФ ВГО, 1964. С. 62–89.

Экономическая, социальная и политическая география

Безруков Л.А., Фартышев А.Н.

8. Леш А. Географическое размещение хозяйства. М.: Изд-во иностр. лит., 1959. 456 с.
9. Мишель П. Международные экономические, валютные и финансовые отношения. М.: Прогресс, Универс, 1994. 496 с.
10. Могилевкин И.М. Транспорт и коммуникации: прошлое, настоящее, будущее. М.: Наука, 2005. 358 с.
11. Пробст А.Е. Транспорт и размещение промышленности // Вопросы размещения производства и экономического районирования. М.: Госпланиздат, 1960. С. 160–217.
12. Радермахер Ф.И. Баланс или разрушение. Экосоциальная рыночная экономика как ключ к устойчивому развитию мира. Новосибирск: Прайс-куррьер, 2006. 403 с.
13. Родоман Б.Б. Модель Тюнена и теоретическая география // Изв. ВГО. 1984. Т. 116, Вып. 5. С. 415–420.
14. Таможенная статистика Федеральной таможенной службы России. URL: <https://customs.gov.ru/statistic> (дата обращения: 15.06.2023)
15. Туроу Л.К. Будущее капитализма. Как сегодняшние экономические силы формируют завтрашний мир. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. 432 с.
16. Улин Б. Межрегиональная и международная торговля. М.: Дело, 2004. 416 с.
17. Хаггетт П. География: синтез современных знаний. М.: Прогресс, 1979. 685 с.
18. Хендрикус Б. Размещение хозяйства. М.: Прогресс, 1970. 158 с.
19. Шафиркин Б.И. Транспортные затраты народного хозяйства и пути их сокращения. М.: Транспорт, 1975. 88 с.
20. Annovazzi-Jakab L. Landlocked Countries: Opportunities, Challenges and Recommendations // Trade Facilitation. The Challenges for Growth and Development. New York and Geneva: United Nations, 2003. P. 81–136.
21. Landlocked Developing countries. UN Official Site. URL: <https://www.un.org/ohrlls/content/landlocked-developing-countries> (дата обращения: 15.05.2024)
22. Rodrigue J-P. The Geography of Transport Systems. New York: Routledge, 2020. 456 p. DOI: 10.4324/9780429346323
23. Statistical Information System of the General Customs Directorate of Mongolia. URL: <https://www.customs.gov.mn/statistics/index.php> (дата обращения: 15.05.2024)
24. Statistical Year Book. Ulaanbaatar: National Statistical Office of Mongolia. 2021. 789 p.
25. Webster I. \$1 in 2000 is worth \$1.77 today. URL: <https://www.in2013dollars.com/> (дата обращения: 15.05.2024)

References

1. Armand A.D. (2002) Geografija informatsionnogo veka [Geography of digital century] Izvestija RAN. Serija geograficheskaja. no. 1, Pp.10–14. (in Russian)
2. Bauman Z. (2004) Globalizatsija. Posledstija dlya cheloveka i obschestva [Globalization. Consequences for humanity and society]. Moscow, Ves' Mir, 188 p. (in Russian)
3. Bezrukov L.A. (2008) Kontinental'no-okeanicheskaya dihotomija v mezhdunarodnom i regional'nom razvitii [Continental-oceanic dichotomy in international and regional development]. Novosibirsk. Geo, 369 p. (in Russian)
4. Bezrukov L. A., Fartyshev A. N. (2022). Osobennosti vneshnej torgovli Mongolii: Riski dlja Rossii [Features of Mongolian Foreign Trade: Risks for Russia]. World Economy and International Relations. Vol. 66, No. 3, Pp. 101–109. DOI: 10.20542/0131-2227-2022-66-3-101-109. (in Russian)
5. Golts G.A. (2002) Kul'tura i ekonomika Rossii za tri veka, XVIII–XX vv. [Culture and economy of Russia during three centuries, XVIII–XX]. Vol. 1, Novosibirsk: Sibirskij Chronograf, 536 p. (in Russian)
6. Kantorovich L.V. (1989) Problemy effektivnogo ispol'zovanija i razvitiia transporta [Problems of efficiency using and development of transport]. Moscow, Nauka, 304 p. (in Russian)
7. Leizerovich E.E. (1964) K voprosu o kolichestvennoi otsenke ekonomiko-geograficheskogo polozenija promyshlennogo predpriyatija [To an issue of quantitative estimation of economic-geographical position of industrial enterprise]. In Kolichestvennye metody issledovaniia v ekonomicheskoi geografii [Quantitative methods of researches in economic geography]. Moscow, VINITI, MF VGO, Pp. 62–89. (in Russian)
8. Lesh F. (1959) Geograficheskoe razmeschenie hozjajstva [Geographical location of economy], Moscow: Foreign literature Publ. 456 p. (in Russian)
9. Mishel P. (1994) Mezhdunarodnye ekonomicheskie, valyutnye i finansovyie otnosheniia [International economical, fiscal and financial relations], Moscow, Progress Univers, 496 p. (in Russian)
10. Mogilevkin I.M. (2005) Transport i kommunikatsii: proshloe, nastojashee i budushee [Transport and communications: past, present and future]. Moscow, Nauka, 358 p. (in Russian)
11. Probst A.E. (1960) Transport i razmeschenie promyshlennosti (Transport and localization of industry). In Voprosy razmesheniia proizvodstva i ekonomicheskogo rajonirovaniia [Issues of localization and economical zoning], Moscow, Gosplanizdat, Pp. 160–217. (in Russian)
12. Radermaher F. J. (2006) Balans ili razrushenie. Ekosocial'naja rynochnaja ekonomika kak kljuch k ustojchivomu razvitiiju mira [Balance and destroying. Ecosocial market economy as a key to sustainable development] Novosibirsk: Prajs-kur'er, 403 p. (in Russian)
13. Rodoman B.B. (1984) Model' Tjunena i teoreticheskaja geografija [Tunen model and theoretical geography]. Izvestija VGO. Vol. 116. No. 5. Pp. 415–420. (in Russian)
14. Tamozhennaja statistika Federal'noj tamozhennoj sluzhby Rossii [Customs statistics of federal customs agency of Russia]. URL: <https://customs.gov.ru/statistic> (accessed: 15 June 2023). (in Russian)
15. Thurow L.K. (1999) Budushhee kapitalizma. Kak segodnjashnie jekonomicheskie sily formirujut zavtrashnij mir [The Future of Capitalism: How Today's Economic Forces Shape Tomorrow's World]. Novosibirsk: Sibirskij hronograf, 432 p. (in Russian)
16. Ulin B. (2004) Mezhregional'naja i mezhdunarodnaja torgovlja [Interregional and international trade]. Moscow. Delo, 416 p. (in Russian)
17. Hagget P. (1979) Geografija: sintez sovremennyh znaniy [Geography: a Geography of Syntesis]. Moscow, Progress, 685 p. (in Russian)
18. Hendrikus B. (1970) Razmeshhenie hozjajstva [Localization of economy]. Moscow, Progress, 158 p. (in Russian)

Экономическая, социальная и политическая география

Безруков Л.А., Фартышев А.Н.

19. Shafirkin B.I. (1975) Transportnye zatraty narodnogo hozjajstva i puti ih sokrashheniya [Transport costs of national economy and probabilities of its reducing]. Moscow: Transport, 88 p. (in Russian)
20. Annovazzi-Jakab L. (2003) Landlocked Countries: Opportunities, Challenges and Recommendations. Trade Facilitation. The Challenges for Growth and Development, New York and Geneva: United Nations, Pp. 81–136. (in English)
21. Landlocked Developing countries. UN Official Site. URL: <https://www.un.org/ohrrls/content/landlocked-developing-countries> (accessed 15 May 2024). (in English)
22. Rodrigue J-P. (2020) The Geography of Transport Systems. New York: Routledge, 2020, 456 p. (in English)
23. Statistical Information System of the General Customs Directorate of Mongolia. URL: <https://www.customs.gov.mn/statistics/index.php> (accessed: 15.05.2024). (in English)
24. Statistical Year Book. Ulaanbaatar: National Statistical Office of Mongolia. 2021. 789 p. (in English)
25. Webster I. \$1 in 2000 is worth \$1.77 today. URL: <https://www.in2013dollars.com/> (accessed: 15 May 2024). (in English)

Статья поступила в редакцию: 01.07.24, одобрена после рецензирования: 20.07.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 1 July 2024; approved after review: 20 July 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторах

Леонид Алексеевич Безруков

доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории георесурсоведения и политической географии, Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН; 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
e-mail: bezrukov@irigs.irk.ru

Арсений Николаевич Фартышев

кандидат географических наук, заведующий лабораторией георесурсоведения и политической географии, Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН; 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
доцент, Иркутский государственный университет; 664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1.
e-mail: fartyshhev.an@gmail.com

Information about the authors

Leonid A. Bezrukov

Doctor of Geographical Sciences, Chief Researcher, Laboratory for Geo-Resource Studies and Political Geography, V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russia

Arseniy N. Fartyshhev

Candidate of Geographical Sciences, Head of the Laboratory for Geo-Resource Studies and Political Geography, V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russia; Associate Professor, Irkutsk State University; 1, Karla Marksa st., Irkutsk, 664003, Russia

Вклад авторов

Безруков Л.А. – формулировка идеи, написание введения, заключения и части основного текста, научное редактирование статьи.

Фартышев А.Н. – сбор и обработка материала, написание части основного текста, визуализация результата.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Leonid A. Bezrukov – formulation of the idea; writing of the introduction, conclusion, and part of the main text; scientific editing.

Arseniy N. Fartyshhev – collection and processing of the material; writing of part of the main text; visualization of the result.

The authors declare no conflict of interest.

Научная статья

УДК 911.3:314.1

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-40-49

МЕДИКО-ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Ольга Валерьевна Валеева¹, Татьяна Николаевна Шеховцова²^{1,2} Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия¹ valeeva.o.v@yandex.ru, РИНЦ Author ID: 898897, Scopus Author ID: 57197748713² tan-truf@yandex.ru, РИНЦ Author ID: 150139, ResearcherID: Z-5656-2020

Аннотация. В статье рассмотрены медико-демографические процессы в Байкальском регионе за период 2010–2021 гг. на основе статистических данных Росстата и материалов Территориального органа государственной статистики Иркутской области, Республики Бурятия, Забайкальского края.

Региональные особенности медико-демографических процессов выявлены на основе анализа следующих динамических показателей: численности населения, коэффициента рождаемости, коэффициента смертности, естественного движения, ожидаемой продолжительности жизни при рождении, общей заболеваемости населения и ее структуры в сравнении с общероссийской динамикой. Проведена интегральная оценка показателей здоровья населения на основе метода стандартизации коэффициентов.

Установлено, что более чем за десятилетний период в регионе население существенно сократилось. Наблюдается естественная убыль населения, обусловленная негативными тенденциями рождаемости и смертности, увеличилась доля населения старше трудоспособного возраста, при этом ожидаемая продолжительность жизни на протяжении всего периода уступает общероссийскому показателю. В структуре заболеваемости населения преобладают болезни органов дыхания. Интегральная оценка здоровья населения в Байкальском регионе ниже среднероссийского показателя, наблюдается внутрирегиональная неоднородность по ряду показателей.

Отмечено, что улучшение состояния медико-демографических процессов региона на видимую перспективу определяются осуществлением полномасштабных социально-экономических и медико-профилактических мероприятий.

Ключевые слова: медико-демографические процессы, Байкальский регион, население, здоровье, заболеваемость, интегральная оценка

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ темы – АААА-А21-121012190019-9).

Для цитирования: Валеева О.В., Шеховцова Т.Н. Медико-демографические процессы в Байкальском регионе // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 40–49. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-40-49

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-40-49

MEDICAL AND DEMOGRAPHIC PROCESSES IN THE BAIKAL REGION

Olga V. Valeeva¹, Tatiana N. Shekhovtsova²^{1,2} V.B. Sochava Institute of Geography, SB RAS, Irkutsk, Russia¹ valeeva.o.v@yandex.ru, RSCI Author ID: 898897, Scopus Author ID: 57197748713² tan-truf@yandex.ru, RSCI Author ID: 150139, ResearcherID: Z-5656-2020

Abstract. The article examines the medical and demographic processes in the Baikal region for the period of 2010–2021 on the basis of statistical data from Rosstat and materials from the Territorial Body of State Statistics for the Irkutsk region, the Republic of Buryatia, and Zabaykalsky Krai.

Regional features of medical and demographic processes were identified based on an analysis of the following dynamic indicators: population size, fertility rate, mortality rate, natural movement, life expectancy at birth, general morbidity and its structure in comparison with the all-Russian dynamics. An integral assessment of the population's health indicators was carried out based on the coefficient standardization method.

It has been established that the population in the region significantly decreased over the ten-year period. There is noted a natural decline in the population due to negative trends in fertility and mortality, the proportion of the population older than working age increased, while life expectancy was inferior to the all-Russian indicator throughout the entire



© 2025 Эта работа Валеевой О.В., Шеховцовой Т.Н. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

period. Respiratory diseases predominated in the structure of the population morbidity. The integral assessment of the population health in the Baikal region is lower than the Russian average; intraregional heterogeneity is observed in a number of indicators.

The favorable development of medical and demographic processes in the region in the foreseeable future depends on the implementation of full-scale socio-economic and medical preventive measures.

Keywords: medical and demographic processes, Baikal region, population, health, morbidity, integral assessment

Funding. The study was financed from the state assignment fund (research topic No. AAAA-A21-121012190019-9).

For citation: Valeeva, O.V., Shekhovtsova, T.N. (2025). Medical and demographic processes in the Baikal region. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp. 40–49. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-40-49

Введение

Медико-демографические процессы достаточно активно изучаются в разных аспектах – медицинских, экономических, географических, математических, экологических и др. [1, 11, 14, 18, 19, 21, 26], при этом особое внимание уделяется исследованию ситуации на региональном уровне. В настоящее время также выполняются работы, посвященные медико-демографическим процессам в Сибири и Байкальском регионе [3, 6, 12, 17, 25]. Важность изучения медико-демографических процессов и их региональных особенностей общепризнана и до сих пор остается актуальной.

Развитие демографического потенциала страны в большей степени зависит от качественных характеристик населения, в том числе от его здоровья. Состояние здоровья населения, его различия в зависимости от географических условий мест проживания населения выступают наиболее значимым индикатором оценки качества жизни [17]. В контексте качества жизни здоровье населения рассматривается как один из блоков информации, всегда связанных системно с другими блоками (эколого-географических, демографических, социально-экономических и других) [14]. В данном исследовании здоровье населения (или общественное здоровье) будет исследовано с позиции медико-демографических процессов.

Цель – проанализировать медико-демографические процессы в субъектах Байкальского региона. Территория исследования – Байкальский регион, который включает в себя Иркутскую область, Республику Бурятия и Забайкальский край. Эти три субъекта Федерации обладают схожими природно-климатическими условиями, экономико-географическим положением и, следовательно, однотипными факторами, влияющими на медико-демографические процессы и формирующими здоровье населения, а также имеют исторические, культурные и экономические связи. Территория Байкальского региона богата природными ресурсами, обладает сухопутной границей с Китаем и Монголией и представляет собой важный стратегический регион.

Демографические и медицинские показатели могут служить бесспорным индикатором, с одной стороны, качества среды жизнедеятельности, а с другой – степени оптимальности функционирования важнейших социальных механизмов в обществе, в том числе и системы охраны здоровья населения. Изучение основных медико-демографических процессов является основой развития стратегии здоровья населения как на федеральном, так и на региональном уровне.

Материалы и методы

Данная работа носит аналитический характер. В исследовании проводился статистический анализ демографических и медицинских показателей субъектов Байкальского региона за период 2010–2021 гг. Информационную основу исследования составили электронные базы данных Росстата, Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области, Республике Бурятия и Забайкальскому краю, статистические издания «Здравоохранение в России», научная литература.

Для выявления общих тенденций в медико-демографическом развитии регионов выделяются основные показатели, которые по своему характеру подразделяются на две категории [4]:

1. Общетенденционные параметры – характеризуют движение населения, поскольку именно ситуация или обстановка показывает направление процессов, конкретный срез состояния, в котором находится регион. Для характеристики данного состояния были выбраны следующие показатели: динамика численности населения, коэффициенты рождаемости и смертности, возрастная структура населения, ожидаемая продолжительность жизни.

2. Физиологические параметры – характеризуют здоровье населения. Для характеристики данной категории была рассмотрена динамика заболеваемости населения и ее структура.

Существует алгоритм исследований, позволяющий перейти на интегральный уровень при изучении медико-демографических процессов. Для территории Байкальского региона была проведена интегральная оценка здоровья населения, применялся метод стандартизации коэффициентов.

Результаты исследования

Численность населения Байкальского региона составляет 4383,2 тыс. чел. (на 01.01.2022 г.): в Иркутской области проживает 2357,1 тыс. чел., в Республике Бурятия – 982,6 тыс. чел., в Забайкальском крае – 1043,5 тыс. чел. (табл. 1) [22].

Экономическая, социальная и политическая география

Валеева О.В., Шеховцова Т.Н.

С 2010 по 2021 г. в Байкальском регионе население сократилось на 123 тыс. чел. [16]. На протяжении рассматриваемого периода в Иркутской области и Забайкальском крае отмечается постепенное сокращение численности населения (на 0,5 и 0,2 % соответственно). Республика Бурятия сохраняет благоприятную ситуацию, поддерживая умеренный рост численности населения в основном благодаря национальным традициям. Численность населения Российской Федерации имела положительную динамику с 2010 до 2018 г., особенно заметный рост был в 2014 г. за счет присоединения Республики Крым, с 2018 г. рост численности населения сменился убылью.

Таблица 1

Динамика численности населения Российской Федерации и субъектов Байкальского региона, 2010–2021 гг.
The population dynamics in the Russian Federation and the constituent entities of the Baikal region, 2010–2021

Регион	2010	2012	2014	2016	2018	2019	2020	2021
Российская Федерация	142865	143347	146267	146804	146781	146749	146171	145557
Байкальский регион	4506	4489	4480	4472	4447	4437	4414	4383
Иркутская область	2428	2422	2415	2409	2398	2391	2375	2357
Республика Бурятия	972	972	978	984	983	986	986	983
Забайкальский край	1106	1095	1087	1079	1066	1060	1053	1043

Непростая демографическая ситуация усложняется падением рождаемости населения. В среднем по России коэффициент рождаемости стал падать с 2015 г., в субъектах Байкальского региона снижение отмечалось еще с 2012 г. (с 16,0 ‰ в 2010 г. до 11,6 ‰ в 2021 г.) (рис. 1) [14].

Коэффициент смертности населения с 2010 по 2019 г. в стране сократился в 1,2 раза, однако в 2020–2021 гг. резко вырос в 1,5 раза, превысив показатель 2010 г. Причиной такого скачка послужила пандемия коронавирусной инфекции, когда смертность была не только от данного заболевания, но и в связи с не оказанной вовремя медицинской помощи от других заболеваний, поскольку все силы и средства были брошены на борьбу с коронавирусом. В субъектах Байкальского региона снижение коэффициента смертности отмечается до 2018 г. (с 13,6 в 2010 г. до 11,7 ‰), затем вновь начинает возрастать (до 15,7 ‰ в 2021 г.) [8]. Основными классами причин смерти являются болезни системы кровообращения (42 % от числа умерших по всем причинам), новообразования (15 %) и внешние причины (10,7 %).

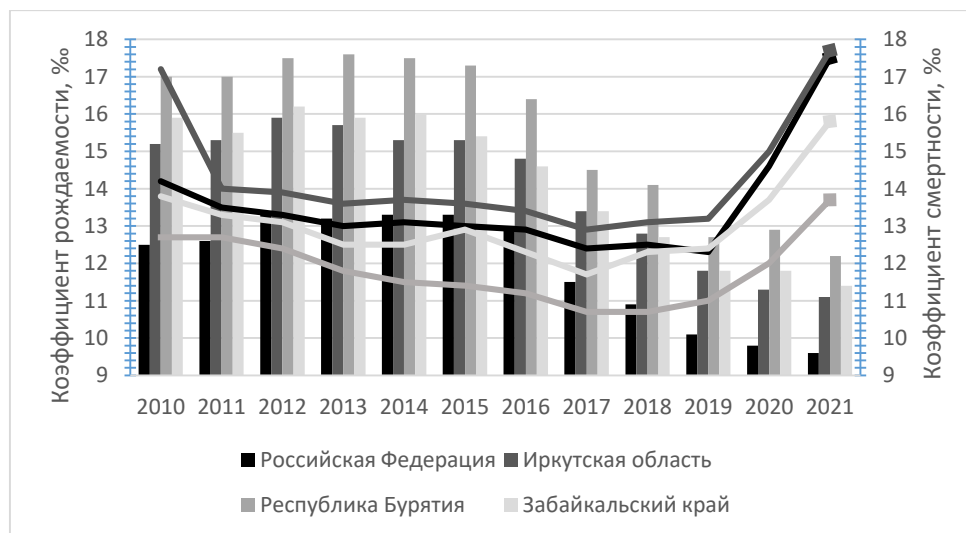


Рис. 1. Динамика коэффициентов рождаемости и смертности населения в Российской Федерации и субъектах Байкальского региона, 2010–2021 гг.

Fig.1. Dynamics of fertility and mortality rates in the Russian Federation and the constituent entities of the Baikal region, 2010–2021

Динамика коэффициента младенческой смертности в Байкальском регионе имеет положительную тенденцию – с 2010 по 2021 г. смертность сократилась в 1,4 раза (с 8,1 до 5,7 ‰), а среднероссийское значение сократилось в 1,7 раза.

Таким образом, отмечается увеличение естественной убыли населения в период 2010–2021 гг. в России (-1,7 до -7,1 случая на 1000 человек) и в Байкальском регионе (с 2,4 до -6,4 ‰). Естественная убыль населения в первую очередь обуславливается снижением уровня рождаемости и является следствием суженного режима воспроизводства населения.

Экономическая, социальная и политическая география

Валеева О.В., Шеховцова Т.Н.

Еще одной особенностью демографических процессов является изменения возрастной структуры населения. В стране и регионе увеличилась доля населения старше трудоспособного возраста, несмотря на то что с 2017 г. было принято постепенное увеличение пенсионного возраста, заметного сокращения численности населения данной категории не произошло. Доля населения трудоспособного возраста имеет отрицательную динамику: с 2010 по 2021 г. в Байкальском регионе сократилась на 4,6 % (табл. 2) [22]. Несмотря на низкую рождаемость, доля населения младше трудоспособного возраста в регионе увеличилась на 2,7 %. Процессы, связанные с необратимыми изменениями возрастной пирамиды населения, протекают на уровне поколений. Сокращение смертности приводит к тому, что еще более высокими темпами увеличивается время, прожитое в средних и старших возрастах [5].

Таблица 2

Распределение численности населения по основным возрастным группам
в Российской Федерации и субъектах Байкальского региона, 2010–2021 гг., %
Distribution of the population by major age groups
in the Russian Federation and the constituent entities of the Baikal region, 2010–2021, %

Регион	Население								
	моложе трудоспособного возраста			трудоспособного возраста			старше трудоспособного возраста		
	2010	2015	2021	2010	2015	2021	2010	2015	2021
Российская Федерация	16,2	18	18,6	61,5	57,4	57,4	22,3	24,6	24
Байкальский регион	20,3	22,5	23	61,8	57,3	57,2	17,9	20,3	19,8
Иркутская область	19	21,1	21,9	61,4	56,9	56,3	19,6	22	21,8
Республика Бурятия	21,3	23,8	24,2	61,9	57	56,7	16,8	19,2	19,1
Забайкальский край	20,7	22,5	22,1	62,1	57,9	58,7	17,2	19,6	19,2

Показатель ожидаемой продолжительности жизни населения (ОПЖ) отражает состояние здоровья, уровень смертности и социальное благополучие населения. В отличие от общего коэффициента смертности населения он не зависит от особенностей возрастной структуры населения. Байкальский регион по показателю ОПЖ (67,51 года в 2021 г.) значительно уступает среднероссийскому значению (70,06 лет в 2021 г.) (рис. 2). С 2010 г. наблюдалось постепенное повышение ОПЖ, затем произошел резкий спад: в Российской Федерации показатель ОПЖ сократился с 2019 по 2021 г. на 4,4 %, в Байкальском регионе на 3,3 %. Следовательно, за последний год уровень продолжительности жизни регионов и страны сделал шаг назад и приблизился к значению 8-летней давности. Кроме того, Иркутская область и Забайкальский край вошли в последнюю пятерку рейтинга по показателю продолжительности жизни среди всех регионов России, заняв 84 и 83 места соответственно (66,8 и 68,82 лет). Сложившаяся неблагоприятная ситуация требует своевременного принятия мер по решению данной проблемы. Отметим, что показатели ОПЖ Байкальского региона достаточно сильно коррелируют с общей заболеваемостью населения (-0,6), поэтому следует обратить внимание на здоровье населения.

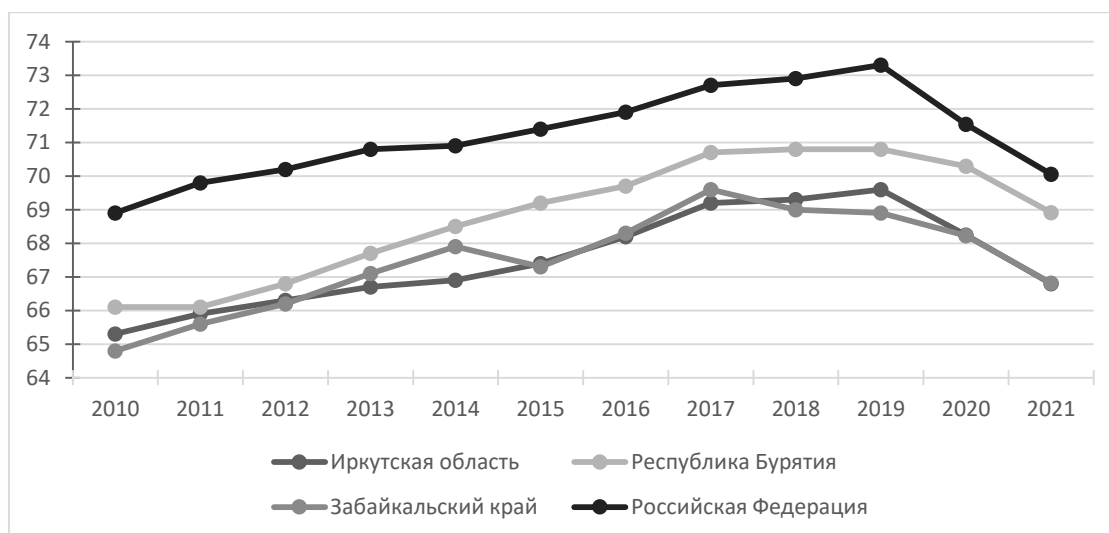


Рис. 2. Динамика ожидаемой продолжительности жизни населения субъектов Байкальского региона на фоне Российской Федерации, 2010–2021 гг.

Fig. 2. Dynamics of the population life expectancy in the Baikal region's entities against the background of the Russian Federation, 2010–2021

Здоровье населения – это важный показатель благополучия территории, отражающий социально-экономическое развитие регионов, уровень и качество жизни населения, уровень медицинского обслуживания (в том числе диагностика заболеваний), природно-климатические условия и экологическую обстановку [23].

Общая заболеваемость населения в Байкальском регионе за период с 2010 по 2021 г. нестабильна (рис. 3). Лидером по заболеваемости в регионе остается Иркутская область: с 2010 по 2021 г. заболеваемость увеличилась на 15,5 %. В Республике Бурятия и Забайкальском крае резкий спад заболеваемости отмечен в 2015 г., после чего наблюдается постепенное повышение показателя (в 2021 г. 769,4 и 792,4 соответственно).

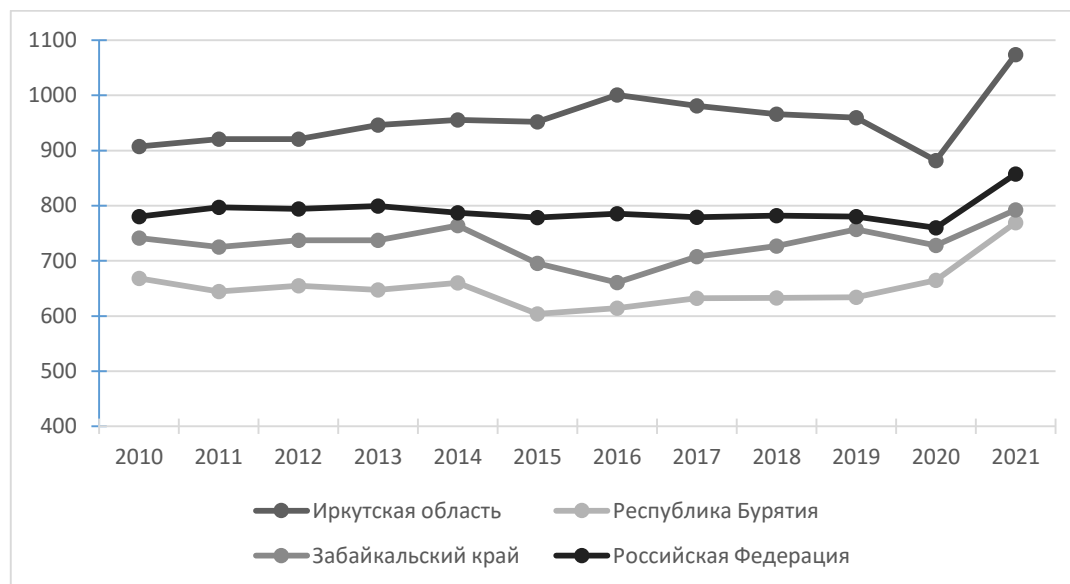


Рис. 3. Динамика заболеваемости населения Байкальского региона за период 2010–2021 гг. (зарегистрировано заболеваний у больных с диагнозом, установленным впервые в жизни, на 1000 человек населения)

Fig. 3. Dynamics of the population morbidity in the Baikal region for the period 2010–2021 (diseases registered in patients for the first time, per 1,000 people)

На фоне долговременной тенденции роста заболеваемости постепенно изменяется ее структура (рис. 4). В структуре заболеваемости населения Байкальского региона высокую долю составляли болезни органов дыхания (55,88 %), травмы, отравления и некоторые другие последствия внешних причин (9,71 %), болезни органов пищеварения (4,32 %), болезни мочеполовой системы (4,63 %), а также костно-мышечной системы и соединительной ткани (4,56 %).

В общей совокупности зарегистрированных случаев заболеваний выделяются болезни органов дыхания, к которым относятся острые респираторные инфекции верхних дыхательных путей, грипп и пневмония, другие острые респираторные инфекции нижних дыхательных путей, хронические болезни нижних дыхательных путей и другие заболевания. Их доля в общей заболеваемости страны постепенно увеличивается, составив около 40 % в 2021 г. против 32 % в 2010 г. В Байкальском регионе наибольший рост числа заболеваний органов дыхания отмечен в Иркутской области, где за последнее десятилетие произошло увеличение в 1,5 раза (с 369,9 до 537,2 случаев заболевания на 1000 человек). На втором месте Забайкальский край (с 313,7 до 394,9) и наиболее благоприятная обстановка в Республике Бурятия (с 292,9 до 343,4), в данных регионах случаи заболеваемости возросли с 2015 г.

Важно отметить, что число зарегистрированных случаев заболеваний среди населения является следствием обращаемости населения для диагностики и своевременного оказания медицинской помощи.

Для территории Байкальского региона проведена интегральная оценка здоровья населения. Интегральные показатели здоровья дают общее представление о региональных особенностях в уровне здоровья населения [24]. Для количественной оценки основных тенденций изменения и выявления территориальных различий применяется метод стандартизации коэффициентов, характеризующих здоровье населения. Коэффициент интегральной оценки здоровья населения включает в себя четыре показателя:

- ожидаемая продолжительность жизни при рождении;
- младенческая смертность;
- общий коэффициент смертности (без показателя смертности от внешних причин);
- общая заболеваемость.

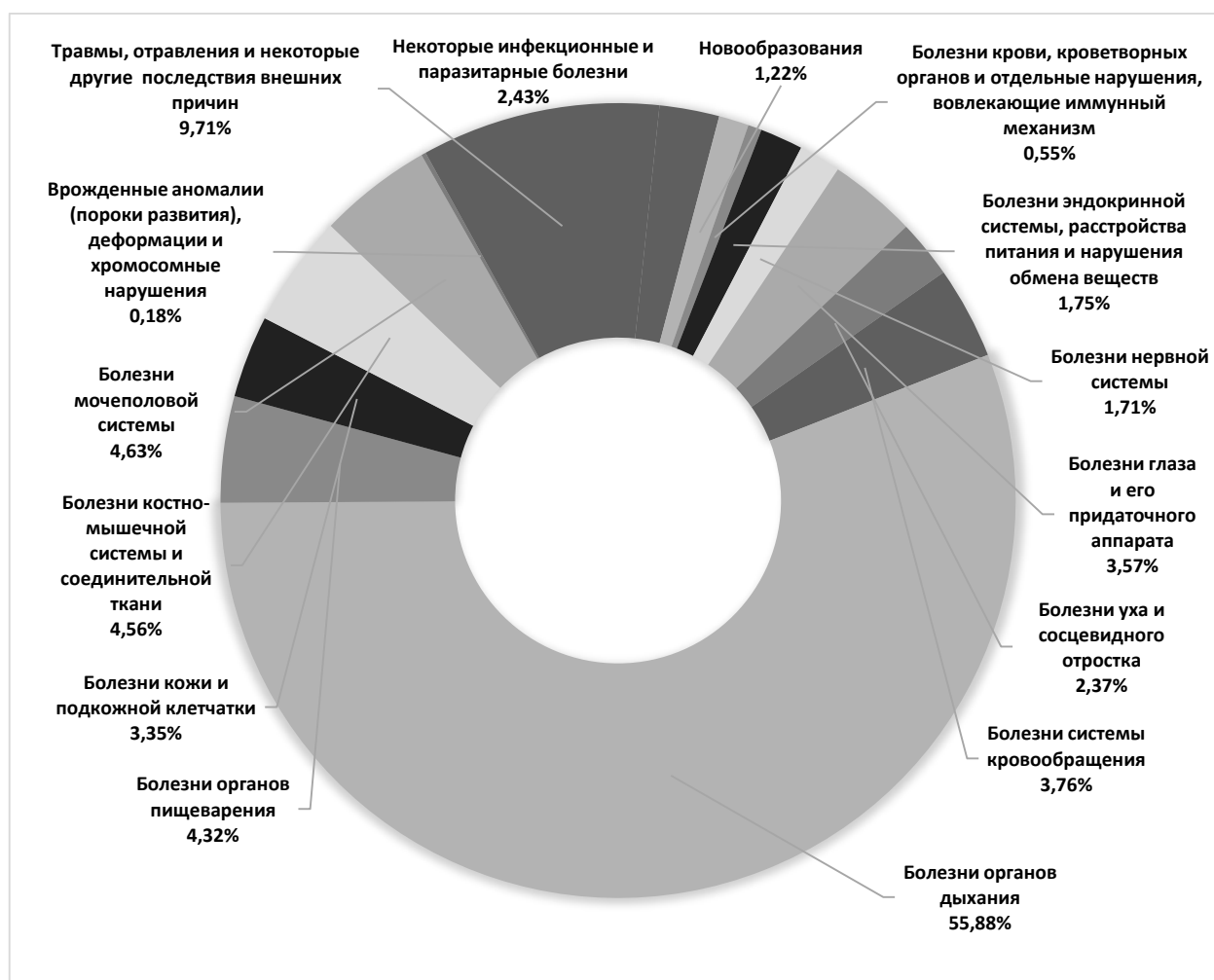


Рис. 4. Структура заболеваемости населения Байкальского региона в 2021 г.

Fig. 4. The population morbidity structure in the Baikal region in 2021

Интегральная оценка здоровья населения рассчитывалась с помощью метода стандартизации коэффициентов, то есть соотношения значений показателя региона с лучшим значением среди всех регионов в стране, что сводит к одному основанию показателя, выражающиеся в разных единицах измерения. Для расчета стандартизованного коэффициента использованы формулы для прямых показателей (1) и для обратных показателей (2):

$$k_i = x_i / \max(x_i), \quad (1)$$

$$k_i = \min(x_i) / x_i, \quad (2)$$

где x_i – значение частного показателя региона; $\max(x_i)$ – максимальное значение показателя среди всех регионов в стране; $\min(x_i)$ – минимальное значение показателя среди всех регионов в стране.

По результатам интегральной оценки здоровья населения, которая была рассчитана как среднеарифметическое значение четырех показателей, следует сказать, что в Байкальском регионе складывается неблагоприятная ситуация в отношении общественного здоровья и демографического развития в целом, в регионе показатель интегральной оценки ниже среднероссийского значения и составляет 0,540 (2021 г.) (табл. 3). Отмечена значительная дифференциация в значениях показателей, характеризующих здоровье населения (от 0,281 до 0,838). Сильным показателем оценки здоровья (выше 0,800) в регионе является ожидаемая продолжительность жизни при рождении, несмотря на отстающие позиции на межрегиональной арене. К неустойчивым показателям здоровья следует отнести смертность населения (ниже 0,400) и младенческую смертность (ниже 0,500).

Динамика интегральной оценки здоровья в Байкальском регионе за 2010–2021 гг. показала неблагоприятную тенденцию. Коэффициенты по всем показателям, кроме заболеваемости населения, незначительно сократились, в том числе и на общероссийском уровне. Нужно подчеркнуть, что абсолютные значения некоторых показателей (ОПЖ, младенческой смертности) имеют положительную динамику, но по причине того, что повышение значений идет более медленными темпами относительно других регионов России, стандартизированный коэффициент стал ниже. Противоположная ситуация наблюдается с оценкой заболеваемости – несмотря на резкий рост заболеваемости в 2020 г., региону все же удастся сохранить наиболее благоприятные позиции в стране,

Экономическая, социальная и политическая география

Валеева О.В., Шеховцова Т.Н.

прежде всего это Забайкальский край (коэффициент вырос с 0,539 до 0,639) и Республика Бурятия (с 0,598 до 0,658). В целом за данный период интегральная оценка здоровья в регионе сократилась на 6 % (с 0,574 до 0,540).

Таблица 3

Интегральная оценка здоровья населения в Российской Федерации
и субъектах Байкальского региона, 2010–2021 гг.

Integral assessment of public health in the Russian Federation and the constituent entities of the Baikal region, 2010–2021

Integral assessment of public health in the Russian Federation and the constituent entities of the Russian Federation, 2010 - 2021										
Регион	Стандартизированные коэффициенты								Интегральная оценка	
	ОПЖ		младенческой смертности		смертности		заболеваемости			
	2010	2021	2010	2021	2010	2021	2010	2021	2010	2021
Иркутская область	0,874	0,830	0,461	0,453	0,325	0,243	0,441	0,472	0,525	0,499
Республика Бурятия	0,885	0,856	0,544	0,494	0,395	0,320	0,598	0,658	0,606	0,582
Забайкальский край	0,867	0,830	0,595	0,400	0,359	0,279	0,539	0,639	0,590	0,537
Байкальский регион	0,876	0,838	0,533	0,449	0,360	0,281	0,526	0,590	0,574	0,540
Российская Федерация	0,922	0,870	0,560	0,557	0,317	0,251	0,513	0,591	0,578	0,567

Более подробный анализ данных позволяет выявить, что наиболее высокая оценка здоровья характерна для Республики Бурятия (0,582), которая лидирует по всем показателям среди субъектов Байкальского региона, а также по коэффициентам смертности, заболеваемости населения и интегральной оценки здоровья превосходит среднероссийское значение. Это обусловлено не только комплексными мерами по поддержанию здоровья, но и возможной низкой обращаемостью населения для прохождения диагностики заболеваний. Важным фактором является сохранение традиционных методов лечения и профилактики заболеваний, которые являются частью национального культурного наследия. В Иркутской области и Забайкальском крае здоровье населения можно охарактеризовать как умеренное или ниже среднего, если за условную границу ранга брать среднее значение по стране. В Забайкальском крае, занимающем второе место по уровню здоровья (0,537), отмечается позитивная динамика по снижению смертности и заболеваемости, что может свидетельствовать об успешной реализации программ по улучшению здоровья населения. Между тем следует обратить внимание на достаточно высокую младенческую смертность, особенно в отдаленных районах края. Иркутская область хоть и уступает своим соседям по всем показателям, составляющим интегральную оценку здоровья (0,499), но всё же отличается доступностью и качеством медицинской помощи, внедрением современных методов лечения. Однако для достижения более высоких результатов необходимо усилить меры в области профилактики заболеваний и смертности населения.

Выделяется ряд факторов, влияющих на состояние здоровья населения Байкальского региона. Во-первых, резко континентальный климат сибирских регионов. Суровые условия проживания негативно влияют не только на здоровье, но также на жизнедеятельность и качество жизни населения. Во-вторых, территориальная удаленность от основных центров страны, что увеличивает стоимость жизни. В-третьих, слабая транспортная доступность, в том числе внутри региона, что затрудняет оказание своевременной качественной медицинской помощи населению и получению других услуг. В-четвертых, пространственная неоднородность расселения населения, развития территорий, качества и уровня жизни. Медико-демографические процессы зависят от социально-экономического развития региона и, наоборот, оказывают прямое влияние на его состояние. В связи с этим требуется комплексный подход.

Решение демографических проблем ведется на государственном уровне. С 2007 г. в России в качестве одной из мер государственной поддержки применяется материнский капитал. Помимо материнского капитала существуют и другие меры поддержки в виде ежемесячных пособий по уходу за ребенком, льготы, скидки на коммунальные услуги многодетным семьям и т.д. [7]. Реализация демографической политики Российской Федерации на период до 2025 г. была разбита на три этапа. Третий этап (2016–2025 гг.) предусматривал возможное ухудшение демографической ситуации, в связи с чем было принято решение о проведении мероприятий по упреждающему реагированию на неблагоприятную динамику демографического развития [10]. В Концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 г. представлены основные пути решения. Отметим, что на период 2021 г. положительные сдвиги ещё не наблюдаются. Напротив, с 2020 г. ситуация резко ухудшилась из-за кризиса, связанного с пандемией коронавирусной инфекции, из-за чего стратегические пути решения требуют внесения коррективов. Для достижения эффективности результата при реализации Демографической политики требуется системность и регулярность, чего можно добиться благодаря системе государственного мониторинга демографического развития страны. Важнейшей задачей на пути к экономическому и

*Экономическая, социальная и политическая география**Валеева О.В., Шеховцова Т.Н.*

социальному развитию регионов является повышение качества жизни населения [21], что в свою очередь требует улучшения системы охраны здоровья населения и решения имеющихся медико-демографических проблем. Решение таких проблем в регионе возможно благодаря достаточному финансированию. Для этого необходимо увеличивать долю государственных расходов валового регионального продукта на сферу образования и здравоохранения.

Следует подчеркнуть стратегическую важность Байкальского региона, заключающуюся в особой геополитической и геоэкономической роли с позиции восточного вектора развития Российской Федерации. В связи с этим требуется особое внимание для развития данного региона и решения демографических проблем не только на региональном, но и на всероссийском уровне.

Заключение

Медико-демографические процессы в Байкальском регионе на протяжении последнего десятилетия (2010–2021 гг.) остаются напряженными, основные тенденции схожи с общероссийскими показателями, при этом наблюдаются определенные межсубъектные различия.

В Байкальском регионе за указанный период население сократилось на 123 тыс. чел., наблюдается естественная убыль населения, обусловленная негативными тенденциями рождаемости и смертности, увеличилась доля населения старше трудоспособного возраста.

Заболеваемость населения в регионе отличается высоким уровнем и негативной динамикой на протяжении 2010–2021 гг. (рост составил 106,3 случаев заболеваний на 1000 человек). В структуре заболеваемости населения в Байкальском регионе лидируют болезни органов дыхания, на второй позиции травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин. Важным аспектом, влияющим на число зарегистрированных случаев заболеваний, является обращаемость населения за медицинской помощью.

Интегральная оценка здоровья населения в Байкальском регионе ниже среднероссийского показателя (0,540 и 0,567 соответственно), с 2010 по 2021 г. сократилась на 6 %. Отмечена значительная дифференциация в значениях показателей, составляющих интегральную оценку здоровья населения (от 0,281 до 0,838). Наблюдается внутрирегиональная неоднородность по ряду показателей: лидирует Республика Бурятия, на втором месте Забайкальский край и Иркутская область.

Для благоприятного развития медико-демографических процессов необходимо осуществление долговременных системных социально-экономических улучшений и регулярных целевых медико-профилактических мероприятий. При этом данные мероприятия должны основываться на достоверных данных, показывающих реальные тенденции развития исследуемых явлений и процессов. Важным аспектом социально-экономического развития регионов является повышение качества жизни населения, что в свою очередь требует улучшения системы охраны здоровья населения и решения имеющихся медико-демографических проблем.

Требуется дальнейшее проведение исследований, задача которых состоит в более детальном пространственно-временном анализе медико-демографических процессов в Байкальском регионе. Кроме этого, необходимо изучение влияния неблагоприятных факторов внешней среды на состояние здоровья населения.

Библиографический список

1. Афанасьева Л.Н., Алехнович А.В., Калининская А.А., Лазарев А.В., Кизеев М.В. Медико-демографическая ситуация в республике Саха (Якутия) // Якутский медицинский журнал. 2023. С. 51–54. DOI: 10.25789/YMJ.2023.81.13
2. Балина Т.А., Пономарева З.В., Чекунова Л.Ю. Территориальные особенности демографических процессов в регионах России: анализ и типология // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2019. № 4. С. 31–43. DOI: 10.15593/2224-9354/2019.4.3
3. Боева А.В., Лещенко Я.А. Медико-демографические процессы и формирование репродуктивного и трудового потенциалов в Иркутской области // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 10. С. 36–40.
4. Булаев В.М., Ковалёва Н.М. Территориальные аспекты исследования социального здоровья населения. (Методология. Показатели. Практика). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. 182 с.
5. Вишневский А.Г., Андреев Е.М., Трейвиш А.И. Перспективы развития России: роль демографического фактора. М.: ИЭПП, 2003. 61 с. ISBN: 5-93255-108-9
6. Воробьев Н.В., Валеева О.В., Дмитриева Ю.Н., Рыков П.В. Имплементация социально-демографического потенциала Сибири // География и природные ресурсы. 2020. № 5. С. 33–39. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-5(33-39)
7. Государственная семейная политика в Российской Федерации: сборник материалов. М.: Издание Государственной Думы, 2014. 432 с.
8. Демографический ежегодник России. 2021: ст. сб. Росстат. М., 2021. 256 с.
9. Здравоохранение в России. 2021: ст. сб. Росстат. М., 2021. 171 с.
10. Концепция демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденная указом Президента РФ от 01 июля 2014 года № 483. URL: <https://government.ru/docs/all/61461/?page=2> (дата обращения: 01.03.2024)
11. Кручек М.М., Молчанова Е.В. Исследование медико-демографических процессов в регионах России // Региональная экономика: теория и практика. 2013. № 18 (297). С. 41–51.
12. Лещенко Я.А., Лисовцов А.А. Смертность как индикатор санитарно-эпидемиологического статуса населения региона // Гигиена и санитария. 2021. № 12, Т. 100. С. 1495–1501. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-12-1495-1501
13. Погорелов А.Р. Медико-демографическая ситуация в районах компактного проживания народов Севера Камчатского края // Геополитика и экодинамика регионов. 2020. Т. 6 (16), Вып. 3. С. 243–250.

Экономическая, социальная и политическая география

Валеева О.В., Шеховцова Т.Н.

14. Прохоров Б.Б., Рященко С.В. Медицинская география Сибири. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Со-
чава СО РАН, 2012. 223 с.
15. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. 2022: стат. сб. Росстат. М., 2022. 853 с.
16. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: ст. сб. Росстат. М., 2022. 1122 с.
17. Рященко С.В. Медико-географические аспекты изучения здоровья населения // Медико-географическое изучение
районов Сибири. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1984. С. 37–48.
18. Рященко С.В. Региональная антропоэкология Сибири. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-е РАН. 2000. 190 с. ISBN: 5-
94115-005-9
19. Столбов В.А., Субботина Т.В. Роль статистики в социально-экономическом развитии региона // Статистика - глав-
ный информационный ресурс современного общества: сб. статей по материалам Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ.
Пермь: ПГНИУ, 2022. С. 73–81.
20. Стратегия социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года:
Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.12.2009 г. № 2094. 2009. 226 с.
21. Топчиев А.Г., Яворская В.В., Димова Н.В. Геодемографические процессы: деформации структуры населения и
методы их анализа // Географический вестник. 2014. № 4 (31). С. 29–35.
22. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://www.gks.ru> (дата обращения: 01.03.2024)
23. Фирсова С.П. Статистика заболеваемости и инвалидности населения: учебно-методическое пособие. Иркутск:
ИГМУ, 2000. 39 с.
24. Чистобаев А.И. Статистический метод в медико-географических исследованиях // Географический вестник. 2013.
№ 1 (24). С. 18–25.
25. Шеховцова Т.Н. Медико-географические исследования Сибири // География и природные ресурсы. 2019. № 5.
С. 226–230. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-5(226-230)
26. Шуматов В.Б., Транковская Л.В., Лебедев С.В., Ющук В.Н., Кузнецов В.В., Луговой Р.А., Солдатова Ю.А., Яценко
А.К. Современные тенденции медико-демографических процессов в Сахалинской области // Тихоокеанский медицинский
журнал. 2021. № 2. С. 65–71. DOI: 10.34215/1609-1175-2021-2-65-71

References

1. Afanas'eva L.N., Alekhovich A.V., Kalininskaya A.A., Lazarev A.V., Kizeev M.V. (2023), The medical and demographic
situation in the Republic of Sakha (Yakutia), *Yakutskii meditsinskii zhurnal*, pp. 51-54.
2. Balina T.A., Ponomareva Z.V., Chekmeneva L.Yu. (2019), Territorial features of demographic processes in the regions of
Russia: analysis and typology, *Vestnik PNIPU. Social'no-ekonomicheskie nauki*, no. 4, pp. 31-43.
3. Boeva A.V., Leshchenko Ya.A. (2015), Medical and demographic processes and the formation of reproductive and labor
potentials in the Irkutsk region, *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, no. 10, pp. 36-40.
4. Bulaev V.M., Kovaleva N.M. (2004), Territorial'nye aspekty issledovaniya sotsial'nogo zdorov'ya naseleniya. (Metod-
ologiya. Pokazateli. Praktika) [Territorial aspects of the study of social health of the population. (Methodology. Indicative. Practices)],
Publishing house of the BNC SB RAS, Ulan-Ude, Russia.
5. Vishnevskii A.G., Andreev E.M., Treivish A.I. (2003), Perspektivy razvitiya Rossii: rol' demograficheskogo faktora [Pro-
spects for the development of Russia: the role of the demographic factor], IEPP, Moscow, Russia.
6. Vorob'ev N.V., Valeeva O.V., Dmitrieva Yu.N., Rykov P.V. (2020), Implementation of the socio-demographic potential of
Siberia, *Geografiya i prirodnye resursy*, no. 5. pp. 33-39.
7. State family policy in the Russian Federation. Collection of materials (2014), Edition of the State Duma, Moscow, Russia.
8. Demographic Yearbook of Russia (2021), Moscow, Russia.
9. Healthcare in Russia (2021), Moscow, Russia.
10. The concept of demographic policy of the Russian Federation for the period up to 2025 (2014), available at: <https://government.ru/docs/all/61461/?page=2> (Accessed 01 March 2024).
11. Kruczek M.M., Molchanova E.V. (2013), Research of medical and demographic processes in the regions of Russia, *Re-
gional'naya ekonomika: teoriya i praktika*, no. 18 (297), pp. 41-51.
12. Leshchenko Ya.A., Lisovtsev A.A. (2021), Mortality as an indicator of the sanitary and epidemiological status of the pop-
ulation of the region, *Gigiena i sanitariya*, no. 12, vol. 100, pp. 1495-1501.
13. Pogorelov A.R. (2020), The medical and demographic situation in the areas of compact residence of the peoples of the
North of the Kamchatka Territory, *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, vol. 6 (16), Issue 3, pp. 243-250.
14. Prokhorov B.B., Ryashchenko S.V. (2012), Meditsinskaya geografiya Sibiri [Medical geography of Siberia], Publishing
house of the IG SB RAS, Irkutsk, Russia.
15. Regions of Russia. The main characteristics of the subjects of the Russian Federation (2022), Moscow, Russia.
16. Regions of Russia. Socio-economic indicators (2022), Moscow, Russia.
17. Ryashchenko S.V. (1984), Mediko-geograficheskie aspekty izucheniya zdorov'ya naseleniya, Mediko-geograficheskoe
izuchenie raionov Sibiri [Medical and geographical study of the Siberian regions], Nauka, Novosibirsk, Russia.
18. Ryashchenko S.V. (2000), Regional'naya antropoekologiya Sibiri [Regional anthropoecology of Siberia], Publishing House
of the SB RAS, Novosibirsk, Russia.
19. Stolbov V.A., Subbotina T.V. Rol' statistiki v social'no-ekonomicheskom razvitii regiona [The role of statistics in the socio-
economic development of the region] *Statistika – glavnyy informatsionnyy resurs sovremennogo obshchestva*: sb. statej po materialam
Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. Uchast, Perm', PGNIU, 2022, pp. 73-81.
20. The strategy of socio-economic development of the Far East and the Baikal region for the period up to 2025 (2009), Mos-
cow, Russia.
21. Topchiev A.G., Yavorskaya V.V., Dimova N.V. (2014), Geodemographic processes: deformations of the population struc-
ture and methods of their analysis, *Geograficheskij vestnik*, no. 4 (31), pp. 29-35.
22. The official site Federal State Statistics Service of Russia (2024), available at: <https://www.gks.ru> (Accessed 1 March 2024).

Экономическая, социальная и политическая география

Валеева О.В., Шеховцова Т.Н.

23. Firsova S.P. (2000), Statistika zaboлеваemosti i invalidnosti naseleniya. Uchebno-metodicheskoe posobie [Statistics of morbidity and disability of the population. Educational and methodical manual], IGMU, Irkutsk, Russia.
24. Chistobaev, A.I. (2013), Statistical method in medical and geographical research, *Geograficheskii vestnik*, no. 1 (24), pp.18-25.
25. Shekhovtsova T.N. (2019), Medical and geographical research of Siberia, *Geografiya i prirodnye resursy*, no. 5. pp. 226-230.
26. Shumatov V.B., Trankovskaya L.V., Lebedev S.V., Yushchuk V.N., Kuznetsov V.V., Lugovoi R.A., Soldatova Yu.A., Yatsenko A.K. (2021), Modern trends in medical and demographic processes in the Sakhalin region, *Tikhookeanskii meditsinskii zhurnal*, no. 2, pp. 65-71.

Статья поступила в редакцию: 18.03.24, одобрена после рецензирования: 16.10.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 18 March 2024; approved after review: 16 October 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторах

Ольга Валерьевна Валеева

кандидат географических наук, научный сотрудник
лаборатории экономической и социальной
географии, Институт географии им. В.Б. Сочавы
Сибирского отделения РАН;
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
e-mail: valeeva.o.v@yandex.ru

Information about the authors

Olga V. Valeeva

Candidate of Geographical Sciences, Researcher,
Laboratory of Economic and Social Geography,
V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian
Branch of the Russian Academy of Sciences;
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russia

Татьяна Николаевна Шеховцова

кандидат географических наук, старший научный
сотрудник лаборатории экономической и
социальной географии, Институт географии
им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН;
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
e-mail: tan-truf@yandex.ru

Tatiana N. Shekhovtsova

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher,
Laboratory of Economic and Social Geography,
V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian
Branch of the Russian Academy of Sciences;
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russia

Вклад авторов

Валеева О.В. – идея, написание статьи, сбор и обработка данных, научное редактирование текста.

Шеховцова Т.Н. – идея, написание статьи, обработка данных, научное редактирование текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Olga V. Valeeva – the idea; writing of the article; data collection and processing; scientific editing of the text.

Tatiana N. Shekhovtsova – the idea; writing of the article; data processing; scientific editing of the text.

The authors declare no conflict of interest.

Научная статья

УДК 911.3:33 + 911.3:314 (571.53/.55)

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-50-61

**ОПОРНЫЙ КАРКАС НАСЕЛЕНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА
В ПРЕДЕЛАХ ТРАНССИБИРСКОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРИДОРА****Николай Владимирович Воробьев¹, Александр Николаевич Воробьев²,****Нина Александровна Ипполитова³**^{1, 2, 3} Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия¹ nikv54@gmail.com, ResearcherID: AAZ-4512-2020, SPIN-код: 3821-1193² Tore12@yandex.ru, SPIN-код: 8814-5431³ Nina-ip@list.ru, SPIN-код: 3972-4178

Аннотация. Целью данного исследования является выявление пространственной взаимосвязи населения и производства территорий транссибирской полосы юга Байкальского региона (Иркутской области, Республики Бурятия и Забайкальского края). Исследование велось с использованием статистического, картографического и сравнительно-географического методов; за единицы статистического наблюдения взяты муниципальные образования верхнего уровня. Основные результаты заключаются в выявлении главных урбанизированных ареалов и транспортных коридоров в местах максимальной концентрации населения. Так, демографический потенциал Иркутской части Транссибирского транспортного коридора составляет более половины населения региона. По объему промышленного производства проведено ранжирование муниципальных образований региона, выявлена индустриальная специализация. Оценено влияние уровня развития, индустриальной специализации и размещения производительных сил на демографическую ситуацию и трансформацию систем расселения. Географические аспекты пространственного развития выражаются в усилении двух частично перекрывающихся градиентов концентрации населения и производства: магистрально-периферийного и центрально-периферийного. В настоящее время агломерационные эффекты преобладают над магистральными, однако городские агломерации функционируют исключительно на магистралях. Современные рыночные условия через усиление экономических и экономико-географических контрастов, усиление роли важнейших элементов опорного каркаса региона в виде магистралей и агломераций при деградации местной инфраструктуры воздействуют на демографическую и производственную ситуацию.

Ключевые слова: расселение, концентрация населения, концентрация производства, примагистральные территории, агломерационные территории, центр-периферия, магистраль-периферия, Транссибирская магистраль

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы: AAAA-A21-121012190019-9 и AAAA-A21-121012190063-2).

Для цитирования: Воробьев Н.В., Воробьев А.Н., Ипполитова Н.А. Опорный каркас населения и производства Байкальского региона в пределах Транссибирского транспортного коридора // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 50–61. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-50-61

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-50-61

**THE POPULATION AND PRODUCTION FRAMEWORK IN THE BAIKAL REGION WITHIN THE
TRANS-SIBERIAN TRANSPORT CORRIDOR****Nikolay V. Vorobyev¹, Alexander N. Vorobyev², Nina A. Ippolitova³**^{1, 2, 3} V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia¹ nikv54@gmail.com, ResearcherID: AAZ-4512-2020, SPIN-code: 3821-1193² Tore12@yandex.ru, SPIN-code: 8814-5431³ Nina-ip@list.ru, SPIN-code: 3972-4178

Abstract. The purpose of this study is to identify the spatial relationship between the population and production in the territories of the Trans-Siberian strip in the south of the Baikal region (Irkutsk Oblast, the Republic of Buryatia, and Trans-Baikal Krai). The research was conducted using statistical, cartographic, and comparative geographical methods; upper-level municipalities were taken as the units of statistical observation. As a result, we have identified the main



© 2025 Эта работа Воробьева Н.В., Воробьева А.Н., Ипполитовой Н.А. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

urbanized areas and transport corridors in places of maximum population concentration. The demographic potential of the Irkutsk part of the Trans-Siberian transport corridor accounts for more than half of the region's population. The municipalities of the region were ranked based on the volume of industrial production, their industrial specialization was identified. The paper assesses the influence of the level of development, industrial specialization, and location of productive forces on the demographic situation and the transformation of settlement systems. Geographical aspects of spatial development are expressed in the strengthening of two partially overlapping gradients of the population and production concentration: mainline-peripheral and central-peripheral. Currently, agglomeration effects predominate over mainline ones, but urban agglomerations operate exclusively on the main lines. Modern market conditions affect the demographic and production situation through the strengthening of economic and economic-geographical contrasts, enhancing of the role of the most important elements of the region's framework in the form of main lines and agglomerations, which takes place against the background of the degradation of local infrastructure.

Keywords: settlement, population concentration, production concentration, mainline areas, agglomeration areas, center-periphery, mainline-periphery, Trans-Siberian Railway

Funding. The research was funded under the state assignment (topic state registration No. AAAA-A21-121012190019-9 and AAAA-A21-121012190063-2).

For citation: Vorobyev, N.V., Vorobyev, A.N., Ippolitova, N.A. (2025). The population and production framework in the Baikal region within the Trans-Siberian transport corridor. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp. 50–61. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-50-61

Введение

В новой геополитической реальности возникают серьезные вызовы экономического характера в отношении развития Азиатской России: необходимость перехода к развитию экономики с опорой на внутренний рынок; неизбежность смещения основного акцента в структурной политике на меры, определяемые национальными интересами страны; нарастание фрагментации экономического пространства страны и ее регионов; нарастание негативных демографических тенденций [19].

В последние годы происходит переориентация интересов международного сотрудничества России на восточный вектор, активизируется взаимодействие с восточными соседями страны. Обширная территория Байкальского региона имеет своей южной границей участок государственной границы РФ с Монголией и Китаем, в средней и северной части соединяется транспортными коммуникациями с сопредельными территориями Сибири и Дальнего Востока посредством Транссибирской [14] и Байкало-Амурской магистралей [17]. Значимость транспортной деятельности для Байкальской Сибири видна из простого сопоставления – доля региона составляет 5,8 % отправки грузов по железной дороге при 2,2 % валового регионального продукта РФ.

Экономическая жизнь Байкальского региона функционирует в основном в полосе вдоль Транссибирской железной дороги, где-то расширяясь до 100 км в обе стороны от нее, где-то сужаясь почти до 10 км. Полигон исследования принят в границах цепочки муниципальных районов вдоль Транссибирской магистрали и её ответвлений на Монголию и Китай (рис. 1). Ответвление от Транссиба, соединяющее юг Бурятии и север Монголии, ранее рассмотрено как Байкало-Монгольский транспортный коридор [7, 24].

В условиях постсоветского периода происходят существенные сдвиги в хозяйственной деятельности, определяющие динамику численности, миграции и структуру занятости населения Байкальского региона, а также имеющие существенную пространственную выраженность в региональных центрах, глубинных, транзитных, северных, приграничных и иных территориях.

Как следует из обзора литературных источников, посвященных взаимодействию динамики населения и производства, можно исходить из тезиса (Г.А. Гольц), что роль транспорта заключается не в изменении территориального размещения населения и производства, а в трансформации функций иерархии населённых пунктов и производства в них, их территориального роста и объединения [10]. На региональном уровне это работы В.М. Булаева, который отмечал, что ухудшение социально-экономических показателей и снижение уровня и качества жизни отмечается по мере удаления от зоны Забайкальской железной дороги [5]. Среди других исследователей, внесших вклад в изучение пространственного развития позиционирование территорий, приграничную асимметрию освоения территории Забайкалья, можно выделить работы А.Н. Новикова, Б.Л. Раднаева [18, 20]. Труды авторов из Института географии СО РАН посвящены проблемам как Сибири в целом [3, 8, 9], так и Байкальского региона [7, 14, 15]. Однако, несмотря на то что данная проблематика взаимодействия населения и производства в целом кажется раскрытой, происходящие в стране изменения позволяют посмотреть на данную тему с новых позиций и на новых территориальных уровнях внутри транспортного коридора: район – городской округ; агломерационные – внеагломерационные территории; примагистральные – внемагистральные пространства.

Научная проблема, формулируемая в рамках социально-экономической географии, заключается в поиске взаимосвязи между, с одной стороны, расселением, динамикой и структурой населения, а с другой стороны, с объемами и специализацией производственной деятельности на субрегиональном уровне (в муниципальных районах и городских округах). Линейно-узловой характер опорного каркаса региональной системы Байкальской Сибири выражается в том, что при значительной рассредоточенности населения и производства по множеству

Экономическая, социальная и политическая география

Воробьев Н.В., Воробьев А.Н., Инполитова Н.А.

пунктов на обширных площадях реальными узлами концентрации и роста населения являются региональные центры и их пригородные районы, находящиеся на основных транспортных магистралях [7, 13, 15, 23].

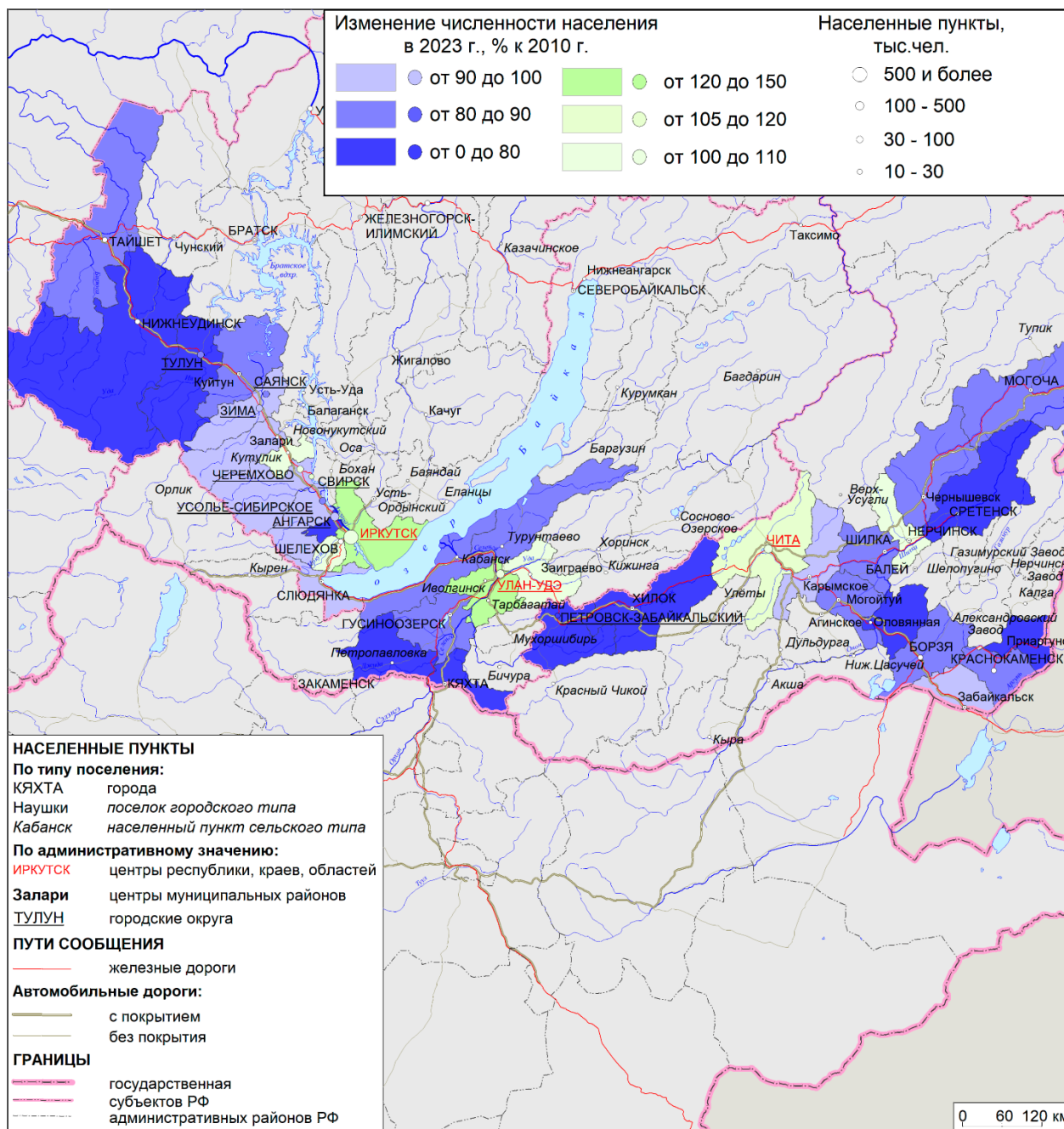


Рис. 1. Динамика численности населения в муниципальных образованиях Транссибирской полосы Байкальского региона в 2010–2023 гг. (составлено авторами)

Fig. 1. Population dynamics in municipalities of the Trans-Siberian strip of the Baikal region in 2010–2023 (compiled by the authors)

Цель исследования заключается во взаимосвязанном изучении производства и населения в муниципальных образованиях внутри Транссибирского транспортного коридора в пределах Байкальского региона. Для достижения исследовательской цели решаются следующие задачи:

- оценить особенности современного расселения, размещения населения и демографической ситуации;
- определить особенности и тенденции концентрации и специализации производства;
- выявить основные взаимосвязи сопряженного размещения и динамики населения с концентрацией производства на агломерационных территориях.

Материалы и методы

Полигоном исследования принята территория в границах цепочки муниципальных районов вдоль Транссибирской магистрали (протяженностью 2609 км) с ответвлениями: Заудинский – Наушки – граница с Монголией (256 км); Тарская – Забайкальск – граница с Китаем (354 км), с веткой Харанор – Приаргунск (207 км), с веткой Урулунгуй – Краснокаменск (15 км).

Территории вдоль Транссиба (24 % общей площади Байкальского региона) относительно освоены и заселены, обладают большими запасами минерально-сырьевых, лесных и водных ресурсов, там ведется разнообразная хозяйственная деятельность в многочисленных городских и сельских населенных местах. Для экономической деятельности важное значение имеет транзитное транспортно-географическое положение на главной широтной магистрали России. Автомобильный путь, параллельный Транссибу, пролегает по Федеральным автомобильным дорогам Р255 «Сибирь» (725 км от западной границы Иркутской области до Иркутска), Р258 «Байкал» (1113 км от Иркутска до Читы) и Р297 «Амур» (770 км от Читы до восточной границы Забайкальского края). Расстояние между основными городами составляет: от Иркутска до Улан-Удэ – 456 км и от Улан-Удэ до Читы – 557 км (рис. 1).

Информационную базу исследования составили статистические материалы Базы данных показателей муниципальных образований (БД ПМО) Федеральной службы государственной статистики. За первичные единицы наблюдения в зоне Транссиба и его южных ответвлений приняты городские округа (11), муниципальный округ (1) и муниципальные районы (34) Иркутской области, Республики Бурятия и Забайкальского края, число которых составляет 46 из 99 муниципальных образований региона (табл. 1).

Таблица 1

Число муниципальных образований верхнего уровня в Транссибирской полосе Байкальского региона на 01.01.2023*

The number of upper-level municipalities in the Trans-Siberian strip of the Baikal region as of January 1, 2023*

Муниципальные образования	Число муниципальных образований			
	Иркутская область	Республика Бурятия	Забайкальский край	Всего
Городские округа	8/10**	1/2	2/3	11/15
Муниципальные округа	0/0	0/0	1/6	1/6
Муниципальные районы	12/32	8/21	14/25	34/78
Всего	20/42	9/23	17/34	46/99

* Источник – Численность населения Российской Федерации на 1 января 2023 г.: стат. сб. / Федеральная служба государственной статистики. М., 2023

** В числителе – муниципальные образования в рамках Транссибирской полосы, в знаменателе – муниципальные образования в регионе в целом

* Source – Population of the Russian Federation as of January 1, 2023: (A Statistical Collection). Federal State Statistics Service. Moscow, 2023.

** The numerator represents the number of the municipalities within the Trans-Siberian strip, the denominator represents the number of the municipalities in the region as a whole.

При постановке проблем развития территориально-производственных структур, выборе методов, исследовании тенденций территориальной организации промышленности авторы опирались на труды П.Я. Бакланова [1]. Необходимо учитывать, что для «научного анализа и оценок регионального развития могут выделяться различные типы территориальных производственно-экономических структур» [2, с. 14]. Обращается внимание на взаимосвязанное изучение агломераций и транспорта для стратегии пространственного развития России: «благодаря развитию транспортной инфраструктуры... собственно агломерационные процессы дополняются формированием более сложных структур – осей и ареалов развития» [12, с. 22–23].

В данной статье ключевыми территориально-экономическими структурами являются транспортные коридоры, примагистральные территории и агломерационные территории. «**Транспортные коридоры** – протяженные мультимодальные (многовидовые) транспортные магистрали, проходящие по территории нескольких экономических районов и/или стран» [21, с. 275]. Следует уточнить, что транспортные (и экономические) коридоры включают транспортные магистрали и узлы, логистические центры, города на примагистральных территориях.

Примагистральные территории имеют трехзвенную структуру: транспортная ось (магистраль, транспортный коридор), межмагистральное пространство транспортного коридора и зона влияния магистрали или коридора («полосы развития»). При «районном» подходе к изучению «в состав примагистральных зон включают муниципальные районы, по территориям которых проходят трассы железнодорожных и автомобильных магистралей, транспортные коридоры» [22, с. 18]. В пределах транспортных коридоров выделяются места интенсивной концентрации расселения и разнообразной деятельности людей – **агломерационные территории**, представляющие собой крупные города и их зоны влияния, где существует тесное взаимодействие между ядрами/центрами и пригородной зоной.

Сквозные методы – статистический, картографический, сравнительно-географический – применяются на всех стадиях исследования. В работе использовались экономико-географические методы анализа территориально-отраслевой структуры и демографических показателей. Картографический метод позволил отобразить пространственные особенности размещения промышленности и населения и выявить основные диспропорции современного пространственного развития.

Экономическая, социальная и политическая география

Воробьев Н.В., Воробьев А.Н., Инполитова Н.А.

Логика исследования позволяет выделить группы территорий нескольких видов: первое деление региона на *примагистральные* (1) и *внемагистральные* (2) территории; второе деление примагистральных территорий на *агломерационные* (1а) и *внеагломерационные* (1б); *третья группа – все неагломерационные территории* (3) (табл. 2). Состав агломерационных территорий определялся как крупный город – региональный центр плюс окружающие его районы. Конкретно принят следующий состав агломераций: для Иркутской агломерации – город Иркутск, Ангарский городской округ, Иркутский и Шелеховский районы; для Улан-Удэнской агломерации – город Улан-Удэ, Иволгинский и Тарбагатайский районы; для Читинской агломерации – город Чита и Читинский район.

Результаты и обсуждение

Общая картина демографических изменений выглядит как медленное (3,7 % в год) снижение численности преимущественно за счет миграционного оттока населения (табл. 2). Показательным является рост населения городских агломераций (7,7 % в год), все остальные территории теряют население.

Таблица 2

Сравнение демографических изменений в агломерационных, примагистральных и периферийных территориях Байкальского региона в 2010–2023 гг.

Comparison of demographic changes in agglomeration, mainline, and peripheral territories of the Baikal region in 2010–2023

№	Территории	Численность населения, тыс. чел.		Динамика численности населения 2023/2010, в %	Коэффициент прироста в год, промилле		
		2010	2023		КОП*	КЕП**	КМП***
1.	Примагистральные	3230,5	3225,1	99,8	-0,1	1,1	-1,2
1а	Агломерационные	1828,6	2006,1	109,7	7,7	2,2	5,5
1б	Неагломерационные	1401,9	1219,0	87,0	-11,6	-0,6	-11,0
2.	Внемагистральные	1277,4	1086,3	85,0	-13,5	-0,2	-13,3
3.	Все неагломерационные (3=1б+2)	2679,3	2305,3	86,0	-16,3	-0,6	-15,7
4.	Байкальский регион, всего	4507,9	4311,4	95,6	-3,7	0,7	-4,4

*КОП – коэффициент общего прироста, КЕП – коэффициент естественного прироста, КМП – коэффициент миграционного прироста (составлено авторами на основе расчетов по БД ПМО – <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/>)

* КОП – the coefficient of total growth, КЕП – the coefficient of natural growth, КМП – the coefficient of migration growth (compiled by the authors based on calculations using the PМО database (database containing indicators of municipalities) – <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/>)

В целом общие тенденции региональных демографических изменений схожи с аналогичными в Иркутской области при стабилизации ситуации в Республике Бурятия и ускоренном обезлюдении Забайкальского края. При изучении динамики естественного движения населения за 12-летний период необходимо отметить, что он характеризуется скорее отрицательными показателями. Только отдельные ареалы в течение 2010–2023 гг. имели естественный прирост населения. В то же время наибольшее влияние на уменьшение числа жителей региона оказал миграционный отток населения, прогрессирующий с запада на восток: -2,5 % в год в Иркутской области, -3,1 % в Республике Бурятия, -10,0 % в Забайкальском крае. В исследовании сжатия (депопуляции на 1 % ежегодно) российских городов «маркером “сжимающего” города служит снижение численности его населения в течение довольно продолжительного отрезка времени» [16, с. 4]. Используя однопроцентную депопуляцию как критерий, можно констатировать, что все население Забайкальского края испытывает процесс сжатия.

Определяющее влияние на развитие Байкальского региона оказывают города-ядра транссибирского урбанизированного пространства, а именно центры субъектов Федерации – Иркутск, Улан-Удэ, Чита (рис. 1). Одной из общих тенденций является субурбанизация в зонах влияния больших городов [6, 12]. Однако урбанизация даже на стадии субурбанизации проявляется по-разному: «Улан-Удэнские пригороды формировало село, основным источником освоения пригородных территорий постсоветского Улан-Удэ стала именно сельская Бурятия, а не сам город, а главными участниками субурбанизации – сельские мигранты» [4, с. 168–169]; в Иркутском случае «основу формирования субурбии составляют именно горожане, осваивающие пригород» [11, с. 40]. Имеет место усиленная поляризация развития центр – периферия в экономическом и социальном аспектах. Фактически вся периферия является миграционным донором для столичных городов, где происходит концентрация населения и большинства высокооплачиваемых видов деятельности. Большинство территорий являются миграционными донорами. Миграция идет в пользу региональных центров и их пригородных зон. После ускоренной советской урбанизации в постсоветский период сибирские города растут медленно из-за истощения демографической составляющей урбанизации. В постсоветский период прирост населения составил 7, 8 и 23 % в городах Иркутск, Чита и Улан-Удэ соответственно.

Влияние Транссибирского транспортного коридора проявляется весьма отчетливо – примагистральные территории в целом теряли население только в Забайкальском крае (-6,6 % в год), а Иркутская область и Бурятия имели прирост населения 1,2 и 4,4 % в год соответственно. В Бурятии прирост населения вдоль Транссиба был обеспечен на 4/5 естественным приростом населения. В Забайкальском крае миграционный отток на примагистральных территориях равнялся -7,5 %, а на внемагистральной периферии – -20,4 % в год.

Экономическая, социальная и политическая география

Воробьев Н.В., Воробьев А.Н., Инполитова Н.А.

В целом перераспределение населения происходит в соответствии с центро-периферийным градиентом: растет население только урбанизированных агломерационных (примагистральных) пространств при сокращении населения всей периферии, включая внеагломерационные (примагистральные) пространства (табл. 2).

По объему промышленного производства лидером является Иркутская область, превышающая показатели Республики Бурятия в 7 раз и Забайкальского края в 6 раз (рис. 2). Максимальная доля зоны Транссиба в промышленном производстве находится в Республике Бурятия (87 %), в Забайкальском крае – 76 %, в Иркутской области – 45 %. Концентрация промышленности в региональном центре максимальна в Улан-Удэ – 72 %, а в Чите (27 %) и Иркутске (24 %) намного ниже.

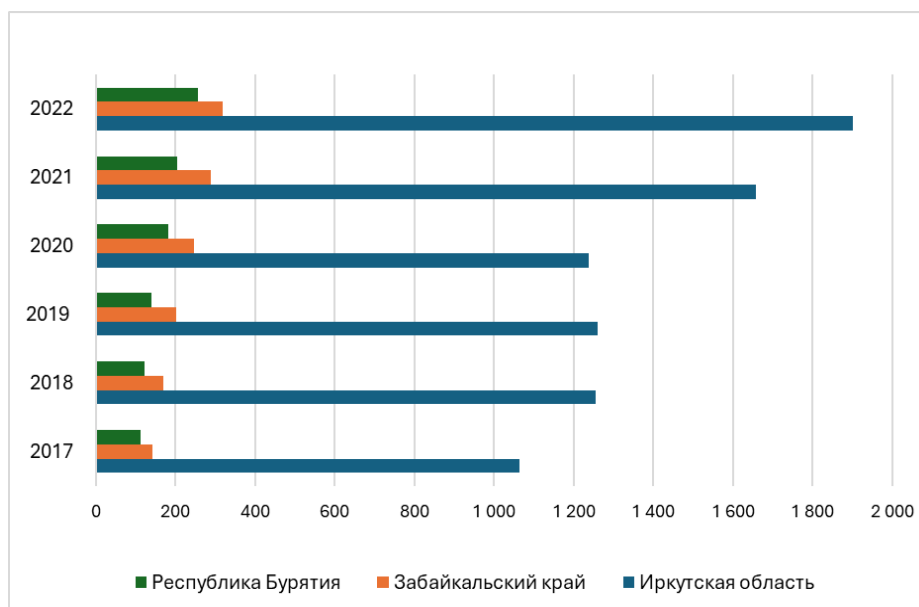


Рис. 2. Динамика объема промышленного производства в отдельных частях Байкальского региона в 2017–2022 гг. (млрд руб.) (составлено авторами)

Fig. 2. Dynamics of industrial production in certain parts of the Baikal region in 2017–2022 (billion rubles) (compiled by the authors)

В Транссибирском транспортном коридоре отмечается значительная дифференциация по уровню развития хозяйства отдельных территорий. На основе показателя «отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами (без субъектов малого предпринимательства)» было проведено ранжирование муниципальных образований и выделено пять групп (табл. 3). Первая и вторая группа являются самыми малочисленными: первая состоит из трех городов, вторая – из одного города и двух районов.

Таблица 3

Распределение муниципальных образований* по объему отгруженной продукции в 2022 г.
Distribution of municipalities* by volume of products shipped in 2022

Регионы	Группы муниципальных образований по объему отгруженной продукции (млрд руб.)				
	1 группа (более 100)	2 группа (от 50 до 100)	3 группа (от 5 до 50)	4 группа (от 2 до 5)	5 группа (менее 2)
Иркутская область – 20	ГО – 2 Иркутск Ангарск МР – 0	ГО – 0 МР – 1 Шелеховский	ГО – 3 Саянск Усолье-Сибирское Черемхово МР – 6 Тайшетский Усольский Иркутский Нижнеудинский Тулунский Черемховский	ГО – 3 Свирск Зима Тулун МР – 3 Слюдянский Заларинский Куйтунский	ГО – 0 МР – 2 Зиминский Аларский

Экономическая, социальная и политическая география

Воробьев Н.В., Воробьев А.Н., Инполитова Н.А.

Окончание табл. 3

Регионы	Группы муниципальных образований по объему отгруженной продукции (млрд руб.)				
	1 группа (более 100)	2 группа (от 50 до 100)	3 группа (от 5 до 50)	4 группа (от 2 до 5)	5 группа (менее 2)
Республика Бурятия – 9	ГО – 1 Улан-Удэ МР – 0	ГО – 0 МР – 0	ГО – 0 МР – 2 Кабанский Селенгинский	ГО – 0 МР – 3 Заиграевский Кяхтинский Прибайкальский	ГО – 0 МР – 3 Тарбагатайский Джидинский Иволгинский
Забайкальский край – 17	ГО – 0 МР – 0	ГО – 1 Чита МР – 1 Петровск-Забайкальский	ГО – 0 МР – 8 Могочинский Краснокаменский Борзинский Оловянинский Шилкинский Читинский Средненский Забайкальский	ГО – 0 МР – 3 Чернышевский Карымский Нерчинский	ГО – 1 Петровск-Забайкальский МО – 1 Приаргунский МР – 2 Хилокский Могойтуйский
Итого - 46	3	3	19	12	9

*ГО – городские округа, МО – муниципальные округа, МР – муниципальные районы
(составлено авторами по БД ПМО – <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/>)

* ГО – urban districts, МО – municipal districts, МР – municipal regions

(compiled by the authors from the PMO database - <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/>)

В первой группе особое место занимает Иркутск, который по объему отгруженной продукции почти в 2,5 раза опережает Улан-Удэ и в 3,5 раза Ангарск. На карте (рис. 3) Иркутск выделен в группу свыше 400 млрд руб. отгруженной продукции ввиду большого преобладания города над иными промышленными центрами Байкальского региона.

Лидерство Иркутска связано с наличием в нем крупных предприятий, которые и формируют промышленный профиль города [19]. Ведущими отраслями являются авиастроение (Иркутский авиационный завод – филиал ПАО «Яковлев») и энергетика (Ново-Иркутская ТЭЦ, Иркутская ГЭС), также в городе функционируют предприятия строительных материалов, лесной и деревообрабатывающей и пищевой промышленности.

В Улан-Удэ, в отличие от Иркутска, нет крупных корпоративных структур, за исключением Улан-Удэнского авиационного завода и филиалов Российских железных дорог, промышленное производство представлено в основном средними и малыми предприятиями.

Ангарск – крупный промышленный центр с мощными предприятиями по производству нефтепродуктов (АО «Ангарская нефтехимическая компания»), удобрений (ООО «Ангарский азотно-туковый завод»), пластмасс (Ангарский завод полимеров), пищевой и деревообрабатывающей промышленности, производству строительных материалов (АО «Ангарскцемент»), металлообработке, выработке электроэнергии.

Во второй группе наиболее примечателен административный центр Забайкальского края – Чита, основу промышленного потенциала которого составляет производство и распределение электроэнергии, газа и воды (в общем объеме на него приходится 55,0 %), производство пищевых продуктов, машин, оборудования и строительных материалов. Шелеховский район является центром алюминиевой промышленности, а Петровск-Забайкальский район специализируется на горной добыче и обогащении: угля (Тугнуйский разрез и обогатительная фабрика) и вольфрамовой руды (Бом-Горхонский рудник).

Третья группа самая многочисленная, в нее вошли 3 промышленных города из Иркутской области и 16 муниципальных районов. Лидером среди городов является Саянск – центр развития химической промышленности (АО «Саянскхимпласт»). Промышленный профиль Усолье-Сибирского определяет добыча соли, фармацевтика, обработка древесины и производство изделий из дерева, пищевая промышленность. Профиль Черемхово составляют угледобывающие предприятия (разрез «Черемховский», обогатительная фабрика «Касьяновская») и деятельность структурных подразделений РЖД. В Забайкальском крае горнодобывающая промышленность (добыча золота, угля и обогащение уранового концентрата) определяет промышленный профиль территории. В Республике Бурятия выделяются центр энергетика (Гусиноозерская ГРЭС) и целлюлозно-бумажное производство (Селенгинский ЦКК). В Черемховском и Усольском районах Иркутской области развита пищевая промышленность, получающая сырье от крупных агрохолдингов, расположенных в районах. В других районах лидирующие позиции принадлежат лесной и деревообрабатывающей промышленности.

Экономическая, социальная и политическая география

Воробьев Н.В., Воробьев А.Н., Инполитова Н.А.

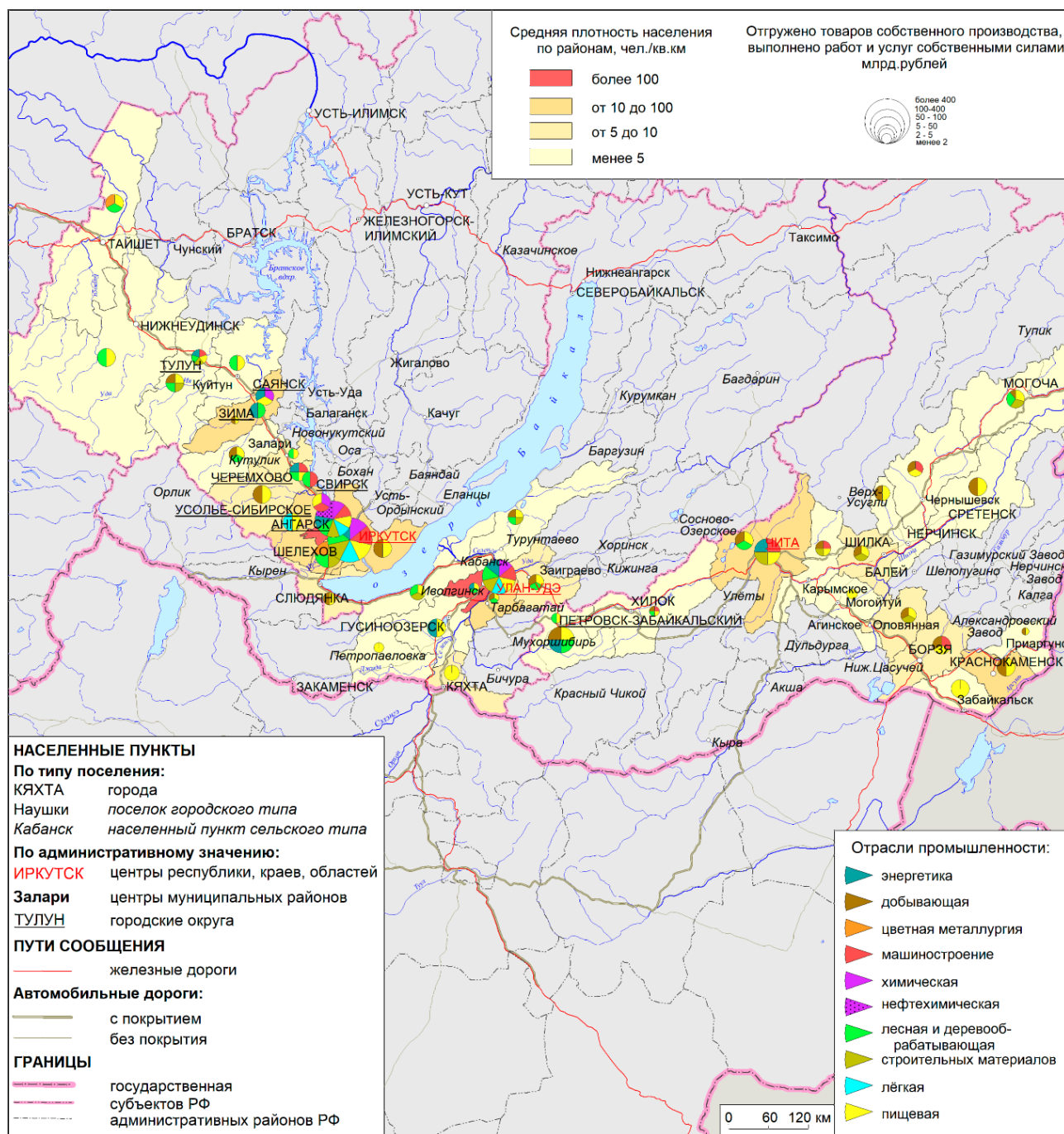


Рис. 3. Территориально-отраслевая структура промышленности в муниципальных образованиях Транссибирской полосы Байкальского региона на фоне показателя физической плотности населения (составлено авторами)

Fig. 3. Territorial-sectoral structure of industry in the municipalities of the Trans-Siberian strip of the Baikal region against the background of the physical population density indicator (compiled by the authors)

В четвертой группе муниципальных образований (объем продукции от 2 до 5 млрд руб.) большую часть ($\frac{3}{4}$) составляют районы, а города этой группы расположены в Иркутской области. Это неоднородная группа, где наиболее высокие показатели объема отгруженной продукции (в рамках группы) отмечаются у районов, специализирующихся на добыче полезных ископаемых (Чернышевский – золото, уголь, Слюдянский – мрамор, Заларинский – гипс), в районах, занимающих последние позиции, представлена в основном пищевая промышленность, а также заготовка древесины.

Пятая группа включает только один город (Петровск-Забайкальский) и 8 муниципальных районов, в которых объем отгруженной продукции составляет менее 2 млрд руб. и основная хозяйственная специализация которых – сельское хозяйство и пищевая промышленность.

Экономическая, социальная и политическая география

Воробьев Н.В., Воробьев А.Н., Инполитова Н.А.

Экономическая группировка муниципальных образований по объему отгруженной продукции сильно связана с параметрами численности и занятости населения, изменяющимися пропорционально друг другу (табл. 4).

Таблица 4

Взаимосвязи показателей населения и производства по группам муниципальных образований в 2022 г.

Relationships between population and production indicators by groups of municipalities in 2022

Группа муниципальных образований (число муниципальных образований)	Суммарный объем отгруженной продукции, млрд руб.	Суммарная численность населения, тыс. чел.	Средние показатели по группам в расчете на одно муниципальное образование		
			Занято населения, тыс. чел.	численность населения, тыс. чел.	объем отгруженной продукции в расчете на душу населения, тыс. руб./чел.
Первая (3)	777,9	1277,4	111	426	609
Вторая (3)	233,0	412,8	35	138	564
Третья (19)	269,0	935,3	9	49	288
Четвертая (12)	37,6	371,7	6	31	101
Пятая (9)	9,3	227,9	3	25	41
Всего (46)	1326,8	3225,1	15	70	411

(составлено авторами на основе расчетов по БД ПМО – <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/>)(compiled by the authors based on calculations using the PMO database - <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/>)

Транссибирская железная дорога имеет важное значение для многих примагистральных населенных пунктов, особенно сильно такая взаимосвязь отмечается в Забайкальском крае (так, в Хилокском и Забайкальском районах 37 и 36 % занятого населения работает на транспорте), где ее структурные подразделения являются основными хозяйствующими субъектами.

Как видно из анализа промышленного и демографического развития (табл. 2 и 5), социально-экономический потенциал территорий и разнообразие экономических видов деятельности (рис. 3) в Байкальском транспортном коридоре существенно снижаются от агломераций к разреженному расселению.

Таблица 5

Взаимосвязи показателей населения и производства по агломерационным и неагломерационным территориям Транссибирского транспортного коридора

Relationships between population and production indicators for agglomerated and non-agglomerated territories of the Trans-Siberian transport corridor

Регион	Производство в 2022 г., млрд руб.			Население на 1.01.2023 г., тыс. чел.		
	Всего	АТ*	НАТ**	Всего	АТ *	НАТ**
Республика Бурятия	148,0	131,3	16,7	750,1	530,1	220,0
Забайкальский край	169,4	95,2	74,2	812,4	405,0	407,4
Иркутская область	857,3	689,4	167,9	1662,6	1071,0	591,6
Байкальский регион	1174,7	915,9	258,8	3225,1	2006,1	1219,0

*АТ – агломерационные территории; **НАТ – неагломерационные территории

(составлено авторами на основе расчетов по БД ПМО – <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/>)

*АТ – agglomerated territories; **НАТ – non-agglomerated territories

(compiled by the authors based on calculations using the PMO database - <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/>)

Соотношение численности населения на агломерационных и внеагломерационных территориях – в среднем примерно два к одному (в Забайкальском крае равное), соотношение объемов производства – почти четыре к одному. Налицо усиление концентрации производственной деятельности относительно населенности территорий.

Выводы

1. Исследование базируется на ключевых территориально-экономических структурах, которыми являются транспортные коридоры, примагистральные территории и агломерационные территории. Географической особенностью анализа опорного каркаса является использование статистических данных в разрезе муниципальных районов с их большой территорией, в том числе малосвязанной с Транссибирской магистралью. Однако при последовательном повторении работ недостаток «порайонного» подхода превращается в достоинство, обеспечивая сопоставимость результатов разновременных исследований.

2. Действует центр-периферийный градиент миграционного перераспределения: растет население урбанизированных агломерационных пространств при сокращении населения всей периферии, включая остальные примагистральные пространства Транссибирского коридора.

3. При рассмотрении городов как узлов опорного каркаса территории региона выявлена очень высокая взаимосвязь между населенностью и промышленным развитием, что затушевывается при распространении анализа на всю территорию муниципальных районов. Отмечается усиление концентрации производственной деятельности относительно населенности на агломерационных территориях, на которые приходится $\frac{3}{5}$ населения и $\frac{4}{5}$ производства соответственно.

*Экономическая, социальная и политическая география**Воробьев Н.В., Воробьев А.Н., Ипполитова Н.А.*

4. В Байкальском регионе отмечается доминирование столичных городов (Иркутска, Улан-Удэ и Читы) по демографическому и промышленному потенциалу, именно эти три агломерационные территории являются точками роста. Опорными ядрами каркаса, кроме региональных центров, являются: реально Ангарск (город 3-й по производственному потенциалу и 4-й по населенности) с выраженным промышленным профилем; потенциально Тайшет – крупный транспортно-логистический узел, через который проходит Транссиб и с которым стыкуются БАМ и Южно-Сибирская магистраль, а также где запущен инновационный Тайшетский алюминиевый завод. В целом ядрами опорного каркаса территории являются города с развитой промышленностью, имеющей общероссийское, региональное или экспортное значение, дополняемые цепочками поселений вдоль транспортного коридора.

Библиографический список

1. Бакланов П.Я. Территориальные структуры хозяйства в региональном управлении. М.: Наука, 2007. 239 с. ISBN: 978-5-02-034115-9
2. Бакланов П.Я., Мошков А.В. Территориальные производственно-экономические структуры: типы и их отношения в региональном развитии // Региональные исследования. 2023. № 3. С. 4–17. DOI: 10.5922/1994-5280-2023-3-1
3. Безруков Л.А. Трансформация структур хозяйства и населения Сибири на постсоветском этапе // География и природные ресурсы. 2020. № 4. С. 25–36. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2020-4(25-36)
4. Бреславский А.С. Незапланированные пригороды: сельско-городская миграция и рост Улан-Удэ в постсоветский период / отв. ред. М.Н. Балдано. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2014. 192 с. ISBN: 978-5-7925-0420-2
5. Булаев В.М., Бурлов Э.М. Территориальная и социальная дифференциация семей в регионе. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1999. 98 с.
6. Воробьев Н.В. Миграционные тенденции и проблемы регионов Сибири // География и природные ресурсы. 2020. № 5. С. 178–184. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2020-5(178-184)
7. Воробьев Н.В., Воробьев А.Н., Ипполитова Н.А. Байкало-Монгольский транспортный коридор: взаимосвязь производства и населения // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2021. № 3. С. 42–50. DOI: 10.18522/1026-2237-2021-3-42-50
8. География Сибири в начале XXI в.: в 6 т. Хозяйство и население / отв. ред. Н.М. Сысоева, С.В. Рященко. Новосибирск: Гео, 2014. Т. 3. 251 с.
9. География Сибири в начале XXI века: в 6 т. Восточная Сибирь / отв. ред. Л.М. Корытный, А.К. Тулоханов. Новосибирск: Гео, 2016. Т. 6. 396 с.
10. Гольц Г.А. Транспорт и расселение. М.: Наука, 1981. 248 с.
11. Григоричев К.В. Субрегиональные миграции и формирование пригородов сибирского города // Мир Большого Алтая. 2017. № 3 (1). С. 31–42.
12. Дружинин А.Г., Кузнецова О.В. Стратегия пространственного развития России: векторы обновления // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1 (68). С. 15–26. DOI: 10.17072/2079-7877-2024-1-15-26
13. Дугарова Г.Б., Емельянова Н.В., Антипина Ю.В., Отгонхуу Ц., Богданов В.Н., Воробьев Н.В., Воробьев А.Н., Евстропьева О.В., Нацагсүрэн Б. Глава 2. Социально-экономический потенциал // Природно-ресурсный потенциал урбанистических центров бассейна озера Байкал: атлас-монография / отв. ред. Л.М. Корытный, С. Энх-Амгалан. Иркутск-Улан-Батор, 2022. С. 45–88.
14. Зона Транссиба как евразийский экономический коридор / отв. ред. Л.М. Корытный. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. 251 с.
15. Ипполитова Н.А., Роговская Н.В., Григорьева М.А. Хозяйственная специализация Байкальского региона: современное состояние и основные тенденции развития // География и природные ресурсы. 2020. № 5. С. 166–171. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2020-5(166-171)
16. Кириллов П.Л., Махрова А.Г., Балабан М.О., Гао Л. Сжимающиеся города в России в постсоветский период // Региональные исследования. 2023. № 1. С. 4–18. DOI: 10.5922/1994-5280-2023-1-1
17. 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
18. Новиков А.Н., Новикова М.С. Приграничная асимметрия как фактор освоения юго-востока Забайкальского края (экономико-географический анализ) // Позиционирование территорий Байкальского региона в условиях трансграничья. Новосибирск: Наука, 2012. С. 76–109.
19. Новый импульс Азиатской России: источники и средства развития: в 2-х т. / под ред. В.А. Крюкова, Н.И. Суслова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2023. Т. 1. 418 с.
20. Раднаев Б.Л. Транспорт Востока России в новой социально-экономической и геополитической ситуации. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1996. 128 с.
21. Тархов С.А. Транспортные коридоры // Социально-экономическая география: понятия и термины: словарь-справочник / отв. ред. А.П. Горкин. Смоленск: Ойкумена, 2013. С. 275.
22. Яковлева С.И. Примагистральные зоны: понятие, состав и функции // Региональные исследования, 2007. № 1 (11). С. 15–24.
23. Ippolitova N.A., Grigoryeva M.A. The Current Territorial Differentiation of the Industry of Irkutsk Oblast // Geography and Natural Resources. 2021. Vol. 42, No. 4. P. 370–376. DOI: 10.1134/S1875372821040077
24. Vorobyev N., Vorobyev A., Ippolitova N. Relationship of production and population in Siberian and Mongolian cities // E3S WEB OF CONFERENCES. 2023. Vol. 458. / International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Environmental Technologies (EMMFT-2023). Pp.07014. DOI: 10.1051/e3sconf/202345807014

Экономическая, социальная и политическая география

Воробьев Н.В., Воробьев А.Н., Ипполитова Н.А.

References

1. Baklanov P.Ya. (2007) Territorial structures of the economy in regional management. M.: Nauka, 239 p.
2. Baklanov P.Ya., Moshkov A.V. (2023) Territorial production and economic structures: types and their relationships in regional development. *Regional studies*. No. 3. P. 4–17. DOI: 10.5922/1994-5280-2023-3-1
3. Bezrukov L.A. (2020) Transformation of the structures of the economy and population of Siberia at the post-Soviet stage. *Geography and natural resources*. No. 4. pp. 25–36. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-4(25–36)
4. Breslavsky A.S. (2014) Unplanned Suburbs: Rural-Urban Migration and the Growth of Ulan-Ude in the Post-Soviet Period / ed. M.N. Baldano. Ulan-Ude. Publishing House of BSC SB RAS, 192 p.
5. Bulaev V.M., Burlov E.M. (1999) Territorial and social differentiation of families in the region. Ulan-Ude/ Publishing house BSC SB RAS. 98 p.
6. Vorobyev N.V. (2020) Migration trends and problems of Siberian regions. *Geography and natural resources*. No. 5. pp. 178–184. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-5(178-184)
7. Vorobyev N.V., Vorobyev A.N., Ippolitova N.A. (2021) Baikal-Mongolian transport corridor: relationship between production and population. *Bulletin of higher educational institutions. North Caucasus region. Natural Sciences*. No. 3. pp. 42–50. DOI: 10.18522/1026-2237-2021-3-42-50
8. Sysoeva N.M. (ed.), Ryashchenko S.V. (ed.) (2014) Geography of Siberia at the beginning of the 21st century: in 6 volumes. T. 3: Economy and population. Novosibirsk. Geo. 251 p.
9. Korytny L.M. (ed.), Tulokhonov A.K. (ed.) (2016) Geography of Siberia at the beginning of the XXI century: in 6 volumes. T. 6. Eastern Siberia. Novosibirsk. Geo. 396 p.
10. Golts G.A. (1981) Transport and settlement. M. Nauka. 248 p.
11. Grigoriev K.V. (2017) Subregional migrations and the formation of suburbs of a Siberian city. *World of Great Altay*. 3(1). pp. 31–42.
12. Druzhinin A.G., Kuznetsova O.V. Spatial development strategy of Russia: update vectors. *Geographical bulletin*. 2024. No1(68). pp.15–26. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-15-26
13. Dugarova G.B., Emelyanova N.V., Antipina Yu.V., Otgonkhuu Ts., Bogdanov V.N., Vorobyov N.V., Vorobyov A.N., Evstropieva O.V., Natsagsuren B. (2022) Chapter 2. Socio-economic potential. Natural resource potential of urban centers in the Lake Baikal basin. Atlas-monograph. Eds. L.M. Korytny, S. Enkh-Amgalan. Irkutsk-Ulaanbaatar. pp. 45–88.
14. Korytny L.M. (ed.) (2016) Trans-Siberian Railway zone as a Eurasian economic corridor. Irkutsk: Publishing House of V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS. 251 p.
15. Ippolitova N.A., Rogovskaya N.V., Grigorieva M.A. (2020) Economic specialization of the Baikal region: current state and main development trends. *Geography and natural resources*. No.5. Pp.166–171. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-5(166–171)
16. Kirillov P.L., Makhrova A.G., Balaban M.O., Gao L. (2023) Shrinking cities in Russia in the post-Soviet period. *Regional studies*. No.1. Pp. 4–18 DOI: 10.5922/1994-5280-2023-1-1
17. Makushin M.A., Bobrovsky R.O., Demidova K.V., Danshin A.I., Goryachko M.D. (2023) Socio-economic development of territories in the zone of influence of the BAM: Soviet plans and Russian realities. *Geographical Bulletin*. No. 2(65). Pp. 12–25. doi: 10.17072/2079-7877-2023-2-12-25
18. Novikov A.N., Novikova M.S. (2012) Border asymmetry as a factor in the development of the south-east of the Trans-Baikal Territory (economic and geographical analysis). *Positioning of the territories of the Baikal region in trans-border conditions*. Novosibirsk.Nauka. pp. 76–109.
19. Kryukov V.A. (ed.), Suslov N.I. (ed.) (2023) New impulse of Asian Russia: sources and means of development: in 2 volumes. Vol. 1. Novosibirsk. Publishing house SB RAS, 2023. 418 p.
20. Radnaev B.L. (1996) Transport of East Russia in a new socio-economic and geopolitical situation. Novosibirsk: Publishing house SB RAS. 128 p.
21. Tarkhov S.A. (2013) Transport corridors. Socio-economic geography: concepts and terms. Dictionary-reference book. Eds. A.P. Gorkin. Smolensk. Oikumena. p. 275.
22. Jakovleva S.I. (2007) Zones along highways: concept, structure and function. *Regional studies*. No.1(11). pp. 15–24.
23. Ippolitova N.A., Grigoryeva M.A. (2021) The Current Territorial Differentiation of the Industry of Irkutsk Oblast. *Geography and Natural Resources*. 2021. Vol.42. No.4. P. 370–376. DOI 10.1134/S1875372821040077.
24. Vorobyev N., Vorobyev A., Ippolitova N. (2023) Relationship of production and population in Siberian and Mongolian cities. E3S WEB OF CONFERENCES. Vol. 458. International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Environmental Technologies (EMMFT-2023) p. 07014. DOI: 10.1051/e3sconf/202345807014

Статья поступила в редакцию: 02.04.24, одобрена после рецензирования: 03.12.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 2 April 2024; approved after review: 3 December 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторах

Николай Владимирович Воробьев

кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории экономической и социальной географии, Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН, 664033, Россия, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
e-mail: nikvly54@gmail.com

Information about the authors

Nikolay V. Vorobyev

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Laboratory of Economic and Social Geography, V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russia

*Экономическая, социальная и политическая география**Воробьев Н.В., Воробьев А.Н., Ипполитова Н.А.*

Александр Николаевич Воробьев

кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории картографии, геоинформатики и дистанционных методов.

Институт географии им. В.Б. Сочавы
Сибирского отделения РАН,
664033, Россия, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1

e-mail: Tore12@yandex.ru

Alexander N. Vorobyev

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Cartography, Geoinformatics and Remote Sensing Methods, V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;

1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russia

Нина Александровна Ипполитова

кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории экономической и социальной географии Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН,
664033, Россия, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1

e-mail: Nina-ip@list.ru

Nina A. Ippolitova

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Laboratory of Economic and Social Geography, V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russia

Вклад авторов

Воробьев Н.В. – идея, обработка материала, написание текста, редактирование карт, научное редактирование статьи.

Воробьев А.Н. – сбор и обработка материала, создание карт.

Ипполитова Н.А. – идея, сбор и обработка материала, написание текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Nikolay V. Vorobyev – the idea; material processing; writing of the text; editing of the maps; scientific editing of the article.

Alexander N. Vorobyev – material collection and processing; creation of the maps.

Nina A. Ippolitova – the idea; material collection and processing; writing of the text.

The authors declare no conflict of interest.

Научная статья

УДК 314.72

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-62-72

**РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ НОВОЙ ТЕОРИИ «НОВЕЙТОРОВ»
В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ****Нияз Миннахматович Биктимиров**

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

Niyaz825@mail.ru, Scopus Author ID: 56104332400, РИНЦ Author ID: 274957

Аннотация. В статье впервые публикуется разработанная автором теория, основанная на выделении иерархических ступеней «объема новизны», которая может быть элементарной, небольшой, быть значительной, большой, крупной, сверхкрупной или мегакрупной, которой автор дает название «новейторы». Новейторы – это совокупность всех видов энергий (физических, эмоциональных, ментальных, духовных), оказывающих положительный эмоциональный эффект на человека и обладающих новизной. Данная позитивная, жизненная энергия имеет новизну для конкретного человека, в конкретном месте и в определенное время. Согласно научному видению автора статьи, не вся позитивная энергия обладает новизной, не вся новизна новейторы и не все эмоции создают новейторы. Следовательно, любую положительную энергию нельзя назвать новейтером. Показан механизм работы новейтора человека.

Представлен соответствующий методический и категориально-понятийный аппарат разработанной теории, способный объяснить не только мотивации мигрантов, но и различные процессы в географической науке. Выделено несколько «сгустков энергии» – ценностей, позволяющих поймать новейторов, находящихся на более высоком уровне. Апробация новой теории в географических исследованиях миграции проведена на территории Республики Татарстан благодаря анкете, разработанной автором для иностранных граждан, обучающихся в г. Казани. В данном исследовании, проведенном 4 декабря 2024 г., приняли участие в общей сложности 572 иностранца из 20 стран, среди которых 304 человека, обучающихся на подготовительном факультете, и 268 человек – студенты Института управления, экономики и финансов и Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета.

Ключевые слова: новейторы, виды новейторов, новизна, жизненная энергия, усталость, миграции, Республика Татарстан, Казанский (Приволжский) федеральный университет, обучающиеся и студенты из иностранных стран

Финансирование. Работа выполнена по гранту Академии наук Республики Татарстан № 160/2024-ПД, предоставленному молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан».

Для цитирования: Биктимиров Н.М. Разработка и применение новой теории «новейторов» в географических исследованиях // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 62–72. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-62-72

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-62-72

**DEVELOPMENT AND APPLICATION OF THE NEW ‘NOVEITOR’ THEORY
IN GEOGRAPHICAL RESEARCH****Niyaz M. Biktimirov**

Kazan Federal University, Kazan, Russia

Niyaz825@mail.ru, Scopus Author ID: 56104332400, RSCI Author ID: 274957

Abstract. This article is the first to present a theory developed by the author that identifies hierarchical levels of ‘novelty volume’, which can be elementary, small, significant, large, very large, or mega-large. The author terms these levels ‘noveitors’. Noveitors are defined as the totality of all forms of energy (physical, emotional, mental, spiritual) that exert a positive emotional effect on individuals and possess novelty. This positive, life-sustaining energy is novel for a



© 2025 Эта работа Биктимирова Н.М. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

specific person, in a specific place, and at a specific time. According to the author's scientific perspective, not all positive energy possesses novelty, not all novelty constitutes noveitors, and not all emotions generate noveitors. Consequently, not any positive energy can be classified as a noveitor. The article explains the mechanism of the operation of human noveitors.

The author introduces the corresponding methodological and conceptual framework of the developed theory, which is capable of explaining not only migrants' motivations but also various processes within geographical science. In the study, several 'energy clusters' – values that enable the capture of noveitors at higher levels – were identified. The new theory has been tested in geographical migration studies carried out in the Republic of Tatarstan using a questionnaire developed by the author for foreign nationals studying in Kazan. The survey, conducted on December 4, 2024, involved a total of 572 foreigners hailing from 20 countries, including 304 students from the Preparatory Faculty and 268 students from the Institute of Management, Economics, and Finance and the Institute of Geology and Petroleum Technologies of Kazan Federal University.

Keywords: noveitors, types of noveitors, novelty, life energy, fatigue, migration, Republic of Tatarstan, Kazan Federal University, foreign students

Funding. The work was carried out under grant from the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan No. 160/2024-PD provided to young Candidates of Sciences (postdoctoral fellows) for the purpose of defending a doctoral dissertation, performing research work as well as performing labor functions in scientific and educational organizations of the Republic of Tatarstan within the framework of the State Program of the Republic of Tatarstan 'Scientific and Technological Development of the Republic of Tatarstan'.

For citation: Biktimirov, N.M. (2025). Development and application of the new 'noveitor' theory in geographical research. *Geographical Bulletin*. 2025. No. 1 (72), Pp.62–72. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-62-72

Введение

С усложнением психологии социального взаимодействия между людьми появляются новые факторы, являющиеся причинами принятия решений участвовать в миграциях. Усложнение объекта, изучаемого миграцией, в социальной географии порождает необходимость обращения к поведенческим подходам, что не ослабевает, а, наоборот, только усиливает теоретизацию географии.

Цель работы заключается в разработке и применении новой теории «новейторов» для проведения географических исследований.

Гипотеза – у жителей зарубежных стран, прибывших на временное проживание в другую страну, усталость от нехватки новейторов выражена сильнее по сравнению с новым временным местом проживания.

Материалы и методы

Для определения значения фактора «новизны» в современном обществе автором статьи разработана новая теория «новейторов», раскрывающая соответствующий методический и категориально-понятийный аппарат, способная объяснить не только мотивации мигрантов, но и различные процессы в географической науке.

«Психологический подход позволяет раскрыть механизм формирования территориальных интересов как осознанной населением цели «миссии» развития региона» [17, с. 15]. Возможность миграции, как и способность к ней, это психологическое состояние, сформировавшееся вследствие накопленного миграционного опыта [14, с. 5].

Самостоятельных исследований, посвященных проблематике «психологии народонаселения» и «психологической демографии», практически нет: психология народонаселения как раздел научных исследований декларируется, но системно как самостоятельное направление научных исследований не описывается [3, с. 391].

По итогам анализа литературных источников, М.С. Савоскул выяснила, что в рамках научной дисциплины «Психология» среди наиболее распространенных подходов в теориях миграции населения на микроуровне изучены: процессы адаптации мигрантов в новом обществе, трудовая адаптация мигрантов, взаимодействие в трудовых коллективах, а на макроуровне рассматриваемых вопросов вообще не было [15, с. 81].

В отличие от других подходов к познанию поведения людей психологический подход акцентирует мотивационную природу миграции, делая упор на исследовании групповых и индивидуальных мотивов, определяющих миграционное поведение субъекта [16, с. 154].

Решение о миграции люди принимают на основании своих предпочтений в выборе места работы и жизни, опираясь не только на социально-экономических условия, но и на психоэмоциональные переживания еще на этапе подготовки к миграции. Существует определенная сложность в получении данных о мигрантах до того момента, когда они перемещаются [22, с. 326–339].

Решение о переселении принимается вынужденными мигрантами, как правило, в короткие сроки и зачастую является непродуманным [1, с. 34]. Как отметил Д.И. Валентий, анализ причин демографического поведения – важная сфера совместной деятельности демографов с экономистами, социологами, правоведами, этнографами и социал-психологами [7, с. 140].

Принимая решение о въезде или выезде из страны, людям приходится, как хорошо знают специалисты по миграциям, учитывать многие обстоятельства. Одним из этих обстоятельств является представление о психологическом настрое того народа, среди которого предстоит жить вынужденным мигрантам. Используя понятие «психологического настроения», Л.М. Дробужева имеет в виду не только установки людей по отношению к лицам

Экономическая, социальная и политическая география
Биктимиров Н.М.

другой национальной принадлежности, но и состояние их собственной идентичности, то есть характерно ли для группы доминирующего этнического большинства нормальное самосознание, подразумевающее положительный образ своего народа, благоприятное отношение к его культуре, истории, естественный патриотизм и вполне толерантные установки к другим этническим общностям [10, с. 74–75].

Результаты исследования

Психология восприятия временности во многом определяет дальнейшие действия мигранта, например его идентичность, стратегию по интеграции, способы выстраивания отношения и частоты контактов как с принимающим, так и с отправляющим сообществами. Важное значение приобретает субъективное восприятие времени мигрантом, который в новых обстоятельствах и контекстах по-новому воспринимается такие категории, как долго или быстро, давно и недавно [6, с. 7].

Основными психологическими причинами внутренней миграции служат потребность в самореализации, желание изменить жизнь, улучшить условия жизни, посмотреть мир, оставить в прошлом некоторые переживания и невзгоды» [4, с. 155–159].

На сегодняшний день многие жалуются на усталость, проявляющуюся в различных её видах, и с учетом многообразия видов и уровней усталости она вполне может стать не только одной, а даже главной причиной принятия решений о выезде.

Отрицательные эмоции можно побороть сменой обстановки, новизной. Один из основоположников экономической теории как науки А. Смит писал, что труд должен обязательно сменяться отдыхом, в т.ч. сменой обстановки, а В.И. Ленин утверждал, что лучший отдых – это смена деятельности.

Человек устает, когда нет смены обстановки, т.е. ощущается недостаток новизны, но необходимо понять, что человек как живое существо способен адаптироваться к любым жизненным ситуациям и условиям. Адаптация к новому позволила выживать человеку как роду. Приспосабливаясь, мы должны платить за мгновенность многих удовольствий. Многие, получая первый положительный опыт, пытаются повторить это, но в большинстве случаев получается не тот эффект, потому что это наша плата за способность адаптироваться ко всему новому.

В качестве гипотезы выдвигается идея о том, что сильнейшей движущей и стимулирующей силой человека, помогающей ему «жить», энергией для его психоэмоционального обогащения является фактор «новизны», точнее не просто новизна, а та, которая способна вызывать положительные сильные эмоции. Новизна имеет разную природу и измерение. Например, человек, обладающий властью, популярностью, высоким уровнем образованности и культуры, возможностью для проявления таланта, активно воздействующий на других, способен пройти новизну в нескольких измерениях. «Обычный человек», исходя из сложившихся обстоятельств, как правило, может это пройти только в нескольких измерениях. Поэтому самая большая ошибка исследования механизмов адаптации человека к явлениям, ранее представляющим «новшества» для конкретного человека, это рассмотрение его только в одной конкретной плоскости. «Новизна» и «адаптация» одновременно работают сразу в нескольких плоскостях и в определенной степени напоминают «кубик-рубик», который имеет разные окраски, может поворачиваться в разные стороны и создавать множество вариаций.

Считаем необходимым выделить различные иерархические ступени «объема новизны». Они могут быть элементарными, небольшими, быть значительными, большими, крупными, сверхкрупными или мегакрупными и получают название «новейторы».

Новейторы – это совокупность всех видов энергий (физических, эмоциональных, ментальных, духовных), оказывающих положительный эмоциональный эффект на человека и обладающих новизной для него. Новейторы – это позитивная, жизненная энергия, обладающая новизной для конкретного человека, в конкретном месте и в определенное время (рис. 1).



Рис. 1. Новейторы как часть всех видов энергий человека, составлено автором

Fig.1. 'Novaitors' as part of all types of human energy, drawn by the author

Необходимо отметить, что не любая энергия обладает новизной, не вся новизна новейторы и не все эмоции создают новейторы, соответственно, не любую положительную энергию можно назвать новейтором.

Экономическая, социальная и политическая география

Биктимиров Н.М.

Например, человек в течение недели питается одним и тем же продуктом, получает физическую энергию, положительные эмоции, но этот продукт уже не представляет новшество для него.

Следовательно, когда поступают однотипные положительные эмоции, человек устает от них, они перестают представлять значимость, поэтому должен быть баланс событий, потребления энергии и т.д.

Согласно разработанной автором классификации, предлагаются виды новейторов по масштабу влияния на человека. Они расположены в порядке иерархических ступеней, закреплены соответствующими примерами (табл. 1). Примеры представлены исходя из образа жизни «обычного» человека. Чем выше ступень, тем более сильный эмоциональный эффект способен оказывать соответствующий новейтор, который в течение достаточно продолжительного периода времени придает человеку больше жизненных сил.

Таблица 1

Виды новейторов по масштабу влияния на человека
Types of noveitors in terms of their impact on humans

№	Виды новейторов	Примеры
1	Элементарные	После долгого нахождения внутри дома выйти на улицу, получить комплимент, услышать небольшую новость, пожелание доброго утра, положительные воспоминания и ассоциации.
2	Небольшие	Перемещаться из одного района города в другой, во время работы делать перерыв на обед, во время пешей прогулки сделать остановку, хороший сон и приятные сновидения, конец рабочего дня, встреча с другом, приятелем или знакомым, хорошая новость из средств массовой информации, послушать приятную мелодию и др.
3	Значительные	Путешествие в направлении город-село, село-город, сходить в гости, посещение родителей, празднование, ожидание хороших новостей, гордость за достижения близких, сдача экзамена и др.
4	Большие	Переселиться на другую территорию, начало отпуска, спланировать путешествие, миграция в другой регион, отметить день рождения, узнать на кого похож новорожденный ребенок, самовыражение.
5	Крупные	Возвращение соотечественника на Родину, возвращение рабочего мигранта после долгих лет работы к семье, после выхода на пенсию переехать жить в родительский дом, выйти замуж или жениться, смена местожительства, покупка новой квартиры или автомобиля, получение высшего образования, стать первым раз отцом, матерью, бабушкой, дедушкой, юбилей, получить научную степень.
6	Сверхкрупные (признанное большим количеством людей)	Стать олимпийским чемпионом, в науке сделать мировое открытие или стать лауреатом нобелевской премии, выпустить классный фильм, продать книгу с большим тиражом, выиграть в лотерею, дожидаться правнука или правнучку, побывать в открытом космосе, получить звание народного артиста.
7	Мегакрупные (гордость и достояние всего человечества, или целой страны, этноса)	Первый полет человека в космос, автор мирового бестселлера, певец, певица или актер, получивший мировую славу, рекордсмен мира, олимпийский чемпион, представитель малого этноса, люди, заслуживающие уважение и любовь огромного количества людей во всем мире.

Источник: составлено автором

Может быть новизна, которую придумал и знает только один человек, несколько человек, группа, регион, страна, весь мир. Когда её использует огромная масса людей, она перестает быть новизной, эмоциональный интерес падает по отношению к этому элементу, новости, открытию. Соответственно, истинная новизна имеет циклы развития: зарождение, получение признания, распространение, снижение интереса и потеря статуса новизны.

Таким образом, новизна бывает истинной, когда реально происходит впервые во времени и пространстве, и субъективной. Огромное количество новизны человек познает в своей жизнедеятельности, при этом данная новизна для многих уже не является таковой. Во-первых, человек становится свидетелем, т.е. видит что-то новое для себя, во-вторых, человек своей деятельностью сам создает новое, в-третьих, новизна синтезируется в памяти человека, например, в форме новых воспоминаний, мыслей, идей, в-четвертых, появляются новые версии в фантазиях человека. Взаимодействие соответствующих уровней новизны напоминает механизм работы шестеренки (рис. 2). Шестеренка крутится – значит, происходят различные события, оказывая влияние на другие механизмы.

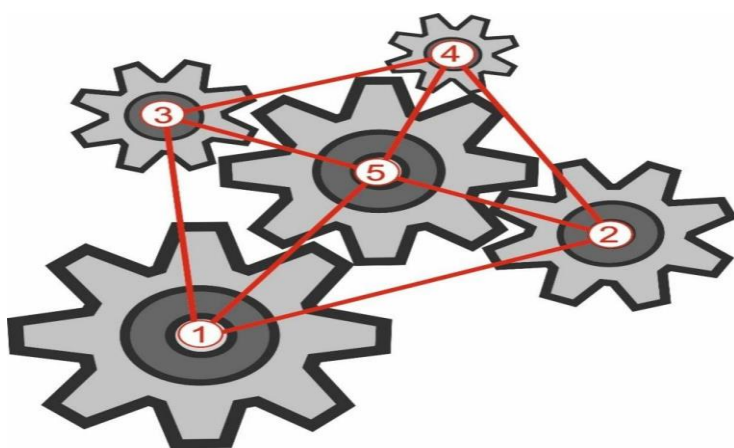


Рис. 2. Механизм работы новейтора человека: 1 – видеть или прочесть новое; 2 – создать новое; 3 – новые воспоминания, мысли, идеи; 4 – новое в фантазиях человека; 5 – выработка жизненной энергии. Составлено автором

Fig.2. The mechanism of the operation of the human noveitor
1 - to see or read new things; 2 - to create new things; 3 - new memories, thoughts, ideas; 4 - new in a person's fantasies; 5 - generation of vital energy. Drawn by the author

Они обогащают друг друга и побуждают к новым действиям. Творческие люди счастливы тем, что они способны синтезировать новое, потому что, создавая новое, значимое для других, они получают удовольствие.

Ученые до сих пор в поиске того, что такое жизненная энергия? Согласно одному определению: «Жизненная энергия – это невидимая сила, пронизывающая все аспекты нашего бытия. Это буквально та искра, которая делает нас живыми. Она проявляется через наши эмоции, мысли, физическое здоровье и даже духовную сущность». Н.А. Денисова главным параметром живого организма считает энергию. Много энергии – много здоровья, мало энергии – здоровья нет совсем [9].

Новейторы благодаря оказанию положительного эмоционального эффекта несут субъективный характер и вызывают жизненную энергию, которая пронизывает и наполняет все клеточки и атомы нашего организма, объединяя их в единое целое, в единый

целостный организм, заставляя мельчайшие частицы этого организма вибрировать на своей частоте, соединяясь в один мощнейший природный поглотитель и излучатель энергии [9, с. 53].

Благодаря реакции человека на окружающий мир восприятие новейторов носит субъективный характер и происходит посредством эмоций. Положительные эмоции создают: интерес, энтузиазм, смех, сочувствие, действие, любопытство [12, с. 354].

У животных тоже есть набор базовых эмоций: радость, гнев, страх, горе. Однако они не способны испытывать сложные внеситуативные эмоции – зависть, ревность, ненависть. Зоопсихологи говорят о необходимости различать чувства и эмоции.

Жизнь без эмоций так же невозможна, как и без ощущений. По утверждению Чарльза Дарвина, эмоции возникли в процессе эволюции как средство, при помощи которого живые существа устанавливают значимость тех или иных условий для удовлетворения актуальных для них потребностей [8].

Эмоции позволяют чрезвычайно выгодно приспосабливаться к окружающим условиям. Это происходит, не определяя форму, тип, механизм и другие параметры воздействия, может привести к моментальной реакции определенным эмоциональным состоянием, не только понимая, но и различая, полезно или вредно для него данное конкретное воздействие [12, с. 354].

Эмоции толкают к деятельности, которая всегда имеет ярко выраженный смысл, как непосредственно, так и опосредованно. Интересно, что проблема эмоций и чувств до сих пор остается загадочной и во многом неясной [12, с. 355].

Не оставил без внимания понятие «новизна» в статье «Новизна в науке и жизни с позиции экономико-географа» известный российский географ А.И. Трейвиш, отмечая, что истинная новизна остается редкой, а гонка за ней составляет и благо, и бич современного мира [18, с. 88].

Психологическими причинами внутренней миграции, согласно Н.В. Батуриной, являются желание изменить жизнь, посмотреть мир, оставить в прошлом некоторые переживания и невзгоды [4, с. 155–159], поэтому миграция может оказать реальную помощь в ситуации усталости от нехватки новейторов.

На сегодняшний день сформировались целые сферы, стремящиеся вызывать положительные эмоции у человека. Например, сфера развлечений, психология туризма основаны на эмоциях человека, которые появляются во время путешествий [2, с. 11].

В психологии под туристским опытом понимается личное событие, связанное с путешествиями благодаря достаточно сильным эмоциональным воздействиям самого участника в данных путешествиях, которое входит в его долговременную память [21, с. 15].

Продолжительность существования фаз и особенно фазы «пассионарного перегрева» в теории этногенеза Л.Н. Гумилева, на наш взгляд, определяется степенью стремления человека к новейторам, что наблюдается не только у отдельных людей, но и целых этносов [5, с. 38].

Многие географы продолжают применять в своих исследованиях данную теорию исходя из сегодняшних реалий. «Наша национальная идея – сбережение пассионарной энергии народа с использованием её для перехода к новому экономическому укладу», – написал В.А. Шупер [20, с. 105].

Согласно нашей гипотезе, единый этнос ввиду нехватки новейторов подвержен разделению на несколько частей [11, с. 95], а затем представители каждого из новообразованных этносов получают возможность приобрести новые новейторы.

Содержание новейторов зависит от многих факторов, т.е. стартовых условий: в какой семье родился ребенок, в городе или селе, в какой стране; от особенностей семьи, воспитания, генетических особенностей, от психографического типа, характера, продолжительности монотонного образа жизни и желания, достаточного для перехода на новый уровень знаний, образа жизни, трудолюбия и т.д.

Здесь появляется закономерность «Чем дольше монотонность, тем сильнее потребность в новизне». Необходимо помнить, что есть еще разные типы людей: одни более спокойно относятся к монотонности, другие не терпят ее. В целом одни более зависимы от новейторов, другие менее, но все вынуждены непрерывно сталкиваться с этим в поисках путей обогащения себя соответствующей энергией, порой не подозревая об этом.

При монотонности человеческий организм вынужден адаптироваться к однотипности, при этом для человека растет значение других явлений, предметов, отличающихся от монотонного состояния, т.е. по субъективным ощущениям человека они становятся относительно более новыми.

Монотонность создает эффект будильника, жить в монотонности – крутить будильник, звонок – это яркий этап жизни, значит «ловить» большое количество новейторов, чтобы жить монотонностью нужны условия и главное качество – терпение.

Монотонность приводит к усталости, поэтому при организации той или иной деятельности это учитывается или необходимо учитывать. Пример из сферы спортивного туризма: рельеф для организации продолжительного пешего похода по запланированному маршруту на горной местности (треккинг) должен быть пересеченным на 30 % и больше, в противном случае это вызывает чувство усталости от монотонности, что недопустимо как для организаторов тура, так и для самих участников маршрута.

Семьи, живущие вдали от воздействия урбанизированных территорий, богатые различными событиями, привязанные к своей территории, испытывают «дефицит» новизны, а дети «обогащают» жизнь семьи «новизной». Это предлагаемая нами гипотеза, почему в самых бедных районах больше детей. Это особенность, на которую обратил внимание и Аристотель, проявляется тысячелетиями. На наш взгляд, лишенные или имеющие мало шансов на другие варианты «сгустка энергии» женщина и мужчина, особенно женщина, могут перейти на другой уровень новейторов будучи многодетными родителями (при сохранении идеальной иерархии в семье это дает и статус, и власть как мужчине, так и женщине) и таким образом стать «владельцами» новейторов нового уровня. Но нельзя забывать и тот фактор, что в бедных семьях дети помогают родителям бороться с нищетой, зарабатывать и становятся им опорой в старческом возрасте. У каждого человека есть потребность в воздействии на других, самовыражении, а у многих и в управлении другими людьми. Высокая рождаемость характерна именно для тех территорий, где население (в данном случае взрослые люди с детьми) имеет низкую степень самореализации, стремление в продвижении по социальной лестнице, а рождение большого количества детей, на наш взгляд, позволяет им занять верхнюю ступень иерархии внутри семьи. Т.е. в тех местах, где родители, которые занимали низшую ступень в общественной иерархии, создают свою иерархическую систему в рамках семьи, которая имеет следующие ступени: истинный глава семьи – это «отец», находящийся на высшей ступени, далее, на второй ступени, располагается «мать», более старшие дети на третьей ступени, а младшие на четвертой и т.д.

Исходя из тех трансформационных изменений, которые происходят с институтом семьи, вполне возможно, что в современных семьях будет доминировать следующая модель семьи, что, в первую очередь, приведет к снижению количества рождения детей.

Дети, воспитанные в семье с социально-экономическими проблемами, более приспособлены к трудностям, не боятся их, испытывают уважение и «подчинение» по отношению к родителям, а в тех семьях, где дети сильно зависимы от родителей, имеет место вседозволенность и иерархия имеет другой вид, что в будущем скорее всего приведет к такому сценарию, когда родители превратятся в раба своих детей. Согласно данному подходу, количество детей в семьях будет зависеть от положения родителей. Родители, понимая, что их ждет, просто будут отказываться иметь новых «властителей», т.е. рожать детей, что приведет к существенному снижению численности населения.

В многодетных семьях, где дети подчиняются родителям, родители получают сразу 2 «сгустка энергии», т.е. ключи от новейторов, как родители с новыми событиями (новшествами) и ключ-«управляющего» в том обществе, где родители не могут «властвовать» над своими детьми, т.е. они теряют один «сгусток энергии», а это непосредственно будет влиять на планирование детей, дети же, в свою очередь, повышают шансы сохранения еще одного сгустка новейтора или семьи.

Для достижения сверхкрупных новейторов человек, как правило, должен пожертвовать свободным временем, отказаться от разных видов новейторов другого ранга, например выйти на долгое время из зоны комфорта, отказаться от других ценностей.

Одни и те же причины, события могут для одного выступать небольшими, для другого значительными, для третьего большими, для четвертого крупными, для пятого не вызывать никаких чувств.

Как объяснил Зигмунд Фрейд [19] при объяснении психической энергии, человек постоянно переключается из одного состояния в другое. Отпуск, путешествия – время максимального сбора новейторов; гнев, зависть, боль, горе, негативные события мешают получить необходимую энергию.

Часто бывает новость, вызывающая одновременно положительные и отрицательные эмоции. В итоге, что важнее для человека, то и преобладает, отрицательная новость уничтожает положительные эмоции.

Некоторые с помощью алкоголя, психотропных веществ вызывают искусственное состояние для испытания новых эмоций. Таким образом они исчерпывают свой лимит новейторов, блокируют многие другие источники и уже не могут получить новейторы разного уровня и вида.

Получается, что обычное состояние человека – это состояние, когда он освобожден от таких базовых эмоций, как радость, гнев, страх, зависть, горе и внеситуативных эмоций, присущих, в отличие от животных, любому человеку – любви, зависти, ревности, ненависти, кроме этого, не мечтает и в этот момент не вспоминает о прошлом. Но человек рано или поздно устанет (все зависит от уровня усталости человека) от этого состояния, и ему нужна будет «пропитка» новейторами. Человек в этом состоянии способен более объективно рассуждать, но рассуждение может привести к появлению новых эмоций и, соответственно, чувств.

Продолжительное ощущение скукоты – это опасно. Пробелы в воспитании приводят к отсутствию мотивации во многих жизненных ситуациях. Особенно характерно это для пожилых людей – значит человек не научился ловить новые новейторы. Значение трудолюбия заключается в том, что человек из одного состояния переходит в другое и тем самым временно удовлетворяет себя от отсутствия новейторов.

Выделяем несколько «сгустков энергии» – ценностей, позволяющих поймать новейторы, находящиеся на более высоком уровне, такие как: духовность, знание, власть, культура, богатство, семья, дети, популярность, любовь. Каждая из них способна открывать очередные каналы для новизны (рис. 3).



Рис. 3. Основные источники сгустков энергии.

Составлено автором

Fig.3.The main sources of energy clots, drawn by the author

Таким образом, разные уровни власти, самовыражения, образованности, уровни культуры, семейного положения, наличия разного количества детей позволяют уловить новые новейторы («сгустки энергии»), доступные не для всех.

Апробация новой теории в географических исследованиях миграции проводилась на примере одного из неоднородных по этническому и конфессиональному составу регионов Российской Федерации – Республики Татарстан.

Нельзя все время отталкиваться от ранее сложившихся стереотипов, отражающих миграционное движение Татарстана, которое сложилось всего несколько лет назад. Республика Татарстан в течение нескольких десятилетий демонстрирует чрезвычайно высокую активность и изменчивость в миграционном движении, продолжая удерживать теснейшую связь не только с другими регионами страны, но и с большинством стран мира

Столица Республики Татарстан – г. Казань – продолжает по праву считаться одним из ведущих центров высшего образования в Российской Федерации. Абитуриентов привлекает динамично развивающийся регион и красивый современный г. Казань с развитой городской инфраструктурой. В качестве привлекательных факторов также выступают мультикультурный и многоэтничный облик древней Казани, языковое и религиозное родство – в первую очередь, для абитуриентов, прибывающих из стран Центральной Азии.

Общее количество иностранных студентов, получающих высшее образование в России, за последние три года выросло более чем на 26 тыс. человек. Так, в 2019 г. в России училось 298 тыс., в 2020 г. – 315 тыс., в 2021 г. – 324 тыс. иностранных студентов. Среди ВУЗов страны больше всего иностранцев обучаются в Российском университете дружбы народов, Казанском (Приволжском) федеральном университете, Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Национальном исследовательском университете «Высшая школа экономики». За высшим образованием в Российскую Федерацию приезжают студенты из Казахстана (61 тыс.), Узбекистана (48,7 тыс.), Китая (32,6 тыс.), Туркменистана (30,6 тыс.), Таджикистана (23,1 тыс.), Индии (16,7 тыс.), Египта (12,4 тыс.). По данным мониторинга международной деятельности Минобрнауки России, в 2022 г. количество студентов, приехавших из других стран, составило 351 тыс. человек. Из них 62 % – студенты из стран СНГ [13, с. 14].

Татарстан исторически является одним из главных центров высшего образования в России. Высокое качество образовательных услуг, предоставляемых вузами республики, ежегодно подтверждается результатами мониторинга эффективности деятельности вузов, который проводит Минобрнауки России.

Автором статьи для иностранных обучающихся и студентов Казанского (Приволжского) федерального университета была разработана анкета на 5 языках: русском, английском, китайском, испанском и туркменском. В данном исследовании, проведенном 4 декабря 2024 г., участвовали в общей сложности 572 иностранца из 20 стран (304 человек, обучающихся на подготовительном факультете, и 268 студента Института управления, экономики и финансов и института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета), проходящие обучение в г. Казани.

На подготовительном факультете прошли опрос представители: Китая, Южной Кореи, Шри-Ланки, Турции, Ирана, Сирии, Ирака, Ливии, Туниса, Замбии, Эквадора, Колумбии, Перу.

Из опрошенных студентов Института управления, экономики и финансов и института геологии и нефтегазовых технологий были выходцы семи стран: Туркменистана, Узбекистана, Казахстана, Таджикистана, Азербайджана, Вьетнама, Алжира.

Анкета была направлена на выявление пола, возраста, гражданства, места рождения, типа местности населённого пункта, образования, семейного положения, количества жителей в семье, отсутствия или наличия ребенка (или несколько детей), национальности, религиозной принадлежности, отношения к религии, причины (причин) выбора для учебы другой страны и вуза, времени нахождения на новом месте и сфере деятельности членов семьи, а также самих обучающихся и студентов. Автор решил выделить 22 вида усталости (духовную; душевную; культурную; от религиозной нетерпимости; этническую; от семейных отношений (большое количество людей в семье, ссоры, развод); от военных конфликтов; криминогенной обстановки; от тяжелой работы и видов деятельности; от политических решений в стране, или бюрократических решений на уровне региона, города или на муниципальном уровне; от ущемления прав; экономической обстановки; из-за нереализованности поставленных жизненных задач; из-за отсутствия условий для реализации творческих способностей; от неблагоприятной экологической обстановки; климатических условий и неподходящей природной среды; от окружающих людей и соседей; от нехватки денег; от хорошей жизни; от территории, когда с определенной территорией ассоциируются негативные события в жизни индивида или членов всей семьи); физическую усталость и новый тип усталости – усталость от нехватки новейторов. В представленной автором анкете определялось характерное состояние усталости обучающихся КФУ во время нахождения у себя дома (в стране) и во время учебы на территории другой страны (г. Казани). Согласно инструкции, участники анкетирования должны были оценить соответствующие виды усталости от 0 до 10, где 0 – не испытываете (находясь дома, не испытывали) усталость, 10 – испытываете (находясь дома, испытывали) сильнейшую усталость. Особый интерес для данного исследования представляла оценка иностранных обучающихся и студентов от усталости нехватки «новейторов» (рис. 4, 5).

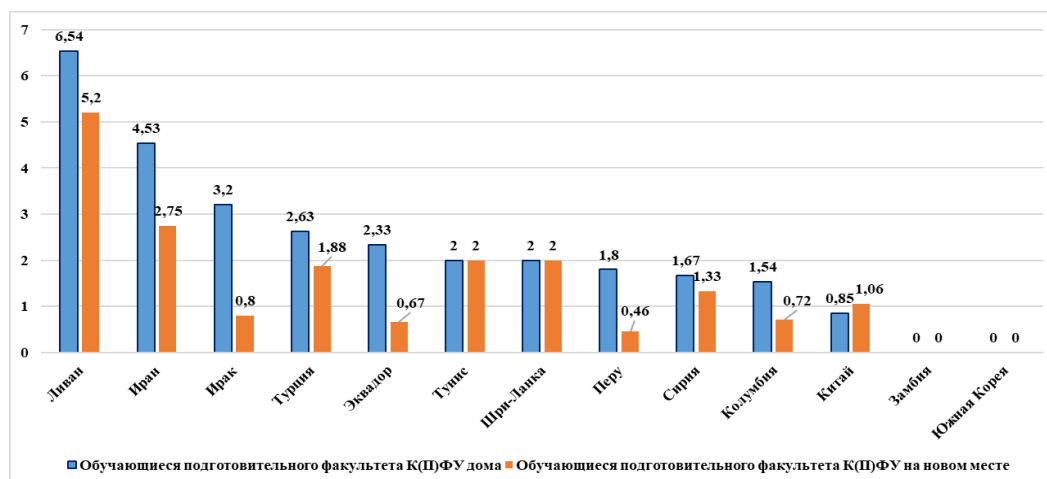


Рис. 4. Усталость от нехватки новейторов – совокупность всех видов положительной энергии, обладающей новизной, у обучающихся подготовительного факультета Казанского (Приволжского) федерального университета
Fig.4 Fatigue among students of the Preparatory Faculty, Kazan Federal University, caused by deficiency of 'noveitors'
(the totality of all types of positive energy possessing novelty)

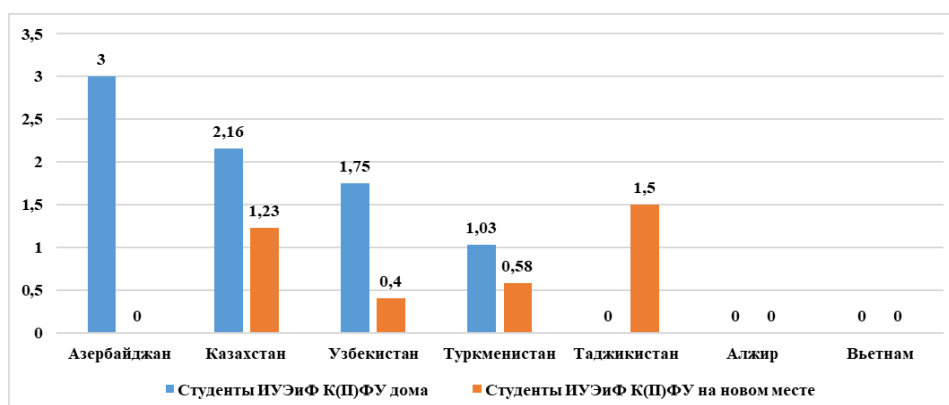


Рис.5. Усталость от нехватки «новейторов» – совокупности всех видов положительной энергии обладающей новизной у студентов Казанского (Приволжского) федерального университета
 Fig.5. Fatigue among students of Kazan Federal University caused by deficiency of 'noveitors'
 (the totality of all types of positive energy possessing novelty)

Заключение

Анкетирование, проведенное в Казанском (Приволжском) федеральном университете, выявило, что как обучающиеся подготовительного факультета, так и студенты указали невысокие уровни усталости. Практически по всем 22 видам усталости обучающиеся подготовительного факультета выбирали более высокий уровень усталости, чем студенты КФУ, как во время нахождения у себя на родине, так и во время нахождения в г. Казани. Это связано с особенностью контингента обучающихся на подготовительном факультете и с небольшим временем нахождения в Казани, когда еще происходит адаптация к новым условиям, а студенты соответствующий период уже прошли.

Согласно результатам анкетирования, такие показатели, как место рождения, тип местности населённого пункта у себя на Родине, образование, семейное положение, количество жителей в семье, наличие или отсутствие ребенка, национальность, религиозная принадлежность, отношение к религии, причины (причин) выбора для учебы другой стране и вуза, время нахождения на новом месте и сфера деятельности членов семьи и самих обучающихся и студентов не способны вызывать большие различия по уровню усталости. При ответах большое значение среди факторов сыграла страна приезда обучающихся и студентов. Еще один важный показатель – возраст участников анкеты (от 17 до 34 года). Исследования автора подтвердили, что с возрастом растет и уровень усталости по различным видам. Гендерные различия в ответах выявлены у представителей Турции, обучающихся на подготовительном факультете, и у представителей Туркмении. Если усталость более сильно выражена у турчанок, чем у турков, то с представителями Туркмении все наоборот – туркмены показали более высокий показатель усталости по сравнению с туркменками. От усталости нехватки новейторов (совокупности всех видов положительной энергии, обладающей новизной), за исключением нескольких стран, все ответили, что у себя на родине они испытывали более высокий уровень усталости, чем на новом месте, что доказывает значимость данного фактора в принятии решений для участия в миграциях. Таким образом, научная гипотеза, сформированная в начале работы, подтвердилась – у жителей зарубежных стран, приезжающих на временное проживание в другую страну, усталость от нехватки новейторов выражена сильнее по сравнению с новым временным местом проживания. В данном исследовании наиболее высокий уровень усталости по данному виду среди 20 стран выявлен у представителей Ливана, Ирана и Ирака.

Мнение иностранных студентов и обучающихся на подготовительном факультете Казанского (Приволжского) федерального округа подтверждает, что действительно очень многое зависит от макрорегиона приезда, а усталость от территории и нехватки новейторов сильнее выражена в том месте, где мигрант проживал долго.

Определены теоретическая и практическая значимость теории «новейторов». Человек как живое существо способен адаптироваться к любым жизненным ситуациям и условиям, адаптация к новому позволила выживать ему как виду. Приспосабливаясь, мы должны платить за мгновенность удовольствия, получаемого от нового происходящего в жизни каждого. Новейторы действуют на всех, и в зависимости от условий жизни только меняется их содержание. В течение продолжительного периода человек может быть «лишен» новейторов более высокого масштаба и довольствоваться «элементарными» и «небольшими» видами новейторов. В результате выделения 7 иерархических ступеней выяснено, что новейторы, появляющиеся благодаря миграции, больше всего представлены в 4 «больших» и 5 «крупных» уровнях. При этом, согласно видению автора, миграция не способна вызывать новейторы самых высоких – 6 и 7 – ступеней.

При рассмотрении данной теории в отношении миграции сталкиваемся с тем, что причины переезда могут быть связаны с самыми различными причинами, и, как показывает мировая практика, люди довольно часто вынуждены мигрировать, сталкиваясь с тяжёлыми жизненными ситуациями, невыносимостью жизни на прежнем месте. Человек в таком случае не старается получить положительные эмоции, а бежит от отрицательных, не хочет

быть более энергичным, а желает вернуться к нормальному, обычному состоянию. Для людей с тяжелой жизненной ситуацией, на взгляд автора, усталость от нехватки новейторов в течение продолжительного времени может потерять свое значение, а для определенных категорий людей, наоборот, может возрасти её роль. Поэтому для проверки состояния любого мигранта автор статьи предлагает определить уровни усталости, выделяя 22 её вида.

Библиографический список

1. Агафшин М.М., Горохов С.А., Дмитриев Р.В. Пространственная трансформация миграционной системы в период кризиса // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2023. Т. 68, № 1. С. 29–43. DOI: 10.21638/spbu07.2023.102
2. Александрова А.Ю. Впечатления туриста как результат взаимодействия с инокультурной средой // Сервис в России и за рубежом. 2019. Т. 13, № 3 (85). С. 6–23. DOI: 10.24411/1995-042X-2019-10301
3. Арпентьева М.Р. Психология народонаселения и демографические тренды // Материалы III-й Международного демографического форума «Демография и глобальные вызовы». Пленарное заседание. Секция 3. / отв. ред. Н.В. Яковенко. Воронеж: Издательство «Цифровая полиграфия», 2024. Т. 2. С. 143–153.
4. Батурина Н.В., Вяткина В.В. Психологические факторы внутренней миграции населения России // Психопедагогика в правоохранительных органах. 2020. Т. 25, № 2 (81). С. 155–159. DOI: 10.24411/1999-6241-2020-12005
5. Биктимиров Н.М. Этнодемографическое развитие населения Республики Татарстан в XX веке: монография. Казань: РИЦ «Школа», 2008. 195 с.
6. Бредникова О.Е. Время для временных: особенности измерения времени для трудовых мигрантов из Средней Азии в Россию // Антропология интердисциплинарности: тезисы международной научной конференции «Второй Томский антропологический форум». Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2018. С. 6–7.
7. Валентей Д.И. О системе демографических знаний (1973) // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. 2016. № 4. С. 134–148.
8. Дарвин Ч. Выражение эмоций у человека и животных. СПб: Питер, 2001. 384 с.
9. Денисова Н. А. О природе жизненной энергии: монография. М.: Мир науки, 2016. 64 с. ISBN: 978-5-9907105-3-5
10. Дробижева Л.М. Психологический настрой принимающей стороны как фактор общественной атмосферы вокруг мигрантов // Миграция и информация: сборник трудов / под ред. Ж.А. Зайончковской. М.: АДАМАНТЪ, 2000. С. 74–82.
11. Казьмина О.Е., Пучков П.И. Основы этнодемографии: учеб. пособие. М.: Наука, 1994. 253 с.
12. Осипов Ф.М. Значение эмоций в профессиональной жизни человека // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2023. Т. 2. С. 354–356.
13. Ростовская Т.К., Скоробогатова В.И., Васильева Е.Н. Образовательная миграция в контексте геополитических вызовов: монография / отв. ред. Т.К. Ростовская. М.: Проспект, 2023. 128 с.
14. Рыбаковский Л.Л., Маевский Д.П., Кожевникова Н.И. Миграционная подвижность населения и её измерение // Народонаселение. 2019. № 2. С. 4–14. DOI: 10.24411/1561-7785-2019-00011
15. Савоскул М.С. Формирование и эволюция российско-германской транснациональной миграционной системы: специальность 25.00.24 «Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география»: диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук / под ред. М. С. Савоскул. М., 2016. 483 с.
16. Смирнова С.В. Внешняя трудовая миграция как фактор благополучной жизни: социально-экономический и психологический аспекты // Вестник Института мировых цивилизаций. 2012. № 6. С. 154–159.
17. Столбов В.А., Шарыгин М.Д. Поведенческая география: учеб. пособие. Перм. гос. ун-т. Пермь, 2009. 354 с. ISBN: 978-5-7944-1345-8
18. Трейвиш А.И. Новизна в науке и жизни с позиций экономико-географа // Региональные исследования. 2021. № 3 (73). С. 88–99. DOI: 10.5922/1994-5280-2021-3-8
19. Фрейд З. Основные психологические теории в психоанализе. Очерк истории психоанализа: сборник. СПб: «Алетейя», 1998. 251 с.
20. Шупер В.А. Самоорганизация на переломе траектории социально-экономического развития: вызовы для России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2020. № 1. С. 147–155. DOI: 10.31857/S2587556620010173
21. Larsen S. Aspects of a Psychology of the Tourist Experience. Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism. 2007. No. 7 (1). P. 7–18.
22. Yija la A., Jasinskaja-Lahti I. Pre-migration acculturation attitudes among potential ethnic migrants from Russia to Finland // International Journal of Intercultural Relations. 2010. Vol. 34. P. 326–339. DOI: 10.1016/j.ijintrel.2009.09.002

References

1. Agafoshin M.M., Gorokhov S.A., Dmitriev R.V. (2023) Spatial transformation of the migration system during the crisis. *Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences*. Vol.68, No.1. pp. 29–43.
2. Alexandrova A.Y. (2019) Impressions of a tourist as a result of interaction with a foreign cultural environment. *Service in Russia and abroad*. Vol. 13, No. 3(85). Pp. 6–23.
3. Arpentieva M.R. (2024) Psychology of population and demographic trends. *Proceedings of the III-th International Demographic Forum "Demography and Global Challenges"*. Vol.2. The Plenary session. Section 3. / ed. by N.V. Yakovenko. Voronezh: Digital Polygraphy Publishing House, 2024. Pp.143–153.
4. Baturina N.V., Vyatkina V.V. (2020) Psychological factors of internal migration of the Russian population. *Psychopedagogy in law enforcement agencies*. Vol. 25, No. 2(81). Pp.155–159.
5. Biktimirov N.M. (2008) *Ethnodemographic development of the population of the Republic of Tatarstan in the XX century*. Kazan: RIC "School", 195p.
6. Brednikova O.E. (2018) Time for temporary workers: features of time measurement for labor migrants from Central Asia to Russia. *Anthropology of interdisciplinarity: Abstracts of the international scientific conference "The Second Tomsk Anthropological Forum"*. Tomsk: National Research Tomsk State University.

Экономическая, социальная и политическая география

Биктимиров Н.М.

7. Valenty D.I. (2016). On the system of demographic knowledge (1973). *Bulletin of Moscow University. Series 6: Economics*. Pp. 134–148.
8. Darwin Ch. (1953) The expression of emotions in humans and animals. M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences.
9. Denisova N.A. (2016). On the nature of vital energy. Monograph M.: The World of Science. 64 p.
10. Drobizheva L.M. (2000). The psychological attitude of the receiving party as a factor of the social atmosphere around migrants. *Migration and information*. Collection of works edited by J.A. Zayonchkovskaya. Moscow: Pp.74–82.
11. Kazmina O.E., Puchkov P.I. (1994). *Fundamentals of ethnodemography: Studies.the manual*. M.: Nauka. 253 p .
12. Osipov F.M. (2023). The importance of emotions in a person's professional life. *Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality" Vol. 2*. Pp. 354–356.
13. Rostovskaya T.K., Skorobogatova V.I., Vasilyeva E.N. (2023). *Educational migration in the context of geopolitical challenges*. Ed. by T. K. Rostovskaya. Moscow: Prospekt, 128 p.
14. Rybakovsky L.L., Mayevsky D.P., Kozhevnikova N.I. (2019) Migration mobility of the population and its measurement. *Population*. No. 2. Pp. 4–14.
15. Savoskul M.S. (2016) Formation and evolution of the Russian-German transnational migration system: specialty 25.00.24 "Economic, social, political and recreational geography": dissertation for the degree of Doctor of Geographical Sciences / Savoskul Maria Sergeevna. Moscow, 483 p.
16. Smirnova S.V. (2012) External labor migration as a factor of a prosperous life: socio-economic and psychological aspects. *Bulletin of the Institute of World Civilizations*. No. 6. Pp. 154–159.
17. Stolbov V.A., Sharygin M.D. *Behavioral geography: textbook*. stipend. Perm State University. Perm, 2009. 354 p.
18. Treivish A.I. (2021) Novelty in science and life from the perspective of an economic geographer. *Regional studies*. № 3(73). Pp. 88–99.
19. Freud Z. (1998). Basic psychological theories in psychoanalysis. An essay on the history of psychoanalysis. Collection. St. Petersburg, "Aletya".
20. Shuper V.A. (2020). Self-organization at a turning point in the trajectory of socio-economic development: challenges for Russia. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. The series is geographical*. No.1. Pp. 147–155.
21. Larsen S. (2007). Aspects of a Psychology of the Tourist Experience. *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism*, 7(1), 7-18.
22. Yija la A., Jasinskaja-Lahti I. (2010). Pre-migration acculturation attitudes among potential ethnic migrants from Russia to Finland. *International Journal of Intercultural Relations*. 2010. vol. 34, Pp. 326–339.

Статья поступила в редакцию: 09.01.25, одобрена после рецензирования: 20.02.25, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 9 January 2025; approved after review: 20 February 2025; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторе

Нияз Миннахматович Биктимиров

кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой туризма и гостиничного дела Казанского (Приволжского) федерального университета; 420008, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

Information about the author

Niyaz M. Biktimirov

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Tourism and Hotel Management of Kazan Federal University; 18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Republic of Tatarstan, Russia

e-mail: Niyaz825@mail.ru

Гидрология

Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д., Краморенко С.В.

ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 504.058

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-73-85

ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РЕКУ ИРТЫШ И ЕЕ ПРИТОКИ
С ВОДОСБОРНОЙ ПЛОЩАДИСпартак Геннадьевич Яковченко¹, Ирина Владимировна Жерелина², Ирина Дмитриевна Рыбкина³,
Сергей Васильевич Краморенко⁴^{1,2} ООО «Центр инженерных технологий», г. Барнаул, Россия³ Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН, г. Барнаул, Россия⁴ Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, Россия¹ spartak.cet@gmail.com, РИНЦ Author ID: 1250, Scopus Author ID: 55299965900² zherelina@mail.ru, РИНЦ Author ID: 158132, Scopus Author ID: 36500590700, ORCID: 0000-0003-1446-4087³ irina.rybkina@mail.ru, РИНЦ Author ID: 424585, Scopus Author ID: 55949918000, ORCID: 0000-0002-0081-9652⁴ selim-555@yandex.ru

Аннотация. Актуальность исследования определена необходимостью оценки вклада Республики Казахстан в поступление тяжелых металлов в р. Иртыш и ее притоки для урегулирования вопросов улучшения качества воды и укрепления добрососедских отношений в бассейне трансграничной р. Иртыш. Цель – количественная оценка поступления тяжелых металлов в реку Иртыш и ее притоки с территории металлогенических зон, включая участки, нарушенные горной добычей, для оценки вклада трансграничного переноса в формирование качества воды р. Иртыш на территории России. В результате проведенного исследования определено, что в бассейне р. Иртыш основной сток тяжелых металлов формируется на территории металлогенических зон Восточного Урала и Казахстана, в границах которых ведется добыча и переработка рудных полезных ископаемых. В трансграничных створах на формирование качества воды р. Иртыш и ее притоков прежде всего оказывает влияние водосборная площадь ниже каскадов водохранилищ, созданных на реках Иртыш, Тобол и Ишим на казахстанской части бассейна. Установлено, что диффузный сток тяжелых металлов в р. Тобол с нарушенных территорий рудоносной зоны Восточного Урала на несколько порядков выше их фонового поступления, при этом значительна роль процессов осаждения тяжелых металлов в донные осадки. Вклад Республики Казахстан в загрязнение р. Иртыш и ее притоков наиболее существенен для р. Ишим и р. Иртыш на участке до впадения р. Ишим, незначителен в загрязнение р. Тобол, а ниже впадения р. Тобол практически не прослеживается. Полученные выводы сделаны на основании достаточно ограниченного объема исходных данных, в связи с чем нуждаются в дополнительном обосновании на основе комплексных натурных исследований физико-химических процессов трансформации и миграции тяжелых металлов в почвах и техногенных образованиях металлогенических зон Восточного Урала и Северного Казахстана.

Ключевые слова: диффузное загрязнение водных объектов, металлогенические зоны, горнодобывающие предприятия, нарушенные территории, трансграничный перенос, тяжелые металлы, бассейн р. Иртыш

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (22–14–НИР/02).

Для цитирования: Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д., Краморенко С.В. Оценка поступления тяжелых металлов в реку Иртыш и ее притоки с водосборной площади // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 73–85. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-73-85

HYDROLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-73-85

ASSESSMENT OF HEAVY METAL INPUT INTO THE IRTYSH RIVER AND ITS TRIBUTARIES
FROM THE CATCHMENT AREASpartak G. Yakovchenko ¹, Irina V. Zherelina ², Irina D. Rybkina ³, Sergey V. Kramorenko ⁴^{1,2} Engineering Technologies Center, ООО (LLC), Barnaul, Russia³ Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul, Russia

© 2025 Эта работа Яковченко С.Г., Жерелиной И.В., Рыбкиной И.Д., Краморенко С.В. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Гидрология

Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д., Краморенко С.В.

⁴ Institute of Economics and Industrial Engineering, SB RAS, Novosibirsk, Russia¹ spartak.cet@gmail.com, RSCI Author ID: 1250, Scopus Author ID: 55299965900² zherelina@mail.ru, RSCI Author ID: 158132, Scopus Author ID: 36500590700, ORCID: 0000-0003-1446-4087³ irina.rybkina@mail.ru, RSCI Author ID: 424585, Scopus Author ID: 55949918000, ORCID: 0000-0002-0081-9652⁴ selim-555@yandex.ru

Abstract. It is essential to assess the contribution of the Republic of Kazakhstan to the flow of heavy metals into the Irtysh River and its tributaries through transboundary stations in order to resolve the issues of improving water quality and strengthening good neighborly relations in the basin of the transboundary Irtysh River. The paper aims to: quantitatively assess the influence that natural and anthropogenic geological and geochemical factors have on heavy metal pollution of the Irtysh River and its tributaries in the Russian and Kazakhstan parts of the catchment area; estimate the transboundary transfer of heavy metals with waters of the Irtysh, Ishim, and Tobol rivers. The study has shown that in the Irtysh River basin the main runoff of heavy metals is formed on the territory of the metallogenic zones of the Eastern Urals and Kazakhstan, within the boundaries of which ore minerals are mined and processed. At transboundary sites, the water quality of the Irtysh River and its tributaries is mainly influenced by the catchment area downstream of the cascades of reservoirs created on the Irtysh, Tobol, and Ishim rivers in the Kazakh part of the basin. It has been established that the diffuse runoff of heavy metals into the Tobol River from the disturbed territories of the ore-bearing zone in the Eastern Urals is several orders higher than their background inflow, with a significant role of heavy metal deposition in bottom sediments. The contribution of the Republic of Kazakhstan to the pollution of the Irtysh River and its tributaries is most significant for the Ishim River and the Irtysh River in the section up to the confluence of the Ishim River; Kazakhstan's contribution to the pollution of the Tobol River is insignificant; such contribution is practically not traceable below the confluence of the Tobol River. The conclusions obtained are made on the basis of a rather limited amount of initial data, and therefore require additional justification based on comprehensive field studies into physicochemical processes of heavy metals transformation and migration in soils and anthropogenic formations of metallogenic zones in the Eastern Urals and Northern Kazakhstan.

Keywords: diffuse pollution of water bodies, metallogenic zones, mining enterprises, disturbed territories, transboundary transfer, heavy metals, Irtysh River basin

Funding. The research was carried out as part of the state program 'Scientific and Technological Development of the Russian Federation' (22-14-NIR/02).

For citation: Yakovchenko, S.G., Zherelina, I.V., Rybkina, I.D., Kramorenko, S.V. (2025). Assessment of heavy metal input into the Irtysh River and its tributaries from the catchment area. *Geographical Bulletin*. 2025. No. 1(72). Pp. 73–85. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-73-85

Введение

Проблема загрязнения трансграничной р. Иртыш и ее притоков тяжелыми металлами актуальна как для России, так и для Казахстана, особенно остро стоит вопрос трансграничного переноса тяжелых металлов с территории Республики Казахстан на территорию Российской Федерации [2, 26, 27]. Однако доля вклада каждой из стран в загрязнение р. Иртыш и ее притоков тяжелыми металлами, оценка природной и антропогенной составляющих, участие локальных и диффузных источников загрязнения недостаточно изучены.

В первом приближении количественная оценка поступления тяжелых металлов (меди и цинка) в р. Иртыш с российской части водосборной площади выполнена с использованием модели ILLM, описанной в числе других в материалах Хельсинской комиссии как приемлемой для расчета внешней нагрузки на водные объекты и прошедшей верификацию на водных объектах Северо-Запада России [10, 12, 28]. Результаты моделирования показали, что вклад локальных источников в загрязнение р. Иртыш тяжелыми металлами составляет в среднем по меди – 0,6 %, по цинку – 4 %, при этом большая их часть поступает с водосборной площади Тобола. Основной вклад вносит рассредоточенный вынос металлов с водосбора, где доминирует природная (фоновая) составляющая, на которую приходится более 70 % как по меди, так и по цинку. Однако, как отмечают авторы, в связи с отсутствием и неполнотой необходимых исходных данных для проведения моделирования полученные результаты являются приближенными и нуждаются в дальнейшем уточнении [11]. Кроме того, формирование внешней нагрузки тяжелыми металлами на р. Иртыш на казахстанской части водосбора в работе не рассматривалось.

В то же время проблема трансграничного переноса тяжелых металлов стоит очень остро и является предметом обсуждения на заседаниях рабочих групп по Иртышу, Ишиму и Тоболу в составе Совместной Российско-Казахстанской комиссии по использованию и охране трансграничных водных объектов. Одним из важнейших вопросов международного сотрудничества Казахстана и России является предотвращение трансграничного воздействия [23].

Цель работы – получение приближенной количественной оценки поступления тяжелых металлов в р. Иртыш и ее притоки с территории металлогенических зон, включая участки, нарушенные горной добычей, для оценки вклада трансграничного переноса в формирование качества воды р. Иртыш на территории России. Оценка проводится по опубликованным экспериментальным данным и открытым данным мониторинга недропользователей. В связи с тем, что при приближенной оценке по модели ILLM и в расчетах, базирующихся на данных мониторинга недропользователей, используются разные исходные данные и методы, представляет интерес сравнение полученных результатов.

Гидрология

Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д., Краморенко С.В.

Материалы и методика

Бассейн р. Иртыш расположен на территории четырех государств: России, Казахстана, Китая и Монголии. Часть водосбора, занятая Монголией, практически не освоена, очень мала по площади, составляющей 0,1 % (1,4 тыс. км²) от общей площади бассейна. Территория Китая в бассейне Иртыша также невелика (51,3 км², или 4,5 %), расположена выше оз. Зайсан на водосборе р. Черный Иртыш; трансграничный створ Китая и Казахстана удален от российской-казахстанской границы более чем на 1,5 тыс. км. В связи с этим можно предположить, что влияние Монголии и Китая на формирование качества воды р. Иртыш на российской части водосбора будет ничтожно мало и может не учитываться.

На территории России и Казахстана в границах бассейна р. Иртыш расположены металлогенические зоны, активно ведется добыча и переработка рудных полезных ископаемых. Геологическая среда, включающая породы с повышенной концентрацией соединений тяжелых металлов, является одним из важнейших факторов, определяющих их вынос с водосборной площади. Поступление тяжелых металлов этого генезиса делится на природную составляющую, представленную стоком с территорий ненарушенных горной добычей, и техногенную составляющую – сток с территорий добычи и переработки полезных ископаемых. Местоположение нарушенных территорий на участках добычи полезных ископаемых тесно связано с местами концентрации соединений тяжелых металлов в геологической среде (рис. 1). Соединения железа, меди, цинка и марганца являются основными в разрабатываемых месторождениях, прочие тяжелые металлы (кадмий, свинец, ртуть, никель, хром), как правило, сопутствуют им. Местоположение месторождений тяжелых металлов находится в зависимости не только от металлогенических зон, но и от гидрогеологических регионов [17]. В этой связи для оценки влияния геолого-геохимических факторов на загрязнение тяжелыми металлами водных объектов ареал распространения рудоносной полосы принят приближенно совпадающим с территорией соответствующего ему гидрогеологического региона.

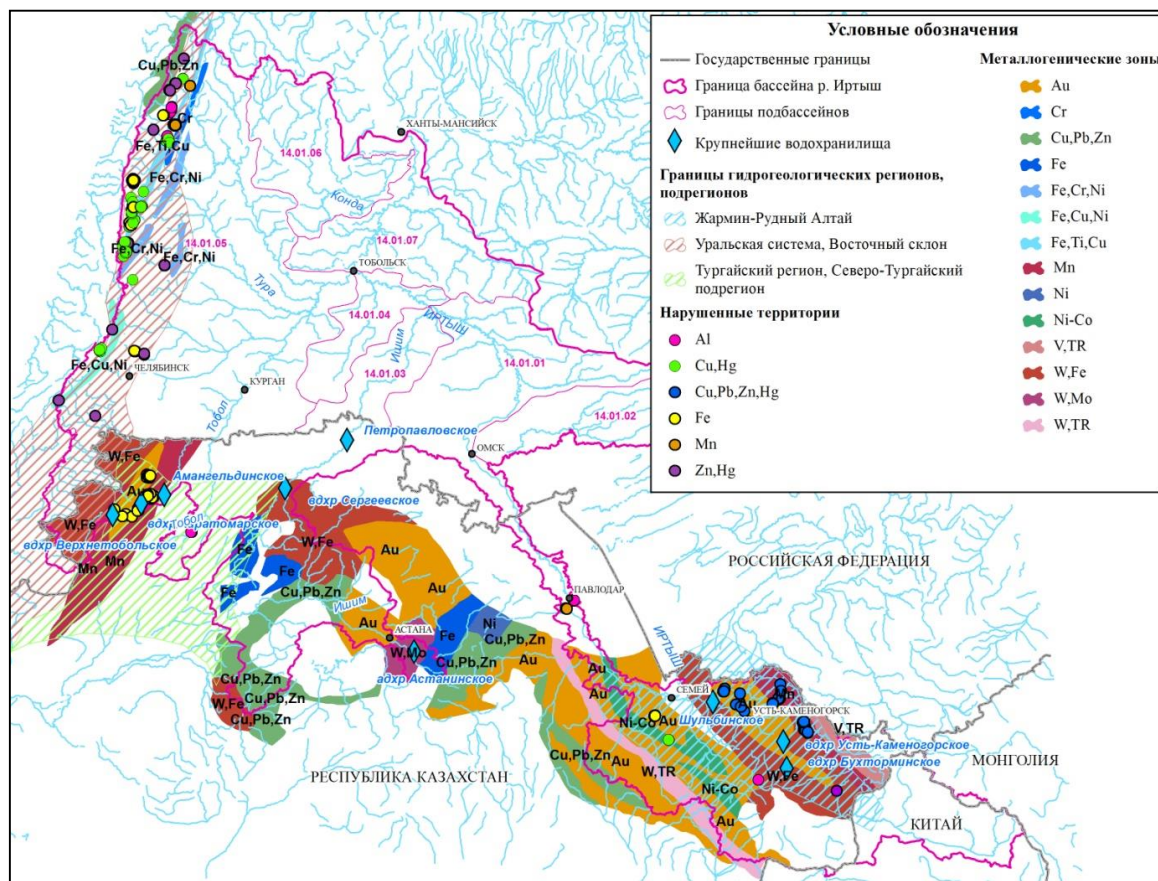


Рис. 1. Металлогенические зоны и гидрогеологические регионы в границах бассейна р. Иртыш, составлено авторами по: [1, 3, 4, 6, 8, 13, 14, 16, 20]

Fig. 1. Metallogenic zones and hydrogeological regions within the boundaries of the Irtysh River basin, compiled by the authors from: [1, 3, 4, 6, 8, 13, 14, 16, 20]

Гидрология

Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д., Краморенко С.В.

Сток реки Иртыш и ее крупнейших притоков – Ишима и Тобола – на территории Казахстана зарегулирован каскадами водохранилищ (рис. 1). В водохранилищах при снижении скорости течения происходит осаждение тяжелых металлов и их накопление в донных отложениях. М.С. Паниным на основе анализа большого объема натурных данных по водосборам 10 правых притоков р. Иртыш (суммарная площадь 35 275 км²), водосборам 15 левых притоков р. Иртыш (суммарная площадь 45 901 км²) и водосбору собственно р. Иртыш (площадь 173 190 км²) выполнена оценка поступления тяжелых металлов в речную систему Иртыша в границах Семипалатинского Прииртышья [18]. В табл. 1 приведены результаты расчетов М.С. Панина и объем тяжелых металлов в трансграничном створе р. Иртыш – с. Татарка по данным наблюдений Росгидромета за период 1987–2020 гг.

В результате анализа данных, представленных в табл. 1, можно сделать вывод, что с левобережной части Семипалатинского Прииртышья в р. Иртыш тяжелых металлов поступает на несколько порядков меньше, чем с водосборной площади правобережных притоков и собственно р. Иртыш, где ведется активная добыча и переработка металлических руд. К трансграничному створу в с. Татарка содержание тяжелых металлов в воде существенно снижается, что свидетельствует о значительной роли процессов осаждения тяжелых металлов в водохранилищах и на транзитном участке Иртыша ниже Шульбинского водохранилища.

Таблица 1

Сравнительная оценка поступления тяжелых металлов с водосборной площади р. Иртыш в Республике Казахстан и наблюдения Росгидромета в трансграничном створе

Comparative assessment of heavy metal inputs from the Irtysh River catchment area in the Republic of Kazakhstan and according to observations of the Roshydromet (Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring) at the transboundary gauging station

Створ/участок	Тяжелые металлы, тонн/год						Всего
	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	Cr	
Трансграничный створ р. Иртыш – с. Татарка, т/год	557	243	1 080	10,6	0,19	25,9	1916,69
Суммарная нагрузка на водосборе собственно р. Иртыш, т/год [18, табл. 159]	33 700	19 100	30 300	13 400	589	6 600	103689
Суммарная нагрузка на водосборе 10 правых притоков р. Иртыш, т/год [18, табл. 159]	99 400	27 000	32 200	9 050	6000	2 160	175810
Суммарная нагрузка на водосборе 15 левых притоков р. Иртыш, т/год [18, табл. 159]	307	236	283	145	13,8	50,9	1035,7

Таким образом, следует предположить, что основное влияние на загрязнение р. Иртыш тяжелыми металлами оказывают территории, расположенные ниже каскадов водохранилищ, роль гидрогеологического региона Жармин-Рудный Алтай менее значима для формирования химического стока р. Иртыш на границе с Российской Федерацией. Следовательно, оценку поступления тяжелых металлов в р. Иртыш и ее притоки с казахстанской части бассейна целесообразно проводить только для водосборной площади ниже каскадов водохранилищ. Влияние Усть-Каменогорского промышленного узла на качество воды р. Иртыш не рассматривается, так как оно на границе с Российской Федерации с большой долей вероятности не прослеживается.

Ввиду различной степени изученности водосборной площади Иртыша в Казахстане и России, обеспеченности данными по выносу тяжелых металлов, использованы различные методики оценки. Общим методическим подходом является количественный и пространственный анализ величин среднегодовых потоков тяжелых металлов через заданные створы, рассчитанных на основе данных по концентрациям тяжелых металлов и водному стоку.

На российской части водосбора р. Иртыш слой стока поверхностных вод рассчитан по данным среднегодовых значений наблюдений Росгидромета за период 1987–2020 гг. Источники диффузного загрязнения на территориях, нарушенных горными работами, определены по опубликованным [9, 17, 19, 21, 22, 25], картографическим и спутниковым данным открытого доступа. Фоновое поступление тяжелых металлов – по фоновым концентрациям тяжелых металлов в поверхностных и трещинно-грунтовых водах [1]. Для оценки концентраций тяжелых металлов в поверхностном стоке с территорий, нарушенных горными работами, применен метод аналогии. В качестве модельных объектов использованы горные предприятия, расположенные в бассейне р. Урал [1, 6], по причине отсутствия подобных исследований в бассейне р. Иртыш.

Оценка вклада Республики Казахстан в загрязнение р. Иртыш тяжелыми металлами выполнена по данным среднегодовых значений наблюдений Росгидромета за период 1987–2020 гг. в трансграничных створах, в связи с отсутствием достоверной информации о характеристиках стока тяжелых металлов потенциальных источников диффузного загрязнения р. Иртыш на территории Казахстана. Доля вклада Республики Казахстан в загрязнение р. Иртыш и ее притоков по длине гидрографической сети оценена методом математического моделирования на основе уравнения баланса годового потока тяжелых металлов на участках речной сети.

Гидрология

Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д., Краморенко С.В.

Результаты

Оценка поступления тяжелых металлов с восточного склона Урала
(водосборная площадь р. Тобол)

В поверхностных и трещинно-грунтовых водах рудоносной полосы Восточного Урала среднее значение фоновых концентраций составляет для меди – 0,001 мг/л, для цинка – 0,005 мг/л [1]. Концентрации других микроэлементов оценены исходя из предположения о близости соотношения между концентрациями микроэлементов в околорудных водах и их концентрациями в поверхностных и трещинно-грунтовых водах, так как процессы трансформации тяжелых металлов в целом подобны. Таким образом, фоновые концентрации свинца, марганца, никеля и хрома в поверхностных и трещинно-грунтовых водах оценены с использованием среднего по муниципальным районам Республики Башкирии (Учалинский, Баймакский, Бурибай-Гайский районы) отношения концентраций микроэлементов к концентрации меди и цинка в околорудных водах этих же районов (табл. 2). Фоновое (природное) поступление тяжелых металлов с площади гидрогеологических регионов рассчитано как произведение слоя стока поверхностных вод (табл. 3) на концентрацию тяжелых металлов (табл. 2) и приведено в табл. 4.

Таблица 2

Фоновые концентрации микроэлементов в поверхностных и трещинно-грунтовых водах
Background concentrations of trace elements in surface and fracture-soil waters

Тяжелые металлы	Концентрация в околорудных водах, мг/л [1, табл. 7, 8]			Средний коэффициент к концентрации меди в околорудных водах	Средний коэффициент к концентрации цинка в околорудных водах	Пересчет в фоновые значения для поверхностных и трещинно-грунтовых вод, мг/л
	Учалинский район	Баймакский район	Бурибай-Гайский район			
Медь	0,1	0,5	0,5	1,0000	0,5970	0,001*
Цинк	0,8	0,4	1,2	3,7300	1,0000	0,005*
Свинец	0,02	0,01	0,08	0,1270	0,0389	0,0001610
Марганец	0,1	0,2	0,5	0,8000	0,3472	0,0012700
Никель	0,001	0,001	0,01	0,0107	0,0040	0,0000154
Хром	0	0,001	0,001	0,0013	0,0011	0,0000034

Примечание: * – измеренные средние значения [1, 15]

Note: * - measured mean values [1, 15]

Таблица 3

Рассчитанный слой стока поверхностных вод с территории гидрогеологических регионов бассейна р. Иртыш
Calculated layer of surface water runoff from the territory of hydrogeological regions in the Irtysh River basin

Гидрогеологический регион, подрегион	Площадь, км ²	Слой стока, мм/год	Источник
Уральская система, Восточный склон Урала	139000	127	Среднее значение по водосборной площади 83 водотоков
Жармин-Рудный Алтай (правый берег р. Иртыш)	70300	1010	Среднее значение по водосборной площади 5 правых притоков Иртыша
Жармин-Рудный Алтай (левый берег р. Иртыш)	126000	410	Водосборная площадь р. Таинты (гидрологический пост р. Таинты – с. Таинты)
Тургайский регион, Северо-Тургайский подрегион (водосбор Тобола и Ишим на территории Казахстана)	52700	434	Водосборная площадь р. Тобол (гидрологический пост р. Тобол – с. Звериноголовское)

Таблица 4

Оценка фоновой (природной) поступления тяжелых металлов с восточного склона Уральских гор, тонн
Estimated background (natural) input of heavy metals from the eastern slope of the Ural Mountains, tons

Тяжелые металлы	Фоновое (природное) поступление, тонн
Цинк	88,4
Медь	17,7
Никель	0,272
Марганец	22,4
Свинец	2,84
Хром	0,061

Приближенная оценка поступления тяжелых металлов в водные объекты Иртыша с техногенных территорий (диффузный сток) проведена методом аналогии, при котором характеристики модельного объекта распространяются на прочие объекты этого типа. В связи с тем, что для рудоносной зоны Восточного Урала наиболее распространенными потенциальными источниками диффузного загрязнения являются предприятия по добыче меди и цинка (табл. 5), в качестве модельного объекта принято Учалинское медно-цинковое месторождение (Республика Башкортостан) [1]. Дополнительно в качестве модельных объектов использованы Карпушихинское, Левихинское, Дегтярское, Пышминско-Ключевское медноколчедановые месторождения (Свердловская область) [6].

Гидрология

Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д., Краморенко С.В.

Таблица 5

Объекты горнодобывающей промышленности – источники диффузного загрязнения
Mining facilities being sources of diffuse pollution

Тип объекта	Число объектов / в т.ч. отрабо- танных и закон- сервированных	Площадь объектов, специализирующихся на добыче руд определенного типа, км ²					Общая пло- щадь, км ²
		Cu	Cu, Ni	Fe	Mn	Ni	
Шахты	30 / 17	не определена					
Карьер	54 / 29	1,4	5,7	17,7	0,8	1,8	27,4
Отвал	68 / 27	20,8	11,4	8,9	0,3	10,4	51,9
Хвостохранилище / шламохранилище	23 / 10	17,3	0,9	20,5	5,1	–	43,8
Зона влияния ГОК, ИФ	39 / 20	6,8	0,5	1,1	0,2	0,5	9,0
Итого	214/103	46,3	18,5	48,2	6,3	12,7	132,1

Примечание: ГОК – горно-обогатительный комбинат, ИФ – извлекательная фабрика

Note: ГОК - mining and processing plant, ИФ - extraction plant

На первом этапе выполнена схематизация источников диффузного загрязнения, расположенных на территориях, нарушенных предприятий горнодобывающей отрасли, по особенностям их взаимодействия с грунтовыми и поверхностными водами. В результате анализа выделено 6 типов источников: шахты, карьеры, отвалы, шламохранилища, хвостохранилища, зоны влияния (производственная и селитебная территории, загрязненные выбросами ГОК, ИФ). В силу близости генезиса, спектра и концентраций тяжелых металлов загрязненные воды объединены в 4 группы: а) шахтные и карьерные, б) подотвальные, в) фильтрат хвостохранилищ и шламохранилищ, г) сточные воды с территории зоны влияния ГОК и ИФ. Концентрации тяжелых металлов в диффузном стоке приняты по данным измерений модельных объектов (табл. 6).

Диффузный сток с нарушенных территорий рассчитан как произведение годового поверхностного и грунтового стока с площади источника загрязнения и концентрации тяжелых металлов в стоке. Для Восточного Урала ввиду высокой проницаемости поверхностного слоя почвогрунтов [1] и небольшой величины осадков слой грунтового стока принят близким к слою суммарного стока. Результаты расчетов приведены в табл. 7.

Таблица 6

Концентрации тяжелых металлов в загрязненных водах поверхностных водных объектов на территориях,
нарушенных горной добычей [1, 6]

Concentrations of heavy metals in polluted waters of surface water bodies in areas disturbed by mining operations [1, 6]

Группа загрязненных вод	Концентрация, мкг/литр					
	Zn	Cu	Ni	Mn	Pb	Cr
Шахтные и карьерные воды [6]	68,4	7,13	–	7,40	–	–
Подотвальные воды [1, 6]	1500	830	0,008	0,005	0,008	0,030
Фильтрат хвостохранилищ и шламохранилищ [6]	0,185	–	18,2	69,6	0,170	0,185
Сточные воды с территории зоны влияния ГОК и ИФ [6]	326	1030	–	2050	109	–

Таблица 7

Диффузный сток тяжелых металлов с территории горнодобывающих предприятий Восточного Урала

Diffuse runoff of heavy metals from the territory of mining enterprises in the Eastern Urals

Тип объекта	Диффузный сток, тонн/год					
	Zn	Cu	Ni	Mn	Pb	Cr
Шахты*	5130	535	0	555	0	0
Карьеры**	238	24,8	0	25,8	0	0
Отвалы	9870	5470	0,05	0,03	0,05	0,2
Шламохранилища/ хвостохранилища	1,03	0	101	387	0,95	1,03
Зоны влияния ГОК, ИФ	373	1170	0	2350	124	0
Итого	15612,03	7199,8	101,05	3317,83	125,0	1,23

Примечание: * – все шахтные поля рассматривались как действующие, водопиток для одного поля принят 285 м³/час (средний по годам водопиток/излив по Дегтярскому и Гумешевскому месторождениям по [6]); ** – все карьеры рассматривались как отработанные

Note: * – all mine fields were considered as operating, water inflow for one field was assumed to be 285 m³/hour (annual average water inflow/outflow for Degtyarskoye and Gumeshevskoye fields according to [6]); ** – all quarries were considered as worked-out

При отсутствии гидрохимических пунктов Росгидромета на территории исследуемого района для верификации результатов расчетов использованы суммарные значения тяжелых металлов в поверхностном стоке притоков р. Тобол, исток которых находится в рассматриваемом районе (приняты верхние по течению рек створы наблюдений). Расчеты выполнены по среднегодовым концентрациям тяжелых металлов, среднесезонному модулю стока или модулю стока для года 50 % обеспеченности по данным [5]. Результаты расчетов представлены в табл. 8.

Гидрология

Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д., Краморенко С.В.

Таблица 8

Среднегодовое гидрохимическое стока тяжелых металлов в отдельных створах рек, имеющих исток в рудоносной зоне Восточного Урала по [5]

Average annual hydrochemical runoff of heavy metals in some river cross-sections for rivers having their source in the ore-bearing zone of the Eastern Urals according to [5]

Река	Номер створа [5]	Среднегодовое гидрохимическое стока тяжелых металлов, тонн/год				
		Zn	Cu	Ni	Mn	Cr
Тура (устье)	130-12	56,2	204	21,1	1760	—
Исеть (устье)	129-12	203	51,3	11,2	178	—
Синара	129-3	3,46	2,09	1,37	20,9	0
Теча	129-4	8,23	1,90	0,00	16,8	0
Миасс	128-1	2,14	1,55	0,27	5,04	0
Уй	132-3	11,9	5,71	20,2	130	0

Оценка вклада Республики Казахстан в загрязнение р. Иртыш тяжелыми металлами

В Республике Казахстан основные отрасли промышленности представлены добычей рудных полезных ископаемых и металлургией. Предприятия этих отраслей, являющиеся потенциальными источниками загрязнения территории и водных объектов тяжелыми металлами, расположены преимущественно в бассейне р. Иртыш, в границах бессточных областей Иртыш-Ишимского и Ишим-Тобольского междуречий. В результате анализа опубликованных данных, а также доступной технической документации недропользователей [9, 17, 19, 21, 22, 25] выявлено 10 предприятий, на территории которых расположены потенциальные источники диффузного загрязнения (рис. 2).

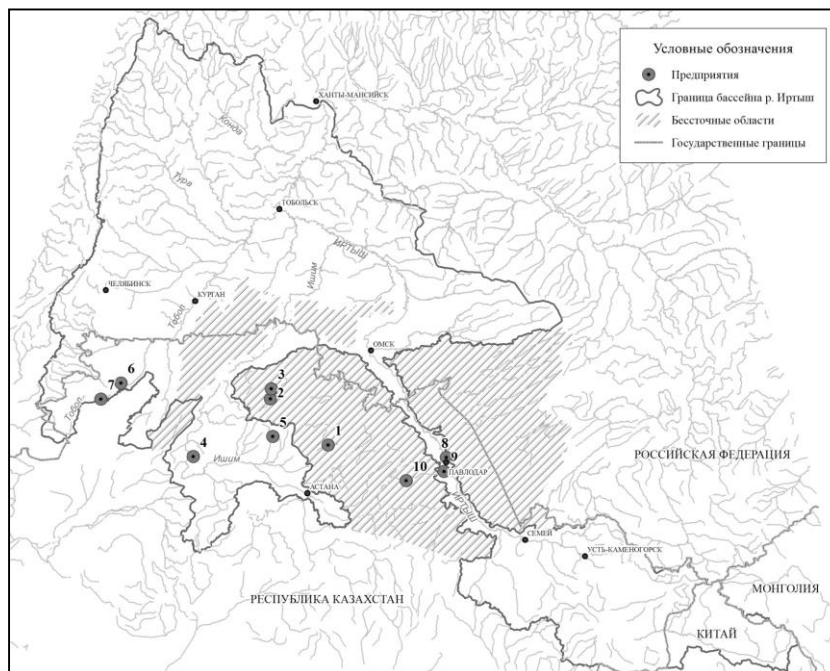


Рис. 2. Местоположение основных потенциальных источников загрязнения р. Иртыш и ее притоков тяжелыми металлами на территории Северного Казахстана: 1 – ТОО «Степногорский горно-химический комбинат»;

2 – ТОО «AltyntauKokshetau» (бывший Васильковский ГОК); 3 – ТОО «Тиолайн», Обуховский ГОК; 4 – ТОО «Масальский ГОК»; 5 – ТОО «RGOLD», ЗИФ ГОК «Райгородок»; 6 – Соколовско-Сарбайское горное производственное объединение; 7 – ТОО «Лисаковский ГОК»; 8 – ПО «Химпром»; 9 – АО «Транснациональная компания «Казхром», Аксусская ГРЭС; 10 – ТОО «Бозшакольский ГОК», KAZMinerals

Fig. 2. Main potential sources of heavy metal pollution of the Irtysh River and its tributaries located on the territory of Northern Kazakhstan: 1 – Stepnogorsk Mining and Chemical Combine, TOO (LLP); 2 – AltyntauKokshetau, TOO (LLP) (former Vasilkovsky GOK); 3 – Tioline, , TOO (LLP), Obukhovskiy GOK; 4 – Masalsky GOK, TOO (LLP); 5 – RGGOLD, TOO (LLP), ZIF GOK Raigorodok Mill; 6 – Sokolovsko-Sarbayskoye Mining Production Association; 7 – Lisakovskiy GOK, TOO (LLP); 8 – PO Khimprom; 9 – Transnational Company Kazchrome, AO (JSC), Aksusskaya SDPP; 10 – Bozshakolskiy GOK, TOO (LLP), KAZMinerals

Количественная оценка их влияния на загрязнение водных объектов тяжелыми металлами затруднена в связи с тем, что на большинстве из них мониторинг проводится только локальными скважинами по основному направлению стока. Исключение составляет ТОО «Степногорский горно-химический комбинат», на котором в советские годы была создана многоуровневая система мониторинга подземных вод. На всех горнорудных предприятиях не ведется мониторинг поверхностных водных объектов, в которые разгружаются грунтовые воды. Наибольшее внимание уделяется мониторингу подземных вод на объектах с высоким фоновым содержанием радиоактивных элементов, контроль тяжелых металлов и их миграция не проводятся.

Гидрология

Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д., Краморенко С.В.

Особую опасность представляют загрязненные территории и отходы ликвидированных предприятий горнодобывающей и перерабатывающей отраслей, признанные бесхозяйными. Правительством Республики Казахстан и региональными органами власти ведутся работы по управлению этими опасными отходами, например ликвидированы источники ртутного загрязнения на территории бывшего ПО «Химпром» в г. Павлодаре, в Костанайской области принято решение о ликвидации ртутьсодержащих отходов, а в Актыбинской области – бесхозяйных шламонакопителей бывшего Алгинского химического завода. Бесхозяйным опасным объектом могут стать и отвалы Торгайского бокситового рудоуправления АО «Алюминий Казахстана» (г. Аркалык, Костанайская область), так как за 65 лет работы этого предприятия запасы в карьерах отработаны полностью, и дальнейшие работы связаны с большими горнотехническими рисками [9]. Несмотря на проводимые работы по локализации и ликвидации бесхозяйных источников загрязнения, вопрос об их опасности поднимается постоянно, в том числе на международном уровне.

Приближенная оценка вклада Республики Казахстан выполнена по данным среднегодовых значений наблюдений сети Росгидромета в контрольных створах, назначенных на границе с Республикой Казахстан и в устье крупных притоков Иртыша, а также по длине р. Иртыш ниже их впадения. Установлено, что массоперенос тяжелых металлов в устье р. Тобол превосходит их поступление с территории Республики Казахстан в трансграничном створе в с. Звериноголовское по цинку в 18 раз, меди в 11 раз, никелю в 6 раз, марганцу в 8 раз, что свидетельствует о значительном вкладе Восточного Урала в загрязнение р. Тобол тяжелыми металлами. При этом в створе р. Иртыш – г. Тобольск половина стока меди, никеля и марганца, третья часть цинка и четвертая часть свинца поступает с водами р. Тобол (табл. 9).

В целях более строгой оценки вклада Республики Казахстан в поступление тяжелых металлов в систему Иртыша, годовые объемы тяжелых металлов, проходящие через трансграничные створы, сопоставлены с их годовыми объемами в замыкающих створах (для Ишима и Тобола в устье, для Иртыша – в створе выше впадения р. Ишим) с учетом поступления рассматриваемых тяжелых металлов с территории России.

Таблица 9

Массоперенос тяжелых металлов по длине р. Иртыш и ее притоков
Mass transfer of heavy metals along the length of the Irtysh River and its tributaries

Створ	Массоперенос, тонн/год					
	Zn	Cu	Ni	Mn	Pb	Cr
р. Тобол – с. Звериноголовское	26,2	16,9	13,1	525	–	–
р. Ишим – с. Ильинка	30,1	10,2	36,9	133	1,40	–
р. Иртыш – с. Татарка	557	243	54,8	1080	10,6	25,9
Суммарный сток с территории Республики Казахстан	613,3	270,1	104,8	1738	12	25,9
р. Тобол – с. Тобольск	459	189	83,1	4280	39,4	121
р. Ишим – с. Усть-Ишим	41,2	25,9	6,44	345	0,00	5,56
р. Иртыш – с. Усть-Ишим	438	275	69,7	2120	85,7	99,7
р. Иртыш – г. Тобольск	1220	431	191	7190	148	–
р. Иртыш – г. Ханты-Мансийск	2660	879	311	10000	163	0

В расчете использовано простое уравнение баланса годового потока тяжелых металлов по длине участка ($I=0...L$) реки при наличии осаждения:

$$d\Gamma/dI = -k \cdot \Gamma + P/L, \quad (1)$$

где Γ – годовой поток тяжелых металлов; k – коэффициент осаждения тяжелых металлов, L – длина участка, P – поступление тяжелых металлов на участке ниже границы с Казахстаном (считается равномерно распределенным по участку) за конкретный год. На границе с Республикой Казахстан ($I=0$) $\Gamma=\Gamma_k$, где Γ_k – поступление тяжелых металлов с территории Казахстана. В границах каждого участка поступление тяжелых металлов (P) может быть выражено:

$$P = P_0 \cdot \lambda, \quad (2)$$

где P_0 – характерная для данного участка и постоянная за весь период по годам величина, равная поступлению тяжелых металлов в 1987 г., тонн; λ – коэффициент, характеризующий относительное изменение поступления тяжелых металлов по годам, принят равным отношению добычи металлических руд в расчетный год к добыче руды в 1987 г. (год начала моделирования), для периода СССР индекс принят равным 1 (рис. 3).

Гидрология

Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д., Краморенко С.В.

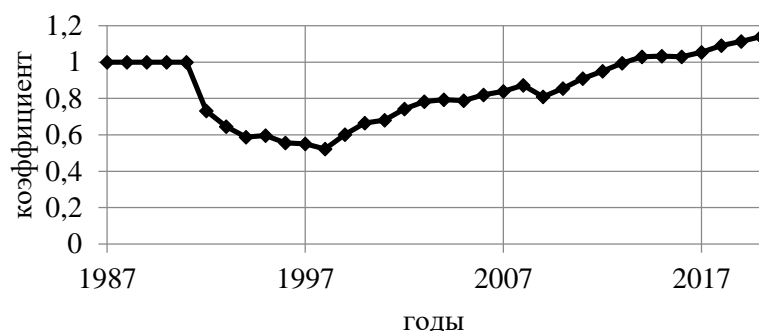


Рис. 3. Изменение коэффициента λ , характеризующего относительное изменение поступления тяжелых металлов по годам по: [7, 24]

Fig. 3. Change in λ coefficient characterizing the relative change of heavy metal input by years according to: [7, 24]

Решение уравнения (1) по длине рассматриваемого участка реки позволяет выразить поток тяжелых металлов в замыкающем створе соответствующего участка (Гз) через их поток с территории Казахстана (Гк), параметры k и P :

$$Гз = Гк \cdot \exp(-kL) + (P/kL) \cdot (1 - \exp(-kL)). \quad (3)$$

При моделировании для каждого участка подбирались параметры P_0 и k , минимизирующие сумму по годам квадратов разностей измеренных и модельных потоков тяжелых металлов в замыкающем створе Гз, при условии совпадения значений среднегодового (рассчитанного на основе измерений) и модельного потоков. Моделирование проводилось только по годам, обеспеченным данными наблюдений как во входящем, так и в замыкающем створах участка, вследствие чего расчетные значения могут отличаться от представленных в табл. 10.

По рассчитанным P_0 и k определено среднеегодовое поступление тяжелых металлов на каждый из участков с территории России $Рср = P_0 \cdot \lambda_{ср}$ ($\lambda_{ср}$ – среднее значение λ за годы моделирования для рассматриваемых тяжелых металла и участка моделирования) и доля тяжелых металлов, поступающих с территории Казахстана на участке в целом. Последняя определялась как $Гк_{ср} / (Рср + Гк_{ср})$, где $Гк_{ср}$ – среднее за годы моделирования поступление рассматриваемого тяжелого металла из Казахстана. Средние значения коэффициента k по всем наблюдаемым тяжелым металлам отличаются для Иртыша и его основных притоков: р. Иртыш – 0,0012, р. Тобол – 0, р. Ишим – 0,0028.

Таблица 10

Результаты приближенной оценки поступления тяжелых металлов в р. Иртыш и ее основные трансграничные притоки
Results of approximate assessment of heavy metals input into the Irtysh River and its main transboundary tributaries

Потоки тяжелых металлов	Тяжелые металлы					
	Zn	Cu	Ni	Mn	Pb	Cr
Участок р. Иртыш от границы с Республикой Казахстаном до впадения р. Ишим						
Поступление с территории Казахстана, т/год	548	240	53,7	1070	16,0	30,6
Поступление на территории России, т/год	188	198	16,3	1220	74,3	67,4
Осаждение на территории России, т/год	301	164	0,006	170	0,005	0,006
Поступление к замыкающему створу, т/год	434	274	70,0	2120	90,3	97,9
Доля Казахстана в поступлении металлов на участке, %	74,4	54,8	76,8	46,8	17,8	31,2
Число лет, обеспеченных данными	28	34	34	33	10	10
Участок р. Ишим от границы с Республикой Казахстаном до устья						
Поступление с территории Казахстана, тонн/год	26,1	11,0	43,8	153	3,31	–
Поступление на территории России, тонн/год	8,21	8,55	6,90	223	0	–
Осаждение на территории России, тонн/год	5,14	0,002	46,4	48,7	3,31	–
Поступление к замыкающему створу, тонн/год	29,2	19,5	4,32	327	0	–
Доля Казахстана в поступлении металлов на участке, %	76,1	56,2	86,4	40,7	1	–
Число лет, обеспеченных данными	21	28	26	28	3	–
Участок р. Тобол от границы с Республикой Казахстаном до устья						
Поступление с территории Казахстана, тонн/год	26,2	16,8	10,5	416	–	–
Поступление на территории России, тонн/год	465	167	64,9	3930	–	–
Осаждение на территории России, тонн/год	0,026	0,010	0,004	0,238	–	–
Поступление к замыкающему створу, тонн/год	491	183	75,4	4350	–	–
Доля Казахстана в поступлении металлов на участке, %	5,3	9,2	13,9	9,6	–	–
Число лет, обеспеченных данными	29	33	4	33	–	–

Гидрология

Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д., Краморенко С.В.

Обсуждение

Сопоставление результатов расчетов диффузного стока тяжелых металлов с территории горнодобывающих предприятий Восточного Урала (табл. 7) и данных по гидрохимическому стоку тяжелых металлов в отдельных створах рек, имеющих исток в рудоносной зоне Восточного Урала (табл. 8), свидетельствует о значительной роли процессов осаждения тяжелых металлов, приводящих к их накоплению в донных отложениях притоков р. Иртыш. При среднем расстоянии от истоков рек до створов гидрохимических наблюдений, равном около 500 км, снижение потоков тяжелых металлов на порядок возможно при величине коэффициента осаждения $k \approx 1/250 \text{ км}^{-1} = 0,004 \text{ км}^{-1}$, что согласуется с оценкой, которую можно увидеть в монографии [5] – $k \approx 0,006 \text{ км}^{-1}$. Согласно работам других авторов, значительное снижение концентрации и потока тяжелых металлов может наблюдаться на расстоянии до нескольких десятков километров от места загрязнения реки горнодобывающим предприятием [29, 30]. В этой связи необходимы дополнительные исследования процессов трансформации тяжелых металлов, поступающих в р. Иртыш с водосборной площади.

Выполненная оценка поступления тяжелых металлов в водные объекты с водосборной площади Восточного Урала показала, что величина диффузного стока цинка, меди, никеля и марганца на три порядка больше их фоновое (природное) поступления, а хрома больше на два порядка (табл. 4, 8). Проведенные расчеты выявили значительно больший вклад диффузного стока в загрязнение водных объектов, чем при его оценке с использованием модели ILLM [11]. Следует отметить, что выводы, полученные на основе как моделирования, так и выполненных нами расчетов, нуждаются в серьезной проверке, основанной на детальном, прежде всего натурном, исследовании физико-химических процессов трансформации и миграции тяжелых металлов в почвах и техногенных образованиях рудоносной зоны Восточного Урала.

Результаты приближенной оценки вклада Республики Казахстан в загрязнение р. Иртыш и ее притоков показали, что с казахстанской части водосбора через трансграничный створ поступает более 70 % цинка и никеля, более 50 % меди и марганца. Вклад Казахстана в поступление тяжелых металлов в р. Тобол незначителен – около 3 %. Основная часть тяжелых металлов в р. Тобол поступает с территории Восточного Урала. В р. Ишим с территории Казахстана попадает основная доля никеля и свинца (табл. 10).

В результате проведенных расчетов можно сделать вывод, что вклад Республики Казахстан в загрязнение р. Иртыш и ее притоков наиболее существенен для р. Ишим и р. Иртыш на участке до впадения р. Ишим, незначителен в загрязнение р. Тобол, а ниже впадения р. Тобол практически не прослеживается. Необходимо отметить, что в связи с ограниченным объемом исходных данных, приведенная информация и предварительные выводы нуждаются в дополнительном обосновании на основе комплексных натурных исследований депонирующей роли водохранилищ, природного поступления тяжелых металлов с территорий металлогенических зон и их диффузного поступления от объектов горной промышленности.

Выводы

1. Основные источники поступления тяжелых металлов в речную систему Иртыша приурочены к трем рудоносным металлогеническим зонам: Восточный склон Урала, казахстанская часть бассейна р. Тобол и часть бассейна р. Иртыш в границах Рудного Алтая.

2. На территории российской части бассейна р. Иртыш значительная доля тяжелых металлов поступает с Восточного склона Урала с притоками р. Тобол, при этом величина диффузного стока на несколько порядков выше фоновое (природное) поступления тяжелых металлов, что свидетельствует о высокой роли техногенного изменения поверхности водосбора горнодобывающими предприятиями в формировании химического стока р. Тобол и ее притоков.

3. На территории казахстанской части бассейна на загрязнение р. Иртыш тяжелыми металлами основное влияние оказывают территории Северного Казахстана, расположенные ниже каскадов водохранилищ в Костанайской, Северо-Казахстанской, Акмолинской и Павлодарской областях, влияние Усть-Каменогорского промузла практически не прослеживается в трансграничном створе р. Иртыш.

4. В границах Республики Казахстан потенциальными источниками загрязнения поверхностных водных объектов тяжелыми металлами являются действующие и ликвидированные объекты горной промышленности (карьеры, шахты, отвалы отработанной породы, шламохранилища, хвостохранилища и другие).

5. Большая роль в распределении и накоплении тяжелых металлов принадлежит процессам осаждения: значительная часть фракций взвешенных веществ, являющихся носителями тяжелых металлов, оседает на первых десятках-сотнях километров от источника загрязнения или депонируется в водохранилищах.

6. Вклад Республики Казахстан в загрязнение р. Иртыш и ее притоков наиболее существенен для р. Ишим и р. Иртыш на участке до впадения р. Ишим, незначителен – в загрязнение р. Тобол, а ниже впадения р. Тобол – практически не прослеживается.

Полученные выводы нуждаются в дополнительном обосновании на основе натурных данных, характеризующих природное и диффузное поступление тяжелых металлов от объектов горной промышленности, а также достоверных данных о потенциальных источниках загрязнения, расположенных на территории Республики Казахстан.

Гидрология

Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д., Краморенко С.В.

Библиографический список

1. Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала. Уфа: Изд-во Гилем, 2010. 421 с. ISBN: 978-5-7501-1165-7
2. Алимова Г.С., Земцова Е.С., Токарева А.Ю. Распределение металлов в донных отложениях и макрозообентосе нижнего течения р. Иртыш // Вода: химия и экология. 2016. № 9 (99). С. 20–26.
3. Амралинова Б.Б. Закономерности формирования и оценка перспектив никель-кобальтовых кор выветривания Восточного Казахстана: диссер. на соискание учен. степени д-ра философии (PhD). Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева. Усть-Каменогорск, 2017. 145 с.
4. Атлас гидрогеологических и инженерно-геологических карт СССР. Схема гидрогеологического районирования СССР, масштаб 1:15 000 000. М., 1983. 70 с. URL: https://hgepro.ru/mapgis/subekt/obzorniye/ig_atlas/rayon_gd.pdf (дата обращения: 19.05.2023)
5. Вершинская М.Е., Шабанов В.В., Маркин В.Н. Эколого-водохозяйственная оценка водных систем. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. 150 с. ISBN: 978-5-9675-1329-9
6. Елохина С.Н. Техногенез затопленных рудников Урала: диссер. на соискание учен. степени д-р геол.-минерал. наук. ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет». Екатеринбург, 2014. 352 с.
7. ЕМИСС. Государственная статистика Индексы производства. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/43047/> (дата обращения: 18.06.2023)
8. Карта полезных ископаемых России, масштаб 1:10 000 000 / Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского. URL: <https://www.vsegei.ru/ru/info/prog-met5000/> (дата обращения 19.05.2023)
9. Киселик А.А. Экологическая ситуация в моногородах крупного бизнеса Республики Казахстан // Эколого-географические проблемы развития регионов и городов Республики Казахстан: сборник статей. Москва-Астана: Изд-во Географического факультета МГУ, 2017. С. 272–294.
10. Кондратьев С.А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. СПб: Наука. 2007. 253 с. ISBN: 978-5-02-025171-7
11. Кондратьев С.А., Брюханов А.Ю., Поздняков Ш.Р., Пузанов А.В., Жерелина И.В., Шмакова М.В., Васильев Э.В., Расулова А.М., Бабошкина С.В., Обломкова Н.С. Оценка нагрузки биогенными и загрязняющими веществами на российскую часть р. Иртыш // География и природные ресурсы. 2024. № 1. С. 41–53. DOI: 10.15372/GIPR20240104
12. Кондратьев С.А., Шмакова М.В. Математическое моделирование массопереноса в системе водосбор – водоток – водоем. СПб: Нестор-История. 2019. 246 с.
13. Логунова А.А. Картирование хвостохранилищ в центральной Азии: Казахстан, Кыргызстан и Таджикистан в центре внимания: материалы субрегионального семинара по укреплению безопасности хвостохранилищ в Центральной Азии. Алматы, 2019. 19 с. URL: https://unece.org/DAM/env/documents/2019/TEIA/Workshop_Nov_2019/Session_2_RUS/2_Ms_Oleksandra_Lohunova_TMF_mapping_RUS (дата обращения 28.05.2023)
14. Макаров А.Б. Техногенно-минеральные месторождения Урала: автореферат диссер. на соискание учен. степени д-р геол.-минерал. наук. ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет». Екатеринбург, 2007. 41 с.
15. Макунина А.А., Глазовская М.А., Павленко И.А. Геохимия ландшафтов и поиски полезных ископаемых на Южном Урале. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1961. 182 с.
16. Национальный атлас Республики Казахстан. Природные условия и ресурсы. Алматы, 2006. Т. 1. 125 с.
17. Отчет о возможных воздействиях к «Плану горных работ по добыче руды Васильковского месторождения открытым способом до глубины карьера 540 метров». ТОО «КазТехПроект». Кокшетау, 2023. 269 с.
18. Панин М.С. Эколого-биогеохимическая оценка естественных и техногенных ландшафтов Семипалатинского Прииртышья (Республика Казахстан): диссер. на соискание учен. степени д-ра биол. наук. Семипалатинск, 1999. 397 с.
19. План горных работ по добыче руды и металлов Северного участка Кара-Агашской титан-циркониевой россыпи в Тайыншинском районе Северо-Казахстанской области. ТОО «Минералы Северного Казахстана», ТОО «AS-Project». Кокшетау. 2021. 106 с.
20. Прогнозно-металлогеническая карта России, масштаб 1:5 000 000 / Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского. URL: <https://www.vsegei.ru/ru/info/prog-met5000/> (дата обращения 19.05.2023)
21. Проект расширения хвостохранилища до 80 млн. м³ хвостового хозяйства ЗИФ ГОК на месторождении «Райгородок» Акмолинской области. Отчет о возможных воздействиях (ООВВ). ТОО «Лаборатория-Атмосфера». Усть-Каменогорск, 2022. Т. 7. 500 с.
22. Промышленная разработка железорудного месторождения «Масальское». План горных работ. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС). ТОО «Казгипроцветмет». Усть-Каменогорск, 2018. 274 с.
23. Соглашение между Правительством Республики Казахстан и Правительством Российской Федерации о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов, подписано 07.09.2010. URL: https://cawater-info.net/bk/water_law/pdf/kazakhstan_russia_2010_r.pdf (дата обращения 20.06.2023)
24. Федеральная служба государственной статистики: Промышленное производство в России. Статистический сборник. М., 2021. 307 с. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Prom_proiz-vo_2021.pdf (дата обращения: 18.06.2023)
25. Хусанов А.Т., Софронова Л.И. Влияние урановых хвостохранилищ Степногорского гидрометаллургического завода на загрязнение поверхностных и подземных вод // Вестник науки КазАТУ им. С. Сейфуллина. 2011. № 4 (71). С. 1–9.
26. Чемагин А.А. Потенциальные источники загрязнения Нижнего Иртыша // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 12-8. С. 1456–1459.
27. Чистякова Н.Ф., Кочуров Б.И., Овчинникова А.В. Качество воды р. Иртыш в условиях трансграничного водопользования // Проблемы региональной экологии. 2022. № 6. С. 60–67. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-6-60-67
28. Applied methodology for the PLC-7 assessment / Ed. L.M. Svendsen. Helsinki: HELCOM Publ., 2021. 82 p.
29. Osenyeng O., Ishiyama D., Đordjević D., Adamović D., Ogawa Y., Environmental risk assessment of the contamination of river water and sediments from the Bor mining area, East Serbia-Secondary Cu enrichment at the reservoir site // Resource Geology. 2023. Vol. 73, Iss. 1. 19 p. DOI: 10.1111/rge.12314

Гидрология

Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д., Краморенко С.В.

30. Van Luyen N., Savichev O.G. Assessing the Influence of the Mining Operations on the State of Streams in the Northern Part of the Red River Basin (Viet Nam). // *Geogr. Nat. Resour.* 2018. No. 39. P. 182–188. DOI: 10.1134/S1875372818020129

References

1. Abdrakhmanov R.F., Popov V.G. *Geochemistry and formation of groundwater in the Southern Urals*. Ufa, Gilem Publ., 2010. 421p.
2. Alimova G.S., Zemtsova E.S., Tokareva A.Yu. Distribution of metals in bottom sediments and macrozoobenthos in the lower Irtysh River cross-sections. *Water: chemistry and ecology*. 2016. no. 9 (99), pp. 20–26.
3. Amralinova B.B. Laws of formation and assessment of nickel-cobalt weathering crust prospects in East Kazakhstan. *Doct. Dis. Ust-Kamenogorsk*, 2017. 145 p.
4. *Atlas of hydrogeological and engineering-geological maps of the USSR*. Scheme of hydrogeological zoning of the USSR. Scale 1:15 000 000. Moscow, 1983, 70 p. URL: https://hgepro.ru/mapgis/subekt/obzorniye/ig_atlas/rayon_gd.pdf (accessed: 19.05.2023)
5. Vershinskaya M.E., Shabanov V.V., Markin V.N. *Ecological and water management assessment of water systems*. Moscow, RASU-MAHA Publ., 2016. 150 p.
6. Elokhtina S.N. Technogenesis of flooded mines in the Urals. *Doct. Dis. Ekaterinburg*, 2014. 352 p.
7. *Unified Interdepartmental Information and Statistical System*. State Statistics Indices of Production. URL: <https://www.fed-stat.ru/indicator/43047/> (accessed: 18.06.2023)
8. *Map of Mineral Resources of Russia*. Scale 1:10 000 000. All-Russian Research Geological Institute named after A.P. Karpinsky. A.P. Karpinsky. URL: <https://www.vsegei.ru/ru/info/prog-met5000/> (accessed: 19.05.2023)
9. Kiselik A.A. Ecological situation in single-industry towns in the Republic of Kazakhstan. *Ecological and geographical problems of development of regions and cities of the Republic of Kazakhstan. Collection of articles edited by V. R. Bityukova. R. Bityukova*. Moscow-Astana, Geographical Faculty of Moscow State University Publ., 2017. pp. 272–294.
10. Kondratyev S.A. *Formation of external load on water bodies: modeling problems*. SPb., Nauka Publ., 2007, 253 p.
11. Kondratyev S.A., Brukhanov A.Yu., Pozdnyakov Sh.R., Puzanov A.V., Zherelina I.V., Shmakova M.V., Vasiliev E.V., Rasulova A.M., Baboshkina S.V., Oblomkova N.S. Assessing the load of nutrients and pollutants on the Russian part of the Irtysh River. *Geography and Natural Resources*, 2024, no. 1, pp. 41–53.
12. Kondratyev S.A., Shmakova M.V. *Mathematical modeling of mass transfer in the system watershed – watercourse – water body*. SPb, Nestor-History Publ., 2019, 246 p.
13. Logunova A.A. Mapping of Tailings Management Facilities in Central Asia: Kazakhstan, Kyrgyzstan and Tajikistan in the Spotlight. *Proceedings of the Subregional Workshop on Strengthening Tailings Management Facility Security in Central Asia*, Almaty, 2019. 19 p. URL: https://unece.org/DAM/env/documents/2019/TEIA/Workshop__Nov_2019/Session_2_RUS/2_Ms._Oleksandra_Lohunova_TMF_mapping_RUS (accessed: 28.05.2023).
14. Makarov A.B. Technogenic-mineral deposits of the Urals. *Doct. Dis. Ekaterinburg*, 2007. 41 p.
15. Makunina A.A., Glazovskaya M.A., Pavlenko I.A. *Geochemistry of landscapes and prospecting for minerals in the Southern Urals*. Ed. A.I. Perelman, Moscow Univ. Publ., 1961. 182 p.
16. *National Atlas of the Republic of Kazakhstan*, 2006, Vol. I. 125 p.
17. *Report on possible impacts to the «Mining Plan for ore mining of Vasilkovskoye field by open-pit method up to the pit depth of 540 meters»*, KazTechProject LLP Publ., Kokshetau, 2023. 269 p.
18. Panin M.S. Ecological and biogeochemical assessment of natural and anthropogenic landscapes of Semipalatinsk Priirtyshye (Republic of Kazakhstan). *Doct. Dis. Semipalatinsk*, 1999. 397 p.
19. *Ore and metal mining plan for the Northern section of the Kara-Agash titanium-zirconium placer in the Taiynshinsky district, the North Kazakhstan region*, Minerals of Northern Kazakhstan LLP Publ., AS-Project LLP Publ., Kokshetau, 2021. 106 p.
20. *Prognostic-metallogenic map of Russia. Scale 1:5 000 000*. All-Russian Research Geological Institute named after A.P. Karpinsky. A.P. Karpinsky. URL: <https://www.vsegei.ru/ru/info/prog-met5000/> (accessed: 19.05.2023).
21. *Project for expansion of tailings storage facility up to 80 mln m³ in the tailings processing plant of the mine at the field «Raigorodok», Aknola region*. Vol. 7. Report on Possible Impacts (RAP), Laboratory-Atmosphere LLP Publ., Ust-Kamenogorsk, 2022. 550p.
22. *Industrial development of the Masalskoe iron ore field. Mining Plan. Environmental Impact Assessment (EIA)*, Kazgiprotsvetmet LLP Publ., 2018. 274 p.
23. *Agreement between the Government of the Republic of Kazakhstan and the Government of the Russian Federation on the Joint Use and Protection of Transboundary Water Bodies*, signed on 07.09.2010. URL: http://cawater-info.net/bk/water_law/pdf/kazakhstan_russia_2010_r.pdf (дата обращения 20.06.2023)
24. *Federal State Statistics Service: Industrial production in Russia. Statistical Collection*. Moscow, 2021. 307 p. Электронный ресурс. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Prom_proiz-vo_2021.pdf (дата обращения: 18.06.2023)
25. Khusainov A.T., Sofronova L.I. Impact of uranium tailings of Stepnogorsk hydrometallurgical plant on the pollution of surface and groundwaters. *Bulletin of Science KazATU named after S. Seifullin Publ*, 2011, no. 4 (71).
26. Chemagin A.A. Potential pollution sources of the Lower Irtysh. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2016, no. 12-8, pp. 1456–1459.
27. Chistyakova N.F., Kochurov B.I., Ovchinnikova A.V. Water quality of the Irtysh River under conditions of transboundary water use. *Regional ecology problems*, 2022, no. 6, pp. 60–67.
28. *Applied methodology for the PLC-7 assessment* / Ed. L.M. Svendsen. – Helsinki, HELCOM Publ., 2021, 82 p.
29. Osenyeng O., Ishiyama D., Đordieviski D., Adamović D., Ogawa Y., Environmental risk assessment of the contamination of river water and sediments from the Bor mining area, East Serbia–Secondary Cu enrichment at the reservoir site. *Resource Geology*, 2023, vol.73, is. 1. DOI:10.1111/rge.12314.
30. Van Luyen N., Savichev O.G. Assessing the Influence of the Mining Operations on the State of Streams in the Northern Part of the Red River Basin (Viet Nam). *Geogr. Nat. Resour.*, 2018, № 39, pp. 182–188. DOI: 10.1134/S1875372818020129.

*Гидрология**Яковченко С.Г., Жерелина И.В., Рыбкина И.Д., Краморенко С.В.*

Статья поступила в редакцию: 01.07.24, одобрена после рецензирования: 20.07.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 1 July 2024; approved after review: 20 July 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторах**Спартак Геннадьевич Яковченко**

доктор технических наук, заместитель директора по науке, ООО «Центр инженерных технологий»; 656031, Россия, г. Барнаул, ул. Папанинцев, 129

e-mail: spartak.cet@gmail.com

Ирина Владимировна Жерелина

кандидат географических наук, доцент, начальник отдела водного хозяйства и охраны окружающей среды, ООО «Центр инженерных технологий»; 656031, Россия, Барнаул, ул. Папанинцев, 129

e-mail: zherelina@mail.ru

Ирина Дмитриевна Рыбкина

доктор географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией водных ресурсов и водопользования, Институт водных и экологических проблем СО РАН; 656038, Россия, ул. Молодежная, 1

e-mail: irina.rybkina@mail.ru

Сергей Васильевич Краморенко

аспирант, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН; 630090, Россия, Новосибирск, пр. академика Лаврентьева, 17

Information about the authors**Spartak G. Yakovchenko**

Doctor of Engineering Sciences, Deputy Director for Science, Engineering Technologies Center, ООО (LLC); 129, Papanintsev st., Barnaul, 656031, Russia

Irina V. Zherelina

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department for Water Management and Environmental Protection, Engineering Technologies Center, ООО (LLC); 129, Papanintsev st., Barnaul, 656031, Russia

Irina D. Rybkina

Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Water Management Laboratory, Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038, Russia

Sergey V. Kramorenko,

Postgraduate Student, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 17, prospekt akademika Lavrentieva, Novosibirsk, 630090, Russia

e-mail: selim-555@yandex.ru

Вклад авторов

Яковченко С.Г. – проведение расчетов, моделирование, написание статьи.

Жерелина И.В. – идея, организация работ, анализ результатов, написание статьи.

Рыбкина И.Д. – консультирование, научное редактирование текста статьи.

Краморенко С.В. – сбор, обработка и систематизация исходных данных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Spartak G. Yakovchenko – numerical simulations; modeling; writing of the article.

Irina V. Zherelina – the idea; organization of the work; analysis of the results; writing of the article.

Irina D. Rybkina – consulting; scientific editing of the text.

Sergey V. Kramorenko – collection, processing, and systematization of source data.

The authors declare no conflict of interest.

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

Научная статья

УДК 556.552; 556.11

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-86-98

СЕЗОННЫЕ И МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ
В ВОДОХРАНИЛИЩАХ КАМСКОГО КАСКАДАКсения Дмитриевна Микова¹, Виталий Германович Калинин², Михаил Александрович Фасахов³,
Аделия Александровна Шайдулина⁴, Сергей Владимирович Ясинский⁵^{1, 2, 3, 4} Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия⁵ Институт географии РАН, г. Москва, Россия¹ mikovak@yandex.ru, Scopus Author ID: 57211207914, ResearcherID: JLL-9653-2023, SPIN-код: 3765-0488, РИНЦ Author ID: 153280² vgkalinin@gmail.com, Scopus Author ID: 7201527612, ResearcherID: ABC-7662-2021, SPIN-код: 9507-2306, РИНЦ Author ID: 70059³ komrad.fasakhov2017@yandex.ru, ResearcherID: ACZ-1667-2022, SPIN-код: 5284-4001, РИНЦ Author ID: 1143245⁴ AdelinaSh89@mail.ru, Scopus Author ID: 57200702775, ResearcherID: N-6027-2018, SPIN-код: 3723-4798, РИНЦ Author ID: 723724⁵ yasisergej@yandex.ru, Scopus Author ID: 57201336148, ResearcherID: AAG-8780-2021, SPIN-код: 1446-3707, РИНЦ Author ID: 59838

Аннотация. Проведен анализ сезонных и многолетних изменений концентраций биогенных веществ на Камском, Воткинском и Нижнекамском водохранилищах по материалам ведомственного мониторинга, предоставленного Камским БВУ за 2005–2022 гг., и данным АИС ГМВО. Для верификации полученных результатов использованы ежегодники качества поверхностных вод Российской Федерации за 2010–2022 гг. Анализ материалов показал, что значения концентраций различаются незначительно, при этом данные, приведенные в ежегодниках, не дают представления о сезонных величинах концентраций.

Установлено, что большая часть биогенных веществ со стоком рек (в том числе сброс сточных вод) поступает в Камское водохранилище (51 %). Поступление азота общего и фосфатов от всех источников наибольшее на Нижнекамском водохранилище – 61 и 84 % соответственно.

Наибольшие концентрации аммоний-иона наблюдаются в весенний период – период максимальной водности, наименьшие – в период летне-осенней стабилизации уровня воды. Высокие концентрации нитратов и нитритов на Камском и Нижнекамском водохранилищах наблюдаются в периоды зимней сработки и весеннего наполнения. На Воткинском водохранилище нитраты и нитриты имеют наибольшие концентрации в разные сезоны. Нитратов больше в период зимней сработки, а нитритов – в период летне-осенней стабилизации. Наименьшие концентрации фосфатов на всех водохранилищах Камского каскада наблюдаются в период весеннего наполнения и летне-осенней стабилизации. Концентрации железа за период весеннего наполнения выше, чем в период летне-осенней стабилизации. Исключением является Камское водохранилище, где наибольшие концентрации отмечаются в период зимней сработки.

Превышений ПДКр.х. по осредненным концентрациям биогенных веществ в разные сезоны нет, за исключением железа общего. Высокий природный фон содержания железа приводит к превышению ПДКр.х. по сезонам в 1,8–4,7 раз на Камском водохранилище, далее по каскаду превышения снижаются. За многолетний период у нитритов и фосфат-иона выявлена тенденция снижения концентраций, а у железа общего – повышения концентрации.

Ключевые слова: водохранилище, биогенные вещества, сезонные изменения

Финансирование. Работа выполнена в рамках реализации и при финансовой поддержке гранта РНФ 22–17–00224 «Формирование гидролого-геохимических процессов на водосборах каскадов Верхне-Волжских и Камских водохранилищ при различных сценариях землепользования и изменениях климата на их территориях».

Для цитирования: Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В. Сезонные и многолетние изменения концентраций биогенных веществ в водохранилищах Камского каскада // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 86–98. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-86-98



Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-86-98

SEASONAL AND LONG-TERM CHANGES IN THE CONCENTRATIONS OF BIOGENIC SUBSTANCES IN THE KAMA CASCADE RESERVOIRS

Ksenia D. Mikova¹, Vitaliy G. Kalinin², Mikhail A. Fasakhov³, Adeliya A. Shaydulina⁴, Sergey V. Yasinsky⁵^{1, 2, 3, 4} Perm State University, Perm, Russia⁵ Institute of Geography, RAS, Moscow, Russia¹ mikovak@yandex.ru, Scopus Author ID: 57211207914, ResearcherID: JLL-9653-2023, SPIN-code: 3765-0488, RSCI Author ID: 153280² vgkalinin@gmail.com, Scopus Author ID: 7201527612, ResearcherID ABC-7662-2021, SPIN-code: 9507-2306, RSCI Author ID: 70059³ komrad.fasakhov2017@yandex.ru, ResearcherID: ACZ-1667-2022, SPIN-code: 5284-4001, RSCI Author ID: 1143245⁴ AdelinaSh89@mail.ru, Scopus Author ID: 57200702775, ResearcherID: N-6027-2018, SPIN-code: 3723-4798, RSCI Author ID: 723724⁵ yasisergej@yandex.ru, Scopus Author ID: 57201336148, ResearcherID: AAG-8780-2021, SPIN-code: 1446-3707, RSCI Author ID: 59838

Abstract. The paper provides an analysis of seasonal and long-term changes in the concentrations of biogenic substances in the Kamskoe, Votkinskoe, and Nizhnekamskoe reservoirs. The analysis was conducted based on data of the Kama Basin Water Authority for 2005–2022 and of the Automated Information System for State Monitoring of Water Bodies (AIS SMWB). The obtained results were verified with the Yearbooks of the Surface Waters Quality in the Russian Federation for 2010–2022. The analysis has shown that the concentrations differ slightly; the data provided in the yearbooks do not allow analyzing seasonal concentrations.

It has been found that river runoff (including wastewater) brings the majority of biogenic substances into the Kamskoe Reservoir (51%). The influx of total nitrogen and phosphates from all sources is greatest in the Nizhnekamskoe Reservoir – 61% and 84% respectively.

The highest concentrations of ammonium ion are observed in the spring – the period of the reservoir filling, and the lowest concentrations – during the summer-autumn stabilization of the water level. High concentrations of nitrates and nitrites in the Kamskoe and Nizhnekamskoe reservoirs are characteristic of the periods of the winter drawdown and spring filling. In the Votkinskoe Reservoir, nitrates and nitrites have the highest concentrations in different seasons. There are more nitrates during the winter drawdown and more nitrites during the summer-autumn stabilization. The lowest concentrations of phosphates in all reservoirs of the Kama cascade are observed during the spring filling and summer-autumn stabilization of water levels. Iron concentrations during the spring filling are higher than during the summer-autumn stabilization. The exception is the Kamskoe Reservoir, where the highest concentrations of iron are noted during the winter drawdown.

As to the MPC for fishing purposes (MPCf), there are no excesses for average concentrations of biogenic substances in different seasons, with the exception of total iron. However, there are some local exceedances. The high natural concentration of iron leads to a 1.8–4.7 times excess of MPCf by seasons in the Kamskoe Reservoir, with these excesses decreasing further along the cascade. The long-term period of observations has revealed a tendency toward a decrease in the concentrations of nitrites and phosphate ions, while total iron shows the tendency for increasing concentrations.

Keywords: reservoir, biogenic substances, seasonal changes

Funding. The work was carried out under the RSF grant No. 22-17-00224 ‘Hydrological and geochemical processes formation in the catchments of the cascades of the Upper Volga and Kama reservoirs under different land use and climate changes scenarios in their territories’.

For citation: Mikova, K.D., Kalinin, V.G., Fasakhov, M.A., Shaydulina, A.A., Yasinsky, S.V. (2025). Seasonal and long-term changes in the concentrations of biogenic substances in the Kama cascade reservoirs. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp.86–98. doi:10.17072/2079-7877-2025-1-86-98

Введение

Биогенные вещества – это вещества, представляющие собой основные минеральные соединения азота (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+), фосфора (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$), железа (Fe^{2+} , Fe^{3+}) и некоторых других микроэлементов, содержащихся в природных водах. Их концентрация непостоянна во времени и зависит от многих факторов. В первую очередь она определяется поступлением биогенных веществ со склоновым стоком с водосборной площади, с промышленными, хозяйственно-бытовыми, сельскохозяйственными сточными водами, а также в результате жизнедеятельности растительных и водных организмов, в жизни которых биогенные вещества играют определенную роль [20]. Повышенное поступление биогенных веществ с водосборных территорий в водные объекты яв-

*Гидрология**Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.*

ляется одной из причин их загрязнения, в ряде случаев вызывающего эвтрофирование вод. Масштабы влияния человеческой деятельности на поверхностные воды зависят от природно-хозяйственных особенностей территорий, определяющих величину биогенной нагрузки на водосбор и закономерности выноса биогенных веществ в водные объекты [23]. Исследование процессов выноса биогенных веществ в водные объекты ведется с 1980-х гг. [4, 12]. В последнее десятилетие большое количество работ посвящено вопросам количественной оценки выноса биогенных веществ с водосборных площадей водных объектов [17, 20, 23]. Оценкой выноса веществ с водосборов водохранилищ и моделированием генетической структуры водного и химического стока на протяжении долгого времени занимаются сотрудники Института водных проблем РАН и Института географии РАН. Обобщающей работой по проблеме диффузного загрязнения Волжского бассейна и его многочисленных водохранилищ является монография 2020 г. [8].

Первые исследования гидрохимического режима Камского и Воткинского водохранилищ были проведены в начальные годы его существования [2, 3], а обобщение материалов многолетних наблюдений – в середине второй половины XX в. [13]. Позднее изучались естественный гидрохимический режим, вертикальная неоднородность водных масс и техногенное загрязнение водохранилищ [5, 6, 7, 10]. В работе И.А. Келлер и А.Б. Китаева [10] выполнен анализ сезонной динамики биогенных веществ по длине камских водохранилищ на основе материалов гидрохимических съемок водоемов за год, близкий по водности к среднему. Выявлено, что Камское и Воткинское водохранилища во все фазы их водного режима подвержены сильнейшему техногенному воздействию. Для условий Камского водохранилища А.В. Богомоловым и др. [5] на основе применения метода кластерного анализа выполнена оценка связности химических показателей качества воды, в том числе биогенных веществ, по акватории водохранилищ. Результаты гидродинамического моделирования позволили определить пути миграции загрязняющих веществ и спрогнозировать их концентрации.

Моделированием генетических составляющих водного и химического стока в бассейне Нижнекамского водохранилища на протяжении последних лет занимается коллектив авторов [21, 22]. Ими проведена оценка вклада поверхностной, почвенной и грунтовой составляющих водного и химического стока, показано влияние генетической структуры водного и химического стока на межгодовые и сезонные изменения содержания металлов в речной сети.

В материалах [9] приводится динамика вероятностных концентраций загрязняющих веществ и показателей качества воды отдельных водных объектов бассейна р. Камы – Камского, Воткинского и Нижнекамского водохранилищ в целом, т.е. без учета отдельных створов, за год. Следует отметить, что для камских водохранилищ практически отсутствуют работы, посвященные изучению сезонной динамики биогенных веществ.

Цель настоящей работы – выявление закономерностей сезонных и годовых изменений концентраций биогенных веществ на водохранилищах Камского каскада.

Характеристика исследуемой территории

Водосбор водохранилищ Камского каскада расположен в пределах двух природных стран: Русской равнины и Уральской горной страны. Равнинная часть бассейна расположена в пределах лесной, лесостепной и частично степной зон; горная – в пределах горных природных зон: Северо-Уральской, Средне-Уральской и Южно-Уральской. Поскольку бассейн имеет большую протяженность с севера на юг, территории существенно отличаются между собой по рельефу, климату, почвенному покрову, растительности и др. [19]. Климат водосбора резко континентальный, наблюдаются большие колебания температуры воздуха как внутри года, так и в течение суток. Средняя годовая температура воздуха изменяется с севера на юг от 0,8 до 4 °С [18].

Водохранилища Камского каскада используются для регулирования стока, выработки электроэнергии, водоснабжения, судоходства, рекреации, промышленного и любительского рыболовства и др. Каскад включает в себя три гидроузла (Камский, Воткинский и Нижнекамский). Все водохранилища являются долинными [24]. Камское водохранилище (первое в каскаде) было наполнено в 1956 г. Нормальный подпорный уровень воды – 108,5 м БС, объем водохранилища – 12,2 км³. Воткинское водохранилище (второе в каскаде) было наполнено в 1964 г. Нормальный подпорный уровень воды – 89,0 м БС, объем водохранилища – 9,4 км³ [14]. Нижнекамское водохранилище (третье в каскаде) было наполнено до промежуточной отметки 62,0 м БС в 1979 г. при проектной отметке в 68,0 м БС. С 2002 г. уровень воды был увеличен до отметки 63,3 м БС. Объем водохранилища – 4,21 км³ [15]. Водохранилища осуществляют сезонное, недельное и суточное регулирование стока. Весной водохранилища наполняются, в течение 3–4 месяцев летне-осеннего периода уровень воды удерживается на отметке, близкой к НПУ. В зимний сезон на водохранилищах происходит сработка уровня воды [11].

Материалы и методы

Для анализа многолетних и сезонных изменений концентраций биогенных веществ (соединения азота, аммоний-ион, нитраты, нитриты, фосфаты (по фосфору) и железо общее) на камских водохранилищах использованы материалы ведомственного мониторинга КамБВУ за 2005–2022 гг.

Исходные данные представляют собой концентрации биогенных веществ в поверхностном горизонте. Количество пунктов отбора проб и период наблюдений на водохранилищах неодинаково. Так, на Камском водохранилище – 7 точек, на Воткинском – 11 точек отбора за период 2005–2022 гг. На Нижнекамском – 22 точки отбора за период 2010–2022 гг. из них: 11 – на Камском плесе до впадения р. Белой; 9 – на Бельском плесе; 2 – в озеровидной части Нижнекамского водохранилища (рис. 1). В каждой точке отбора наблюдения проводились ежемесячно. Концентрации биогенных веществ в водохранилищах рассчитывались для четырех водохозяйственных

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

сезонов: зимняя сработка (ноябрь–март), весеннее наполнение (апрель–июнь), период летней (июль–август) и осенней (сентябрь–октябрь) стабилизации уровня воды и навигационной сработки. Расчет производился путем осреднения концентраций загрязняющих веществ за период наблюдений для каждой точки по отдельности.

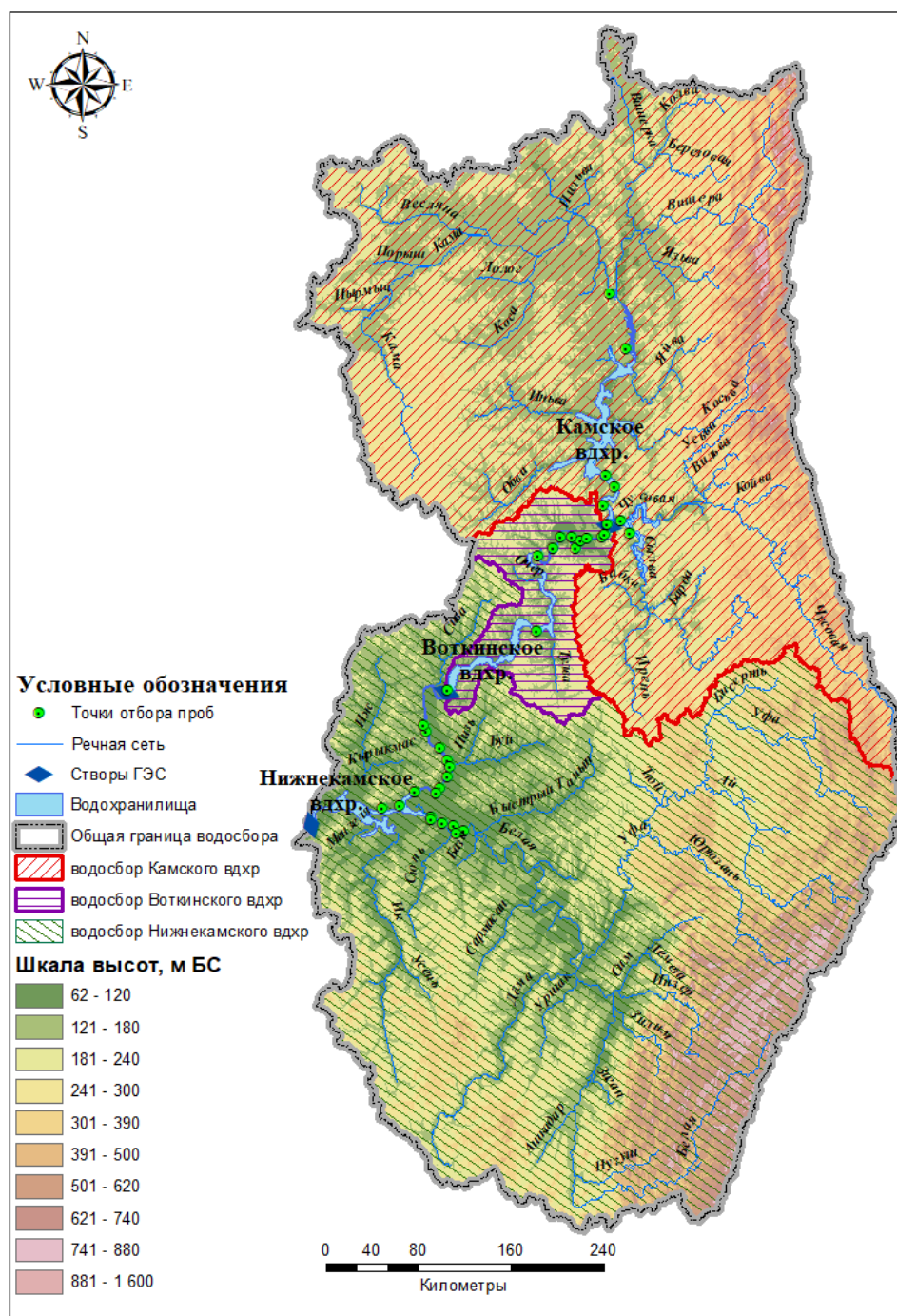


Рис. 1. Расположение точек отбора проб на водохранилищах Камского каскада

Fig. 1. Location of sampling points on the reservoirs of the Kama cascade

Для оценки химического состава воды использованы предельно допустимые концентрации в водоеме, применяемые для рыбохозяйственных целей (ПДКр.х.). ПДКр.х. – это максимальная концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать негативного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых. Значения ПДКр.х. представлены в утвержденном нормативе по качеству воды водных объектов рыбохозяйственного значения [16].

Для верификации полученных результатов использованы ежегодники качества поверхностных вод РФ за 2010–2022 гг. [9].

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

Структура земель водосборов камских водохранилищ приведена в табл. 1. На территории водосбора Камского водохранилища остались непереработанные первичные ландшафты, характеризующие зональный природный фон. Леса, занимающие 79 % территории, еще не подвержены активному хозяйственному использованию, но на них оказывает воздействие загрязненная промышленными выбросами атмосфера. На территории водосбора Воткинского водохранилища без учета водосбора Камского водохранилища расположено наименьшее количество промышленных предприятий и городов с численностью населения более 50000 чел. Наибольшие площади сельскохозяйственных земель (105357 из 132535 км²), количество промышленных предприятий (512 из 817) и городов с населением свыше 50000 чел. (33 города) расположены на территории водосбора Нижнекамского водохранилища.

Таблица 1

Площадные и количественные экономико-географические показатели в границах водосборов камских водохранилищ
Areal and quantitative economic-geographical indicators within the boundaries of the catchment areas of the Kama reservoirs

Показатели	Единицы измерения	Общая характеристика для камских водохранилищ	Водохранилища		
			Камское	Воткинское	Нижнекамское
Площадь водосбора (Ав)*	км ²	370000	168000	16000	186000
	%	100 %	45 %	4 %	51 %
Площадь с/х полей (Ас/х)**	км ²	132535	20541	6637	105357
	% от Ав	36 %	12 %	42 %	57 %
Площадь лесного покрова (Ал)**	км ²	218397	133258	7870	77269
	% от Ав	59 %	79 %	49 %	42 %
Количество промышленных предприятий (Кпр.пр.)***	шт.	817	121	184	512
	% от Кпр.пр.	100 %	15 %	23 %	62 %
Количество городов (свыше 50000 чел.) (Кгор)***	ед.	50	13	4	33
	% от Кгор	100 %	26 %	8 %	66 %

Примечание: по данным *ПИВР [14, 15]; **электронных топографических карт Роскартографии масштаба 1:100000; ***Росстата

Результаты и их обсуждение

Источники поступления биогенных веществ в камские водохранилища. Биогенные вещества поступают в камские водохранилища со сбросами сточных вод предприятий в виде выноса биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий и за счет ведения животноводства.

Анализ расчетов поступления биогенных веществ со сбросами сточных вод предприятий показал, что большая часть веществ попадает в основном в Камское водохранилище – 51 % (табл. 2). В два раза меньше сточных вод, содержащих биогенные вещества, попадает в Воткинское (25 %) и Нижнекамское (24 %) водохранилища.

Азот общий – это сумма органических (белковых, мочевиновых) и минеральных (аммонийной, нитратной, нитритной) форм азота. Анализ данных АИС ГМВО [1] за 2010–2021 гг. показал, что наибольшее количество азота общего поступает в Камское водохранилище со сбросами сточных вод предприятий – 38 399 т/год, что составляет 70 % от величины общего поступления в камские водохранилища. На водосборе Камского водохранилища находится много крупных заводов (биохимические, коксохимические, химические и электросварочного оборудования), предприятия пищевой промышленности, предприятия ЖКХ, целлюлозно-бумажные комбинаты и т.д.

Поступление нитрат-аниона в абсолютных значениях наибольшее среди биогенных веществ по всем водохранилищам 64370–105467 т/год. Большая часть нитрат-аниона поступает в Камское водохранилище (42 %). Нитрит-анионов со сточными водами в воды камских водохранилищ поступает меньше – 428–3988 т/год. Большая часть стоков также приходится на Камское водохранилище (72 %).

Фосфаты относительно других биогенных веществ поступают более равномерно, годовые сбросы изменяются от 1913 до 3286 т/год. Больше всего фосфатов со сточными водами поступает в Воткинское водохранилище (43 %), меньше – в Нижнекамское (25 %). Химическая, сельскохозяйственная и пищевая промышленность являются основными источниками фосфора и его соединений в сточных водах. Порядка 90 % поступления железа со сточными водами приходится на Камское водохранилище. Железо в значительном количестве переносится сточными водами предприятий металлообрабатывающей, металлургической, лакокрасочной и текстильной промышленности. Помимо этого, источниками соединений железа в природных водах являются процессы растворения и химического выветривания горных пород, поступление вод с подземным стоком и стоком с сельскохозяйственных территорий.

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

Таблица 2

Количество биогенных веществ, поступающих со сбросами сточных вод предприятий в камские водохранилища с 2010 по 2021 г. (по данным АИС ГМВО)
The amount of biogenic substances entering the Kama reservoirs with wastewater discharges from enterprises from 2010 to 2021 (according to the AIS SMWB)

Биогенные вещества	Водохранилища					
	Камское		Воткинское		Нижнекамское	
	тонны	%	тонны	%	тонны	%
Азот общий*	38399	70	15184	28	–	–
Аммоний-ион	4481	78	656	11	616	11
Нитрат-анион	105467	42	64370	26	79059	32
Нитрит-анион	3988	72	1103	20	428	8
Фосфаты	2365	31	3276	44	1913	25
Железо	5772	90	408	6	225	4

Примечание: * статистика по общему азоту 2-ТП (водхоз) неполная, показатель измеряется не везде, приводится в таблице справочно; «–» данные отсутствуют

Для азота общего и фосфатов выполнено сравнение величин, движущихся из разных источников (табл. 3). Вынос биогенных веществ со сточными водами предприятий рассчитан за период 2010–2021 гг. с сельскохозяйственных угодий и от животноводства по данным на 2008 и 2009 гг. соответственно. Масса выноса биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий рассчитана для водохранилищ на основе данных по водохозяйственным участкам, представленным в [19], с учетом вида сельхозугодий, содержания биогенных веществ в почвах, количества вносимых удобрений и слоя стока в период весеннего половодья и дождевых паводков. Данные расчеты позволяют учесть вынос биогенных веществ только с жидким стоком, хотя они попадают в водохранилища и с частицами почвы при эрозионных процессах на склоновых землях. Вынос биогенных веществ за счет ведения животноводства рассчитан по данным водохозяйственных участков, представленных в [19], где для ориентировочной оценки влияния животноводства на поверхностные воды проведен расчет количества образующихся отходов в переводе на азот и фосфор. На Камском и Воткинском водохранилищах наибольшее поступление азота общего и фосфатов происходит за счет сброса сточных вод в водные объекты. Поскольку площадь сельхозугодий на водосборах Камского и Воткинского водохранилищ небольшая – 15 и 5 % соответственно (табл. 1), то и величина азота общего и фосфатов минимальна (5–12 %) (табл. 3). Наибольшее поступление азота общего и фосфатов от всех источников на Нижнекамском водохранилище – 61 и 84 % соответственно. Здесь сосредоточены обширные площади сельскохозяйственных угодий – 105357 км², что составляет 79 % от общей площади всех сельскохозяйственных полей на водосборе камских водохранилищ (табл. 1). Также на территории водосбора Нижнекамского водохранилища находится самое большое поголовье крупного рогатого скота, свиней, овец, коз, лошадей и птицы [19], поэтому величина поступления азота общего здесь наибольшая (87 %) среди водохранилищ Камского каскада. Проникновение биогенных веществ со сточными водами предприятий на территории Нижнекамского водохранилища незначительное и составляет всего 2 % от всех точечных сбросов, попадающих в камские водохранилища.

Таблица 3

Количество азота общего и фосфатов в % от суммы веществ, поступающих в камские водохранилища
The amount of total nitrogen and phosphates in % of the sum of substances entering the Kama reservoirs

Источники	Камское		Воткинское		Нижнекамское	
	Азот общий	Фосфаты	Азот общий	Фосфаты	Азот общий	Фосфаты
Поступление со сточными водами предприятий	70	31	28	43	–	26
Поступление с сельхозугодий*	12	8	6	5	82	87
Поступление от животноводства*	8	8	5	5	87	87
Всего:	27	9	12	7	61	84

Примечание: * – по данным водохозяйственных участков в СКИОВО (2014); «–» данные отсутствуют

Прежде чем давать оценку сезонных величин концентраций биогенных веществ водохранилищ Камского каскада, необходимо выполнить верификацию материалов ведомственного мониторинга КамБВУ с данными гидрохимических ежегодников (рис. 2). Информация о концентрациях загрязняющих веществ в них приводится для конкретного водохранилища в целом за год [9].

Анализ рис. 2. показал, что значения концентраций различаются незначительно. Величины средних многолетних концентраций биогенных веществ по материалам мониторинга Камского БВУ несколько ниже, чем данные ежегодников качества поверхностных вод РФ. Это может быть обусловлено разным периодом осреднения. Наибольшие расхождения характерны для Камского водохранилища, где значения концентрации аммоний-иона ниже на 0,16, а железа общего – на 0,19 мг/л.

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

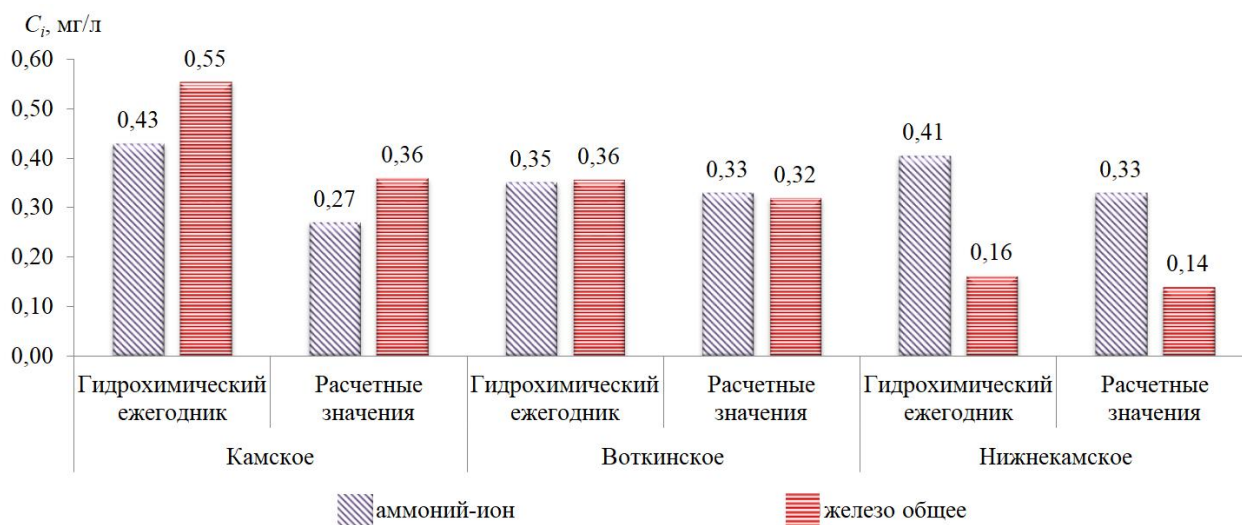


Рис. 2. Средние многолетние концентрации биогенных веществ (мг/л) в водохранилищах Камского каскада по материалам Гидрохимических ежегодников качества поверхностных вод РФ (за 2010–2022 гг.) и по расчетным значениям мониторинга КамБВУ (за 2005–2022 гг.)

Fig. 2. Average long-term concentrations of biogenic substances (mg/l) in the reservoirs of the Kama cascade based on the data of the Hydrochemical Yearbooks of Surface Waters Quality in the Russian Federation (2010–2022) and on the calculated values of the Kama Basin Water Authority's monitoring (2005–2022)

При этом данные, приведенные в ежегодниках [9], не позволяют судить о концентрациях таких биогенных веществ, как нитраты, нитриты и фосфат-ионы, а также не дают представление о сезонных величинах их концентраций.

Характеристика стока биогенных веществ в разные сезоны по длине камских водохранилищ. Анализ концентраций биогенных веществ в воде камских водохранилищ, осредненных по сезонам водности, показал, что наибольшие концентрации аммоний-иона наблюдаются в весенний период – фазу максимальной водности (табл. 4). На Камском и Воткинском водохранилищах максимальный сброс биогенных веществ поступает с промышленных предприятий, а на Нижнекамском водохранилище – с сельскохозяйственных земель во время снеготаяния. На Камском водохранилище наименьшие из средних концентраций аммоний иона (0,14 мг/л) наблюдаются в период летне-осенней стабилизации, когда наполнение водохранилищ близко к НПУ. В период зимней сработки концентрации данного вещества увеличиваются и в период весеннего наполнения достигают наибольших значений (табл. 4). На Воткинском водохранилище сезонные концентрации аммоний-иона (0,21–0,41 мг/л) изменяются так же, как и на Камском водохранилище.

Максимальную сельскохозяйственную нагрузку испытывает водосбор Нижнекамского водохранилища, где расположены обширные площади сельскохозяйственных угодий и большое поголовье крупного рогатого скота. Самые значительные концентрации средних по сезонам величин аммоний-иона наблюдались во все сезоны, но чаще всего в период весеннего наполнения (табл. 4). В данный сезон содержание аммоний-иона составляло 0,35 мг/л.

Высокие концентрации нитратов и нитритов на Камском и Нижнекамском водохранилищах отмечаются при наименьших объемах воды – в периоды зимней сработки и весеннего наполнения. В период летне-осенней стабилизации концентрации нитратов наименьшие (0,34–1,15 мг/л). На Воткинском водохранилище нитраты и нитриты имеют наибольшие концентрации в разные сезоны. Нитратов больше в период зимней сработки (1,65 мг/л), нитритов – в период летне-осенней стабилизации (0,012 мг/л).

Минимальные концентрации фосфатов на всех водохранилищах Камского каскада наблюдаются в период весеннего наполнения (0,017–0,022 мг/л) и летне-осенней стабилизации (0,018–0,025 мг/л) (табл. 4). Низкие концентрации фосфатов можно объяснить высоким потреблением фосфора водными растениями в период вегетации. Максимум концентраций фосфатов на всех водохранилищах Камского каскада отмечен в период зимней сработки (0,026–0,031 мг/л). Происходит это из-за отмирания нижней водной растительности и прекращения потребления фосфатов высшей водной растительностью вследствие низких температур воды и отсутствия солнечного света.

Анализ сезонного изменения железа общего на Камском водохранилище показал, что наибольшие концентрации отмечаются в период зимней сработки. В период весеннего наполнения концентрации железа в Камском водохранилище снижаются (0,42 мг/л) и достигают наименьших значений (0,18 мг/л) в период летне-осенней стабилизации (табл. 4).

Такое снижение концентраций происходит из-за того, что в весенний период в водохранилище с водосбора поступает большой объем пресной воды от снеготаяния. Весенний период включает в себя три месяца: апрель, май и июнь. В апреле и начале мая происходит сработка Камского водохранилища, которой соответствуют высокие концентрации железа, поступающего с грунтовым питанием и стоком с болот Верхней Камы (естественный природный фон). Далее начинается наполнение водохранилища талыми водами. Поэтому средние концентрации

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

железа за период весеннего наполнения выше, чем в период летне-осенней стабилизации уровня воды, когда водохранилище полностью наполнено водами, поступившими от снеготаяния. В целом, на Камском водохранилище концентрации железа выше (0,18–0,47 мг/л), чем на нижерасположенных водохранилищах каскада (0,11–0,41 мг/л).

Таблица 4

Сезонные концентрации биогенных веществ (мг/л) на камских водохранилищах
Seasonal concentration of biogenic substances (mg/l) in the Kama reservoirs

Seasonal concentration of biogenic substances (mg/l) in the Kama reservoirs				
Показатель	ПДК	Водохозяйственные сезоны		
		Зимняя сработка	Весеннее наполнение	Летне-осенняя стабилизация
Камское водохранилище				
Аммоний-ион	0,50	0,32	0,35	0,14
Нитраты	40	1,03	1,30	0,34
Нитриты	0,08	0,007	0,012	0,006
Фосфаты	0,20	0,031	0,017	0,018
Железо общее	0,10	0,47	0,42	0,18
Воткинское водохранилище				
Аммоний-ион	0,50	0,37	0,41	0,21
Нитраты	40	1,65	1,46	0,42
Нитриты	0,08	0,009	0,011	0,012
Фосфаты	0,20	0,028	0,022	0,021
Железо общее	0,10	0,39	0,41	0,15
Нижнекамское водохранилище				
Аммоний-ион	0,50	0,32	0,35	0,33
Нитраты	40	2,30	2,43	1,15
Нитриты	0,08	0,025	0,030	0,028
Фосфаты	0,20	0,026	0,018	0,025
Железо общее	0,10	0,12	0,18	0,11

Примечание: полужирным шрифтом выделены величины, превышающие ПДК

На Воткинском и Нижнекамском водохранилищах наибольшие концентрации железа наблюдались в период весеннего наполнения (0,41 и 0,18 мг/л соответственно). В этот период воды вышерасположенного Камского водохранилища в результате сработки интенсивно поступают в нижележащие водохранилища каскада, увеличивая зимние концентрации железа. В последующий период летне-осенней стабилизации концентрации железа на Воткинском и Нижнекамском водохранилищах наименьшие. Превышений ПДК_{р.х.} (табл. 4) по биогенным веществам нет, за исключением железа общего. Во все сезоны концентрации железа превышают ПДК_{р.х.} в 1,1–4,7 раз (табл. 4).

От верховьев Камского водохранилища к плотине Нижнекамского гидроузла концентрации аммоний-иона и железа общего снижаются (рис. 3).

Концентрация аммоний-иона снижается в 2 раза, а железа общего – в 10 раз по мере удаления от источника поступления. Затем отмечается небольшой рост концентраций аммоний-иона на Нижнекамском водохранилище до 0,38 мг/л, в основном за счет притока биогенных веществ от предприятий сельского хозяйства и животноводства. Содержание в воде нитратов и нитритов имеет схожую динамику – рост от верхних участков Камского водохранилища к плотине Нижнекамского гидроузла с локальными пиками в районе г. Перми. В целом их концентрации увеличиваются в 5–6 раз. На верхних участках каскада концентрации нитратов невелики и составляли 0,35–0,50 мг/л (д. Пыскор, пос. Керчевский), а к плотине Нижнекамского гидроузла увеличиваются до 2,39 мг/л у д. Усть-Бельск. Фосфаты имеют высокие концентрации на верхнем участке Камского водохранилища (0,03 мг/л), несколько снижаются в центральной части (0,015 мг/л), затем снова увеличиваются в районе г. Перми (0,031 мг/л). На Воткинском водохранилище концентрации фосфатов растут к приплотинному участку Воткинской ГЭС (0,022–0,023 мг/л).

Если рассматривать изменения значений превышений ПДК_{р.х.} железа по длине водохранилищ, то следует отметить, что среднегодовые превышения концентраций ПДК_{р.х.} снижаются по длине каскада с 9,7 ПДК_{р.х.} на участке, расположенном выше Камского водохранилища (пос. Керчевский), где столь высокое содержание железа обусловлено естественным природным фоном, до 6,4 ПДК_{р.х.} (д. Пыскор) в районе Березниковско-Соликамского промузла. Ниже данного участка также происходит существенное снижение концентраций железа в водах Камского водохранилища. Так, у д. Пахнино (ниже центральной части Камского водохранилища) концентрации составляют уже 3,8 ПДК_{р.х.}, несмотря на значительное техногенное воздействие на сток, связанное с изливами воды из ликвидированных шахт Кизеловского угольного бассейна. Далее вниз по каскаду концентрации продолжают снижаться и достигают наименьших значений на Нижнекамском водохранилище (0,9 ПДК_{р.х.} у с. Каракулино и д. Усть-Бельск).

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

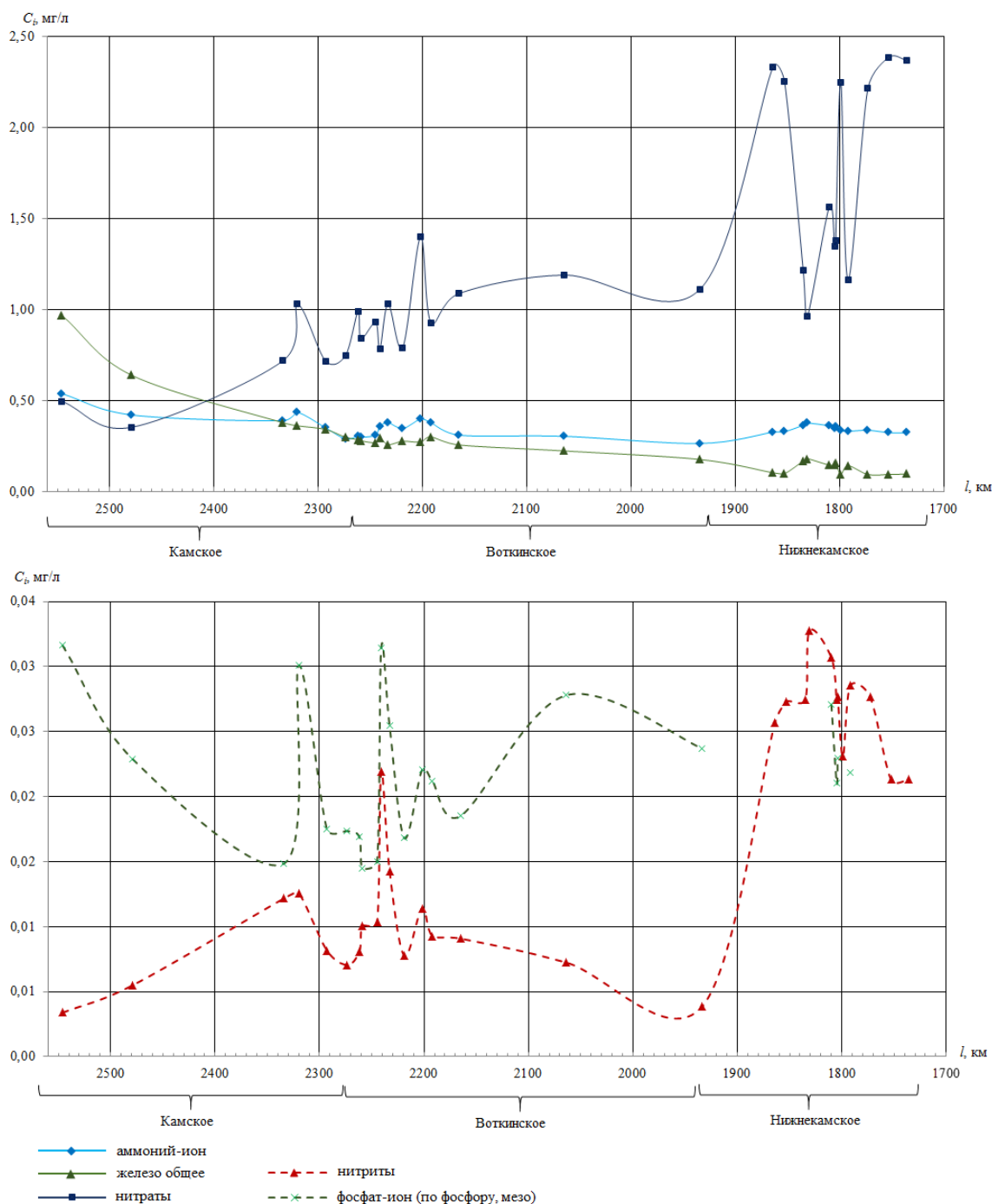


Рис. 3. Среднее за период 2005–2022 гг. изменение концентраций биогенных веществ (мг/л) по длине судового хода (км) камских водохранилищ

Fig. 3. Average change in concentrations of biogenic substances (mg/l) along the shipping channel (km) of the Kama reservoirs for 2005–2022

В целом на изменение концентраций биогенных веществ на камских водохранилищах оказывают влияние: природный фон, стоки промышленных вод на верхних участках Камского водохранилища (Соликамско-Березниковский промузел), сбросы предприятий в районе г. Перми и сток с сельскохозяйственных территорий водосбора Нижнекамского водохранилища.

Многолетняя динамика годовых ПДКр.х. биогенных веществ. Анализ многолетней динамики годовых концентраций биогенных веществ, выполненный за два периода – 2005–2013 и 2014–2022 гг., показал, что величины аммоний-иона, нитритов и фосфат-иона снижаются на всех водохранилищах каскада. Так, понижение концентраций аммоний-иона составляет 8–22 %, при этом наибольшее снижение отмечено на Воткинском водохранилище (рис. 4а) – с 0,77 до 0,60 ПДКр.х. (22 %). У железа общего за весь рассматриваемый многолетний период

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

наблюдались существенные превышения ПДК_{р.х.}. Самые высокие превышения годовых концентраций были зарегистрированы на Воткинском водохранилище (рис. 4б) в 2007 г. (4,47 ПДК_{р.х.}), а на Нижнекамском водохранилище в 2009 г. – 5,39 ПДК_{р.х.}. За период 2014–2022 гг. наблюдается рост превышений ПДК_{р.х.} на 5–19 % по сравнению с периодом 2005–2013 гг.

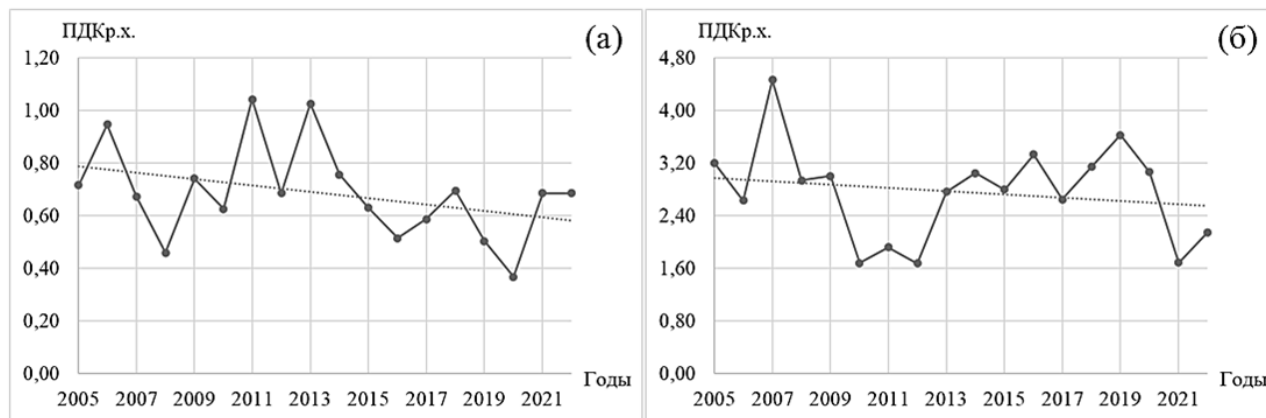


Рис. 4. Многолетнее изменение превышений ПДК_{р.х.} аммоний-иона (а) и железа общего (б) на Воткинском водохранилище за период 2005–2022 гг.

Fig. 4. Long-term changes in the exceedance of MPCf of ammonium ion (a) and total iron (b) in the Votkinskoe reservoir for 2005–2022

Содержание нитратов на исследуемых водохранилищах имеет разнонаправленную динамику. На Камском и Нижнекамском водохранилищах превышения ПДК_{р.х.} концентраций нитратов увеличиваются на 12–14 %, а на Воткинском водохранилище незначительно снижаются (на 6 %). При этом все концентрации нитратов соответствуют нормам ПДК_{р.х.}

Самое большее снижение концентраций ПДК_{р.х.} (на 82–90 %) за исследуемый период наблюдается у нитритов. Также отмечается снижение концентраций фосфат-иона на 18–33 %. Наибольшее снижение связано с Воткинским водохранилищем – с 0,19 до 0,12 ПДК_{р.х.}. Превышения рыбохозяйственных нормативов по значениям среднегодовых концентраций нитритов и фосфатов в воде водохранилищ Камского каскада не выявлены.

Как правило, изменение многолетних концентраций веществ имеет схожие черты на всех водохранилищах. Так, концентрации соединений азота, нитритов и фосфатов снижаются за исследуемый период на всех водохранилищах, а железа и нитратов – увеличиваются.

Выводы

1. Большая часть биогенных веществ со сбросами сточных вод предприятий поступает в Камское водохранилище – 51 %. В два раза меньше сточных вод, содержащих биогены, поступает в Воткинское (25%) и Нижнекамское (24%) водохранилища.

2. Поступление азота общего и фосфатов от всех источников на Нижнекамском водохранилище наибольшее – 61 и 84 % соответственно, т.к. здесь сосредоточены обширные площади сельскохозяйственных земель и активно развито животноводство. Поступление азота общего и фосфатов на Камском и Воткинском водохранилищах происходит в основном за счет сброса сточных вод – 70 и 31 % соответственно, т.к. площадь сельхозугодий небольшая (5–15 %).

3. Верификация средних многолетних концентраций биогенных веществ по материалам мониторинга Камского БВУ с данными ежегодников качества поверхностных вод РФ показала, что концентрации различаются незначительно. Наибольшие расхождения характерны для Камского водохранилища, где концентрации аммоний-иона ниже на 0,16, а железа общего на 0,19 мг/л. Однако материалы ежегодников не обладают такой полнотой, как данные КамБВУ, а также не позволяют судить о сезонных величинах концентраций биогенных веществ.

4. На формирование режима концентраций железа на камских водохранилищах определяющее влияние оказывает высокий природный фон. Так, на участке выше Камского водохранилища среднее превышение ПДК_{р.х.} концентрации железа за многолетний период составило 9,7 ПДК_{р.х.}. На Камском и Воткинском водохранилищах это превышение снизилось до 2,8–3,0 ПДК_{р.х.}. В верхней части Нижнекамского водохранилища (до д. Усть-Бельск) средние концентрации железа составили 1,4 ПДК_{р.х.}, ниже по течению – 1,0 ПДК_{р.х.}.

5. По сезонам средних превышений ПДК_{р.х.} по биогенным веществам нет, за исключением железа общего. Содержание железа на Камском водохранилище превышает норму в 1,8–4,7 раз. Наибольшее превышение (4,7 ПДК_{р.х.}) наблюдается в зимний сезон. При этом по всем биогенным веществам имеют место точечные превышения в местах отбора проб.

6. Изменение многолетних концентраций веществ имеет схожие черты на всех водохранилищах каскада. Величины аммоний-иона, нитритов и фосфат-иона снижаются. У фосфат-иона выявлена тенденция уменьшения концентраций (на 18–33 %). Больше понижение концентраций ПДК_{р.х.} (на 82–90 %) за исследуемый период

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

наблюдается у нитритов. Превышений рыбохозяйственных нормативов по среднегодовым концентрациям нитритов и фосфатов в воде камских водохранилищ не выявлено. Годовые концентрации железа общего увеличились на 5–19 % за период 2014–2022 гг. по сравнению с периодом 2005–2013 гг. При том, что по этому показателю наблюдается существенное превышение ПДК_{р.х.}

Библиографический список

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 05.08.2024)
2. Балабанова З.М. Гидрохимическая характеристика Камского водохранилища (1954–1955 гг.) // Тр. Уральского отделения ГОСНИОРХА. 1961. Т. 5. С. 38–104.
3. Балабанова З.М. Физико-химический режим Камского водохранилища и факторы его формирования (1956–1958 гг.) // Матер. Всесоюз. совещан. по эксплуатации Камского вод-ща. Пермь, 1959. Вып. 1. 9 с.
4. Башкин В.Н., Кудяров А.Ю. Смыв азота, фосфора и калия с водосборных территорий рек, дренирующих сельскохозяйственные районы // Водные ресурсы. 1989. № 6. С. 36–45.
5. Богомолов А.В., Лепихин А.П., Ляхин Ю.С., Гребенева М.Г. Особенности колебаний вертикальных структур полей минерализации в Камском водохранилище в период летней межени в районе г. Березники // Горное эхо. 2021. № 4. С. 3–11. DOI: 10.7242/echo.2021.4.1
6. Возняк А.А., Лепихин А.П., Ляхин Ю.С., Богомолов А.В. Масштабы и структура диффузного загрязнения Камского водохранилища / VII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов»: сборник научных трудов. Пермь: ПГНИУ, 2019. Т. 2. С. 34–39.
7. Даценко Ю.С., Мотовилов Ю.Г., Пуклаков В.В. Моделирование гидроэкологического режима Камского водохранилища / III Международной научно-практической конференции «Экология речных бассейнов»: сборник научных трудов. В.: ВГУ, 2005. С. 360–362.
8. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения / ФГБУН Институт водных проблем РАН. М.: РАН, 2020. 512 с.
9. Качество поверхностных вод РФ. Ежегодник с приложением. Гидрохимический институт Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды URL: <https://gidrohim.com/node/44> (дата обращения: 05.08.2024)
10. Келлер И.А., Китаев А.Б. Динамика биогенных веществ в Воткинском водохранилище // Географический вестник. 2011. № 3. С. 27–35.
11. Китаев А.Б. Химический состав воды Камского водохранилища в начале XXI столетия // Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии, водном хозяйстве и геоэкологии. 2020. С. 100–103.
12. Коплан-Дикс М.С., Назаров Г.В., Кузнецов В.К. Роль минеральных удобрений в эвтрофировании вод суши. Л.: Наука. Ленинградское отделение. 1985. 180 с.
13. Матарзин Ю.М., Богословский Б.Б., Мацкевич И.К. Формирование водохранилищ и их влияние на природу и хозяйство: учебное пособие по спецкурсу «Гидрология водохранилищ». Пермь: ПГУ, 1981. 96 с.
14. Правила использования водных ресурсов Камского и Воткинского водохранилищ на р. Каме / Федеральное агентство водных ресурсов. 2016. 202 с.
15. Правила использования водных ресурсов Нижнекамского водохранилища на р. Каме / Федеральное агентство водных ресурсов. 2014. 132 с.
16. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». Зарегистрирован в Минюсте России 13.01.2017 г. № 45203.
17. Селезнева А.В. Оценка диффузного загрязнения Саратовского водохранилища // Известия Самарского научного центра РАН. 2018. Т. 20. № 5(2). С. 196–203. DOI:
18. Строительная климатология СП 131.13330.2020. URL: <https://helpeng.ru/engineer/climatology/climatology-2020> (дата обращения: 05.08.2024)
19. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Кама (СКИОВО) / Книга 1. Общая характеристика речного бассейна. Камское БВУ. 2014. С. 370.
20. Урбанова О.Н., Семанов Д.А., Горшкова А.Т., Каримова А.И., Бортникова Н.В. Вынос биогенных элементов с водосборов малых рек Республики Татарстан // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2015. № 4. С. 45–52.
21. Фашевская Т.Б., Мотовилов Ю.Г. Моделирование загрязнения марганцем водотоков в бассейне Нижнекамского водохранилища // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод: сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования гидрохимического института. Ростов н/Д: ФГБУ «Гидрохимический институт», 2020. Ч. 1. С. 158–162.
22. Фашевская Т.Б., Мотовилов Ю.Г., Картунова К.В. Моделирование генетических составляющих водного и химического стока тяжелых металлов в бассейне Нижнекамского водохранилища // Водные ресурсы. 2023. Т. 50, № 4. С. 492–508. DOI: 10.31857/S0321059623040077
23. Федорова Е.В., Карпунина О.П., Щипачева Л.А., Беляева И.У. Оценка неконтролируемого стока биогенных веществ с водосборных территорий малых водотоков Среднего Урала, включенных в сельскохозяйственное использование // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 1. С. 68–86. DOI: 10.35567/19994508_2022_1_5
24. Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. ООО «Издательство ГЕОС», 1998. 277 с. ISBN: 5-89118-054-5

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

References

1. Automated Information System for Water Bodies' State Monitoring. The Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation and the Federal Agency for Water Resources. [<https://gmvo.skniivh.ru>]
2. Balabanova, Z.M. 1961. Hydrochemical characteristics of the Kamskoe Reservoir (1954-1955). Proceedings of the Ural branch of GOSNIORKhA, Vol. 5, pp.38-104.
3. Balabanova, Z.M. 1959. Physicochemical regime of the Kamskoe Reservoir and factors of its formation (1956-1958). Proceedings of All-Union Conference on the Operation of the Kamskoe Reservoir, Issue 1, p.9.
4. Bashkin, V.N. and Kudayarov, A.Yu. 1989. Nitrogen, phosphorus and potassium runoff from catchment areas of rivers draining agricultural areas. Water Resources, 6, pp.36-45.
5. Bogomolov, A.V., Lepikhin, A.P., Lyakhin, Yu.S. and Grebeneva, M.G. 2021. Features of fluctuations in vertical structures of mineralization fields in the Kamskoe Reservoir during the summer low water period in the Berezniki area. Mining Echo, 4, pp.3-11.
6. Voznyak, A.A., Lepikhin, A.P., Lyakhin, Yu.S. and Bogomolov, A.V. 2019. Scale and structure of diffuse pollution of the Kamskoe Reservoir. Proceedings of the VII All-Russian scientific and practical conference with international participation "Modern problems of reservoirs and their catchments". Perm, PSU, Vol. 2, pp.34-39.
7. Datsenko, Yu.S., Motovilov, Yu.G. and Puklakov, V.V. 2005. Modeling the hydroecological regime of the Kamskoe Reservoir. Proceedings of III International Scientific and Practical Conference "Ecology of River Basins". VSU, pp.360-362.
8. Federal State Budgetary Scientific Institution Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences. 2020. Diffuse Pollution of Water Bodies: Problems and Solutions. Moscow, RAS, p.512.
9. Yearbook of surface water quality of the Russian Federation [Electronic resource] <https://gidrohim.com/node/44> (accessed: 08/05/2024).
10. Keller, I.A. and Kitaev, A.B. 2011. Dynamics of biogenic substances in the Votkinskoe Reservoir. Geographical Bulletin, 3, p.27-35.
11. Kitaev, A.B. 2020. Chemical composition of the Kamskoe Reservoir at the beginning of the 21st century. Fundamental and applied research in hydrometeorology, water management and geoecology, p.100-103.
12. Coplan-Dix, M.S., Nazarov, G.V. and Kuznetsov, V.K. 1985. The role of mineral fertilizers in the eutrophication of land waters, Leningrad, Science, p.180.
13. Matarzin, Yu.M., Bogoslovsky, B.B. and Matskevich, I.K. 1981. Formation of reservoirs and their impact on nature and economy. Study guide for the special course "Hydrology of reservoirs", Perm, PSU, p.96.
14. Federal Water Resources Agency. 2016. Rules for the use of water resources of the Kamskoe and Votkinskoe Reservoirs on the Kama River. p.202.
15. Federal Water Resources Agency. 2014. Rules for the use of water resources of the Nizhnekamskoe Reservoir on the Kama River, p.132.
16. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of 13.12.2016 No. 552 "On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance". Registered in the Ministry of Justice of Russia on 13.01.2017 No. 45203.
17. Selezneva, A.V. 2018. Assessment of diffuse pollution of the Saratovskoe Reservoir. Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Vol. 20, 5-2, pp. 196-203.
18. Construction climatology SP 131.13330.2020 [Electronic resource] URL: <https://helpeng.ru/engineer/climatology/climatology-2020> (date of access: 05.08.2024).
19. Scheme of integrated use and protection of water bodies of the Kama River basin (SKIOVO). Book 1. General characteristics of the river basin. Kama BVU. 2014. p. 370.
20. Urbanova, O.N., Semanov, D.A., Gorshkova, A.T., Karimova, A.I. and Bortnikova, N.V. 2015. Removal of biogenic elements from the catchments of small rivers of the Republic of Tatarstan. Bulletin of Udmurt University. Series "Biology. Earth Sciences", 4, pp. 45-52.
21. Fashchevskaya, T.B. and Motovilov, Yu.G. 2020. Modeling of manganese pollution of watercourses in the Nizhnekamskoe Reservoir basin. In: Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality: Collection of articles dedicated to the 100th anniversary of the foundation of the hydrochemical institute. Rostov-on-Don: FGBU "Hydrochemical Institute", Part 1, pp. 158-162.
22. Fashchevskaya, T.B., Motovilov, Yu.G. and Kortunova, K.V. 2023. Modeling of genetic components of water and chemical runoff of heavy metals in the Nizhnekamsk Reservoir basin. Water Resource, Vol. 50, 4, pp. 492-508. Doi 10.31857/S0321059623040077.
23. Fedorova, E.V., Karpunina, O.P., Shchipacheva, L.A., and Belyaeva, I.U. 2022. Assessment of uncontrolled runoff of biogenic substances from the catchment areas of small watercourses of the Middle Urals included in agricultural use. Water management of Russia: problems, technologies, management, 1. pp. 68-86. doi: 10.35567/19994508_2022_1_5.
24. Edelstein, K.K. 1998. Reservoirs of Russia: environmental problems, solutions. LLC "GEOS Publishing House", p. 277.

Статья поступила в редакцию: 30.09.24, одобрена после рецензирования: 16.10.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 30 September 2024; approved after review: 16 October 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Гидрология

Микова К.Д., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Шайдулина А.А., Ясинский С.В.

Информация об авторах

Ксения Дмитриевна Микова

кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: mikovak@yandex.ru

Виталий Германович Калинин

доктор географических наук, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: vgkalinin@gmail.com

Михаил Александрович Фасахов

ассистент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: komrad.fasakhov2017@yandex.ru

Аделия Александровна Шайдулина

кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: AdelinaSh89@mail.ru

Сергей Владимирович Ясинский

доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт географии РАН; 119017, Россия, Москва, Старомонетный переулок, 29, стр. 4.

e-mail: yasisergej@yandex.ru

Information about the authors

Ksenia D. Mikova

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Vitaliy G. Kalinin

Doctor of Geographical Sciences, Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Mikhail A. Fasakhov

Assistant, Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Adeliya A. Shaydulina

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Sergey V. Yasinsky

Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences; 29, bld.4, Staromonetny pereulok, Moscow, 119017, Russia

Вклад авторов

Микова К.Д. – идея статьи, выполнение численных экспериментов, обработка материала, написание отдельных частей статьи, подготовка таблиц и иллюстраций.

Калинин В.Г. – научное редактирование текста, написание отдельных частей статьи.

Фасахов М.А. – выполнение численных экспериментов, обработка материала, написание отдельных частей статьи, подготовка иллюстраций.

Шайдулина А.А. – научное редактирование текста, выполнение численных экспериментов, обработка материала, написание отдельных частей статьи, подготовка иллюстраций.

Ясинский С.В. – научное редактирование текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Ksenia D. Mikova – idea of the article; numerical experiments; material processing; writing of individual parts of the article; preparation of tables and illustrations.

Vitaliy G. Kalinin – scientific editing; writing of individual parts of the article.

Mikhail A. Fasakhov – numerical experiments; material processing; writing of individual parts of the article; preparation of illustrations.

Adeliya A. Shaydulina – scientific editing; numerical experiments; material processing; writing of individual parts of the article; preparation of illustrations.

Sergey V. Yasinsky – scientific editing.

The authors declare no conflict of interest.

Гидрология

Чернова М.А., Кузьмин К.А., Иванова С.А.

Научная статья

УДК 556.535

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-99-107

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК
ВОЛЖСКОГО БАСЕЙНА ОКСКО-ДОНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ****Мария Александровна Чернова¹, Кирилл Алексеевич Кузьмин², Софья Александровна Иванова³**^{1, 2, 3} Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия¹ chernovamarusya@mail.ru, ResearcherID: JHU-1608-2023, Scopus Author ID: 57216909847² ka_kuzmin@mail.ru, ResearcherID: JKI-5409-2023, Scopus Author ID: 57216910526³ ivanovasonya472@gmail.com, ResearcherID: MEQ-1751-2025

Аннотация. В статье рассматривается трансформация водного режима рек волжского бассейна на территории Окско-Донской низменности. Целью исследования является анализ изменений гидрологического режима рек за период с 1953 по 2021 г.

В работе применены математический, статистический, аналитический, географический методы. Произведена оцифровка данных первичных наблюдений гидрологических журналов за 69 лет по 5 гидрологическим постам Тамбовской области («Кузьмино-Гать», «Княжево», «Знаменка», «Пудовкин», «Рождественское») на 4 реках (Цна, Большой Ломовис, Кариан, Челновая). Данные предоставлены Тамбовским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Анализ данных проводился по трём равным временным отрезкам: 1953–1975 гг., 1976–1998 гг., 1999–2021 гг. Полученные результаты свидетельствуют о постепенном снижении доли весеннего половодья в суммарном годовом стоке в период с 1953 по 2021 г.

Авторами отмечено незначительное увеличение продолжительности половодья на исследуемых реках.

В результате исследования была составлена единая карта-схема, отображающая процентное отношение стока в период весеннего половодья к годовому стоку на реках Тамбовской области за три временных отрезка. Карта-схема отражает уменьшение доли стока за период половодья в современный период в сравнении с более ранними периодами.

Ключевые слова: весеннее половодье, гидрологический режим, волжский бассейн, расход воды, речной сток, уровень воды

Финансирование. Публикация подготовлена при финансовой поддержке гранта Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина для поддержки научных коллективов, приказ № 490/1 от 02.09.2024 г.

Для цитирования: Чернова М.А., Кузьмин К.А., Иванова С.А. Изменчивость гидрологического режима малых и средних рек Волжского бассейна Окско-Донской низменности // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 99–107. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-99-107

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-99-107

**VARIABILITY OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF SMALL AND MEDIUM-SIZED RIVERS
IN THE VOLGA BASIN OF THE OKA-DON LOWLAND****Maria A. Chernova¹, Kirill A. Kuzmin², Sofya A. Ivanova³**^{1, 2, 3} Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia¹ chernovamarusya@mail.ru, ResearcherID: JHU-1608-2023, Scopus Author ID: 57216909847² ka_kuzmin@mail.ru, ResearcherID: JKI-5409-2023, Scopus Author ID: 57216910526³ ivanovasonya472@gmail.com, ResearcherID: MEQ-1751-2025

Abstract. This article examines the transformation of the water regime in the rivers of the Volga basin in the territory of the Oka-Don lowland. The aim of the study is to analyze changes in the hydrological regime of the Volga basin rivers in the Tambov region for the period from 1953 to 2021.

Mathematical, statistical, analytical, and geographical methods were used in the research. Primary observations data from hydrological journals for 69 years were digitized for 5 hydrological posts in the Tambov region (Kuzmino-Gat,



© 2025 Эта работа Черновой М.А., Кузьмина К.А., Ивановой С.А. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Гидрология

Чернова М.А., Кузьмин К.А., Иванова С.А.

Knyazhevo, Znamenka, Pudovkin, Rozhdestvenskoe) located on 4 rivers (Tsna, Bolshoy Lomovis, Karian, Chelnovaya). The data were provided by the Tambov Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.

Data analysis was carried out for three equal time periods: 1953–1975, 1976–1998, 1999–2021. The results obtained indicate a gradual decrease in the share of spring flooding in the total annual runoff over the period from 1953 to 2021.

The authors note a slight increase in the duration of the high water period on the studied rivers.

As a result of the study, a single schematic map was compiled showing the percentage of runoff during the spring flood in relation to the annual runoff on the rivers of the Tambov region over the three time periods. The map reflects a clear decrease in the proportion of flooding in the modern period in comparison with earlier periods.

Keywords: spring flood, hydrological regime, Volga basin, water flow, river flow, water level

Funding. This work was financially supported by the Derzhavin Tambov State University Grant to Support Research Teams (Order No. 490/1 dated September 2, 2024).

For citation: Chernova, M.A., Kuzmin, K.A., Ivanova, S.A. (2025). Variability of the hydrological regime of small and medium-sized rivers in the Volga basin of the Oka-Don lowland. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp. 99–107. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-99-107

Введение

Водные ресурсы имеют важное значение в хозяйственной деятельности человека. Их используют повсеместно в различных отраслях – от рекреации до промышленности и сельского хозяйства [4].

На территории Окско-Донской низменности активно развивается агропромышленное производство [12], поэтому для данной территории и подобных ей важно, чтобы гидрологические ресурсы были стабильными и постоянными.

Климат, рельеф, растительность, антропогенная деятельность – всё это различные факторы, оказывающие влияние на величину стока. Ландшафтное строение водосборных бассейнов определяет внутригодовую изменчивость уровня воды в реках [15]. Отмечается прямая зависимость пика весеннего половодья от климатических факторов [9, 14].

Сток рек Окско-Донской низменности, как правило, имеет неравномерный ход, характерный для восточноевропейского типа режима рек [7]. Так, реки Окско-Донской низменности обладают высоким весенним половодьем, низкой летне-осенней и зимней меженью. В осенний период уровень воды несколько повышается за счёт выпадения осадков [5, 11].

Информация о гидрологическом режиме рек является ключевой при возведении гидротехнических сооружений и безопасном пропуске половодья. Большое количество территорий водосборов малых рек ощущает на себе нагрузку сельскохозяйственной деятельности (распашки, мелиоративных мероприятий, установки гидротехнических сооружений, строительства).

Рядом авторов установлено внутригодовое перераспределение объёмов стока в бассейне р. Дона в современный период по сравнению с периодом 1970–1979 гг. [1, 6]. Также установлено подобное перераспределение в бассейне р. Волги [2–3, 8, 16–18]. Показано, что по сравнению с периодом 1970–1980 гг. на данном этапе происходят изменения водного режима большинства рек волжского бассейна: увеличение зимнего меженного стока, сокращение максимального весеннего половодья, рост среднегодового стока [2].

При рациональном хозяйствовании (высоком уровне земледелия) паводочный и полный сток рек должен иметь тенденцию во времени к уменьшению, а подземный (меженный), наоборот, расти. При нерациональном хозяйствовании подземный уменьшается, а паводковый и полный сток растёт [20].

Материалы и методы исследования

Основным источником данных стали материалы ежегодных гидрологических журналов Тамбовского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по 5 гидрологическим постам («Кузьмино-Гать», «Княжево», «Знаменка», «Пудовкин», «Рождественское») на 4 реках (Цна, Большой Ломовис, Кариан, Челновая), содержащие информацию об уровнях и расходах воды рек волжского бассейна на территории Тамбовской области.

Для анализа были оцифрованы данные гидрологических журналов за период с 1953 по 2021 г. Всего было оцифровано около 252 000 значений. Авторами актуализированы и описаны сведения по рекам Окско-Донской низменной равнины, относящимся к волжскому бассейну: динамике уровня режима и расходам воды. В работе использовались такие программные пакеты, как HydroStatCalc и Microsoft Excel.

Первым этапом стало определение продолжительности гидрологических периодов для каждого из изучаемых гидрологических постов, а также максимального за год среднесуточного расхода воды и даты его фиксации, максимального среднесуточного расхода воды в период половодья и даты его наступления, продолжительности половодья.

Полученные в результате оцифровки гидрологические данные анализировались в разрезе трёх периодов, равных друг другу по количеству лет (по 23 года): 1953–1975, 1976–1998 и 1999–2021 гг. Верхняя граница исследуемого периода определяется наличием полных рядов данных гидрологических наблюдений на всех изученных гидрологических постах с 1953 г. С начала 1970-х годов на территории чернозёмных областей началась масштабная гидромелиорация, что в итоге привело к значимым изменениям условий формирования стока рек. Этими

Гидрология

Чернова М.А., Кузьмин К.А., Иванова С.А.

соображениями обусловлен выбор первого периода исследований – с 1953 по 1975 гг. Третий период соответствует современному отрезку времени и по продолжительности с целью обеспечения единообразия при расчёте статистически параметров равен первому. Второй период по своей сути является промежуточным между современным и более ранним периодам.

На примерно аналогичные периоды для изучения водности р. Волги разбил ряд имеющихся у него данных В.А. Селезнев [13]. Он разделил период наблюдений (62 года) на 3 части – 1958–1977, 1978–1999, 2000–2020 гг. С помощью аппроксимации расходов воды путём пятилетнего скользящего осреднения В.А. Селезнев сравнивал водность изучаемых рек [13].

Результаты и их обсуждение

Для рек волжского бассейна характерно высокое весеннее половодье. Максимальные суточные расходы воды в период половодья за изученный промежуток времени наблюдались в течение первого периода – с 1953 по 1975 г.

На рисунках 1 и 2 изображены типичные гидрографы, характерные для равнинных рек волжского бассейна на территории Тамбовской области. Наиболее типичные гидрографы для многоводных (1955 и 2012 гг.) и мало-водных (1975 и 1976 гг.) лет приведены на рис. 1 для малой реки Большой Ломовис (гидропост – с. Рождественское, площадь водосбора – 110 км²) и на рис. 2 для реки Цны (гидропост – с. Княжево, площадь водосбора – 13600 км²). Чёрным цветом на гидрографах (рис. 1 и 2) обозначены многоводные годы, серым цветом – мало-водные.

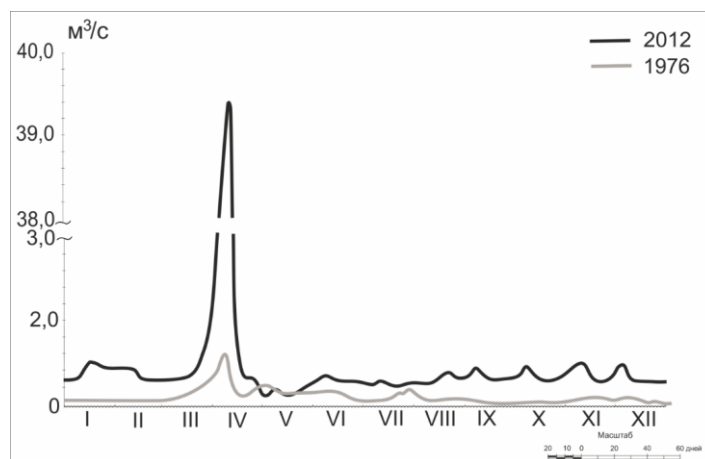


Рис. 1. Гидрографы р. Большой Ломовис – с. Рождественское
Fig. 1. Hydrographs of the Bolshoy Lomovis River – Rozhdestvenskoe

Продолжительность половодья определялась по ежедневным датам уровней воды рек волжского бассейна согласно «Методическим рекомендациям по составлению справочника по водным ресурсам СССР» (1962) и «Основным гидрологическим характеристикам рек бассейна Верхней Волги» (2015) [3, 10].

Рис. 1 и 2 отражают типичную динамику расходов воды в течение года. Из рис. видно, что гидрологический режим рек Тамбовской области характеризуется высоким весенним половодьем с наибольшими за год расходами воды, являющимся результатом таяния снежного покрова. Пик половодья приходится, как правило, на третью декаду марта, первую или вторую декаду апреля, далее следуют низкие, летне-осенняя и зимняя межени с незначительным увеличением расходов воды в осенний период, связанным с уменьшением испаряемости и осенними осадками.

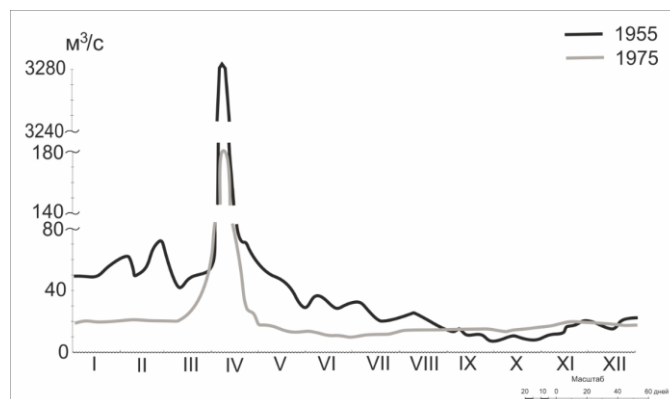


Рис. 2. Гидрографы р. Цна – с. Княжево
Fig. 2. Hydrographs of the Tsna River – Knyazhevo

Гидрология

Чернова М.А., Кузьмин К.А., Иванова С.А.

Половодье на реках волжского бассейна может быть достаточно продолжительным. На реках с малыми водосборами – до 500 км² – продолжительность составляет от 8 до 49 дней; на реках с водосборами от 500 до 10 000 км² – от 11 до 52 дней; на водосборах площадью более 10 000 км² – от 22 до 62 дней. Наибольшая продолжительность половодья на реках волжского бассейна наблюдалась в 1995 г., за исключением р. Большой Ломовис – с. Рождественское (1960 г.). Наименьшее число дней половодья отмечалось на реках волжского бассейна в 1990 г., кроме р. Цны – с. Княжево (2007 г.). При том, что значения минимальной и максимальной продолжительности половодья на реках с площадью водосбора до 500 км² и с площадью водосбора от 500 до 10 000 км² на первый взгляд вполне сопоставимы, медианное значение продолжительности половодья для рек с площадью водосбора до 500 км² составляет от 21 до 32 дней, в то время как для рек с площадью более 10 000 км² тот же параметр составляет 41 день.

Изменения климата несут за собой в числе прочих последствий и изменение речного стока. Довольно чёткое представление о временной изменчивости максимальных объёмов стока дают графики динамики максимальной за год водности рек.

На рис. 3 отображены максимальные расходы весеннего половодья на примере р. Цны на гидрологическом посту «Княжево» за период с 1953 по 2021 г. Рис. 3 демонстрирует значительное снижение значений максимального среднесуточного расхода воды в период весеннего половодья с течением времени. График показывает заметную межгодовую изменчивость: встречаются годы как с высоким расходом воды, так и с низким. Однако также заметно, что на р. Цне на гидрологическом посту «Княжево» в период с 1953 по 1975 г. расходы воды были значительно выше, чем в два последующих периода. Если в начале периода с 1976 по 1999 г. ещё можно наблюдать пики сравнительно высоких расходов воды (например, 854 м³/с в 1978 г., 1620 м³/с в 1978 г., 1250 м³/с в 1981 г.), то в современный период значения расходов воды едва достигают значения среднего расхода за весь период наблюдений – 553 м³/с.

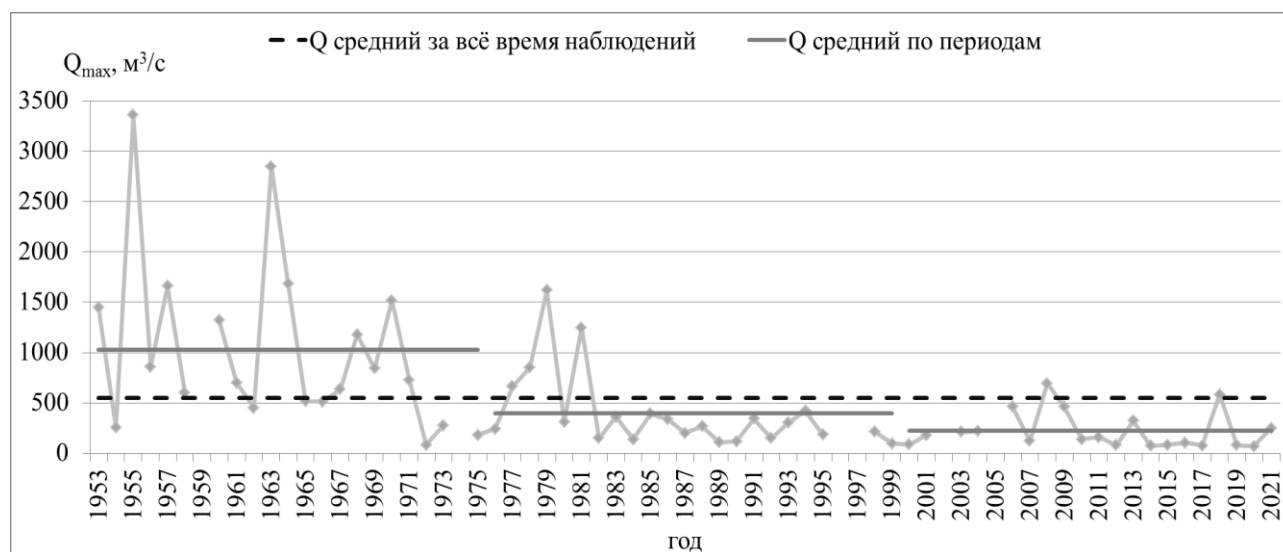


Рис. 3. Максимальные расходы весеннего половодья р. Цна – с. Княжево (1953–2021 гг.)

Fig. 3. Maximum flow of spring flood water, the Tsna River – Knyazhevo (1953–2021)

Реки волжского бассейна на территории Тамбовской области имеют схожие условия формирования стока. Ряд климатических факторов, например снежный покров, условия его таяния, дата начала снеготаяния, влияют на сам ход половодья [21–22] и на долю половодья в объёме годового стока.

На рис. 4 показано, что в течение более раннего периода, 1953–1975 гг., максимальные уровни воды в половодье наблюдались, как правило, с третьей декады марта по вторую декаду апреля. В следующий период, с 1976 по 1998 г., обнаруживается небольшое смещение дат фиксации максимального уровня воды в половодье к более ранним датам, появляются максимумы в первой декаде марта, а на некоторых постах в третьей декаде февраля. В последний период, с 1999 по 2021 г., ещё чаще фиксируется наступление максимальных уровней половодья в конце февраля и в марте, однако по-прежнему более чем в половине случаев максимальные уровни воды в половодье наблюдаются в первой и второй декадах апреля. При этом перестали отмечаться максимальные значения уровня воды в половодье в третью декаду апреля.

Гидрология

Чернова М.А., Кузьмин К.А., Иванова С.А.

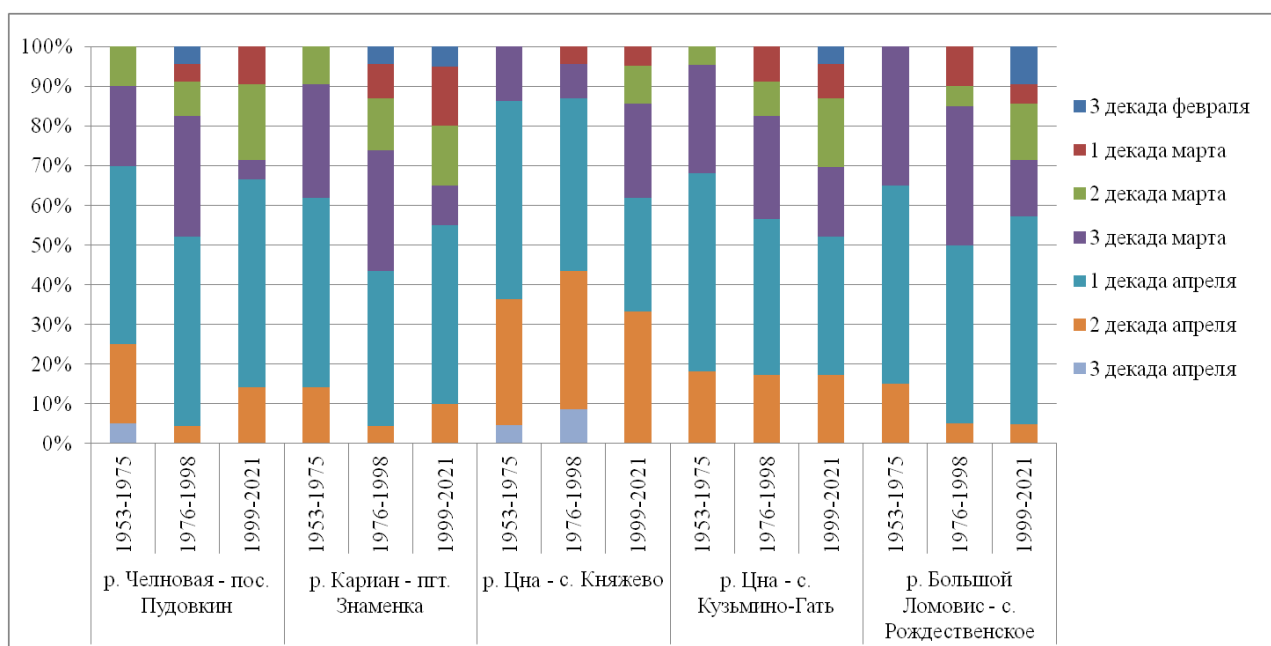


Рис. 4. Распределение дат наступления по декадам максимальных уровней половодья на гидрологических постах волжского бассейна с 1953 по 2021 г.

Fig. 4. Distribution of the onset dates by decades of maximum flood levels at hydrological posts of the Volga basin from 1953 to 2021

Доказано, что на настоящий момент произошло снижение доли весеннего половодья в годовом объеме стока [2–3, 8, 16–18]. Ранее коллективом авторов исследовалась изменчивость водного режима рек донского бассейна на территории Тамбовской области [19], где было показано распределение значений доли весеннего стока в разрезе трёх временных промежутков по территории Тамбовской области на реках донского бассейна. На рис. 5 представлены карты-схемы с распределением по территории Тамбовской области значений доли весеннего стока в процентах в годовом объеме стока за три рассматриваемых в текущей статье периода с учётом ранее проведённого исследования.

Если в ранний период доля весеннего половодья в годовом объеме стока составляла от 61 до 73 % в донском бассейне и от 44 до 76 % в волжском, то в современный период, с 1999 по 2021 г., эта доля сократилась до значений от 26 до 49 % в донском бассейне и от 19 до 42 % в волжском. Значения доли стока за половодье в годовом объеме стока в рамках среднего периода, 1976–1998 гг., на территории донского бассейна колебались от минимального значения в 32 до максимального в 56 %. Волжский бассейн в этот период характеризуется значениями минимальной доли стока за половодье в 32 % и максимальной доли стока за половодье в 43 %. Максимальные значения доли стока за половодье в годовом объеме стока приходятся на средние реки области: р. Ворона – г. Уварово, р. Ворона – с. Чутановка, относящиеся к бассейну р. Дона; р. Цна – с. Княжево, относящаяся к бассейну р. Волги.

Отметим, что на реках с малыми водосборами, до 500 км², в ранний период, 1953–1975 гг., доля половодья на реках колебалась от 61 до 76 %. В течение среднего периода значения доли половодья находились в рамках 32 % на р. Большой Ломовис – с. Рождественское и до 43 % на р. Челновая – пос. Пудовкин. Современный же период, 1999–2021 гг., характеризуется наименьшими значениями доли половодья: 23 % на р. Кариан – пгт. Знаменка и 42 % на р. Челновая – пос. Пудовкин.

Полученные результаты, констатирующие факт сокращения доли стока весеннего половодья в годовом объеме стока, находят подтверждение в работе В.А. Дмитриевой и С.В. Бучик, несмотря на то что сами данные не пересекаются [6]. В работе В.Ю. Георгиевского [3] также отмечается сокращение доли весеннего стока в годовом стоке за последние 30 лет. Другие современные авторы, Н.Л. Фролова, М.Б. Киреева, С.А. Агафонова и др. [16], говорят о трансформации во внутригодовом распределении стока равнинных рек Европейской территории России: увеличение зимнего и летне-осеннего стока и уменьшение стока половодья в волжском и донском бассейнах.

Результаты названных исследователей вполне соотносятся с основными выводами данной работы.

Гидрология

Чернова М.А., Кузьмин К.А., Иванова С.А.

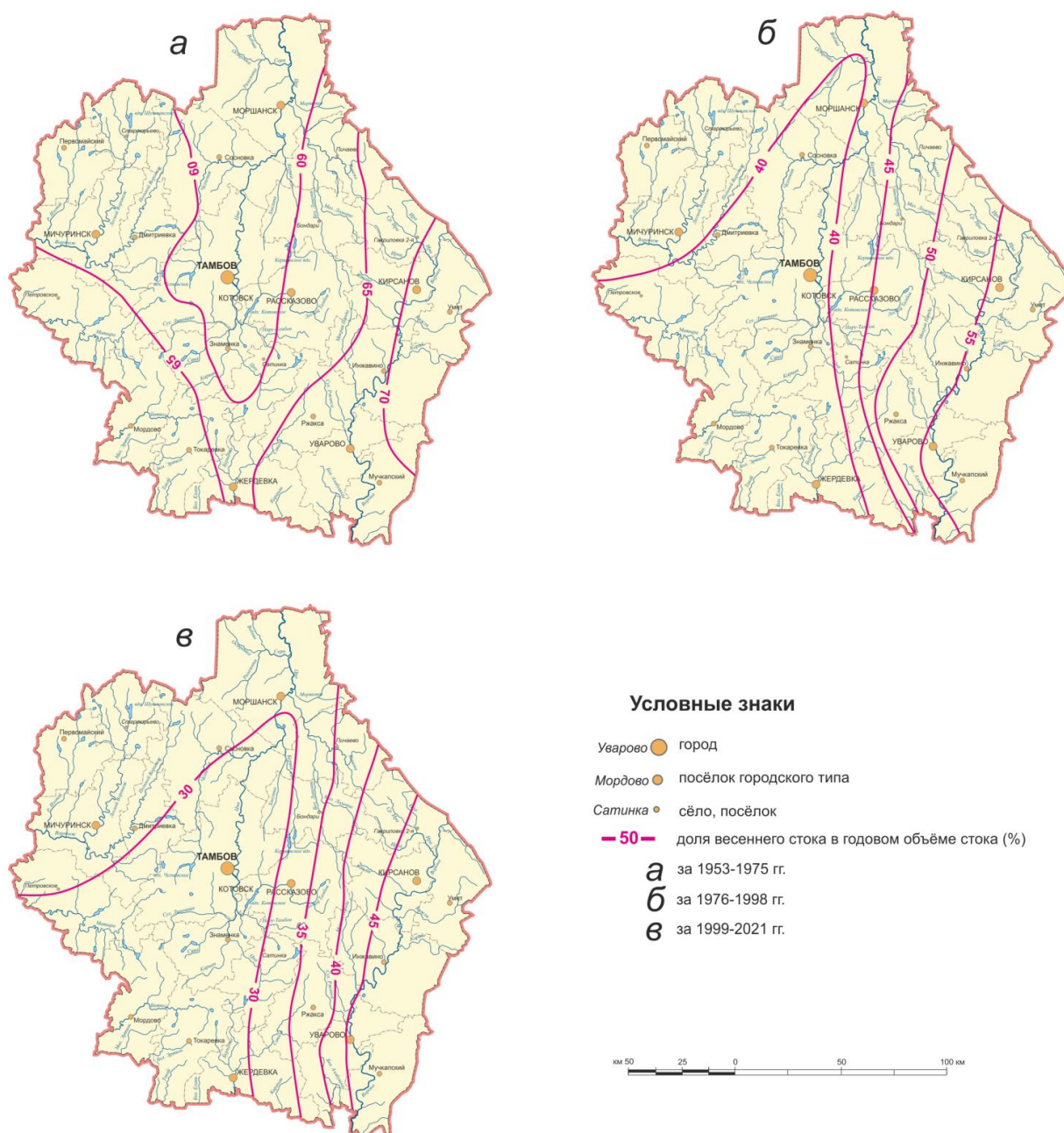


Рис. 5. Доля весеннего половодья рек Тамбовской области
Fig. 5. The share of spring flood in the rivers of the Tambov region

Заключение

Современные климатические изменения влияют на особенности водного режима рек бассейна Волги на территории Окско-Донской низменности. Отмечено снижение доли стока за период половодья в общем объеме годового стока рек. Вероятно, это обусловлено достаточно большим количеством оттепелей и их увеличенной продолжительностью в зимний период, а также повышением зимних температур воздуха, что приводит к уменьшению предвесенних запасов воды.

В целом по территории Тамбовской области доля стока весеннего половодья в общем объеме годового стока рек в настоящее время (период с 1999 по 2021 г.) снизилась до 19–49 % по сравнению с серединой XX в. (период с 1953 по 1975 г.), когда она составляла 44–76 %.

Продолжительность половодья на реках региона составляет от 8 до 49 дней на реках с малыми водосборами – до 500 км², на реках с водосборами от 500 до 10 000 км² – от 11 до 52 дней и от 11 до 62 дней на более крупных реках.

Период наступления максимальных уровней половодья более чем в половине случаев наблюдается в первой и второй декадах апреля. В последний период, с 1999 по 2021 гг., чаще стало фиксироваться наступление

Гидрология

Чернова М.А., Кузьмин К.А., Иванова С.А.

максимальных уровней половодья в конце февраля и в марте, при этом перестали отмечаться максимальные значения уровня воды в половодье в третью декаду апреля, что является следствием смещения на более ранние сроки схода снежного покрова в современный период.

Библиографический список

1. Буковский М.Е., Чернова М.А. Оценка изменения летнего стока рек Донского бассейна на территории Тамбовской области за последние полвека // Экология речных бассейнов: труды IX Межд. науч.-практ. конф., г. Суздаль, 05–08 сентября 2018 г. Суздаль: ВГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2018. С. 33–39.
2. Болгов М.В., Филиппова И.А., Осипова Н.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д. Современные особенности гидрологического режима рек бассейна Волги // Вопросы географии. 2018. № 145. С. 206–218.
3. Георгиевский В.Ю. Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги: научно-прикладной справочник. Ливны: Издатель Г.В. Мухаметов; ГТИ, 2015. 129 с.
4. Данилов-Данильян В.К., Лосев К.С. Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты. М.: Наука, 2006. 221 с.
5. Дмитриева В.А. Водные ресурсы Воронежской области в условиях меняющихся климата и хозяйственной деятельности. Воронеж: Изд. дом ВГУ, 2015. 192 с. ISBN: 978-5-9273-2219-0
6. Дмитриева В.А., Бучик С.В. Генезис максимумов водности рек и изменчивость водного режима в современный климатический период // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2016. № 5. С. 49–62.
7. Дудник Н.И. Природа Тамбовского края (популярные географические очерки). Тамбов: Изд-во ТГУ им. Г.Р. Державина, 2000. 156 с.
8. Жукова С.Н., Шишкин В.М., Карманов В.Г., Бурлачко Д.С., Подмарева Т.И., Лутынская Л.А., Тарадина Е.А. Возможный эффект от переброски части волжского стока в бассейн р. Дон // Труды АЗНИИРХ. Ростов н/Д: Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, 2021. Т. 3. С. 66–72.
9. Лавров С.А., Каложный И.Л. Физические процессы и закономерности формирования зимнего и весеннего стока рек бассейна Волги в условиях изменения климата // Водное хозяйство России. 2012. № 4 С. 74–84.
10. Методические рекомендации по составлению справочника по водным ресурсам СССР. Л.: Половодье, 1962. Вып. 7, Ч. 1. 107 с.
11. Реки Тамбовской области: Каталог / под ред. проф. Н.И. Дудника. Тамбов: Рассказовская областная типография, 1991. 48 с.
12. Сарафанова А.Г., Сарафанов А.А. Каркас агротуризма Тамбовской области // Теория и практика современной науки. 2018. № 9 (39). С. 245–250.
13. Селезнев В.А. Водные ресурсы Волги в 1958–2020 годы // Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России: сб. статей XX Межд. науч.-практ. конф., г. Пенза, 20–21 января 2022 г. Пенза: ПГАУ, 2022. С. 3–6.
14. Семенова А.В., Буковский М.Е. Зависимость пика весеннего половодья в верховьях реки Цны от климатических факторов // Географический вестник. 2022. № 1 (60). С. 87–99. DOI: 10.17072/2079-7877-2022-1-87-99
15. Третьяков В.Ю., Горчаков К.А. Анализ межгодовой и внутригодовой динамики водности рек бассейна Финского залива и содержания в них биогенных элементов // Метеорологический вестник. 2010. Т. 3, № 3. С. 25–42.
16. Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Агафонова С.А., Евстигнеев В.М., Ефремова Н.А., Повалишников Е.С. Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории России и его изменение // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 4. С. 4–20.
17. Фролова Н.Л., Нестеренко Д.П., Шенберг Н.В. Внутригодовое распределение стока рек России // Вестник Московского университета. Серия 5 География. 2010. № 6. С. 8–16.
18. Чернова М.А., Буковский М.Е., Дудник В.В. Оценка изменения летнего стока рек волжского бассейна на территории Тамбовской области за 65 лет // Климатические изменения и сезонная динамика ландшафтов: мат. Всерос. науч.-практ. конф., г. Екатеринбург, 22–24 апреля 2021 г. Екатеринбург: [б.и.], 2021. С. 117–123. DOI: 10.26170/KFG-2021-16
19. Чернова М.А., Дудник С.Н., Буковский М.Е. Изменчивость водного режима рек донского бассейна // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология. 2020. № 3. С. 40–48. DOI: 10.17308/geo.2020.3/3022
20. Budnik S. Water resources and wildlife management in conditions of changes of the climate / S. Budnik // Current issues of reservoirs and their catchment areas. proceedings of the VI International scientific practical conference: in 3 vols. Vol. 1: труды VI Межд. науч.-практ. конф. В 3-х томах, Пермь, 29 мая – 01 июня 2017 года / под ред. А.Б. Китаева, О.В. Ларченко, С.А. Двинских. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2017. Т. 1. С. 27–32.
21. Bukovskiy M.E., Semenova A.V. Analysis of the effects of climatic factors on flood peak formation // IOP Conf. Ser.: EES. Moscow: Institute of Physics Publishing, 2019. Vol. 386. P. 012034. DOI: 10.1088/1755-1315/386/1/012034
22. Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Safronova T.I. Climate-Induced Changes in Groundwater Runoff in Don Basin // Water Resources, 2010. Vol. 37, No. 5. P. 733–742. DOI: 10.1134/S0097807810050131

References

1. Bukovskiy, M.E., Chernova, M.A. (2018), Assessment of changes in the summer flow of the rivers of the Don basin in the Tambov region over the past half century, *Ekologiya rechnykh basseynov: trudy IX Mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Ecology of river basins: Proc. of the IX Int. Sc. and Pract. Conf.], Suzdal, pp. 33–39 (in Russian).
2. Bolgov, M.V., Filippova, I.A., Osipova, N.V., Korobkina, E.A., Trubetskova, M.D. (2018), Modern features of the hydrological regime of the rivers of the Volga basin, *Questions of geography*, no. 145, pp. 206–218 (in Russian).
3. Georgievsky, V.Yu. (2015), *Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki rek basseyna Verhney Volgi. Nauchno-prikladnoy spravochnik* [The main hydrological characteristics of the rivers of the Upper Volga basin. Scientific and applied reference]. G.V. Mukhametov; SGI, Livny, Russia, 129 p. (in Russian).
4. Danilov-Danilyan, V.K., Losev, K.S. (2006), *Potreblenie vody: ekologicheskiy, ekonomicheskiy, social'niy i politicheskiy aspekty* [Water consumption: ecological, economic, social and political aspects], Nauka, Moscow, Russia. 221 p. (in Russian).

Гидрология

Чернова М.А., Кузьмин К.А., Иванова С.А.

5. Dmitrieva, V.A. (2015), *Vodnye resursy Voronezhskoy oblasti v usloviyah menyayushhihsya klimata i hozyajstvennoy deyatel'nosti* [Water resources of the Voronezh region in conditions of changing climate and economic activity]. VSU, Voronezh, Russia. 192 p. (in Russian).
6. Dmitrieva V.A., Buchik S.V. (2016), Genesis of maxima of river water content and variability of the water regime in the modern climatic period, *Water management of Russia: problems, technologies, management*, no. 5. pp. 49–62 (in Russian).
7. Dudnik, N.I. (2000), *Priroda Tambovskogo kraia (populyarnye geograficheskie ocherki)* [The nature of the Tambov Region (popular geographical essays)]. TSU named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia. 156 p. (in Russian).
8. Zhukova, S.N., Shishkin, V.M., Karmanov, V.G., Burlachko, D.S., Podmareva, T.I., Lutynskaya, L.A., Taradina, E.A. (2021), Possible effect of the transfer of part of the Volga runoff into the basin of the Don, *Works of AzNIIRH*, vol. 3. pp. 66–72 (in Russian).
9. Lavrov, S.A., Kalyuzhny, I.L. (2012), Physical processes and regularities of the formation of winter and spring runoff of the Volga basin rivers in the conditions of climate change, *Water economy of Russia*, no. 4, pp. 74–84 (in Russian).
10. Methodological recommendations for the compilation of a handbook on water resources of the USSR. Issue 7. Part 1 L.: Polovodye, 1962. 107 p. (in Russian).
11. Rivers of the Tambov region: Catalog (1991) / ed. by prof. N.I. Dudnik, Rasskazovskaya regional printing house, Tambov, Russia, 48 p. (in Russian).
12. Sarafanova A.G., Sarafanov A.A. (2018), Frame of agrotourism of the Tambov region, *Theory and practice of modern science*, no. 9(39), pp. 245–250 (in Russian).
13. Seleznev, V.A. (2022), Water resources of the Volga in 1958–2020, *Prirodnouresursnyy potencial, ekologiya i ustoychivoe razvitiye regionov Rossii: sb. statey XX Mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Natural resource potential, ecology and sustainable development of the regions of Russia: collection of articles XX Int. Sc. and pract. Conf.], Penza, pp. 3–6 (in Russian).
14. Semenova, A.V., Bukovsky, M.E. (2022), Dependence of the spring flood peak in the upper reaches of the Tsna River on climatic factors, *Geographical bulletin*, no. 1(60), pp. 87–99 (in Russian). DOI 10.17072/2079-7877-2022-1-87-99.
15. Tretyakov, V.Yu., Gorchakov, K.A. (2010), Analysis of the inter-annual and intra-annual dynamics of the water content of the rivers of the gulf of Finland basin and the content of biogenic elements in them, *Meteorological bulletin*, vol. 3, no. 3, pp. 25–42 (in Russian).
16. Frolova, N.L., Kireeva, M.B., Agafonova, S.A., Evstigneev, V.M., Efremova, N.A., Povalishnikova, E.S. (2015), Intra-annual distribution of the flow of lowland rivers of the European territory of Russia and its change, *Water sector of Russia: problems, technologies, management*, no. 4, pp. 4–20 (in Russian).
17. Frolova, N.L., Nesterenko, D.P., Schoenberg, N.V. (2010), Intra-annual distribution of river flow in Russia, *Bulletin of the Moscow University. Series 5: Geography*, no. 6, pp. 8–16 (in Russian).
18. Chernova, M.A., Bukovsky, M.E., Dudnik, V.V. (2021), Assessment of changes in the summer flow of rivers of the Volga basin on the territory of the Tambov region for 65 years, *Klimaticheskie izmeneniya i sezonnaya dinamika landshaftov: mat. Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Climatic changes and seasonal dynamics of landscapes: mat. All-Russian Sc. and Pract. Conf.], Yekaterinburg, pp. 117–123 (in Russian). DOI 10.26170/KFG-2021-16.
19. Chernova, M.A., Dudnik, S.N., Bukovsky, M.E. (2020), Variability of the water regime of the rivers of the Don basin, *Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, no. 3, pp. 40–48 (in Russian). DOI 10.17308/geo.2020.3/3022.
20. Budnik, S. (2017) Water resources and wildlife management in conditions of changes of the climate: *Trudy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii. V 3-h tomah* [Current issues of reservoirs and their catchment areas. proceedings of the VI International scientific practical conference: in 3 vols], Perm, pp. 27–32 (in Russian).
21. Bukovskiy, M.E., Semenova, A.V. (2019) Analysis of the effects of climatic factors on flood peak formation, *IOP Conf. Ser.: EES*, vol. 386, pp. 012034. DOI 10.1088/1755-1315/386/1/012034.
22. Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Safronova T.I. (2010) Climate-Induced Changes in Groundwater Runoff in Don Basin, *Water Resources*, vol. 37, no. 5, pp. 733–742. DOI 10.1134/S0097807810050131.

Статья поступила в редакцию: 29.05.24, одобрена после рецензирования: 16.12.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 29 May 2024; approved after review: 16 December 2024; accepted for publication: 12 March 2025

Информация об авторах

Мария Александровна Чернова

Кандидат географических наук,
научный сотрудник, лаборатория мониторинга
агроклиматического и водно-ресурсного
потенциалов территорий, Тамбовский
государственный университет им. Г.Р. Державина;
392000, Россия, Тамбов, Интернациональная, 33

Information about the authors

Maria A. Chernova

Candidate of Geographical Sciences,
Researcher, Laboratory for Monitoring Agro-Climatic
and Water-Resource Potentials of the Territories,
Derzhavin Tambov State University;
33, Internatsional'naya st., Tambov, 392000, Russia

e-mail: chernovamarusya@mail.ru

Гидрология

Чернова М.А., Кузьмин К.А., Иванова С.А.

Кирилл Алексеевич Кузьмин

Научный сотрудник, лаборатория мониторинга агроклиматического и водно-ресурсного потенциалов территорий, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина; 392000, Россия, Тамбов, Интернациональная, 33

e-mail: ka_kuzmin@mail.ru

Kirill A. Kuzmin

Researcher, Laboratory for Monitoring Agro-Climatic and Water-Resource Potentials of the Territories, Derzhavin Tambov State University; 33, Internatsional'naya st., Tambov, 392000, Russia

Софья Александровна Иванова

Студент, кафедра биологии и биотехнологии, институт новых технологий и искусственного интеллекта, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина; 392000, Россия, Тамбов, Интернациональная, 33

e-mail: ivanovasonya472@gmail.com

Sofya A. Ivanova

Student, Department of Biology and Biotechnology, Institute of New Technologies and Artificial Intelligence, Derzhavin Tambov State University; 33, Internatsional'naya st., Tambov, 392000, Russia

Вклад авторов

Чернова М.А. – идея, обработка материала, написание статьи.

Кузьмин К.А. – обработка материала, создание рисунков и карт.

Иванова С.А. – оцифровка данных первичных наблюдений гидрологических журналов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Contribution of the authors

Maria A. Chernova – the idea; data processing; writing of the article.

Kirill A. Kuzmin – data processing; creation of the figures and maps.

Sofya A. Ivanova – digitalization of primary observations data from hydrological journals.

The authors declare no conflict of interest.

Гидрология
Шмакова М.В.

Научная статья

УДК 551.3.053

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-108-115

МОДЕЛИРОВАНИЕ РУСЛОВОГО И БАСЕЙНОВОГО КОМПОНЕНТОВ ТВЁРДОГО СТОКА РЕК (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ НАРВЫ)

Марина Валентиновна Шмакова

Институт озераведения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Россия

m-shmakova@yandex.ru Scopus Author ID: 15064845100, ResearcherID: J-9490-2018, РИНЦ Author ID: 66373

Аннотация. Процессы двухфазного массопереноса и переноса растворенных веществ в системе «водосбор – водный объект» определяют пространственно-временное перераспределение этих геохимических компонентов на протяжении всей гидрографической сети. При этом продукты почвенной эрозии могут создавать не только угрозу заиления водного объекта, но также являются источниками загрязняющих веществ, адсорбированных на поверхности частиц почво-грунтов. В основе разработанной модели руслового и бассейнового компонентов твердого стока лежит оценка транспортирующего потенциала водотока и динамика кривых гранулометрического состава донных отложений, продуктов почвенной и русловой эрозии. Модель позволяет оценить интенсивность перераспределения речных наносов и донных отложений в речном русле. В модели рассчитываются профиль изменения отметок дна между двумя расчетными створами, распределение крупности осажденных или прошедших в движение частиц, масса частиц русловой и бассейновой составляющей стока наносов и доля вклада бассейновой компоненты. Расчеты для р. Нарвы показали, что вклад бассейновой компоненты в твердый сток этого водотока составляет около 98 %. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами моделирования почвенной эрозии на водосборе р. Нарвы и подтверждаются невыраженной динамикой русловых деформаций исследуемого участка водотока.

Ключевые слова: почвенная эрозия, математическая модель, расход наносов, водосбор, река, русло, гранулометрия

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института озераведения Российской академии наук – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» по теме FFZF-2024-0002 «Современные угрозы водным объектам и инновационные методы их сохранения, восстановления и рационального использования».

Для цитирования: Шмакова М.В. Моделирование руслового и бассейнового компонентов твёрдого стока рек (на примере реки Нарвы) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 109–115. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-108-115

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-108-115

MODELING OF THE CHANNEL AND BASIN COMPONENTS OF RIVER SOLID RUNOFF (USING THE EXAMPLE OF THE NARVA RIVER)

Marina V. Shmakova

Institute of Limnology, RAS, St. Petersburg, Russia

m-shmakova@yandex.ru Scopus Author ID: 15064845100, ResearcherID: J-9490-2018, RSCI Author ID: 66373

Abstract. The processes of two-phase mass transfer and transport of dissolved substances in the ‘catchment – water body’ system determine the spatiotemporal redistribution of these geochemical components throughout the hydrographic network. At the same time, the products of soil erosion not only can pose a threat of siltation but also are sources of pollutants adsorbed on the surface of soil-ground particles. The developed model of the channel and basin components of solid runoff is based on the assessment of the transporting potential of the watercourse and the dynamics of the curves showing the granulometric composition of bottom sediments, products of soil and channel erosion. The model makes it possible to estimate the intensity of redistribution of river and bottom sediments in the riverbed. At the same time, the



© 2025 Эта работа Шмаковой М.В. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Гидрология
Шмакова М.В.

model calculates the profile of changes in the bottom marks between the two calculated channels, the size distribution of the particles deposited or set in motion, the particle mass of the channel and basin components of sediment runoff, and the contribution of the basin component. Calculations for the Narva River have shown that the contribution of the basin component to the solid flow of this watercourse is about 98 %. The results obtained are in good agreement with the results of modeling soil erosion in the Narva River catchment and are confirmed by the unexpressed dynamics of channel deformations of the studied section of the watercourse.

Keywords: soil erosion, mathematical model, sediment discharge, catchment, river, channel, granulometry

Funding. The work was carried out as part of the state assignment undertaken by the Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences under topic FFZF-2024-0002 'Modern threats to water bodies and innovative methods of their conservation, restoration, and rational use'.

For citation: Shmakova, M.V. (2025). Modeling of the channel and basin components of river solid runoff (using the example of the Narva River). *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp. 109–115. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-108-115

Введение

Одним из показателей интенсивности денудации водосборов, в том числе количественной оценки почвенной эрозии, является вклад бассейновой составляющей в твердый сток рек. Известно, что в водоток попадает лишь около 15 % продуктов почвенной эрозии водосборов [11], а наибольший вклад смытых почво-грунтов в сток наносов осуществляется в период активного снеготаяния и интенсивных дождей. Помимо того, что процессы почвенной эрозии негативно сказываются на плодородии земель, продукты водной эрозии почвенного покрова являются также одним из источников загрязнения водных объектов [8]. При этом, в отличие от сточных вод, технологии очистки поступающих продуктов смыва в гидрографическую сеть не существует. Все это определяет актуальность оценки двухфазного массопереноса в системе «водосбор – водный объект», которая предполагает не только анализ эрозионно-аккумулятивных процессов, но и выделение в донных отложениях и транспорте речных наносов продуктов почвенной эрозии.

Основными факторами, определяющими поступление продуктов почвенной эрозии в речную сеть, являются физико-географическая расположенность речного бассейна, типы его подстилающей поверхности, антропогенная нагрузка и пространственное расположение наиболее эрозионно активных частей водосбора, на которых формируется основная масса наносов, поступающих в русло водотока [12]. Вклад русловой и бассейновой составляющей в твердом стоке рек обусловлен прежде всего гранулометрическим составом почво-грунтов, донных отложений и транспортируемых из верхнего створа наносов. При этом в естественных условиях, как правило, вклад русловой составляющей увеличивается по длине реки [12]. Морфометрические и гидравлические характеристики водотока определяют распределение твердого вещества, находящегося в теле речного потока, в соответствии с его транспортирующим потенциалом.

Целью данной работы является создание модели руслового и бассейнового компонентов твердого стока рек, основанной на разработанных прежде алгоритмах двухфазного массопереноса.

Обзор существующих методов и моделей

Вполне очевидно, что вклад бассейновой и русловой составляющих в общий сток наносов весьма изменив в своем внутригодовом распределении, зависит от водности года и от интенсивности, а также характера антропогенной нагрузки на водосборе и в русле реки. В зависимости от фазы водности (летняя и зимняя межень, половодье и паводки) меняется и транспортирующий потенциал речного потока, его способность переносить твердое вещество. При этом с увеличением водности в период, например, паводка возрастание транспортирующего потенциала потока сопровождается интенсивным поступлением продуктов почвенной эрозии с поверхности водосбора. Все это определяет процессы аккумулятивно-эрозионной деятельности речного потока по отношению к руслу как крайне неоднозначную.

Разделение твердого стока на русловую и бассейновую составляющую возможно сопоставлением минералогического, гранулометрического, геохимического состава почвообразующих грунтов речного бассейна и руслообразующих грунтов, а также радиоизотопным методом [2, 16], оценкой магнитных свойств минералов [13, 15, 20, 21], методами математического моделирования процессов почвенной эрозии и двухфазного массопереноса в русле. Также для решения этой задачи может быть использован гидрологический подход [1, 5–7, 9].

Выделение бассейновой доли в общем составе наносов по минералогическому и гранулометрическому составу возможно лишь при условии того, что русловые наносы по этим характеристикам принципиально отличаются от почвообразующих грунтов на водосборе. В случае относительно однородного состава руслового и бассейнового грунта для антропогенно освоенных водосборов хороший результат в оценке вклада исследуемых компонентов даст сопоставление химического состава грунта. В результате определения концентраций, адсорбированных на поверхности грунта загрязняющих веществ, можно проследить распространение транспортируемого эрозионного материала в гидрографической сети [14, 19]. Радиоизотопный метод основан на аналогичном принципе выделения бассейнового компонента по содержанию в нем радионуклидов [2, 17, 22]. Гидрологический подход выделения бассейновой составляющей в общем стоке наносов заключается в том, что меженный расход наносов, полагаясь русловой частью, отнимается от всего твердого стока [5]. Полученная разность относится к продуктам почвенной эрозии.

Гидрология
Шмакова М.В.

Модель компонентов твердого стока

В основе оценки вклада русловой и бассейновой составляющих в твердом стоке реки лежат гранулометрические кривые водосборных почво-грунтов, донных отложений и наносов, транспортируемых из верхнего створа.

Если транспортирующий потенциал речного потока, то есть масса твердого вещества, которая может быть перенесена этим потоком с заданными гидравлическими переменными состояния потока, больше поступившей в данный расчетный створ массы твердого вещества, то имеет место размыв дна. Иначе – намыв, или отложение наносов. Изменение отметок дна происходит на площади русла реки, которой соответствует скорость осаждения транспортируемых частиц в соответствии с их крупностью.

При этом формируется продольный профиль изменения отметок дна расчетного участка русла для заданного временного масштаба, а также меняется кривая гранулометрического состава наносов и донных отложений. Для непрерывной оценки этих показателей каждый расчетный участок реки должен быть обеспечен данными о поступлении продуктов почвенной эрозии с территории его частного водосбора.

Рассмотрим изменение транспортирующего потенциала водотока между двумя расчетными створами на основе аналитической формулы общего расхода наносов [19]

$$G = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} Q \left[\frac{c}{hg} - (1-f)I\rho_w \right], \quad (1)$$

где ρ_s и ρ_w – плотности грунта и воды соответственно, кг/м³; Q – расход воды, м³/с; f – коэффициент внутреннего трения, б/р; c – параметр сцепления частиц грунта при сдвиге, кг/(м·с²); g – ускорение свободного падения, м/с²; I – уклон дна, б/р; h – средняя глубина потока, м.

Тогда изменение транспортирующего потенциала потока, вызванное изменением морфометрических характеристик русла (глубины и уклона), рассчитывается как разность расходов наносов для двух створов

$$\Delta G = G_1 - G_2 = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} Q \left[c \frac{h_1 - h_2}{gh_1 h_2} - \rho_w (1-f)(I_1 - I_2) \right]. \quad (2)$$

Скорость осаждения движущейся частицы v_s рассчитывается как результирующая скорость

$$v_s = \sqrt{\omega^2 + v^2 + 2\omega v \sin(\alpha)}, \quad (3)$$

или для равнинных русел с малыми уклонами

$$v_s = \sqrt{\omega^2 + v^2}, \quad (4)$$

где ω – гидравлическая крупность частицы, м/с; α – угол уклона русла, град.

Нижние по течению границы зон осаждения (расчётные зоны) определяются по формуле

$$L = \frac{hv}{\omega}, \quad (5)$$

где L – расстояние от створа работ, м; h – глубина, м; v – скорость, м/с; ω – гидравлическая крупность для нижней границы фракции грунта в расчётных условиях, м/с.

Продолжительность удержания повышенных концентраций взвешенных веществ i -ой фракции потоком T_i , с рассчитывается как функция гидравлической крупности i -ой фракции ω_i , м/с, скорости течения v , м/с и средней глубины взвешивания i -ой фракции h'_i , м

$$T_i = \frac{l_i}{v_s} = \frac{l_i}{\sqrt{\omega_i^2 + v^2}}, \quad (6)$$

где l_i – путь, который проходит частица i -ой крупности, м

$$l_i = \sqrt{h_i'^2 + L^2} = \sqrt{h_i'^2 + \frac{h_i'^2 v^2}{\omega_i^2}} = h_i' \sqrt{1 + \frac{v^2}{\omega_i^2}}. \quad (7)$$

Тогда

$$T_i = \frac{h_i'}{v_s} \sqrt{1 + \frac{v^2}{\omega_i^2}}, \quad (8)$$

где h' – потолок взвешивания частицы, м.

Обозначим M общую массу осажденного или взмученного вещества за период времени T . Различие между расчетами для осаждения и взмучивания будут состоять в том, что для размыва будут использоваться кривые распределения гранулометрического состава донных отложений, а для осаждения – кривые распределения гранулометрического состава транспортируемых наносов. И ряд будет записан для процесса осаждения от крупных

Гидрология
Шмакова М.В.

к мелким фракциям, а для процессов взмучивания, наоборот, от мелких к крупным. Распишем алгоритмы оценки основных переменных состояния процессов переформирования дна для осаждающихся частиц.

Крупность наносов d , м и их масса m , кг может быть представлена соотношением

$$m = \rho_s \frac{\pi d^3}{6}. \quad (9)$$

Распишем в выражении (7) гидравлическую крупность ω , м/с и потолок взвешивания h' , м через массу. Для этого будем использовать формулы Гончарова [4] для ω и формулу ... для h' [3]

$$\omega(d) = \sqrt{2g \frac{\rho_s - \rho_w}{1.75\rho_w} d}, \quad (10)$$

$$h' = 0.25C \frac{v - v_n}{h^{0.2} \omega}, \quad (11)$$

где v_n – несдвигающая скорость потока, м/с; C – параметр, зависящий от размеров придонных вихрей, высоты выступов шероховатости и глубины потока.

Тогда масса отдельной частицы m_p , кг крупностью d_p , м с обеспеченностью p в обратной зависимости будет равна

$$d_p = \omega_p^2 \frac{1.75\rho_w}{2g(\rho_s - \rho_w)}, \quad (12)$$

$$m_p = 0.22\rho_s \rho_w^3 \frac{\pi}{g^3} \frac{\omega_p^6}{(\rho_s - \rho_w)^3}. \quad (13)$$

В соответствии с формулами (7), (10)–(13) получим выражение для оценки массы осажденной частицы $m_{p,\%}$ в расчетном створе, расположенном от исходного на расстоянии l , м

$$m_{p,\%} = 0.22\rho_s \rho_w^3 \frac{\pi}{g^3} v^6 (\rho_s - \rho_w)^{-3} \left(\frac{l^2}{h'^2(m_{p,\%})} - 1 \right)^{-3}. \quad (14)$$

Ввиду громоздкости выражения (14) для дальнейших выводов запишем его в общем виде

$$m_{p,\%} = f(l, h', p). \quad (15)$$

Масса наносов для фракций заданной крупности $m_{p,\%}$, осажденных на протяжении всего расстояния L с учетом выражений (7) и (10)–(12), будет равна

$$M' = \int_0^L \int_0^1 f(l, h', p) dp dl, \quad (16)$$

где M' – масса всех частиц, которые в соответствии со своей крупностью $m_{p,\% \min}$ могут быть осажжены в точке, расположенной на расстоянии L от верхнего створа, кг/с; L – расстояние между расчетными створами, м; p – обеспеченность крупности наносов, б/р.

Величина M' охватывает весь диапазон крупности, который задействован в процессе осаждения на протяжении всего пути следования частиц между двумя расчетными створами. Исходя из гипотезы последовательного осаждения частиц в соответствии с их крупностью, частицы с наименьшей массой, осажженные в пределах двух расчетных створов, будут лимитированы в своем количестве обеспеченностью согласно кривой распределения гранулометрической крупности. Таким образом, величина M' может быть больше, чем разность транспортирующего потенциала ΔG , поскольку для обозначенного пути осаждения в интеграле (14) используется вся масса фракций наименьшей крупности $m_{p,\% \min}$. Однако с учетом допущения о последовательном осаждении частиц по убыванию их крупности, частицы грунта с наименьшей крупностью осаждаются не в полном объеме и их часть продолжает транспортироваться потоком далее. Эта часть представляет собой разность

$$\Delta M' = M' - \Delta G. \quad (17)$$

Профиль изменения отметок дна между двумя расчетными створами формируется за счет последовательного осаждения или взмыва частиц грунта в соответствии с распределением их крупности. Принимая во внимание выражения (14), зависимость изменения отметок дна ΔH , м от расстояния от верхнего створа l , м будет иметь вид

$$\begin{cases} \Delta H(l_{p,\%}) \Big|_{l_{p,\%} < L} = \frac{\Phi}{F \rho_s} \Delta G \cdot p(m_{p,\%}), \\ \Delta H(L) = \frac{\Phi}{F \rho_s} [\Delta G \cdot p_1(m_{p,\% \min}) - \Delta M'], \end{cases} \quad (18)$$

Гидрология
Шмакова М.В.

где φ – плотность залегания грунта на момент осаднения, не уплотненное залегание (для песка принимается равным 1,67), б/р; F – площадь осаднения, м², которая рассчитывается как произведение ширины русла B , м и расстояния, которое пройдет частица со скоростью v_s за время Δt

$$F = v_s B \Delta t. \quad (19)$$

Изменение кривой распределения крупности частиц $p_3(m)$ в очередном расчетном створе рассчитывается как средневзвешенная по массе разность или сумма кривых распределения крупности частиц верхнего створа $p_1(m)$ и распределения крупности осевших или пришедших в движение частиц $p_2(m)$ соответственно

$$p_3(m) = \frac{G_1 p_1(m) \pm \Delta G p_2(m)}{G_1 \pm \Delta G}. \quad (20)$$

При этом распределение крупности осажженных или пришедших в движение частиц определяется согласно интегралу (13)

$$\begin{cases} p_2(m) \Big|_{m_{p\%} < m_{p\% \min}} = 0, \\ p_2(m) \Big|_{m_{p\%} = m_{p\% \min}} = p_1(m_{p\% \min}) \frac{G_1}{\Delta G} \left(1 - \frac{\Delta M}{p_1(m_{p\% \min}) G_1} \right), \\ p_2(m) \Big|_{m_{p\%} > m_{p\% \min}} = p_1(m) \frac{G_1}{\Delta G}. \end{cases} \quad (21)$$

Учет доли в составе наносов частиц того или иного размера позволяет получить кривую распределения гранулометрического состава наносов, поступивших в следующий расчетный створ, и дать оценку вклада частиц конкретной крупности в формирование русла, что определяет возможность выделения вклада русловой и бассейновой составляющей в твердом стоке.

Вполне понятно, что оценить долю бассейновой составляющей в общем стоке наносов возможно лишь при принципиальном различии в гранулометрическом составе руслоформирующих и почвообразующих грунтов. При допущении о том, что почвообразующие грунты имеют меньшую крупность, обозначим максимальную массу отдельной частицы в их составе как $m_{s \max}$ и распишем кривую распределения гранулометрического состава наносов в первом расчетном створе в виде двух частей

$$p_1(m) = p_1(m) \Big|_{m \leq m_{s \max}} + p_1(m) \Big|_{m > m_{s \max}}. \quad (22)$$

Тогда массы частиц русловой M_{riv} , кг/с и бассейновой M_{bas} , кг/с частей будут равны

$$\begin{aligned} M_{riv} &= \int_{p < p_1(m_{s \min})}^1 f(l, h', p) dp, \\ M_{bas} &= \int_0^{p_1(m_{s \min})} f(l, h', p) dp, \\ G_1 &= M_{riv} + M_{bas}. \end{aligned} \quad (23)$$

Доля вклада бассейновой компоненты $D_{M_{bas}}$, б/р рассчитывается как отношение

$$D_{M_{bas}} = \frac{\int_0^{p_1(m_{s \min})} f(l, h', p) dp}{G_1}. \quad (24)$$

Аналогичным образом строятся алгоритмы и для всех последующих створов с учетом изменившейся кривой распределения гранулометрического состава наносов.

Кривые гранулометрической крупности донных отложений и наносов могут быть с достаточной точностью аппроксимированы степенными, логарифмическими функциями и функциями другого вида.

Гидрология
Шмакова М.В.

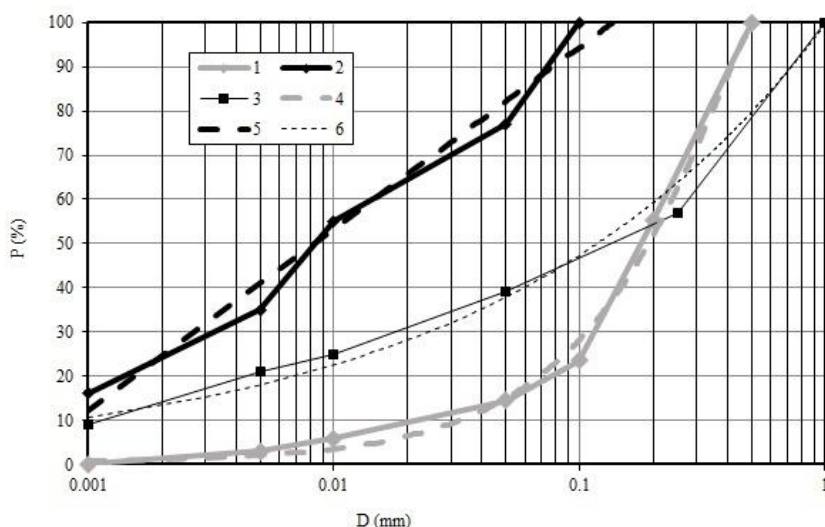


Рис. 1. Кривые гранулометрического состава донных отложений, взвешенных наносов и почвообразующих грунтов на р. Нарвы и ее водосборе (1, 2, 3 соответственно) и аппроксимирующие их полиномиальная, логарифмическая и степенная функции (4, 5 и 6 соответственно)

Fig. 1. The curves of the granulometric composition of bottom sediments, suspended sediments, and soil-forming grounds on the Narva River and its catchment (1, 2, 3 respectively) and their approximating polynomial, logarithmic, and power functions (4, 5, 6 respectively)

В таблице приведены функции, аппроксимирующие кривые гранулометрического состава и точность этой аппроксимации.

Таблица

Функции, аппроксимирующие кривые гранулометрического состава
Functions approximating the curves of granulometric composition

Кривые гранулометрического состава	Уравнение	Точность аппроксимации
донные отложения	$P = -194,67d^2 + 296,42d + 0,5663$	$R^2 = 0,995$
взвешенные наносы	$P = 17,86\ln(d) + 135,57$	$R^2 = 0,975$
почвообразующие грунты	$P = 99,679d^{0,3227}$	$R^2 = 0,978$

В соответствии с приведенными выше кривыми гранулометрического состава можно сделать вывод, что частицы взвешенных наносов крупностью до 0,01 мм поступили преимущественно с территории водосбора. Незначительный вклад частиц донных отложений менее 0,01 мм составляет около 5 % и близок к погрешности определения гранулометрического состава (3 %).

Исходя из расхода наносов ($G=4,3$ кг/с) на дату отбора пробы взвешенных наносов и вида аппроксимирующей функции для взвешенных наносов, вычислим массу $M_{part 1 bas}$, кг наносов размером до 0,01 мм включительно (выражения (9) и (23)). Эта масса составляет 0,17 кг. Примем допущение, что распределение гранулометрического состава частиц, поступивших с территории водосбора в диапазоне крупности 0–0,1 мм, соответствует распределению крупности почвенных частиц. Тогда оставшая масса твердого вещества, поступившего с территории водосбора, может быть вычислена для диапазона частиц от 0,01 до 0,1 мм, используя полученную массу $M_{part 1 bas}$ и кривую гранулометрического состава почвообразующих грунтов (выражения (9) и (23)). Этот расчет предполагает, что в результате дождя с водосбора в русло реки поступили частицы размером до 0,1 мм включительно. В результате масса наносов, поступивших с территории водосбора в пробе взвешенных наносов, составляет $M_{bas}=4,23$ кг.

Таким образом, вклад бассейновой компоненты $D_{M_{bas}}$ в общий расход наносов G равен отношению M_{bas} и G и составляет 98 %. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами моделирования, приведенными выше (93 %).

Выводы

В основе модели компонентов твердого стока водотоков лежат оценка транспортирующего потенциала водотока и динамика кривых гранулометрического состава донных отложений, продуктов почвенной и русловой эрозии. В зависимости от гидравлических условий на всем протяжении водотока меняется и его транспортирующий потенциал. Последнее приводит к инициации эрозионно-аккумулятивных процессов, или, другими словами, перераспределению твердого вещества в речном русле. Поступающие на всем протяжении русла продукты почвенного смыва с водосборной территории оказывают непосредственное влияние на динамику перераспределения твердого стока и донных отложений. Модель позволяет оценить:

На рис. 1 приведены примеры аппроксимации кривых гранулометрического состава донных отложений, взвешенных наносов и почвообразующих грунтов (частицы мелкозема) для р. Нарвы (измерения 7 июня 2010 г., верхний бьеф Нарвской ГЭС) и ее бассейна [10]. Расход воды на эту дату составил $620 \text{ м}^3/\text{с}$, расход взвешенных наносов $G = 4,30 \text{ кг/с}$.

Почвообразующие грунты частного водосбора р. Нарвы представлены карбонатной, белесовато-серой и сильно каменистой моренной. По механическому составу мелкозем этой морены в основном представлен легким суглинком [10].

Гидрология
Шмакова М.В.

- профиль изменения отметок дна между двумя расчетными створами (формируется за счет последовательного осаждения или взмыва частиц грунта в соответствии с распределением их крупности);
- распределение крупности осажденных или пришедших в движение частиц;
- массу частиц русловой и бассейновой составляющей стока наносов;
- долю вклада бассейновой компоненты.

При этом расчет динамики кривых распределения гранулометрического состава строится на принципиальном различии в гранулометрическом составе руслоформирующих и почвообразующих грунтов. При схожей крупности последних возможна лишь оценка профиля изменения отметок дна и изменения состава общей гранулометрической кривой транспортируемых речных наносов. Также следует отметить, что в представленном методе не учитываются горизонтальные деформации русла, при которых происходит боковая эрозия пойм и речных террас. Также в методе не учитывается твердый сток, поступающий с боковыми притоками водотока.

Важно заметить, что модель русловой и бассейновой компонентов твердого стока рек построена на общих алгоритмах двухфазного массопереноса в речном русле. Это позволяет полагать модель универсальной и использовать для водотоков, расположенных в разных почвенно-климатических и геолого-геоморфологических условиях.

Заключение

Речные водосборы совместно с гидрографической сетью на них представляют собой единую ландшафтно-геохимическую систему, определяющую двухфазный массоперенос и перенос растворенных веществ. При этом нижние звенья речной сети и водоемы-приемники как конечный элемент этой системы являются результирующей аккумуляционной емкостью продуктов бассейновой и русловой эрозии совместно с адсорбируемыми ими загрязняющими веществами. Однако на протяжении всей гидрографической сети происходящие в ней эрозионно-аккумулятивные процессы также предполагают перераспределение транспортируемого твердого стока в соответствии с транспортирующим потенциалом водотока. Накопленные в водных объектах адсорбированные на частицах почво-грунтов загрязняющие вещества значительно ухудшают их санитарно-эпидемиологическое состояние. Разделение твердого стока в водотоке на бассейновую и русловую компоненты дает возможность оценить интенсивность почвенной эрозии на водосборе, а также сопутствующие этому поступление и последующее перераспределение в речной сети загрязняющих веществ, адсорбированных на твердых продуктах смыва. Все это предоставляет определенные ориентиры в текущей и прогнозной оценке экологического состояния водных объекта в части процессов их заиления и загрязнения.

Библиографический список

1. Бобровицкая Н.Н. Зависимость среднего многолетнего стока взвешенных наносов рек ЕТС от физико-географических факторов // Тр. ГГИ. Вып. 191. 1974. С. 68–84.
2. Голосов В.Н. Использование радиоизотопов при исследовании эрозионно-аккумулятивных процессов // Геоморфология. 2000. № 2. С. 26–33.
3. Гончаров В.Н. Движение наносов в равномерном потоке. М.-Л.: НКТП СССР ОНТИ, 1938. 312 с.
4. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 374 с.
5. Гусаров А.В. Оценка русловой и бассейновой составляющих эрозии и стока взвешенных наносов в речных бассейнах // Геоморфология. 2013. № 2. С. 23–38.
6. Дедков А.П., Мозжерин В.И. Общая оценка интенсивности эрозии по стоку взвешенных наносов // Климатическая геоморфология денудационных равнин. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1977. 224 с.
7. Лопатин Г.В. Наносы рек СССР. М.: Географгиз, 1952. 166 с.
8. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна. М.: Наука, 2006. 224 с.
9. Поляков В.Б. Гидрологический анализ и расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 1946. 480 с.
10. Ресурсы поверхностных вод СССР. Прибалтийский район. Эстония. Л.: Гидрометеиздат. 1972. Т. 4, Вып. 1. 554 с.
11. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
12. Эрозионно-русловые системы: монография / под науч. ред. Р.С. Чалова, А.Ю. Сидорчука, В.Н. Голосова. М.: ИНФРА-М, 2017. 697 с.
13. Foster I.D.L., Grew R., Dearing J.A. Magnitude and frequency of sediment transport in agricultural catchments: a paired lake-catchment study in Midland England // Soil Erosion on Agricultural Lands. Chichester: Wiley, 1990. P. 153–171.
14. Juracek K.E. and Ziegler A.C. Estimation of sediment sources using selected chemical tracers in the Perry Lake basin, Kansas, USA // International Journal of Sediment Research. 2009. Vol. 24, Iss. 1. P. 108–125.
15. Oldfield F., Rummery T.A., Thompson R., Walling D.E. Identification of suspended sediment sources by means of magnetic measurements: some preliminary results // Water resources research. 1979. No. 15. P. 211–218.
16. Peart M.R. Using sediment properties as natural tracers for sediment source: two case studies from Hong Kong // Tracers in Hydrology / Proc. of the Yokohama Int. Symp. (July, 1993). Wallingford (UK): IAHS Press. IAHS Publ. 215, 1993. P. 313–318.
17. Ritchie J.C., Nearing M.A., and Rhoton F.E. Sediment budget and sources determinations using fallout Cesium-137 in a semiarid rangeland watershed, Arizona, USA // Journal of Environmental Radioactivity. 2009. Vol. 100, Iss. 8. P. 637–643. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2009.05.008
18. Simon A. and Darby S.E. Disturbance, channel evolution and erosion rates: Hotophia Creek, Mississippi // Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision. The Centre for Computational Hydroscience and Engineering. The University of Mississippi. 1997. P. 476–481.
19. Shmakova, M. V. (2022). Sediment transport in river flows: New approaches and formulas. In: D. Pasquali (Ed.). Modeling of sediment transport. DOI: 10.5772/intechopen.103942
20. Slattey M.C., Burt T.P., Walden J. The application of mineral magnetic measurements to quantify within-storm variations in suspended sediment sources // Tracers Technologies for Hydrological Systems / Proc. of Boulder Int. Symp. (July, 1995). Wallingford (UK): IAHS Press. IAHS Publ. 229, 1995. P. 143–151.

Гидрология
Шмакова М.В.

21. Stott A.P. Sediment tracing in a reservoir catchment system using a magnetic mixing model // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 1986. No. 42. P. 105–112.
22. Zhang X., Wen Z., Feng M. et al. Application of ¹³⁷Cs fingerprinting technique to interpreting sediment production records from reservoir deposits in a small catchment of Hilly Loess Plateau, China // *Science in China. Series D: Earth Sciences*. 2007. Vol. 50, No. 2. P. 254–260.

References

1. Bobrovickaya, N.N. Dependence of the average long-term runoff of suspended sediments of ETC rivers on physical and geographical factors (1974), *Tr. GGI*, 191, p. 68–84.
2. Golosov, V.N. (2000), The use of radioisotopes in the study of erosion-accumulative processes, *Geomorfologiya*, no 2, p. 26–33.
3. Goncharov, V.N. (1938), Sediment movement in a uniform flow. Moscow—Leningrad, *NKTP SSSR ONTI Publ.*, 312 p.
4. Goncharov, V.N. (1962), Dynamics of riverbed flows. L.: *Gidrometeoizdat*, 374 p.
5. Gusarov, A.V. (2013), Assessment of riverbed and basin components of erosion and suspended sediment runoff in river basins, *Geomorfologiya*, no 2, p. 23–38.
6. Dedkov, A.P., Mozzherin, V.I. (1977), General assessment of erosion intensity by suspended sediment runoff, in: *Klimaticheskaya geomorfologiya denudacionnyh ravnin*. Kazan': Izd-vo Kazan. un-ta, 224 p.
7. Lopatin, G.V. (1952), Sediment transport of the USSR rivers. M.: *Geografiz*, 166 p.
8. Modeling of erosion processes in the territory of a small catchment basin (2006). M.: *Nauka*, 224 p.
9. Polyakov, V.B. (1946), Hydrological analysis and calculations. L.: *Gidrometeoizdat*, 480 p.
10. Surface water resources of the USSR. The Baltic region. Estonia (1972), vol 4 (1). Leningrad: *Gidrometeoizdat*, 554 p.
11. Chalov, R.S. (1979), Geographical studies of riverbed processes. M.: *Izd-vo MGU*, 232 p.
12. Erosion-channel systems (2017). By edit.: R.S. Chalova, A.YU. Sidorchuka, V.N. Golosova. M.: *INFRA-M*, 697 p.
13. Foster, I.D.L., Grew, R., Dearing, J.A. Magnitude and frequency of sediment transport in agricultural catchments: a paired lake-catchment study in Midland England. *Soil Erosion on Agricultural Lands*. Chichester: Wiley, 1990. P. 153–171.
14. Juracek, K.E. and Ziegler, A.C. Estimation of sediment sources using selected chemical tracers in the Perry Lake basin, Kansas, USA. *International Journal of Sediment Research*. 2009. Vol. 24. Iss. 1. March 2009. P. 108–125.
15. Ritchie, J.C., Nearing, M.A., and Rhoton, F.E. Sediment budget and sources determinations using fallout Cesium-137 in a semiarid rangeland watershed, Arizona, USA. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2009. Vol. 100. Iss. 8. August 2009. P. 637–643.
16. Simon, A. and Darby, S.E. Disturbance, channel evolution and erosion rates: Hotophia Creek, Mississippi. *Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision*. The Centre for Computational Hydroscience and Engineering. The University of Mississippi. 1997. P. 476–481.
17. Oldfield, F., Rummary, T.A., Thompson R., Walling D.E. Identification of suspended sediment sources by means of magnetic measurements: some preliminary results. *Water resources research*. 1979. № 15. P. 211–218.
18. Peart, M.R. Using sediment properties as natural tracers for sediment source: two case studies from Hong Kong. *Tracers in Hydrology / Proc. of the Yokohama Int. Symp.* (July, 1993). Wallingford (UK): IAHS Press. IAHS Publ. 215, 1993. P. 313–318.
19. Shmakova, M. V. (2022). Sediment transport in river flows: New approaches and formulas. In: D. Pasquali (Ed.). *Modeling of sediment transport*. doi: 10.5772/intechopen.103942
20. Slaterry, M.C., Burt, T.P., Walden, J. The application of mineral magnetic measurements to quantify within-storm variations in suspended sediment sources. *Tracers Technologies for Hydrological Systems. Proc. of Boulder Int. Symp.* (July, 1995). Wallingford (UK): IAHS Press. IAHS Publ. 229, 1995. P. 143–151.
21. Stott, A.P. Sediment tracing in a reservoir catchment system using a magnetic mixing model. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 1986. № 42. P. 105–112.
22. Zhang, X., Wen, Z., Feng, M. et al. Application of ¹³⁷Cs fingerprinting technique to interpreting sediment production records from reservoir deposits in a small catchment of Hilly Loess Plateau, China. *Science in China. Series D: Earth Sciences*. 2007. Vol. 50. № 2. P. 254–260.

Статья поступила в редакцию: 28.11.23, одобрена после рецензирования: 08.08.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 28 November 2023; approved after review: 8 August 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторе

Марина Валентиновна Шмакова

доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории математических методов моделирования Институт озерадения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук»; 196105, г. Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9

e-mail: m-shmakova@yandex.ru

Information about the author

Marina V. Shmakova

Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Mathematical Modeling Methods, Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences; 9, Sevastyanova st., St. Petersburg, 196105, Russia

Метеорология

Безуглова Н.Н., Суковатов К.Ю., Носкова Т.В., Папина Т.С.

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.513:551.587

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-116-125

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ИЗМЕНЕНИЙ ВЫСОТЫ
ОБЛАЧНОСТИ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИНадежда Николаевна Безуглова¹, Константин Юрьевич Суковатов², Татьяна Витальевна Носкова³,
Татьяна Савельевна Папина⁴^{1, 2, 3, 4} Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН, г. Барнаул, Россия¹ bezuglovan@gmail.com² skonstantiny@gmail.com³ ntv@iwep.ru⁴ tanya.papina@mail.ru

Аннотация. В работе на основе данных реанализа ERA5, количества выпавших осадков, нижней границы облачности (НГО) выполнена оценка сезонных различий в циркуляционных процессах, определяющих в 2014–2023 гг. перенос влаги и загрязняющих веществ воздушными массами на территорию юга Западной Сибири. Показано, что для холодного сезона характерна однонаправленность движения воздушных масс как в нижних слоях атмосферы, так и в средней тропосфере, которая определяется западными и юго-западными потоками. В противоположность холодному сезону для теплого сезона характерна разнонаправленность движений в нижних слоях атмосферы и в средней тропосфере: для средней тропосферы, как и в холодный сезон, свойственны западные и юго-западные потоки, а для нижних слоев преобладающими являются северо-западные потоки. С помощью модели HYSPLIT на даты выпадения осадков были построены траектории, соответствующие высоте облачного слоя, которые также показали отличия в разные сезоны как по направлению, так и по продолжительности: в теплом сезоне среднее направление перемещения воздушных масс на исследуемую территорию северо-западное, в холодном – юго-западное-западное.

Определено, что для холодного периода высота облачности, при которой преимущественно происходило выпадение осадков (70,1 % по количеству дней с осадками и 60,0 % по объему осадков), составляла ≥ 2500 м, в то время как для теплого периода максимальное количество осадков приходилось на высоту в интервале 600–1000 м (85,3 % и 87,5 % соответственно). Сделан вывод, что для холодного периода года вклад дальнего трансграничного переноса на поступление влаги и загрязняющих веществ на подстилающую поверхность изучаемой территории будет существенно выше, чем для теплого периода, когда воздушные массы дальнего трансграничного переноса будут проходить над изучаемой территорией транзитом.

Ключевые слова: циркуляционные процессы, атмосферные осадки, юг Западной Сибири

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН № 0306-2021-0004 «Оценка сезонных особенностей атмосферного поступления и последующего распределения загрязняющих веществ на водосборной площади ключевых участков бассейна Оби в зависимости от природно-климатических условий».

Для цитирования: Безуглова Н.Н., Суковатов К.Ю., Носкова Т.В., Папина Т.С. Сезонные особенности циркуляционных процессов и изменений высоты облачности над территорией юга Западной Сибири // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 116–125. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-116-125

METEOROLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-116-125

SEASONAL FEATURES OF CIRCULATION PROCESSES AND CHANGES IN CLOUD HEIGHT OVER
THE TERRITORY OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIANadezhda N. Bezuglova¹, Konstantin Yu. Sukovатов², Tatyana V. Noskova³, Tatyana S. Papina⁴^{1, 2, 3, 4} Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul, Russia¹ bezuglovan@gmail.com² skonstantiny@gmail.com³ ntv@iwep.ru⁴ tanya.papina@mail.ru

© 2025 Эта работа Безугловой Н.Н., Суковатова К.Ю., Носковой Т.В., Папиной Т.С. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите сайт <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Метеорология

Безуглова Н.Н., Суковатов К.Ю., Носкова Т.В., Папина Т.С.

Abstract. Basing on the ERA5 reanalysis data, the amount of precipitation, and the cloud base, we assessed seasonal differences in circulation processes that determined the transfer of moisture and pollutants by air masses to the territory of the south of Western Siberia in 2014–2023. The paper shows that the cold season is characterized by unidirectional movement of air masses, both in the lower layers of the atmosphere and in the middle troposphere, which is associated with western and southwestern flows. In contrast to the cold season, the warm season is characterized by multidirectional movements in the lower layers of the atmosphere and in the middle troposphere: for the middle troposphere, as in the cold season, western and southwestern flows are predominant, while for the lower layers northwestern flows are predominant. Using the HYSPLIT model, trajectories corresponding to the cloud layer height were constructed for the dates of precipitation, which also showed differences in different seasons, both in direction and duration: in the warm season the average direction of air masses movement to the study area is northwestern, in the cold season – southwestern.

The study has found that for the cold period the height of the cloud base at which precipitation predominantly occurred (70.1% in terms of the number of days with precipitation and 60.0% in terms of precipitation volume) was ≥ 2500 m, while for the warm period the maximum precipitation amount was recorded at the height of the cloud base in the range of 600–1000 m (85.3% and 87.5% respectively). It is concluded that for the cold period of the year, the contribution of long-range transboundary transport to the supply of moisture and pollutants to the underlying surface of the study area will be significantly higher than for the warm period, when air masses of long-range transboundary transport will transit over the study area.

Keywords: circulation processes, atmospheric precipitation, south of Western Siberia

Funding. The study was funded as part of the state assignment undertaken by IWEP, SB RAS, No. 0306-2021-0004 ‘Assessment of seasonal features of atmospheric intake and subsequent distribution of pollutants in the catchment of key areas of the Ob River basin depending on natural and climatic conditions’.

For citation: Bezuglova, N.N., Sukovатов, K.Yu., Noskova, T.V., Papina, T.S. (2025). Seasonal features of circulation processes and changes in cloud height over the territory of the south of Western Siberia. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp.116–125. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-116-125

Введение

Общая атмосферная циркуляция обеспечивает перемещение воздушных масс, в результате которого происходит перенос тепла и влаги, что формирует климатический режим территории [2]. Особенности воздушных течений в различных областях Северного полушария зависят от глобальной циркуляции, географического положения, а также сезона года [4, 6, 8, 16, 17]. При этом особо значимое влияние циркуляция оказывает на облачность и атмосферные осадки [2]. Облачность, в свою очередь, воздействует на циркуляцию, вызывая явление мезоциркуляции на отдельных участках. Таким образом, атмосферная циркуляция в каждом конкретном регионе ответственна за перемещение циклонов и связанных с ними облачных систем, однако в научном сообществе все еще существует неопределенность понимания того, как взаимодействуют облака, циркуляция и климат [11].

В последнее время в связи с глобальным поступлением загрязняющих веществ в окружающую среду большой интерес вызывает взаимосвязь между крупномасштабной общей циркуляцией и распределением загрязняющих веществ в атмосфере [9, 21]. Поток загрязняющих веществ от глобальных, региональных и локальных источников загрязнения характеризуется дальностью их переноса, определяемой, как правило, высотой нахождения загрязняющих веществ над подстилающей поверхностью земли. Так как поступление основного количества загрязняющих веществ из атмосферы на подстилающую поверхность в регионах умеренного климата происходит во время выпадения атмосферных осадков [12–14], для оценки вклада глобального и регионального переноса на фоне локальных выбросов важно знать высоту облачности, при которой происходит конденсация влаги и формирование осадков над изучаемой территорией, а анализ региональных особенностей циркуляции позволит определить траектории перемещения воздушных масс, приходящих в исследуемый район.

Цель данной работы – на примере Алтайского края оценить различия в циркуляционных процессах, определяющих перенос влаги и загрязняющих веществ воздушными массами на территорию юга Западной Сибири для холодного и теплого сезонов.

Объекты и методы исследования

В работе выполнен анализ данных по осадкам, нижней границе облачности (НГО) и геопотенциале за 2014–2023 гг. Объектами исследования являются атмосферные выпадения на территории водосбора Верхней Оби в пределах Алтайского края (рис. 1) и сезонная региональная атмосферная циркуляция над данной территорией.

Метеорология

Безуглова Н.Н., Суковатов К.Ю., Носкова Т.В., Папина Т.С.

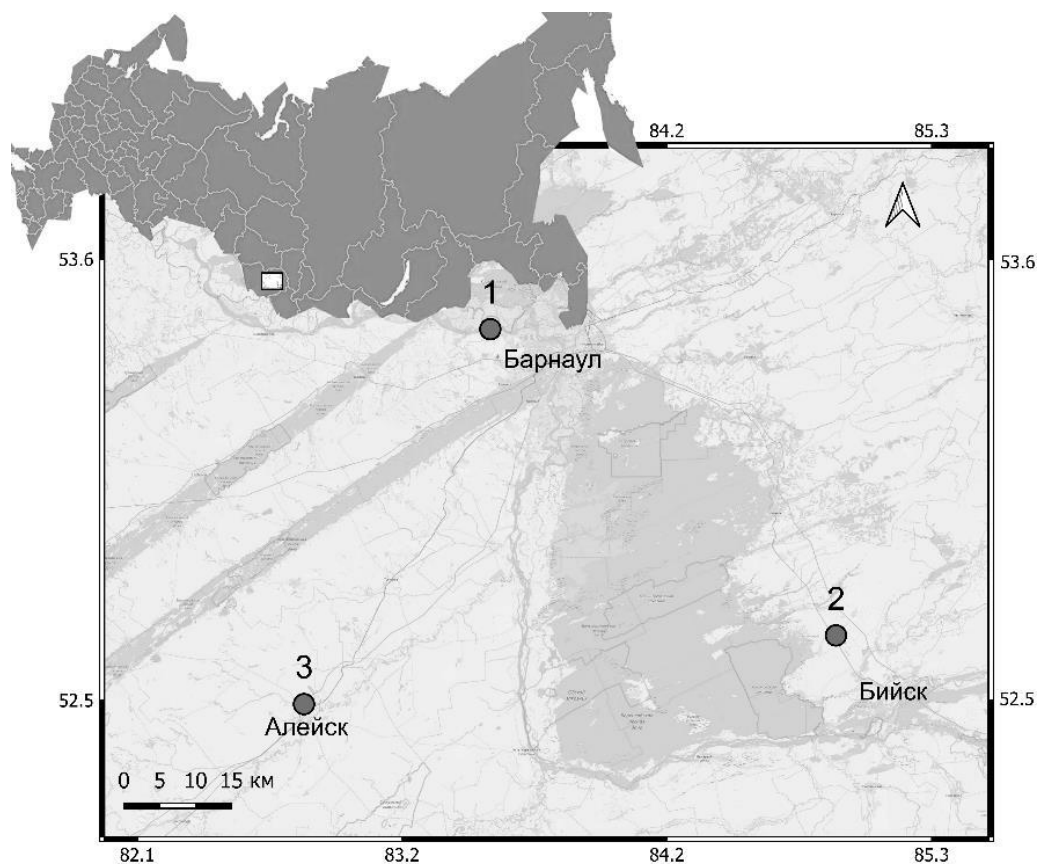


Рис. 1. Карта-схема расположения метеорологических станций на изучаемой территории (1 – метеостанция № 29838; 2 – метеостанция № 29939; 3 – метеостанция № 29937)

Fig. 1. The meteorological stations' location in the study area

(1 - weather station No. 29838, 2 - weather station No. 29939, 3 - weather station No. 29937)

Для оценки вклада воздушных масс, перемещающихся на разной высоте от поверхности земли и приносящих на изучаемую территорию влагу, выпадающую в виде атмосферных осадков, был выполнен анализ распределения количества осадков по высоте нижней границы облачности в различные сезоны 2014–2023 гг. на метеостанции № 29838 (г. Барнаул). Для обоснования возможности распространения данных, полученных на метеостанции № 29838, на весь изучаемый регион было проведено сопоставление объемов атмосферных выпадений в теплый и холодный сезоны 2014–2023 гг. на трех метеостанциях Алтайского края, расположенных в разных местах изучаемого региона (рис. 1). В качестве исходных данных были использованы архивные материалы сайта «Расписание погоды» [5].

Для анализа особенностей региональной сезонной циркуляции на основе данных реанализа ERA5 [15] для исследуемой территории были построены пространственные распределения геопотенциала и линий тока на уровне 850 гПа.

Модель HYSPLIT [18] была применена для расчетов траекторий воздушных масс, приходящих на изучаемую территорию. Расчеты средних по сезонам траекторий и построение пространственных распределений анализируемых параметров проводились с помощью разработанных авторами программных сценариев на языке программирования Python, которые использовали возможности дополнительных библиотек [10].

Результаты и их обсуждение

Сопоставление средних значений количества атмосферных осадков, зафиксированных в теплый и холодный период 2014–2023 гг. на трех метеостанциях Алтайского края, расположенных на различных участках изучаемой территории (рис. 1), показало отсутствие статистически значимых между ними различий (рис. 2). Известно, что характерный масштаб синоптических процессов для средних и высоких широт составляет ~ 1000 км, поэтому, учитывая размер исследуемой территории и отсутствие существенных орографических препятствий, синоптические процессы, определяющие погодные условия на территории, можно считать однородными [1]. Таким образом, изучаемая территория является равнинным участком Приобского плато, где отсутствуют явно выраженные аэрографические барьеры на пути движения преобладающих западных воздушных течений [20], поэтому данные о количественном составе атмосферных осадков, полученные в любой точке изучаемой площади (рис. 1), можно распространить на всю территорию.

Метеорология

Безуголова Н.Н., Суковатов К.Ю., Носкова Т.В., Папина Т.С.

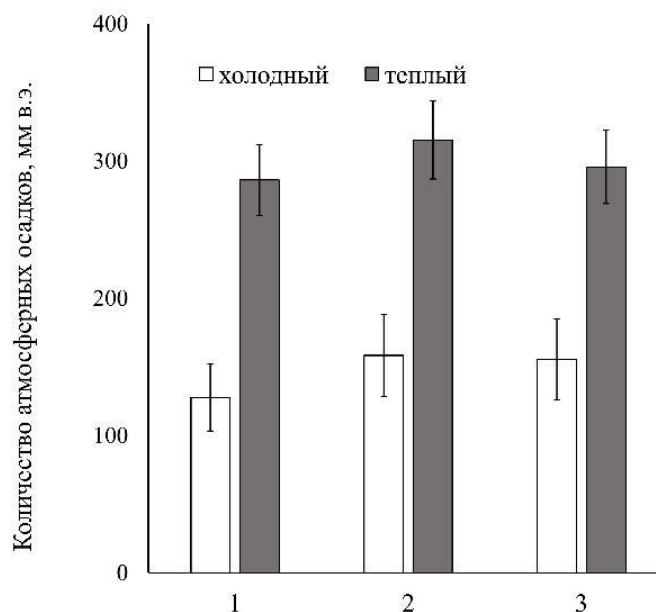


Рис. 2. Средние значения количества сезонных атмосферных выпадений на подстилающую поверхность

Алтайского края в 2014–2023 гг. (1 – метеостанция № 29838 Барнаул;

2 – метеостанция № 29939 Бийск-Зональное; 3 – метеостанция № 29937 Алейск)

Fig. 2. Average values of seasonal atmospheric precipitation on the underlying surface of the Altai Territory in 2014–2023 (1 - weather station No. 29838 Barnaul;

2 - weather station No. 29939 Biysk-Zonalnoye; 3 - weather station No. 29937 Aleysk)

Распределение атмосферных осадков по высоте НГО в холодный (снег) и теплый (дождь) период по данным метеостанции Барнаул приведено в табл., из которой следует, что для холодного периода высота облачности, при которой преимущественно происходило выпадение осадков (70,1 % по количеству дней с осадками и 60,0 % по объему осадков), составляла ≥ 2500 м, в то время как для теплого периода максимальное количество осадков приходилось на высоту в интервале 600–1000 м (85,3 и 87,5 % соответственно).

Тем самым можно предположить, что для холодного периода года вклад дальнего трансграничного переноса на поступление влаги и загрязняющих веществ на подстилающую поверхность изучаемой территории будет существенно выше, чем для теплого периода, когда воздушные массы дальнего трансграничного переноса будут проходить над изучаемой территорией транзитом.

Таблица

Распределение сезонных атмосферных выпадений в 2014–2023 гг. в зависимости от высоты нижней границы облачности (НГО) по данным метеостанции № 29838 Барнаул

The distribution of seasonal atmospheric deposition in 2014–2023 depending on the height of the cloud base according to the data from the weather station No. 29838 Barnaul

Количество осадков (%) относительно их общего количества за сезон в зависимости от нижней границы облачности (м): n – по количеству дней с осадками; в.э. – по мм в.э.								
Сезон, год	300–600 м		600–1000 м		1000–1500 м		≥ 2500 м	
	n	в.э.	n	в.э.	n	в.э.	n	в.э.
Теплый, 2014	4,8	7,5	82,5	87,2	1,6	0,1	11,1	5,2
Теплый, 2015	0	0	90,9	88,2	3	3,2	6,1	8,6
Теплый, 2016	4,4	10	82,3	80	4,4	1,5	8,9	8,5
Теплый, 2017	4,2	5,5	84,3	89,7	8,6	3,4	2,9	1,4
Теплый, 2018	12,3	1,5	77,2	78,6	5,3	4,6	5,2	15,3
Теплый, 2019	0	0	90,2	92,9	4,9	5,7	4,9	1,4
Теплый, 2020	1,8	4,1	84,2	85,6	0	0	14	10,3
Теплый, 2021	2,1	0,6	76,6	87	4,3	2,7	17	9,7
Теплый, 2022	2	1,9	87,6	88,3	0	0	10,4	9,8
Теплый, 2023	0	0	96,9	97,3	0	0	3,1	2,7
*Среднее за 10 сезонов	$3,2 \pm 3,5$	$3,1 \pm 3,4$	$85,3 \pm 6,0$	$87,5 \pm 5,2$	$3,2 \pm 2,7$	$2,1 \pm 2,0$	$8,4 \pm 4,5$	$7,3 \pm 4,3$
Холодный, 2014–2015	1,5	2,6	21,2	20	0	0	77,3	77,4
Холодный, 2015–2016	0	0	31,8	40,9	2,3	5,5	65,9	53,6

Метеорология

Безуглова Н.Н., Суковатов К.Ю., Носкова Т.В., Папина Т.С.

Окончание таблицы

Количество осадков (%) относительно их общего количества за сезон в зависимости от нижней границы облачности (м): <i>n</i> – по количеству дней с осадками; <i>в.э.</i> – по мм в.э.								
Сезон, год	300–600 м		600–1000 м		1000–1500 м		≥2500 м	
	<i>n</i>	<i>в.э.</i>	<i>n</i>	<i>в.э.</i>	<i>n</i>	<i>в.э.</i>	<i>n</i>	<i>в.э.</i>
Холодный, 2016–2017	0	0	30,4	46,3	0	0	69,6	53,7
Холодный, 2017–2018	1,6	1	32,8	54,7	6,6	3	59	41,3
Холодный, 2018–2019	1,5	1	34,3	49,3	0	0	64,2	49,7
Холодный, 2019–2020	0	0	25	34	0	0	75	66
Холодный, 2020–2021	0	0	20,8	23,5	0	0	79,2	76,5
Холодный, 2021–2022	0	0	32,4	39,5	0	0	67,6	60,5
Холодный, 2022–2023	0	0	26,6	39,1	0	0	73,4	60,9
*Среднее за 9 сезонов	0,5 ± 0,7	0,5 ± 0,8	28,4 ± 4,8	38,6 ± 10,7	1,0 ± 2,1	0,9 ± 1,9	70,1 ± 6,3	60,0 ± 11,3

*приведено среднее значение и его доверительный интервал при $P = 0,95$

Для объяснения полученных нами сезонных различий в распределении атмосферных выпадений в зависимости от нижней границы облачности (табл.) были изучены региональные особенности циркуляционных процессов для изучаемой территории.

По данным ежемесячных обзоров особенностей атмосферной циркуляции Гидрометцентра РФ, в средней тропосфере поле геопотенциала в течение 2014–2023 гг. преимущественно отличалось от климатического (среднего многолетнего) как в масштабе Северного полушария, так и в отдельных регионах. Основная особенность – усиление межширотного обмена между высокими и средними широтами (активизация меридиональности атмосферных процессов) на полушарии в целом, в том числе на территории Урала, Сибири, Дальнего Востока [3].

На рис. 3 и 4 представлены средние многолетние пространственные распределения геопотенциала и линии тока для уровня 850 гПа в рамках холодного и теплого сезонов за 2014–2023 гг. Цветовая шкала соответствует значениям геопотенциала ($\text{м}^2/\text{с}^2$): все оттенки синего – минимальные значения, голубой-зеленый – средние значения, желтый-красный – максимальные значения. (Высокие значения геопотенциала соответствуют полю высокого давления, минимальные – полю низкого.)

В холодный сезон (рис. 3) область минимальных значений геопотенциала находилась в высоких широтах, к северу от параллели 60° с.ш. Струйное течение, ограничивающее полярный вихрь, располагалось в широтном направлении. Над территорией Сибири в средних широтах наблюдался высотный гребень. В соответствии с расположением линий тока на юг Западной Сибири распространялись воздушные массы как из южных, так и из центральных районов Атлантики. Таким образом, создавались условия и для выхода южных циклонов, и для перемещения на исследуемую территорию атлантических циклонов по западным траекториям.

Сохранение поля высокого давления на юго-востоке и низкого на севере вызывает сгущение линий тока на границе этих полей, что, в свою очередь, способствует активизации атмосферных фронтов (фронтотенеза) и, соответственно, развитию фронтальной облачности.

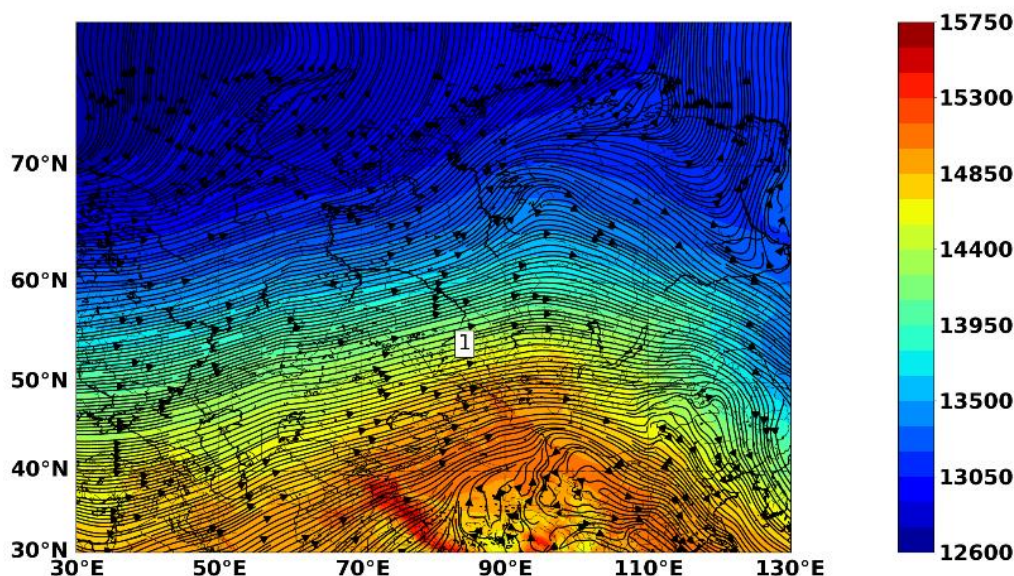


Рис. 3. Пространственное распределение геопотенциала и линии тока для уровня 850 гПа в холодный сезон

Fig. 3. Spatial distribution of geopotential and streamlines for the level of 850 hPa in the cold season

Метеорология

Безуглова Н.Н., Суковатов К.Ю., Носкова Т.В., Папина Т.С.

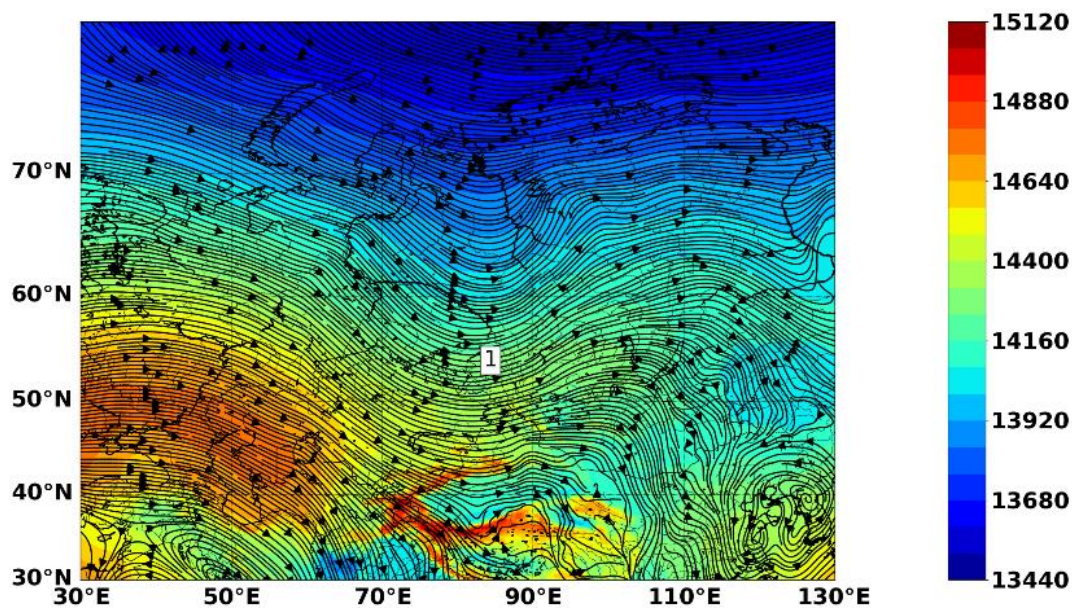


Рис. 4. Пространственное распределение геопотенциала и линии тока для уровня 850 гПа в теплый сезон

Fig. 4. Spatial distribution of geopotential and streamlines for the level of 850 hPa in the warm season

Теплый сезон (рис. 4) характеризовался явно выраженной меридиональностью процессов как в высоких, так и в средних широтах. Над Европейской частью России и районами Восточной Сибири находились высотные гребни. Западная Сибирь оказывалась под влиянием высотной ложбины. Атлантические циклоны, смещаясь по северо-западной траектории (по северным морям), достигали территории Западной Сибири. Исследуемая территория при этом была под влиянием южной периферии атлантических циклонов, где влияние атмосферных фронтов значительно ослабевает. Поступление холодных влажных воздушных масс на прогретую в теплый период подстилающую поверхность способствовало созданию условий для развития неустойчивой атмосферной стратификации и развитию конвективных процессов (внутримассовых конвективных облаков).

Характеристики (параметры) облачности в существенной степени определяются локальными метеорологическими параметрами в зоне ее расположения, однако наиболее важным фактором формирования облачности является адвекция воздушных масс [7, 19]. Для определения источников влаги и возможных источников эмиссии загрязняющих веществ, поступающих на изучаемую территорию, были рассчитаны обратные 10-дневные траектории для каждого месяца теплого (апрель-октябрь) и холодного (ноябрь-март) сезонов 2014–2023 гг., а затем были рассчитаны средние траектории для каждого сезона.

На рис. 5 и 6 представлены средние многолетние траектории для холодного и теплого сезонов. Обратные траектории построены для уровней, соответствующих высотам нижней границы облачности (НГО): для холодного сезона на высоте 2500 и 3500 м, для теплого – на высоте 600 и 1000 м.

Поскольку циркуляционные характеристики средней тропосферы (на уровне 500 гПа) являются одним из определяющих факторов динамики атмосферных движений, также построены траектории для высоты 5000 м применимо к холодному и теплему сезонам.

В теплый сезон для уровней, соответствующих высоте НГО, наблюдается большое разнообразие траекторий с завихрениями и с различными видами кривизны (искривления), соответствующих разным типам меридиональных процессов. В холодный сезон для уровней, соответствующих высоте НГО, и на высоте средней тропосферы для обоих сезонов траектории менее возмущены и, как правило, соответствуют западно-восточному переносу в средних широтах. Поэтому траектории, усредненные при одинаковой временной продолжительности (10 дней), для высот НГО теплого сезона получаются короче, чем для высот НГО холодного сезона и для уровня средней тропосферы (5000 м) обоих сезонов.

Метеорология

Безуглова Н.Н., Суковатов К.Ю., Носкова Т.В., Папина Т.С.

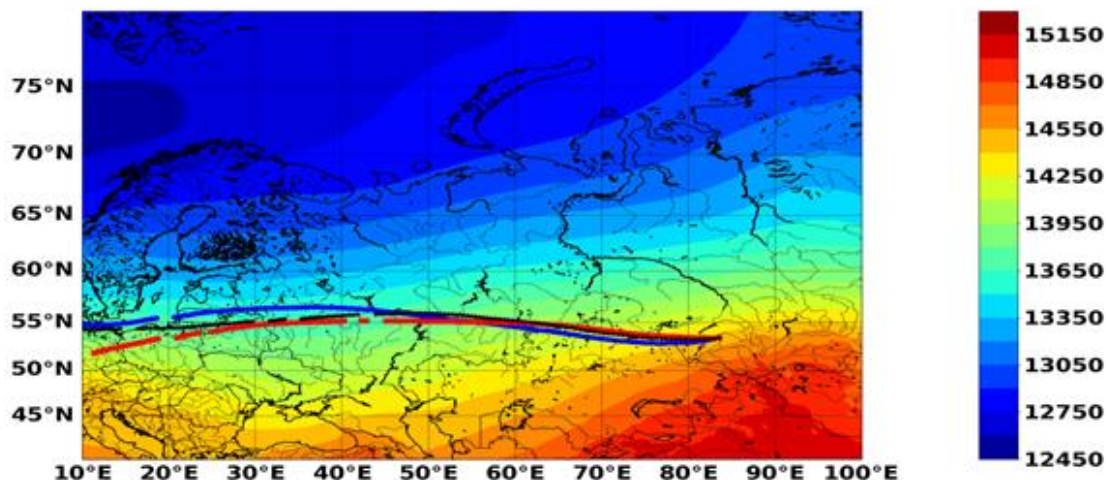


Рис. 5. Средние значения поля геопотенциала и средние траектории для холодного сезона (ноябрь–март, 2014–2023 гг.). Траектория для высоты 2500 м – синими кружочками, 3500 м – черными звездочками, 5000 м – красными квадратиками

Fig. 5. Average values of the geopotential field and average trajectories for the cold season (November–March, 2014–2023). The trajectory for an altitude of 2500 m – in blue circles, for 3500 m – in black stars, for 5000 m – in red squares

В холодный сезон в среднем многолетнем (в течение 2014–2023 гг.) преобладающим направлением было юго-западное-западное (рис. 5). Траектории на высотах 2500, 3500 и 5000 м практически совпадают. Направление перемещения воздушных масс на уровне нижней границы облачности и в средней тропосфере аналогично. Таким образом, на процесс облакообразования в холодный период оказывали влияние динамические процессы всего рассматриваемого слоя атмосферы (2500–5000 м), а поступление воздушных масс на исследуемую территорию происходило из восточных районов центральной Атлантики.

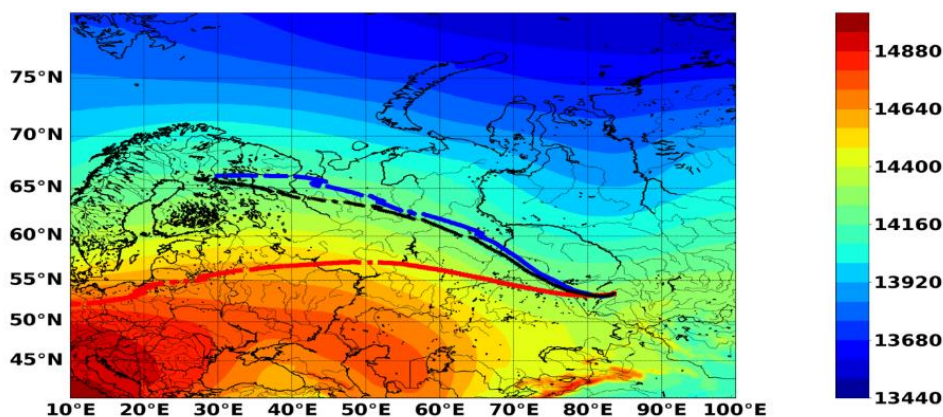


Рис. 6. Средние значения поля геопотенциала и средние траектории для теплого сезона (апрель–октябрь, 2014–2023 гг.). Траектория для высоты 600 м – синими кружочками, 1000 м – черными звездочками, 5000 м – красными квадратиками

Fig. 6. Average values of the geopotential field and average trajectories for the warm season (April–October, 2014–2023). The trajectory for an altitude of 600 m – in blue circles, for 1000 m – in black stars, 5000 m – in red squares.

В отличие от холодного сезона, в теплый сезон траектории на уровне 600 и 1000 м практически совпадают (рис. 6), однако существенно отличаются от направления движения воздушных масс в средней тропосфере. Формирование облачности в теплый сезон определялось процессами в нижней части тропосферы, а воздушные массы на исследуемую территорию поступали в основном с севера Скандинавии.

Выводы

Для исследуемой территории среднее поле геопотенциала и направление движения воздушных масс (линии тока) отличаются в разные сезоны года.

Для холодного сезона характерна однонаправленность движений в нижних слоях атмосферы и в средней тропосфере. Для средней тропосферы и для нижних слоев атмосферы характерны западные и юго-западные потоки, что может свидетельствовать о наличии однотипных механизмов переноса на разных уровнях

Метеорология

Безуглова Н.Н., Суковатов К.Ю., Носкова Т.В., Папина Т.С.

(преобладании «дальнего» переноса) для холодного сезона. Движение на уровне средней тропосферы во многом определяет локальные движения в нижних слоях атмосферы.

В противоположность холодному сезону, для теплого сезона характерна разнонаправленность движений в нижних слоях атмосферы и в средней тропосфере. Для средней тропосферы, как и в холодный сезон, свойственны западные и юго-западные потоки. Для нижних слоев преобладающими являются северо-западные потоки, что может свидетельствовать о различии преобладающих механизмов переноса на тех или иных уровнях (преобладании «ближнего» переноса) для теплого сезона. Движение на уровне средней тропосферы в меньшей степени влияет на локальные движения в нижних слоях атмосферы.

Показано, что для холодного периода высота облачности, при которой преимущественно происходило выпадение осадков (70,1 % по количеству дней с осадками и 60,0 % по объему осадков), составляла ≥ 2500 м, в то время как для теплого периода максимальное количество осадков приходилось на высоту в интервале 600–1000 м (85,3 и 87,5 % соответственно). При этом траектории, соответствующие высоте облачного слоя, отличаются в разные сезоны как по направлению, так и по продолжительности. В теплый сезон среднее направление перемещения воздушных масс на исследуемую территорию северо-западное, в холодный – юго-западное-западное. В холодный сезон продолжительность средних 10-дневных траекторий существенно больше, чем в теплый. Поэтому можно сделать вывод, что в холодный сезон дальность переноса воздушных масс больше, чем в теплый сезон. Следовательно, вклад дальнего трансграничного переноса на поступление влаги и загрязняющих веществ на подстилающую поверхность изучаемой территории для холодного периода будет существенно выше, чем для теплого периода, когда воздушные массы дальнего трансграничного переноса будут проходить над изучаемой территорией транзитом.

Библиографический список

1. Вагер Б.Г., Надежина Е.Д. Пограничный слой атмосферы в условиях горизонтальной неоднородности. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 136 с.
2. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Поднебесных Н.В. Циркуляция атмосферы над Западной Сибирью в 1976–2004 гг. // Метеорология и гидрология. 2007. № 5. С. 28–36.
3. Ежемесячные обзоры атмосферной циркуляции: Гидрометцентр РФ. URL: <https://meteoinfo.ru/circulation-review> (дата обращения 28.11.2023)
4. Литвинова О.С. Влияние макроциркуляционных условий на атмосферное увлажнение юга и юго-востока Западной Сибири // Географический вестник. 2020. № 2. С. 100–110. DOI: 10.17072/2079-7877-2020-2-100-110
5. Погода в Алтайском крае: Расписание погоды. URL: https://rp5.ru/Погода_в_Алтайском_крае (дата обращения 27.05.2024)
6. Попова В.В., Шмакин А.Б. Циркуляционные механизмы крупномасштабных аномалий температуры воздуха зимой в Северной Евразии в конце XX столетия // Метеорология и гидрология. 2006. № 12. С. 15–25.
7. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н. Спектры повторяемости осадков на территории европейской части бывшего СССР в зависимости от интенсивности фронтальных зон и конвективной неустойчивости сеточного масштаба // Метеорология и гидрология. 2006. № 4. С. 5–18.
8. Adler R., Gu G., Sapiiano M., Wang J.-J., Huffman G.J. Global Precipitation: Means, Variations and Trends During the Satellite Era (1979–2014) // *Surveys in Geophysics*. 2017. Vol. 38. P. 679–699. DOI: 10.1007/s10712-017-9416-4
9. Bahauddin M., Baltaci H., Onat B. The role of large-scale atmospheric circulations on long-term variations of PM10 concentrations over Turkey // *Environmental Science and Pollution Research*. 2024. Vol. 31. P. 1260–1275. DOI: 10.1007/s11356-023-31164-6
10. Библиотека Basemap. URL: <https://matplotlib.org/basemap/stable/> (дата обращения 07.12.2023)
11. Bony S., Stevens B., Frierson D., Jakob C., Kageyama M., Pincus R., Shepherd T.G., Sherwood S.C., Siebesma A.P., Sobel A.H., Watanabe M., Webb M.J. Clouds, circulation and climate sensitivity // *Nature Geoscience*. 2015. No. 8. P. 261–268. DOI: 10.1038/ngeo2398
12. Cong Z., Kang S., Zhang Y., Li X. Atmospheric wet deposition of trace elements to central Tibetan Plateau // *Applied Geochemistry*. 2010. Vol. 25, No. 9. P. 1415–1421. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2010.06.011
13. Croft B., Lohmann U., Martin R.V., Stie P., Wurzler S., Feichter J., Hoose C., Heikkilä U., Donkelaar A., Ferrachat S. Influences of in-cloud aerosol scavenging parameterizations on aerosol concentrations and wet deposition in ECHAM5-HAM // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2010. Vol. 10. P. 1511–1543.
14. Croft B., Pierce J.R., Martin R.V., Hoose C., Lohmann U. Strong sensitivity of aerosol concentrations to convective wet scavenging parameterizations in a global model // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2012. Vol. 12. P. 1687–1732.
15. ERA5: data documentation. URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation> (дата обращения: 15.12.2023)
16. Fukutomi Y., Masuda K., Yasunari T. Cyclone activity associated with the interannual seesaw oscillation of summer precipitation over northern Eurasia // *Global and Planetary Change*. 2007. Vol. 56, No. 3–4. P. 387–398.
17. Hiyama T., Fujinami H., Kanamori H., Ishige T., Oshima K. Recent interdecadal changes in the interannual variability of precipitation and atmospheric circulation over northern Eurasia // *Environment Research Letters*. 2016. No. 11. DOI: 10.1088/1748-9326/11/6/065001
18. HYSPLIT Trajectories: Air Resources Laboratory. URL: https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php (дата обращения 25.01.2024)
19. Koracin D., Dorman C.E. Marine Atmospheric Boundary Layer Divergence and Clouds along California in June 1996 // *Monthly Weather Review*. 2001. Vol. 129. P. 2040–2056.

Метеорология

Безуглова Н.Н., Суковатов К.Ю., Носкова Т.В., Папина Т.С.

20. Papina T.S., Eirikh A.N., Eyrikh S.S. The use of the characteristics of water isotopic composition for assessing the contribution of winter and summer precipitation to the Upper Ob Runoff in the Open-water Period // *Water Resources*. 2024. Vol. 51, No. 4, P. 418–427. DOI: 10.1134/S0097807824700866

21. Yassin Mbululo, Qin Jun, Fatuma Nyihirani, Zhengxuan Yuan, Sijing Huang, Yajuan Wang. Relationship between air pollutant distribution and large-scale circulation // *Environmental Science: Advances*. 2023. No. 2. P. 1119–1129. DOI: 10.1039/D3VA00060E

References

1. Vager B.G., Nadezhina E.D. Boundary layer of the atmosphere in conditions of horizontal heterogeneity. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1979. 136 p (In Russian)
2. Gorbatenko V.P., Ippolitov I.I., Podnebesnykh N.V. Atmospheric circulation over Western Siberia in 1976–2004 // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2007. Vol. 32, No 5. P. 301–306.
3. Monthly reviews of atmospheric circulation: Hydrometeorological Center of the Russian Federation. URL: <https://meteo.info.ru/circulation-review>.
4. Litvinova O.S. The influence of macrocirculation conditions on atmospheric humidification in the south and south-east of Western Siberia // *Geographical Bulletin*. 2020. No 2. P. 100–110. (In Russian)
5. Weather in the Altai Krai: Weather schedule. URL: https://rp5.ru/Weather_in_Altai_Krai.
6. Popova V.V., Shmakin A.B. Circulation mechanisms of large-scale anomalies of air temperature in winter in Northern Eurasia at the end of the XX century // *Russian Meteorology and Hydrology* 2006. №12. P. 15–25. (In Russian)
7. Shakina N.P., Skriptunova E.N. Spectra of precipitation occurrence frequency in the former European USSR depending on frontal zone intensity and grid-scale convective instability // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2006. No 4. P. 1–11.
8. Adler R., Gu G., Sapiain M., Wang J.-J., Huffman G.J. Global Precipitation: Means, Variations and Trends During the Satellite Era (1979–2014) // *Surveys in Geophysics*. 2017. Vol. 38, P. 679–699.
9. Bahaiddin M., Baltaci H., Onat B. The role of large-scale atmospheric circulations on long-term variations of PM₁₀ concentrations over Turkey // *Environmental Science and Pollution Research*. 2024. Vol. 31, P. 1260–1275.
10. Biblioteka Basemap. URL: <https://matplotlib.org/basemap/stable/> (дата обращения 07.12.2023).
11. Bony S., Stevens B., Frierson D., Jakob C., Kageyama M., Pincus R., Shepherd T.G., Sherwood S.C., Siebesma A.P., Sobel A.H., Watanabe M., Webb M.J. Clouds, circulation and climate sensitivity // *Nature Geoscience*. 2015. No 8, P. 261–268. doi:10.1038/ngeo2398.
12. Cong Z., Kang S., Zhang Y., Li X. Atmospheric wet deposition of trace elements to central Tibetan Plateau // *Applied Geochemistry*. 2010. Vol. 25, No 9. P. 1415–1421.
13. Croft B., Lohmann U., Martin R.V., Stie P., Wurzer S., Feichter J., Hoose C., Heikkilä U., Donkelaar A., Ferrachat S. Influences of in-cloud aerosol scavenging parameterizations on aerosol concentrations and wet deposition in ECHAM5-HAM // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2010. Vol. 10. P. 1511–1543.
14. Croft B., Pierce J.R., Martin R.V., Hoose C., Lohmann U. Strong sensitivity of aerosol concentrations to convective wet scavenging parameterizations in a global model // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2012. Vol. 12, P. 1687–1732.
15. ERA5: data documentation. URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation> (дата обращения: 15.12.2023).
16. Fukutomi Y., Masuda K., Yasunari T. Cyclone activity associated with the interannual seesaw oscillation of summer precipitation over northern Eurasia // *Global and Planetary Change*. 2007. Vol. 56, No 3–4. P. 387–398.
17. Hiyama T., Fujinami H., Kanamori H., Ishige T., Oshima K. Recent interdecadal changes in the interannual variability of precipitation and atmospheric circulation over northern Eurasia // *Environment Research Letters*. 2016. No 11. doi: 10.1088/1748-9326/11/6/065001.
18. HYSPLIT Trajectories: Air Resources Laboratory. URL: https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php (дата обращения 25.01.2024).
19. Koracin D., Dorman C.E. Marine Atmospheric Boundary Layer Divergence and Clouds along California in June 1996 // *Monthly Weather Review*. 2001. Vol. 129, P. 2040–2056.
20. Papina T.S., Eirikh A.N., Eyrikh S.S. The use of the characteristics of water isotopic composition for assessing the contribution of winter and summer precipitation to the Upper Ob Runoff in the Open-water Period // *Water Resources*. 2024. Vol. 51, No 4, P. 418–427.
21. Yassin Mbululo, Qin Jun, Fatuma Nyihirani, Zhengxuan Yuan, Sijing Huang, Yajuan Wang. Relationship between air pollutant distribution and large-scale circulation // *Environmental Science: Advances*. 2023. No 2. 1119–1129. doi:10.1039/D3VA00060E.

Статья поступила в редакцию: 22.07.24, одобрена после рецензирования: 08.08.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 22 July 2024; approved after review: 8 August 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторах

Надежда Николаевна Безуглова

кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, лаборатория физики атмосферно-гидросферных процессов, Институт водных и экологических проблем, Сибирское отделение РАН;

656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

e-mail: bezuglovan@gmail.com

Information about the authors

Nadezhda N. Bezuglova

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Researcher, Laboratory of Physics of Atmospheric-Hydro-spheric Processes, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;

1, Molodezhnaya st., Barnaul, 1656038, Russia

e-mail: bezuglovan@gmail.com

*Метеорология**Безуглова Н.Н., Суковатов К.Ю., Носкова Т.В., Папина Т.С.***Константин Юрьевич Суковатов**

кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, лаборатория физики атмосферно-гидросферных процессов, Институт водных и экологических проблем, Сибирское отделение РАН; 656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

e-mail: skonstantiny@gmail.com

Татьяна Витальевна Носкова

кандидат технических наук, научный сотрудник, химико-аналитический центр, Институт водных и экологических проблем, Сибирское отделение РАН; 656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

e-mail: ntv@iwep.ru

Татьяна Савельевна Папина

доктор химических наук, начальник химико-аналитического центра, Институт водных и экологических проблем, Сибирское отделение РАН; 656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

e-mail: tanya.papina@mail.ru

Konstantin Yu. Sukovатов

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Researcher, Laboratory of Physics of Atmospheric-Hydro-spheric Processes, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;

1, Molodezhnaya st., Barnaul, 1656038, Russia

Tatiana V. Noskova

Candidate of Technical Sciences, Researcher of the Chemical Analytical Center of the Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;

1, Molodezhnaya str., Barnaul, 1656038, Russia

Tatyana S. Papina

Doctor of Chemical Sciences, Head of the Chemical Analytical Center of the Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;

1, Molodezhnaya str., Barnaul, 1656038, Russia

Вклад авторов

Безуглова Н.Н. – подготовка обзора литературы по данному исследованию, интерпретация результатов исследования, написание текста статьи.

Суковатов К.Ю. – сбор и обобщение базы данных, подготовка графического материала, написание текста статьи.

Носкова Т.В. – подготовка обзора литературы по данному исследованию, подготовка графического материала, написание текста статьи.

Папина Т.С. – формулировка идеи, подготовка обзора литературы по данному исследованию, написание текста статьи, научное редактирование текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Nadezhda N. Bezuglova – preparation of a literature review on this study, interpretation of the results of the study, writing the text of the article.

Konstantin Yu. Sukovатов – collection and generalization of the database, preparation of graphic material, writing the text of the article.

Tatiana V. Noskova – preparation of a literature review on this study, preparation of graphic material, writing the text of the article.

Tatyana S. Papina – formulation of the idea, preparation of a literature review on this study, writing the text of the article, scientific editing of the text.

The authors declare no conflict of interest.

Научная статья

УДК 551.582.2

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-126-133

**СИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И АНАЛИЗ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ
НА ТЕРРИТОРИИ ИРАКА И РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ РОССИИ****Имад Абдулриза Джасим Аль-хулайфави ¹, Александр Рувимович Иошпа ²**^{1,2} Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия¹ imadjasim900@gmail.com² aioshpa@yandex.ru

Аннотация. При решении задач мониторинга грозовой активности анализ многолетних данных визуальных наблюдений за грозами на сегодняшний день не имеет альтернативы. Ввиду высокой повторяемости гроз, которые к тому же зачастую сопровождаются интенсивными ливнями и выпадением града, исследование как современного режима грозовой активности, так и его динамики представляет особый интерес. Рассмотрены пространственно-временные особенности характера грозовой активности за многолетний период. Это исследование основано на архивных данных ежедневных метеорологических наблюдений, проводившихся в течение двадцати лет на двух метеорологических станциях в России и трех метеорологических станциях в Ираке. Исследование повторяемости гроз в течение шести месяцев в году и в течение двадцати лет показало, что грозы на территории Ирака чаще всего случаются в марте и апреле (станция Ханакин), причем 42 % из них приходится на северный предгорный регион Ирака. Анализ грозовой активности за шесть месяцев в году и за двадцать лет на территории Ростовской области России показал, что наибольшая повторяемость гроз наблюдается в июне и июле (50,2 %). Из общего числа гроз на рассматриваемых территориях на внутримассовые приходится около 28 %. Фронтальные грозы в основном наблюдаются в теплый период года при прохождении холодных атмосферных фронтов – 66 %. Выявлены основные синоптические процессы характерные для образования конвективной облачности и проведены исследования сезонных вариаций грозовой активности в двух странах в различных климатических зонах.

Ключевые слова: холодный фронт, кучево-дождевая облачность, конвективная облачность, грозовая активность, внутримассовые грозы

Благодарности: Авторы благодарны сотрудникам Главного управления метеорологии и сейсмического мониторинга Ирака (особенно руководителю и ассистенту отдела климата), выражают признательность доктору Фирасу Сабиху и доктору Акилу Матару факультета атмосферных наук колледжа наук Университета Мустансирия, которые помогли в сборе архивного материала.

Для цитирования: Аль-хулайфави И.А.Д., Иошпа А.Р. Синоптические условия и анализ грозовой активности на территории Ирака и Ростовской области России // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 126–133. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-126-133

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-126-133

**SYNOPTIC CONDITIONS AND ANALYSIS OF THUNDERSTORM ACTIVITY IN IRAQ AND THE
ROSTOV REGION OF RUSSIA****Imad A. J. Al-khulaifawi ¹, Alexander R. Ioshpa ²**^{1,2} Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia¹ imadjasim900@gmail.com² aioshpa@yandex.ru

Abstract. In solving the problems of monitoring thunderstorm activity, the analysis of long-term data from visual observations of thunderstorms has no alternative today. In view of the high frequency of thunderstorms, which are often accompanied by intense downpours and hail, of particular interest is the study on both the current regime of thunderstorm activity and its dynamics. The paper looks at the spatio-temporal features of thunderstorm activity over a long-term period. The research is based on archival data from daily meteorological observations conducted over a period of twenty years at two meteorological stations in Russia and three meteorological stations in Iraq. A study of the frequency of thunderstorms during six months of the year and for a 20-year period has shown that thunderstorms in Iraq most often occur in March



© 2025 Эта работа Аль-хулайфави И.А.Д., Иошпы А.Р. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Метеорология

Аль-хулайфави И.А.Д., Иошпа А.Р.

and April (Khanaqin station), with 42% of them occurring in the northern foothill region of Iraq. According to the analysis of thunderstorm activity for six months of the year and for a 20-year period in the territory of the Rostov region of Russia, the highest frequency of thunderstorms is observed in June and July (50.2%). Of the total number of thunderstorms in the territories under consideration, air-mass thunderstorms account for about 28%. Frontal thunderstorms are mainly observed in the warm period of the year with the passage of cold atmospheric fronts – 66%. The authors have identified the main synoptic processes characteristic of the convective clouds formation and studied the seasonal variations of thunderstorm activity in the two countries in different climatic zones.

Keywords: cold front, cumulonimbus cloudiness, convective cloudiness, thunderstorm activity, air-mass thunderstorms

Acknowledgments. The authors are grateful to the staff of the General Directorate of Meteorology and Seismic Monitoring of Iraq (especially the Head and Assistant of the Climate Department) and to Dr. Firas Sabih and Dr. Aqeel Matar from the Faculty of Atmospheric Sciences at the College of Sciences, Mustansiriyah University, who helped in the collection of archival material.

For citation: Al-khulaifawi, I.A.J., Ioshpa, A.R. (2025). Synoptic conditions and analysis of thunderstorm activity in Iraq and the Rostov region of Russia. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp.126–133. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-126-133

Введение

Во многих областях умеренных широт, равно как и в тропиках, значительная доля годовых сумм осадков создается конвективными ливнями и грозами, которые вызывают большую часть бедствий. Конвективные возмущения представляют также особый интерес в связи с тем, что они, пожалуй, в наиболее очевидной форме выражают взаимодействие циркуляций крупного и малого (или среднего) масштабов. На повторяемость значительной конвекции сильно влияют возмущения синоптического масштаба, а конвективные облака, в свою очередь, представляют собой весьма активные агенты вертикального переноса энергии и горизонтального количества движения в размерах, существенных для общей циркуляции атмосферы [4].

Кучевые облака являются одной из разновидностей конвективной облачности. При наличии в атмосфере мощных по вертикали конвективных облаков (кучево-дождевых) погодные условия характеризуются такими явлениями, как ливневые осадки, грозовая деятельность, шквалы (рис. 1). В самих облаках наблюдается интенсивная турбулентность, сильное обледенение и большие скорости вертикальных движений. В течение лета и весны, когда поверхность земли значительно прогрета, кучево-дождевые облака имеют наибольшее вертикальное развитие [9, 16].

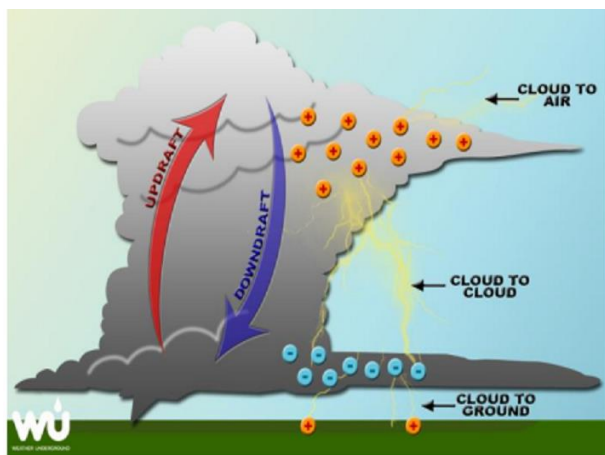


Рис. 1. Схема грозового облака в его зрелом состоянии [4]

Fig. 1. Scheme of a thundercloud in its mature state [4]

Грозы могут формироваться и развиваться в любом географическом месте. С начала апреля по октябрь в средних широтах при столкновении теплого влажного воздуха из тропических широт с более прохладным воздухом из полярных широт обычно начинается формирование гроз. Грозы оказывают сильное воздействие на народное хозяйство, они ответственны за развитие и формирование многих экстремальных погодных явлений, которые могут быть опасны. Ущерб, причиняемый грозами, в основном вызван сильным ветром, крупным градом и внезапными наводнениями, возникающими в результате обильных осадков [13].

Когда конвективная облачность развивается на большую высоту, где температура ниже, капли воды превращаются в мелкие частицы льда, которые, сталкиваясь друг с другом, создают статическое электричество. Когда это происходит в больших масштабах, электрические заряды в конечном итоге вызывают вспышки света и грома – явные признаки приближения грозы [14].

Материалы и методы исследований

Своеобразное географическое расположение Ирака характеризует его климат. Различные типы местности охватывают горные районы на севере и северо-востоке Ирака, холмистые районы к югу от горного района, аллювиальные равнины и Западные плато. Расположение этих районов, в зависимости от высоты над уровнем моря, играет важную роль в формировании различных климатических условий в разных регионах Ирака. Поэтому при направлении с юга на север температура воздуха падает и увеличивается количество дождей [5].

*Метеорология**Аль-хулайфави И.А.Д., Иошина А.Р.*

Ирак имеет своеобразный климат, обусловленный его положением в месте встречи средиземноморских и континентальных воздушных масс и барьерным эффектом его гор, которые создают условия для формирования конвективной облачности в течении года.

В России климат (в Ростовской области) континентальный, зима холодная, а лето продолжительное, жаркое [17].

Преобладающие ветры в средних широтах зачастую очень сильные. В этих частях мира также наблюдается большое разнообразие быстро меняющихся погодных условий: холодные воздушные массы с полюсов и теплые воздушные массы из тропиков постоянно поднимаются вверх и опускаются вниз над ними друг против друга, иногда чередуясь с разницей в несколько часов. Этот процесс создает ячейки глобальной циркуляции, которые в основном ответственны за режим ветра в глобальном масштабе [11].

В конце весны и начале лета в средних широтах, включая Россию, активные циклоны и широкие слоистые облака сменяются мелкомасштабными движениями воздуха и конвективными дождями, вызванными вертикально растущими конвективными облаками [6].

Целью работы являлось выявление особенностей пространственного распределения тенденций межгодовой изменчивости грозовой активности над территорией Ирака и России. Исходя из этого, был произведен анализ многолетних тенденций в изменении форм циркуляции атмосферы в рассматриваемых регионах, осуществленный для каждого дня теплых периодов 1970–2015 гг., и анализ изменений числа дней с грозой на основе анализа ежедневных (архивных) метеорологических данных за 20 лет на трех метеорологических станциях (Ханакин, аэропорт Багдада и аэропорт Басры) за период 2000–2019 гг. [7]; для Ростовской области России – на основе данных о грозовых явлениях за 20 лет на двух метеорологических станциях (Ростов-на-Дону и Таганрог) за период 2000–2019 гг. [1, 10, 15].

На всех пяти метеорологических станциях были проанализированы случаи с грозами. В качестве базового показателя грозовой активности принят день с грозой. Для определения дня с грозой использовались следующие критерии:

- сутки, когда была зафиксирована гроза (в районе станции или отдаленная), включающие интервал времени с 00:00 до 24:00 часов по местному времени, по срокам наблюдений (00.00; 06.00; 12.00 и 18.00) часов;
- если гроза была в ночное время в период перехода суток, она включалась в оба дня, т.е. фиксировалось два дня с грозой.

Получены данные, которые включают в себя ежедневное, ежемесячное и годовое количество дней с грозами на каждой станции, были статистически обработаны и сформированы в таблицы.

Краткий статистический анализ был применен для оценки изменчивости и возможных различий в среднее число дней по крайней мере с одним грозовым событием из долгосрочных рядов данных в каждом регионе. Статистическая значимость этих изменений была рассчитана тестом Манна-Кендалла для всего периода 2000–2019 гг. [12].

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ синоптических условий образования гроз основан на методах синоптического анализа приземных карт погоды, карт барической топографии.

Различают фронтальные и внутримассовые грозы. Принципиальной разницы в строении внутримассовых и фронтальных кучево-дождевых облаков нет. А это значит, что нет какого-либо различия в характере образования ливневых осадков и гроз. Различие может состоять лишь в том, что фронтальные кучево-дождевые облака, в отличие от внутримассовых, обычно сосредоточиваются вдоль линии фронта и, как правило, являются более мощными, а связанные с ними грозы более интенсивны.

Из общего числа гроз на рассматриваемых территориях на внутримассовые приходится около 28 %. В подавляющем большинстве случаев (90 %) внутримассовые грозы возникают в малоградиентных областях пониженного атмосферного давления, затем в тылу заполняющихся циклонов, центры которых располагаются на востоке рассматриваемой территории, на западной периферии антициклонов, отступающих к востоку. При внутримассовых грозах на высотах над всей рассматриваемой территорией обычно находится барическая ложбина с малыми градиентами или циклон, совмещенные с областью холода в поле относительного геопотенциала H500/1000. Внутримассовые грозы над рассматриваемой территорией возникают к 13–15 часам мск. времени.

Важными дополнительными условиями, благоприятствующими возникновению внутримассовых гроз, являются высокая относительная влажность у поверхности Земли (более 50 % в утренние часы) и удельная влажность (около 4–7 г/кг на высоте 1,5 м и 5–6 г/кг на высоте 3 км), а также неустойчивая стратификация и слабые скорости ветра до высоты 6–8 км. При значениях относительной влажности у поверхности Земли в утренние часы менее 50 % и при больших скоростях ветра на высотах грозы и связанные с ними ливни не наблюдаются, даже если имеются благоприятные для них условия. При наличии характерного для внутримассовых гроз термобарического поля у поверхности Земли и на высотах внутримассовые грозы в западной части рассматриваемой территории вполне удовлетворительно могут быть предсказаны утром на данный день по эмпирическому графику (рис. 2).

Метеорология

Аль-хулайфави И.А.Д., Иошпа А.Р.

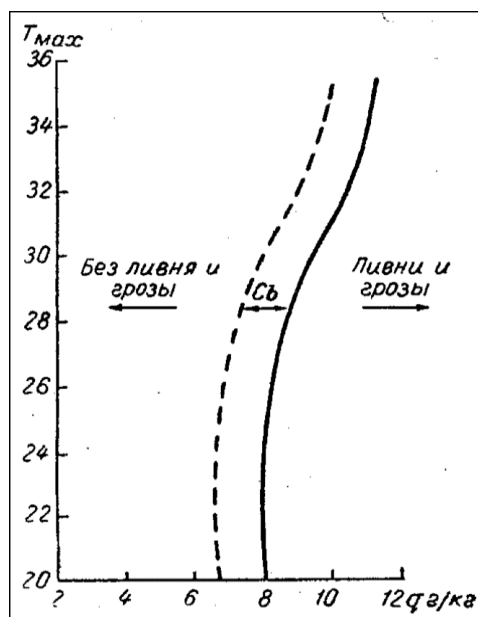


Рис. 2. График для прогноза внутримассовых ливней и гроз [2]

Fig. 2. Graph for the forecast of air-mass rains and thunderstorms [2]

На этом графике на оси абсцисс отложены средние значения удельной влажности у поверхности Земли до высоты 3 км в утренние часы (3 и 9 часов), а на оси ординат — прогнозируемые значения максимальной температуры воздуха у поверхности Земли на текущий день [2].

Преобладающее число фронтальных гроз на территориях Ирака и Ростовской области России связано с основными холодными фронтами (66 % общего числа фронтальных гроз).

Чаще всего грозы в Ростовской области вызываются фронтами, смещающимися с северо-запада. При этом типе процесса наиболее интенсивные грозы обычно отмечаются в Таганроге и Ростове-на-Дону во второй половине дня, когда контрасты температур в зоне фронта достигают наибольших величин. В ночное время вследствие уменьшения контрастов температур в зоне фронта происходит ослабление гроз. При этом типе процессов происходит уменьшение повторяемости гроз в направлении на юго-восток. Это объясняется тем, что теплый воздух, вытесняемый клином вторгающегося холодного воздуха, не обладает достаточным влагосодержанием. Довольно часто при смещении холодного фронта на центральные районы на нем образуются волны, замедляющие его дальнейшее продвижение к юго-востоку.

Холодные фронты, смещающиеся с северо-запада, бывают в большинстве случаев связаны с циклонами над северными или центральными районами ЕТР. При этом Скандинавский полуостров и северный район Западной Европы обычно бывает занят областью высокого давления.

Активную грозовую деятельность и интенсивные ливни вызывают и холодные фронты, перемещающиеся с юго-запада, так как при этом на рассматриваемую территорию России с Черного моря поступают более влажные воздушные массы с неустойчивой стратификацией. По мере смещения к северо-востоку эти фронты обычно размываются, а грозовая деятельность прекращается.

При юго-западном типе синоптические процессы обычно развиваются двумя путями:

а) Южные районы ЕТР в день, предшествующий грозам, занимает ложбина низкого давления, связанная с циклоном над югом Урала. В ложбине проходит холодный фронт с волнами над территорией Северного Кавказа. На термобарической карте АТ 700 гПа ложбина хорошо выражена и занимает район Украины, Черного моря и Балканского полуострова (иногда над югом Украины образуется самостоятельный циклонический центр). В тыл ложбины направлен очаг холода. В то же время над Турцией, востоком Черного моря и Кавказом располагается активная фронтальная зона с контрастами температур 8–12 °С/500 км и запасами влаги на уровне 850 гПа 6–10 г/кг;

б) В день интенсивных гроз высотная ложбина перемещается на восток Черного моря, высотный гребень усиливается, вытягивается к северу почти меридионально. Это приводит к изменению направленности потоков над югом ЕТР и Черным морем, вследствие чего резко увеличивается адвекция холода на запад Черного моря и адвекция тепла на южные районы ЕТР через Кавказ и Каспийское море. Такая перестройка термобарического поля приводит к увеличению контраста температур в зоне холодного фронта. Возникающие на фронте над юго-восточной акваторией Черного моря неглубокие циклонические возмущения по ведущему потоку на АТ 700 гПа перемещаются на юго-запад территории, обуславливая интенсивные грозы и ливни.

На территории Ирака основные синоптические условия, с которыми связаны грозы, относятся к выходу циклонов со Средиземного моря, приводящих к возникновению термической неустойчивости, в результате чего активизируются конвективные процессы, способствующие выпадению ливневых дождей, чаще всего с градом и грозой [4].

Период с начала осени до весны характеризуется расположением областей пониженного давления над центральными и восточными частями Африки, что приводит к распространению ложбины на Судан и Красное море. С этой ложбиной связано выпадение ливневых осадков, сопровождающихся грозой на территории Ирака [4].

Временная изменчивость суммарного числа дней с грозами на территории Ирака по трем метеостанциям представлена на графике (рис. 3) за 20-летний период. Результаты анализа показывают, что наибольшее количество дней с грозами за рассматриваемый период приходится на предгорные районы, где расположена станция Ханакин — 283 дней, наименьшая повторяемость наблюдалась в районе Персидского залива на метеостанции Басра — 103 дня. В годы с незначительной грозовой деятельностью количество гроз уменьшается до 5–8 за год в районах повышенной повторяемости гроз и не превышает 2–3 случаев в районах минимума гроз.

Метеорология

Аль-хулайфави И.А.Д., Иошина А.Р.

При этом на графике (рис. 4) представлен временной ход общего количества дней с грозами над территорией для Ростовской области России на двух метеостанциях за 20-летний период. Результаты анализа показывают, что наибольшее количество дней, сопровождающихся грозами, за исследуемый период приходится на метеостанцию Таганрог – 384 дня, а наименьшая повторяемость наблюдается на метеостанции Ростов-на-Дону – 345 дней. Неравномерное распределение гроз в отдельные годы на территории обуславливается в основном различной повторяемостью макроциркуляционных процессов в теплом полугодии.

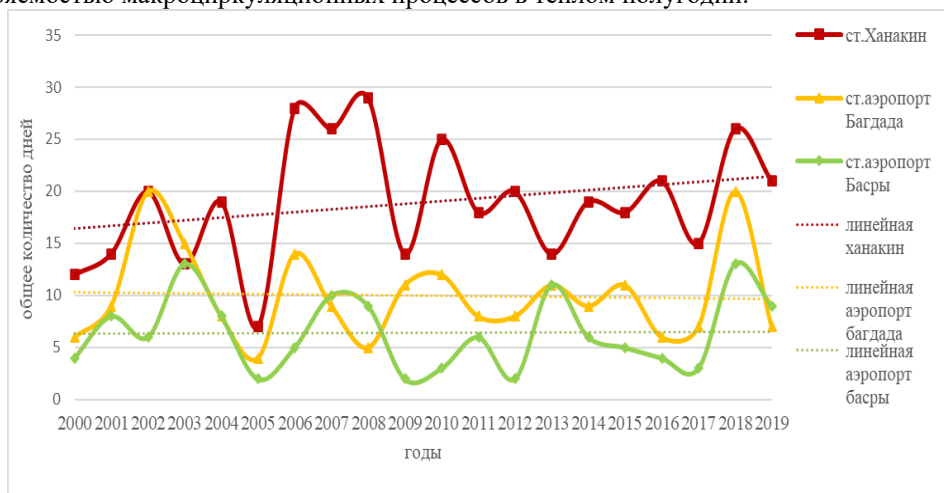


Рис. 3. Распределение суммарного числа случаев гроз по годам за 20-летний период на территории Ирака
Fig. 3. Distribution of the total number of thunderstorms by year during a 20-year period in Iraq

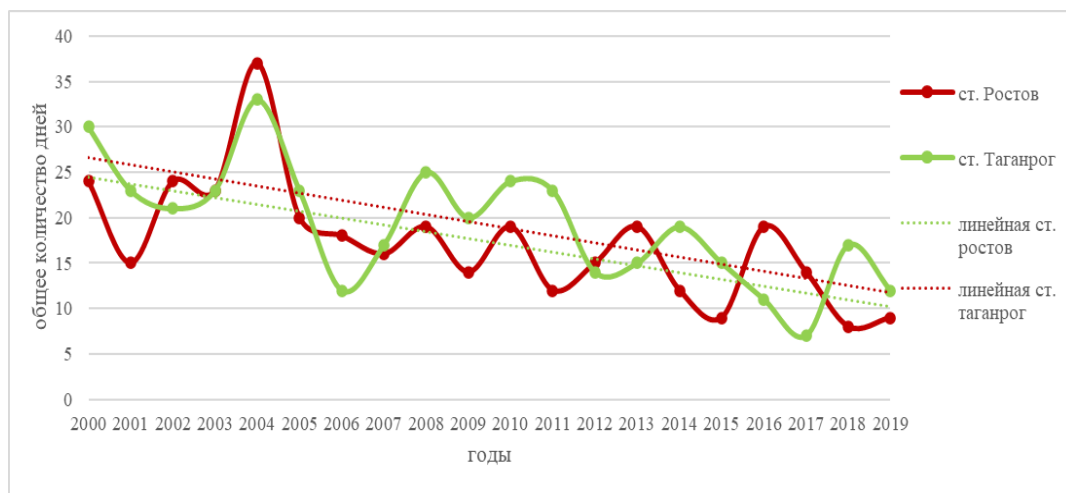


Рис. 4. Распределение суммарного числа случаев гроз по годам за 20-летний период на территории России (Ростовская область)

Fig. 4. Distribution of the total number of thunderstorms by year during a 20-year period in Russia (Rostov region)

Анализ среднемесячного числа дней с грозами за 20-летний период (2000 по 2019 г.) для трех метеостанций в Ираке показал, что обычно около 54 % всех гроз приходилось на период март-май месяцы, а на период октябрь-ноябрь – 22,3 % (рис. 3).

Максимальная грозовая активность наблюдается в апреле (максимум 10 дней на станции Ханакин). Количество дней с грозовой активностью увеличивалось в северной и северо-западной частях страны в горной местности, которая активизирует конвекцию.

В летний период грозовой деятельности с выпадением ливней на всей территории Ирака не наблюдалось, так как, по данным исследований, средняя максимальная температура воздуха составляет более +40 °C в течение четырех месяцев теплого периода года (с июня по сентябрь включительно) [8], и осадки, которые могли выпасть из конвективной облачности, испарялись, не достигая земли. Однако сухие грозы, случающиеся в теплое время года, часто приводили к пыльным и песчаным бурям.

Малое количество гроз в теплый период года над рассматриваемой территорией Ирака объясняется большой сухостью воздушных масс.

Метеорология

Аль-хулайфави И.А.Д., Иошпа А.Р.

В сентябре гроза наблюдается крайне редко, в среднем 3 случая за 20 лет на станции Ханакин, но достаточно редко на станции аэропорта Багдада и Басры (1 случай за 20 лет). Повторяемость дней с грозами увеличивается в октябре и ноябре в среднем до 3–4 случаев, а в декабре-феврале – в среднем до 5 случаев (рис. 5). Их повторяемость в январе-феврале не превышает 1–2 случаев за пятилетие, а в декабре грозы наблюдаются крайне редко – три случая за 10 лет на станции Басра [3].

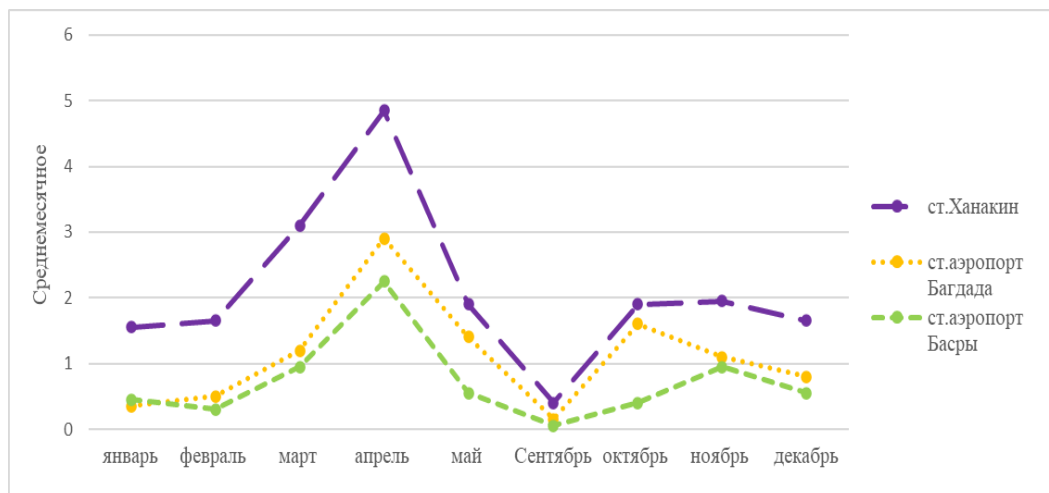


Рис. 5. Среднемесячное число дней с грозой за период с 2000 по 2019 г. на территории Ирака

Fig. 5. The average number of days with thunderstorms in Iraq between 2000 and 2019

Анализ среднемесячного числа дней с грозами за 20-летний период (2000 по 2019 г.) для двух метеостанций в России показал, что обычно около 83,15 % всех гроз приходилось на период май-август (рис. 6).

Максимальная грозовая активность наблюдается в июне (максимум 12 дней на станции Таганрог). Количество дней с грозами увеличивалось в теплый период во время прохождения холодных атмосферных фронтов, направляющихся с севера-запада.

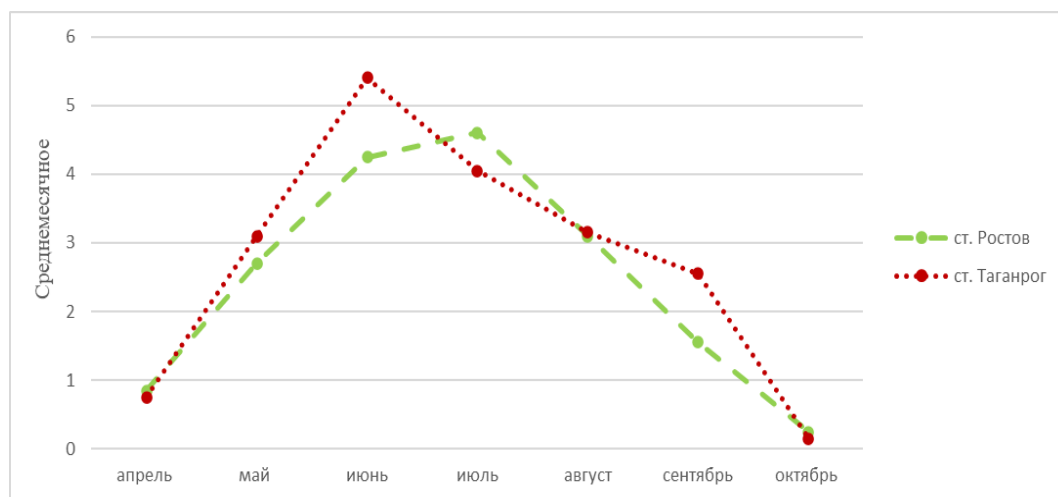


Рис. 6. Среднемесячное число дней с грозой за период с 2000 по 2019 г.

на территории Ростовской области России

Fig. 6. The average number of days with thunderstorms in Russia (Rostov region) between 2000 and 2019

В летний период грозы наблюдались по всей Ростовской области России. На двух исследуемых станциях с ноября по март грозы не образовывались. В апреле в среднем был 1 случай, а в сентябре они наблюдаются крайне редко, в среднем 1–2 случая для станции Ростов-на-Дону, а для станции Таганрог в среднем 2–3 случая. Как видно на графике (рис. 5), повторяемость дней с грозами достаточно редка в октябре, в среднем менее 1 случая за 20 лет.

Метеорология
Аль-хулайфави И.А.Д., Иошпа А.Р.

Таблица

Количество фронтальных и внутримассовых гроз (2000–2019 г.)
 Number of frontal and air-mass thunderstorms (2000–2019)

Станции		Количество случаев	
		фронтальные	внутримассовые
1	Ханакин	140	143
2	аэропорт Багдада	83	87
3	аэропорт Басры	49	54
4	Ростов-на-Дону	163	183
5	Таганрог	193	190

Из табл. видно, что наибольшее количество фронтальных и внутримассовых гроз на рассматриваемой территории Ростовской области России наблюдалось в Таганроге – 193 и 190 случаев. Наименьшее же значение фронтальных и внутримассовых гроз на территории Ирака наблюдалось на станции аэропорта Басры (49 и 54 случая соответственно).

Заключение

На основе проведенных исследований можно сделать выводы:

1. Из общего числа гроз на рассматриваемых территориях на внутримассовые приходится около 28 %. В подавляющем большинстве случаев (90 %) внутримассовые грозы возникают в малоградиентных областях пониженного атмосферного давления.
2. Фронтальные грозы в основном наблюдаются в теплый период года при прохождении холодных атмосферных фронтов (66 %).
3. Большинство гроз в умеренных широтах (Ростовской области России) приходится на теплый период года, а именно на май-июль, в субтропическом климате на севере и тропическом на юге территории Ирака наблюдаются два максимума – в апреле и октябре-ноябре.
4. Несмотря на отмечающееся снижение тренда грозовой активности в умеренной климатической зоне на территории Ростовской области, этот регион относится к району с повышенной грозовой активностью. В теплый период года это проявляется в увеличении продолжительности гроз, выпадении интенсивных ливневых осадков и увеличении дней с градом.

Напротив, на территории Ирака за 20 летний период отмечается тенденция роста грозовой активности в предгорной зоне Ханакин, выражающаяся в увеличении числа дней с грозой. На остальной территории Ирака межгодовая тенденция дней с грозами остается неизменной.

5. В Ираке в летнее время не было зарегистрировано ни одного случая с грозами за исследуемый период, что связано с возрастающей сухостью воздуха (относительная влажность менее 25 %) и высокими температурами воздуха, достигающими в дневное время значений 45–50 °С.

7. В Ираке общее количество гроз за 20 лет составляет 589 дней (исследовательские станции), в то время как в России общее количество гроз за 20 лет – 729 дней (исследовательские станции).

Библиографический список

1. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. URL: <https://mete.ru/data/345-atmosfernye-yavleniya-sroki#описание-массива-данных> (дата обращения 12.11.2023)
2. Ермаков Е.И., Стожков Ю.И. Физика грозовых облаков / Краткие сообщения по физике. М.: ФИАН, 2004. 337 с.
3. Иошпа А. Р., Аль-Хулайфави И.А.Д. Анализ грозовой активности на территории Ирака // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия Естественные науки. 2023. Т. 218, №. 2. С. 75–80. DOI: 10.18522/1026-2237-2023-2-75-80
4. Пальмен Э., Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы / пер. с англ. И.И. Шейниса; под ред. и с предисл. С.П. Хромова. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 615 с.
5. Awad W. R. N. Landscape Dynamics in The Desertification of Agricultural Land (exemplified by southern Iraq). dis.... cand. geogr. Sciences. St. Petersburg, 2019. 140 p.
6. Ceyhan K., Mikdat K. Thunderstorm Activities over Turkey, Istanbul Technical University, Department of Meteorology. 2013.
7. General Authority for Meteorology and Seismic Monitoring / Department of Climate and Scientific Research, unpublished data, 2023. URL: <http://meteoseism.gov.iq/>
8. Hussein K. F. Indicators of climate change and environmental impact in Iraq. Baghdad, 2012. 274 p. (in Arabic).
9. Mahdi Z. S., Abbood, Z. M., & Al-Taai, O. T. Thunderstorm dynamic analysis based on total precipitation over Iraq. 2021. Vol. 62, No. 70. P. 63.
10. Meteologix. URL: <http://meteologix.com/ru>. (дата обращения 10.11.2023)
11. Middle latitudes. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Middle_latitudes. (дата обращения 01.6.2023)
12. Robaa S.M. Mann-Kendall trend analysis of surface air temperatures and rainfall in Iraq / S.M. Robaa., Z.J. Al-Barazanji // Quarterly journal of Hungarian Meteorological Service. 2015. Vol. 119, No. 4. P. 493–514.
13. Thunderstorm. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thunderstorm>. (дата обращения 16.11.2023)
14. Thunderstorm development. URL: https://en.as.com/latest_news/why-do-thunderstorms-mostly-occur-late-in-the-evening-or-at-night-n/. (дата обращения 15.11.2023)
15. Tutiempo. URL: <http://en.tutiempo.net/climate/turkey.html>. (дата обращения: 10.11.2023)
16. Zipser E.J. Deep cumulonimbus cloud systems in the tropics with and without lightning. Monthly weather review. 1994. No. 122 (8). P. 1837–1851.

Метеорология

Аль-хулайфави И.А.Д., Иошпа А.Р.

References

1. All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center. [Electronic resource]: Official site. URL: <http://meteo.ru/data/345-atmosfernye-yavleniya-sroki> (Accessed:12.11.2023).
2. Ermakov E.I., Stozhkov Yu.I. Physics of thunderstorm clouds. Moscow, LPI Publ., 2004. 337 p. (in Russian).
3. Ioshpa A. R., Al-Khulaifawi I. A. D. 2023, Analysis of thunderstorm activity in Iraq Proceedings of higher educational institutions. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region [North Caucasus region. Series: Natural Sciences], vol. 218, no. 2, pp. 75–80. <http://doi.org/10.18522/1026-2237-2023-2-75-80>
4. Palmen E., Newton Ch. Circulating systems of the atmosphere. from the English by I.I. Sheinis; Ed. & With Preface. With. Khromova. - Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973. - 615 p. (in Russian)
5. Awad Wisam Raji Naji (Landscape Dynamics in The Desertification of Agricultural Land (exemplified by southern Iraq): dis.... cand. geogr. sciences /– St. Petersburg, 2019. – 140 p.
6. Ceyhan Kahya, Mikdat Kadioglu. (Thunderstorm Activities over Turkey), Istanbul Technical University, Department of Meteorology, 2013.
7. General Authority for Meteorology and Seismic Monitoring / Department of Climate and Scientific Research, unpublished data, 2023.<http://meteoseism.gov.iq/>.
8. Hussein K. F. Indicators of climate change and environmental impact in Iraq. Baghdad, 2012. 274 p. (in Arabic).
9. Mahdi, Z. S., Abbood, Z. M., & Al-Taai, O. T. Thunderstorm dynamic analysis based on total precipitation over Iraq. 2021. Vol. 62. No. 70. P. 63.
10. Meteologix. [Electronic resource]: Official site. URL: <http://meteologix.com/ru>. (Accessed:10.11.2023)
11. Middle [Electronic resource]: Official site. URL: [latitudes.https://en.wikipedia.org/wiki/Middle_latitudes](https://en.wikipedia.org/wiki/Middle_latitudes). (Accessed: (1.6.2023)).
12. Robaa S.M. Mann-Kendall trend analysis of surface air temperatures and rainfall in Iraq / S.M. Robaa, Z.J. Al-Barazanji // Quarterly journal of Hungarian Meteorological Service. - 2015. - Vol. 119. - No. 4. - P. 493-514.
13. Thunderstorm. [Electronic resource]: Official site. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thunderstorm>. (Accessed: 16.11.2023).
14. Thunderstorm development. [Electronic resource]: Official site. URL: https://en.as.com/latest_news/why-do-thunderstorms-mostly-occur-late-in-the-evening-or-at-night-n/. (Accessed: 15.11.2023).
15. Tutiempo. [Electronic resource]: Official site. URL: <http://en.tutiempo.net/climate/turkey.html>. (дата обращения: 10.11.2023).
16. Zipser, E. J. Deep cumulonimbus cloud systems in the tropics with and without lightning. Monthly weather review (1994).122(8), 1837-1851.

Статья поступила в редакцию: 10.07.24, одобрена после рецензирования: 08.08.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 10 July 2024; approved after review: 8 August 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторах

Имад Абдулриза Джасим Аль-хулайфави

аспирант, кафедра летательных аппаратов,
Институт радиотехнических систем и управления,
Южный федеральный университет;
344006 г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42

e-mail: imadjasim900@gmail.com

Information about the authors

Imad A. J. Al-khulaifawi

Postgraduate Student, Aircraft Department, Institute
of Radio Engineering Systems and Control, Southern
Federal University;
105/42, Bolshaya Sadovaya st., Rostov-on-Don,
344006, Russia

Александр Рувимович Иошпа

доцент, кандидат географических наук, заведующий
кафедрой океанологии, Институт наук о Земле,
Южный федеральный университет;
344090, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40

e-mail: aioshpa@yandex.ru

Alexander R. Ioshpa

Associate Professor, Candidate of Geographical Sciences,
Department of Oceanography, Institute of Earth
Sciences, Southern Federal University;
40, Zorge st., Rostov-on-Don, 344090, Russia

Вклад авторов

Аль-хулайфави И.А.Д. – идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи.

Иошпа А.Р. – идея, сбор материала, научное редактирование текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Imad A. J. Al-khulaifawi – the idea; material collection and processing; writing of the article.

Alexander R. Ioshpa – the idea; material collection; scientific editing of the text.

The authors declare no conflict of interest.

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Научная статья

УДК 551.58

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-134-146

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА СНЕЖНОГО ПОКРОВА
ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ НАЛЬЧИКБорис Азреталиевич Ашабоков¹, Алла Амарбиевна Ташилова², Лара Асировна Кешева³,
Наталья Вячеславовна Теунова⁴^{1, 2, 3, 4} Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт»,
г. Нальчик, Россия¹ ashabokov.boris@mail.ru² tashilovaa@mail.ru³ kesheva.lara@yandex.ru⁴ nata0770@yandex.ru

Аннотация. Целью исследования является анализ многолетних изменений среднедекадной толщины снежного покрова на метеостанции Нальчик (Кабардино-Балкарская республика) холодного сезона (октябрь-апрель) за период с 1960/1961 по 2017/2018 гг. и прогноз до 2037/2038 гг. Представлены результаты, полученные при обработке рядов данных м/станции с помощью статистического пакета STATISTICA 10.0 и SPSS 21.0.

По результатам исследований выяснено, что среднедекадная толщина снежного покрова составила 3,95 см при норме 3,8 см (1961–1990 гг.), размах между минимальным и максимальным значениями достаточно большой – $R = 14$ см. За период 1961–2018 гг. квантильным методом были определены 3 экстремальных значения – 10 (1992/93 гг.), 11 (1973/74 гг.) и 15 см (2011/12 гг.).

Исследования периодических компонент толщины снежного покрова, проведенные с помощью статистического пакета STATISTICA 10.0 и методом сингулярно-спектрального анализа, показали, что максимальные пики приходятся на периоды $T_1 \approx 10$, $T_2 \approx 19$ и $T_3 \approx 5$ лет.

Были построены графики с ходом осредненных значений среднедекадной толщины снежного покрова с 1-й по 21-ю декаду холодного сезона 1961–2018 гг., из которых видно, что максимальное значение толщины снежного покрова из осредненных многолетних $h=6$ см определено для 14 декады холодного сезона (2 декада февраля).

Прогноз среднедекадной толщины снежного покрова до 2038 г., проведенный методом сингулярно-спектрального анализа, показал, что периоды уменьшения толщины снежного покрова ожидаются с 2023 по 2025 г. и с 2030 по 2034 г., а периоды увеличения с 2025 по 2030 г. и с 2035 по 2038 г.

Ключевые слова: толщина снежного покрова, статистический анализ, метод сингулярно-спектрального анализа, экстремальные значения, прогноз

Для цитирования: Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Долговременные изменения режима снежного покрова по данным метеостанции Нальчик // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 134–146. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-134-146

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-134-146

LONG-TERM CHANGES IN THE SNOW COVER REGIME ACCORDING
TO DATA OF THE NALCHIK WEATHER STATIONBoris A. Ashabokov¹, Alla A. Tashilova², Lara A. Kesheva³, Nanaliya V. Teunova⁴^{1, 2, 3, 4} Federal State Budgetary Institution «High Mountain Geophysical Institute», Nalchik, Russia¹ ashabokov.boris@mail.ru² tashilovaa@mail.ru³ kesheva.lara@yandex.ru⁴ nata0770@yandex.ru

Abstract. The study aims to analyze long-term changes in the average ten-day thickness of snow cover at the Nalchik weather station (Kabardino-Balkarian Republic) during the cold season (October-April) for the period from



© 2025 Эта работа Ашабокова Б.А., Ташиловой А.А., Кешевой Л.А., Теуновой Н.В. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

1960/1961 to 2017/2018 and to make a forecast until 2037/2038. The paper presents the results obtained by processing data series from the station using STATISTICA 10.0 and SPSS 21.0 statistical packages.

The average ten-day thickness of snow cover was found to be 3.95 cm, with a norm of 3.8 cm (1961-1990); the range between the minimum and maximum values for the period 1961-2018 is quite large $R=14$ cm. Using the quantile method, 3 extreme values were determined – 10 cm (1992/93), 11 cm (1973/74), and 15 cm (2011/12).

Studies of the periodic components of snow cover thickness, carried out using STATISTICA 10.0 statistical package and the method of singular spectrum analysis, have shown that the maximum peaks fall within periods $T_1 \approx 10$ years, $T_2 \approx 19$ years, and $T_3 \approx 5$ years.

Graphs were constructed showing variations in the averaged values ten-day thickness of snow cover from the 1st to the 21st decade of the cold season of 1961-2018, from which it is clear that the maximum snow cover thickness ($h = 6$ cm) from the long-term average values was determined for the 14th decade of the cold season (2nd decade of February).

According to the forecast of the average ten-day snow thickness until 2038, carried out using singular spectrum analysis, periods of decreasing snow cover thickness are expected from 2023 to 2025 and from 2030 to 2034, and periods of increasing thickness – from 2025 to 2030 and from 2035 to 2038.

Keywords: snow cover thickness, statistical analysis, singular spectrum analysis, extreme values, forecast

For citation: Ashabokov, B.A., Tashilova, A.A., Kesheva, L.A., Teunova, N.V. (2025). Long-term changes in the snow cover regime according to data of the Nalchik weather station. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp. 134–146. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-134-146

Введение

Проблема изменения климата является составляющей частью устойчивого развития современного общества. С каждым годом изменения климата становятся все более очевидными и нередко влекут за собой необратимые экологические последствия.

Во многих исследованиях приводится анализ изменения глобального климата [11, 17, 27] и климата на территории России [5, 7, 8, 10, 22, 26], сезонных особенностей и тенденций его изменения в течение всего прошлого и начала текущего столетия. Подтверждается факт значительного потепления климата в последние десятилетия и уменьшения числа дней с экстремально низкими температурами воздуха, что является преобладающим на большей части страны во все сезоны года; на территории России возрастает число дней с аномально высокими температурами зимой.

Наряду с общим трендом повышения средних значений температур отмечается увеличение амплитуды кратковременных температурных колебаний и повторяемость аномальных явлений, связанных с сильными морозами и высокими положительными температурами, штормовыми ветрами, снегопадами, ливневыми дождями и т.д.

Одной из сложных и важных задач в проблеме изменения климата является прогнозирование метеопараметров, для чего используются различные физико-статистические методы и методы с использованием численных моделей [1, 24].

На фоне глобального потепления, наблюдаемого в последние десятилетия, происходят изменения в режиме снежного покрова, который является одной из важнейших характеристик регионального климата [4]. Снежный покров существенно меняет радиационный и тепловой баланс подстилающей поверхности, предохраняя почву от выхолаживания, а зимующие культуры от вымерзания, аккумулирует зимние осадки, весной выполняя роль одного из основных источников водного питания почвы [19].

В последние годы опубликовано большое количество работ, посвященных изучению изменения характеристик снежного покрова, таких как среднедекадная высота снежного покрова, число дней с устойчивым снежным покровом, начало и конец схода снежного покрова в различных регионах России [12, 18, 19, 23, 25].

В ежегодном докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 г. отмечается, что на значительной части РФ сохраняется тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова, при этом на большей части страны наблюдается увеличение максимальной за зиму толщины снежного покрова [16].

Прогноз изменений толщины снежного покрова является не менее важной проблемой, чем прогноз изменений климата (температуры и осадков), поскольку изменение характеристик снежного покрова может считаться комплексным индикатором климата холодного сезона, отражающим трансформации режима температуры, режима осадков, частоты оттепелей и т.д.

Материалы и методы

В качестве источника данных были использованы ряды среднедекадной толщины снежного покрова (ТСП) метеостанции Нальчик в холодный сезон (октябрь-апрель) с 1960/1961 по 2017/2018 гг. (далее 1961–2018 гг.), предоставленные ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС». Наблюдения за снежным покровом проводятся по установленным стационарно (постоянным) рейкам и с помощью снегосъемок. Для характеристики среднедекадной толщины снежного покрова вычисляют ее средние значения по декадам месяцев холодного сезона. По отсчетам трех реек ежедневно вычисляется среднее значение снежного покрова. Среднедекадные значения толщины снежного покрова были получены исходя из среднедекадных значений в месяцы с устойчивым снежным покрытием.

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Анализ рядов метеопараметров имеет две основные цели: определение внутренней структуры ряда (статистические и спектральные характеристики) и на ее основе – прогнозирование. Обе эти цели требуют, чтобы модель ряда была идентифицирована и формально описана.

В работе по данным метеостанции Нальчик (Кабардино-Балкарская республика, 500 м н.у.м.) приведены результаты статистического анализа среднедекадной толщины снежного покрова за период 1961–2018 гг., его трендов, выявление квазициклических периодичностей внутри временного ряда и прогноз значений толщины снежного покрова до 2038 г.

При исследовании временных рядов были использованы универсальные и специализированные статистические пакеты: SPSS 21.0, STATISTICA 10.0 [6, 9]. Целью описательного анализа, проведенного с помощью SPSS 21.0, является систематизация имеющихся данных. К нему относится создание частотной таблицы, вычисление статистических характеристик: среднее, дисперсия, стандартное отклонение, медиана, мода, минимум, максимум, размах, коэффициент асимметрии, коэффициент эксцесса, экстремальные значения (выбросы и экстремумы). Тест Колмогорова-Смирнова определяет нормальность кривой распределения, t -тест – статистически значимое равенство/неравенство двух средних значений [9]. Спектральный анализ рядов был проведен с помощью статистического пакета STATISTICA 10.0 [6].

Для прогноза толщины снежного покрова был применен метод сингулярно-спектрального анализа (SSA-Singular Spectrum Analysis) с использованием программного обеспечения Caterpillar-SSA [14, 15]. Метод основан на переходе от одномерного временного ряда длиной n с равномерным шагом $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ к многомерным рядам, построенным из исходного одномерного. Caterpillar-SSA позволяет выделить интересующие компоненты временных рядов, в частности, линейный и нелинейный тренд, компоненты с заранее известным и заранее не известным периодом, сгладить исходные данные, сделать прогноз ряда.

Техническую основу метода составляет сингулярное разложение матрицы, столбцами которой являются вектора – отрезки ряда длины L , основного параметра метода, называемого шириной окна. Вторым параметром метода является количество главных компонент (ГК), соответствующих i -ой тройке собственных чисел матрицы после ее сингулярного разложения [14, 15]. Для того чтобы выделить какую-то составляющую ряда или отделить сигнал от шума, необходимо найти соответствующие искомым составляющей компоненты разложения, сгруппировать их и восстановлением получить искомым ряд.

Качество прогноза проверялось с использованием фактического ряда (1998–2018 гг.) по расчетам следующих критериев:

- 1) стандартное отклонение и максимальное отклонение прогнозных значений от фактических;
- 2) t -тест для получения статистически значимой разницы (или равенства) между средними значениями фактического ряда (20-летнего исторического, 1998–2018 гг.) и прогнозного ряда (1998–2018 гг.);
- 3) относительная ошибка прогноза δ (%):

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{\phi} - y_{\text{пр}}}{y_{\phi}} \right| \cdot 100\% \quad , \quad (1)$$

где $y_{\text{пр}}$ – прогнозные значения на интервале 1998–2018 гг.; y_{ϕ} – фактические значения на интервале 1998–2018 гг.

Результаты и обсуждения

Описательные статистики среднедекадной толщины снежного покрова за исследуемый период 1961–2018 гг. для метеостанции Нальчик были определены с помощью статистического анализа программы SPSS [9] и представлены в табл. 1. Для проведения анализа использовались следующие статистические характеристики: средние значения, среднеквадратичные отклонения (меры рассеивания), максимальные и минимальные значения и их разбросы, значения коэффициентов асимметрии и эксцесса [13].

Среднедекадная толщина снежного покрова составила 3,95 см при норме 3,8 см (1961–1990 гг.), нижняя и верхняя границы среднего равнялись 3,29 и 4,66 см соответственно. Из табл. 1 видно, что размах между минимальным $h_{\min} = 1$ см (2014/2015 гг.) и максимальным $h_{\max} = 15$ см (2011/2012 гг.) значениями высоты снега составил $R = 14$ см. Среднее и медиана описывают положение центра выборки, вокруг которого группируются значения переменной. Однако среднее чувствительно к выбросам, которые вносят в нее сдвиг. В нашем случае среднее и медиана принимают значения 3,95 и 3,0 см соответственно, при этом имеются 3 экстремальных значения в ряду – 10 (1992/93 гг.), 11 (1973/74 гг.) и 15 см (2011/12 гг.) (рис. 1). Очевидно, среднее значение высоты снежного покрова 3,95 см получается завышенным и не характерным для всего ряда, что подтверждает 5 %-ное усеченное среднее (среднее за исключением 5 % минимальных и максимальных значений ряда). В качестве средней характеристики ТСП для практических целей, например для прогнозирования урожайности на равнинных и предгорных территориях Северного Кавказа, лучше брать медиану 3,0 см. Неравенство медианы и среднего является следствием несимметричного расположения данных выборки вокруг среднего (отклонение от нормального распределения). В качестве показателей, характеризующих распределение величин относительно среднего \bar{x} , в настоящей работе используются коэффициенты асимметрии A_s и эксцесса E . Асимметрия иллюстрирует скос распределения случайной величины в смысле тенденции частоты появления исходов $x_k > \bar{x}$ или $x_k < \bar{x}$; эксцесс – крутость (островершинность) или расплывчатость (плосковершинность) распределения случайной величины x .

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Как известно [13], $As=0$ характеризует нормальное распределение величин, возрастание коэффициента асимметрии ($As>0$) означает появление во временном ряду тенденции увеличения вероятности появления значений x_k , превосходящих величину математического ожидания (или среднего арифметического \bar{x}), а убывание ее величины имеет обратный смысл – увеличивается вероятность появления во временном ряду значений x_k , меньших \bar{x} . Из табл. 1 видно, что коэффициент асимметрии положительный ($As=1,648$), следовательно, можно сделать вывод, что имеется вероятность появления во временном ряду элементов, значения которых выше среднего. Такое заключение, на наш взгляд, согласуется с диаграммой частоты распределения значений толщины снежного покрова на рис. 2.

Таблица 1

Описательная статистика толщины снежного покрова (Нальчик, 1961–2018 гг.)

Descriptive statistics of snow thickness (Nalchik, 1961–2018)

	Статистика	Стд. ошибка
Количество наблюдений, N	58	–
Климатическая норма (1961–1990 гг.)	3,8	–
Среднее	3,95	0,364
95 % доверительный интервал для среднего, нижняя граница	3,29	–
верхняя граница	4,66	–
5 % усеченное среднее	3,66	–
Медиана	3,0	–
Дисперсия	7,7	–
Стандартное отклонение	2,78	–
Минимум	1,00	–
Максимум	15,00	–
Размах	14,00	–
Коэффициент асимметрии	1,648	0,314
Коэффициент эксцесса	3,723	0,618

Коэффициент эксцесса большой и положительный ($E=3,723$), что говорит об остром пикообразном распределении и группировке большого количества данных вокруг среднего значения, концы хвостов $x_{мин}$ и $x_{макс}$ не достигают значений $x_{cp} \pm 3\sigma$ (при 99,7 %-ном доверительном интервале).

На гистограмме (рис. 2) видно, что эмпирическое распределение данных соответствует вышеописанному с большой правосторонней асимметрией и высоким эксцессом и значительно отличается от нормального распределения, представленного плавной кривой на гистограмме.

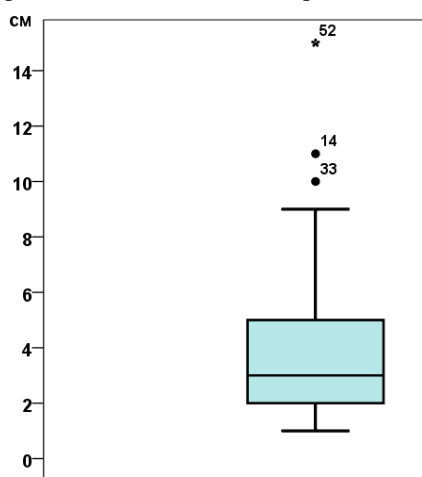


Рис. 1. Коробчатая диаграмма с медианой и экстремумами

Fig.1. Box plot with the median and extremes

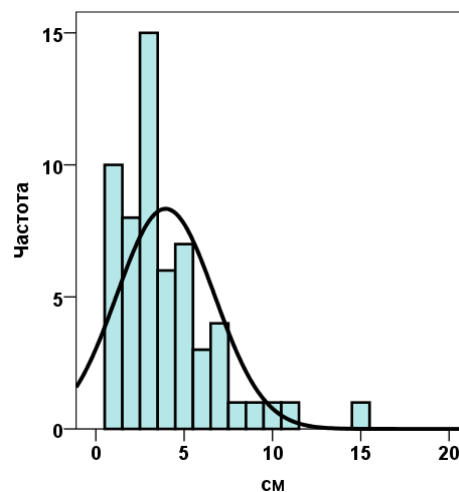


Рис. 2. Гистограмма частоты распределения толщины снежного покрова

Fig. 2. Frequency histogram of snow thickness distribution

Аномальные элементы, превосходящие рассчитанные нижние и верхние границы, были определены квантильным методом. Выбросы и экстремумы (точки и звездочка на рис. 1) – это значения, удаленные более чем на полторы разницы (и более) между 75 и 25 % квантилями ранжированного ряда. Для ряда ТСП выявлены два выброса, соответствующие порядковым номерам $m = 14$ и 33 и один экстремум с $n = 52$, что соответствует $h = 10$ (1992/93 гг.), $h = 11$ (1973/74 гг.) и $h = 15$ см (2011/12 гг.).

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Для временного ряда толщины снежного покрова построены тренды – линейный и полином 3-й степени с уравнениями и коэффициентами детерминации R^2 . Однонаправленный линейный тренд отсутствует, поскольку $R^2 = 0,0006$ ($D = 0,06\%$).

На рис. 3 из графика с полиномом 3-й степени видно, что периоды роста толщины снежного покрова сменяются периодами уменьшения, то есть имеются квазициклические периодичности, которые возможно выявить с помощью спектрального анализа.

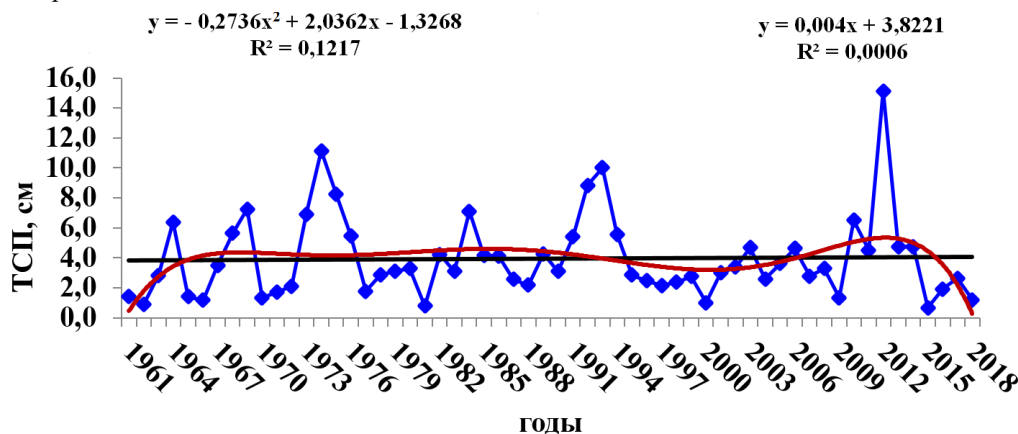


Рис. 3. Ход изменения толщины снежного покрова с уравнениями трендов, Нальчик 1961–2018 гг.

Fig. 3. Changes in snow cover thickness with trend equations, Nalchik, 1961–2018

Исследование периодических компонент природных процессов является одной из основных задач климатологии. Важность их выделения и изучения имеет как теоретическое (построение моделей природных процессов), так и практическое (прогноз природных явлений) значение.

На рис. 4 представлена периодограмма временного ряда толщины снежного покрова, полученная с помощью статистического пакета STATISTICA 10.0 [6].

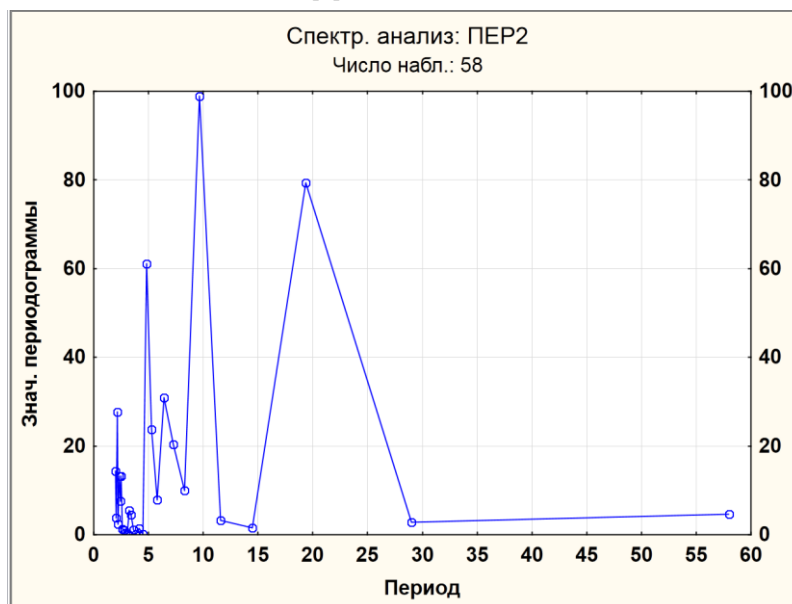


Рис. 4. Периодограмма ряда толщины снежного покрова

Fig. 4. Periodogram of a snow cover thickness series

Если временной ряд имеет спектральное разложение вида, то периодограмма на рис. 4 состоит из точек $(\omega_n, a_{ik}^2 + b_{ik}^2)$. Величина $(a_{ik}^2 + b_{ik}^2)$, квадрат модуля, характеризует мощность соответствующей гармоники. При анализе периодограммы нужно обращать особое внимание на ее пики. Большой пик в области некоторой частоты ω_0 указывает на то, что в спектральном разложении автокорреляционной функции присутствует соответствующая гармоническая компонента. Чем выше и резче выделен пик, тем большая часть мощности сосредоточена около частоты ω_0 и тем большую роль играет эта частота в описании соответствующего случайного процесса или временного ряда [6]. Из рис. 4 и табл. 2 видно, что максимальные пики приходятся на периоды $T_1 = 9,67$, $T_2 = 19,3$ и $T_3 = 4,83$ года.

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Таблица 2

Спектральный анализ
Spectrum analysis

Частота	Период, годы	Косинус коэффициент	Синус коэффициент	Периодограмма	Плотность
0,000		0,000	0,000	0,000	2,002
0,017	58,000	-0,234	0,267	3,653	5,487
0,034	29,000	-0,256	-0,225	3,369	22,110
0,052	19,333	-1,466	-0,815	81,589	37,862
0,069	14,500	-0,071	0,223	1,591	24,934
0,086	11,600	-0,304	0,126	3,135	29,876
0,103	9,667	-0,979	1,610	103,002	49,850
0,121	8,286	0,342	-0,468	9,743	35,393
0,138	7,250	0,778	0,275	19,748	24,193
0,155	6,444	1,110	-0,249	37,524	24,706
0,172	5,800	-0,368	0,397	8,507	20,964
0,190	5,273	-0,876	-0,020	22,270	27,165
0,207	4,833	-1,180	-0,765	57,313	31,406
0,224	4,462	-0,072	0,101	0,445	15,086
0,241	4,143	-0,139	-0,142	1,142	2,711
0,259	3,867	-0,017	0,009	0,011	0,705
0,276	3,625	0,039	-0,204	1,248	1,489
0,293	3,412	0,300	0,121	3,033	2,724
0,310	3,222	0,317	-0,228	4,418	2,792
0,328	3,053	-0,041	-0,040	0,095	1,408
0,345	2,900	-0,026	-0,140	0,588	0,815
0,362	2,762	-0,201	0,093	1,422	1,462
0,379	2,636	0,150	0,075	0,812	4,253
0,397	2,522	0,325	0,603	13,623	8,449
0,414	2,417	0,055	0,481	6,790	9,711
0,431	2,320	0,538	0,421	13,552	9,832
0,448	2,231	0,169	-0,259	2,778	11,554
0,466	2,148	0,015	-0,977	27,691	14,730
0,483	2,071	-0,310	-0,168	3,607	10,843
0,500	2,000	-0,577	0,000	9,661	8,030

Полученные периоды формируются под воздействием различных климатообразующих факторов (установленных и предполагаемых), таких как метеорологические (циркуляционные процессы атмосферы), геофизические и астрономические. На формирование периода $T_1 = 9,67$ года, возможно, влияет солнечная активность со средней периодичностью $T \approx 11$ лет. На формирование второго выделенного периода $T_2 = 19,3$ года, по результатам наших предыдущих исследований [2, 3], влияют приливные силы за счет воздействия Луны и других крупных планет, действующие на различные геосферы Земли. Выявление связей и зависимостей между указанными факторами – отдельная задача исследования.

По результатам разработанной авторами базы данных климатических норм среднедекадной толщины снежного покрова [20] построена регрессионная модель основных климатических показателей для м/станции Нальчик, в том числе толщины снежного покрова, в условиях сезонной изменчивости. Сезонная изменчивость – ежегодное повторяющаяся на протяжении холодного сезона, с октября по апрель включительно.

Одна из возможных регрессионных моделей построения сезонной изменчивости – это гармоническое разложение ряда с периодичностью $T = 21$ декада. Модель сезонной изменчивости строится по формуле:

$$X(t) = \sum_{k=0}^3 a_k \cos(wt) + b_k \sin(wt), \quad (2)$$

где $w = \frac{2\pi}{T}$; $T = 21$ декада; $X(t)$ – ТСП на станции во время t .

Для визуализации сезонного хода ТСП строятся графики значений толщины снежного покрова для 21 декады холодного сезона (октябрь–апрель) на предгорной м/станции Нальчик. На рис. 5 представлен ход среднедекадной толщины снежного покрова, построенный по осредненным значениям ТСП за весь период (точки, отсчеты 1961–2018 гг.), за период 2009–2018 гг. (треугольники, отсчеты 2009–2018 гг.) и по гармонической модели (сплошная линия на графике, модель 1961–2018 гг.). Как видно из рис. 5, максимальная высота 6 см (осредненное

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

многолетнее значение) наблюдалась в 14-й декаде (2-я декада февраля). За период 2009–2018 гг. происходил рост среднедекадной ТСП, особенно в первую половину холодного сезона (со 2-й декады ноября по 2-ю декаду февраля), в остальные декады величина ТСП близка к среднему значению за 1961–2018 гг. На рис. 5 видно, что значение ТСП в третьей декаде декабря ($h = 3,63$ см) незначительно превышает значение ТСП первой декады января ($h = 3,34$ см). Причины данного распределения нужно искать во внешних природных факторах, которые формируют такой режим выпадения осадков.

В целом высокое значение коэффициента детерминации $R^2 = 98,8\%$ подтверждает хорошее согласие модели с реальными данными. Это совпадает с выводами, сделанными нами в предыдущих исследованиях толщины снежного покрова на юге России [2, 3, 21].

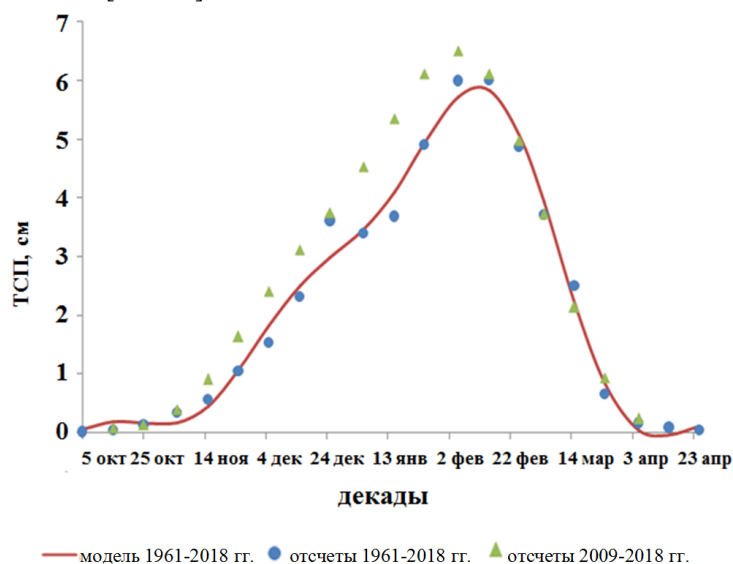


Рис. 5. Ход среднедекадной толщины снежного покрова
Fig. 5. Variations in the average ten-day snow cover thickness

Методом сингулярно-спектрального анализа было проведено исследование структуры ряда среднедекадной ТСП за период 1961–2018 гг. и осуществлен прогноз на последующие двадцать лет (2019–2038 гг.) с использованием соответствующего программного обеспечения Caterpillar-SSA [28]. Для этого было проведено преобразование, разложение, группировка и восстановление ряда. Рассмотрена периодограмма среднедекадной толщины снежного покрова за исследуемый период и выделены наиболее значительные периоды ряда, соответствующие максимальным мощностям: ≈ 10 , ≈ 19 , ≈ 5 лет (рис. 6). Большой пик в области некоторой частоты ω_0 (или периода T) указывает на то, что в спектральном разложении присутствует соответствующая гармоническая компонента. Такие же периоды были выделены при использовании статистического пакета STATISTICA 10.0.

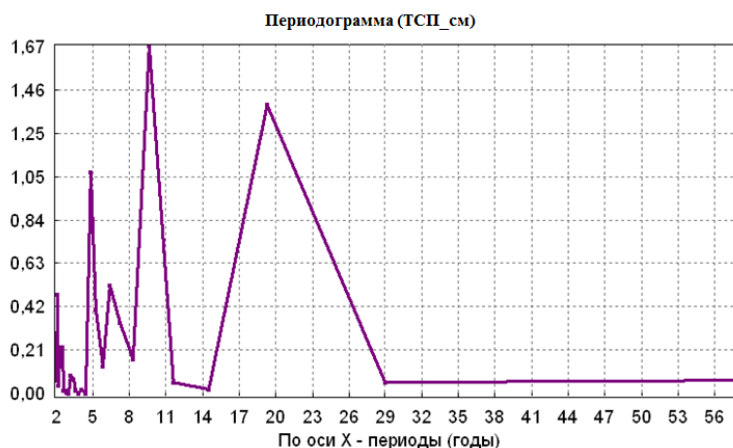
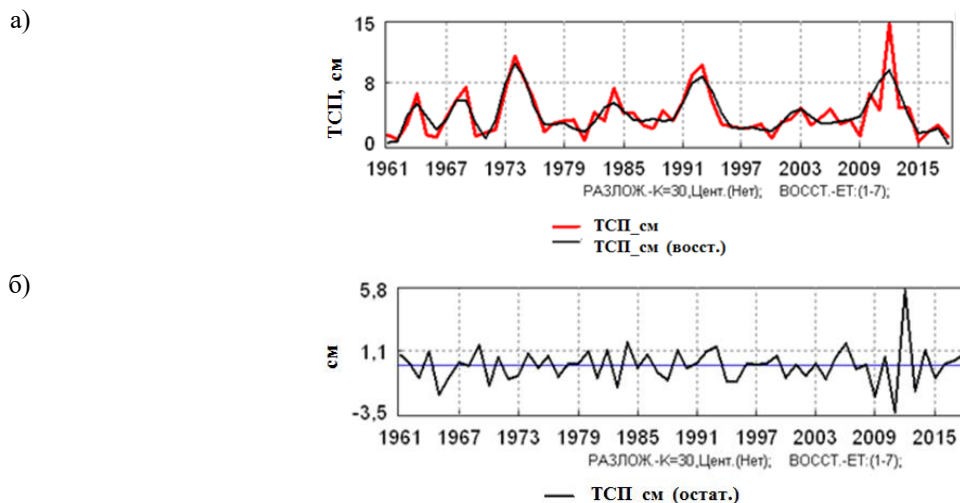


Рис. 6. Периодограмма среднедекадной толщины снежного покрова за 1961–2018 гг.
Fig. 6 Periodogram of the average ten-day thickness of snow cover for 1961–2018

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

На этапе «группировки» из 30 главных компонент выбирается ГК 1–7 главных компонент для восстановления ряда. На рис. 7а для исходного ряда (красный) представлены результаты восстановления (черный) по семи главным компонентам. Выбор ГК7 демонстрирует максимальную точность восстановленного ряда. Имеется разброс в остатках (разница между исходным и восстановленным рядом) $\Delta h = -3,5$ см в 2011 г. и $\Delta h = 5,8$ см в 2012 г. (рис. 7б).



а) исходный и восстановленный ряды; б) ряд остатков восстановленного ряда

Рис. 7. Восстановление ряда среднедекадной толщины снежного покрова
Fig. 7. Reconstruction of the series of the average ten-day snow cover thickness

После восстановления и аппроксимации ряда линейно-рекуррентной формулой можно осуществить прогнозирование ряда (рис. 8). Для проверки качества прогноза использовался 20-летний период упреждения (1998–2018 гг.), то есть начало прогноза было установлено с 1998 г. Восстановив ряд с 1998 по 2018 г., был продолжен прогноз на последующие двадцать лет – с 2019 по 2038 г. Вертикальная черная линия отделяет начало прогноза от фактических данных. Таким образом, можно считать, что структура ряда выявлена и восстановлена, что позволило продолжить ее, то есть прогнозировать временной ряд на двадцать лет вперед.

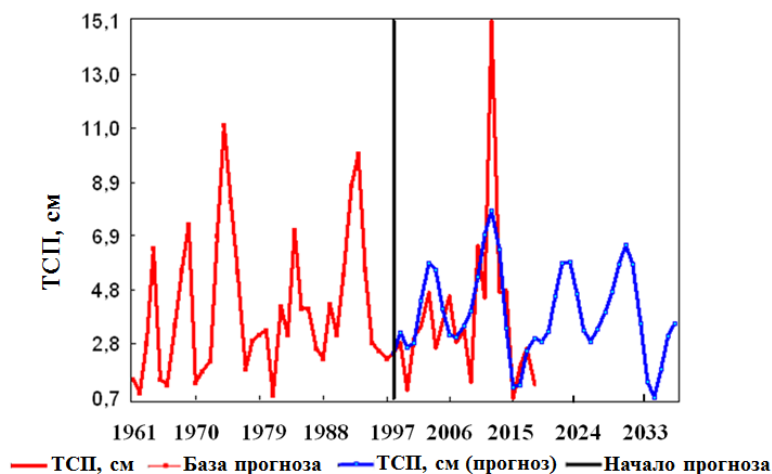


Рис. 8. Прогноз среднедекадной толщины снежного покрова на 2019–2038 гг. (1998–2018 гг. – упреждающий интервал) рекуррентным способом ($L = 31$, ГК5)

Fig. 8 Forecast of the average ten-day snow cover thickness for 2019–2038 (1998–2018 – the leading interval) by the recurrence method ($L = 31$, MC5)

Неоднородность ряда (наличие трех экстремальных значений) создает трудности при построении прогнозируемого ряда с помощью линейно-рекуррентной формулы, учитывающей линейные и нелинейные тенденции, периодичности, но не экстремальные значения реального ряда.

Для определения качества прогноза были рассчитаны следующие характеристики: статистики парных выборок, t -критерий парных выборок, ошибка прогноза.

Статистики парных выборок (табл. 3), рассчитанные с использованием программы SPSS [9], показали высокую корреляцию между реальным и прогнозируемым рядами ($r = 0,708$, $Sig. = 0,00$). Критерий парных выборок (t -тест) определил статистически значимое равенство между средними реального ряда (3,691 см) и прогнозируемого (3,91 см) на 5 %-ном уровне при степени свободы $df = 20$ на интервале 1998–2018 гг. (табл. 4).

Относительная ошибка прогноза составила 50 %, максимальное отклонение прогнозируемых значений от реальных – $\Delta h = 7,28$ см, что значительно превышает стандартное отклонение $\sigma = 2,17$ см (табл. 5).

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Таблица 3

Статистики парных выборок
Paired samples statistics

Ряды	Среднее, см	N	Стд. отклонение, см	Стд. ошибка среднего, см	Парная корреляция r (знч. Sig.)*
Реальный	3,691	21	3,004	0,656	0,708 (0,00)
Прогнозируемый	3,91	21	1,797	0,392	

*Статистически значимая корреляция при Sig.<0,05

Таблица 4

Критерий парных выборок
Paired samples test

Ряды	Парные разности, см					t	df	Знч., Sig.*
	Среднее	Стд. откл.	Стд. ошибка среднего	95 % доверит. интервал разности сред- них				
				Нижняя граница	Верхняя граница			
Реальный Прогнозируемый	-0,219	2,146	0,468	-1,196	0,758	-0,47	20	0,599

*Статистически значимое равенство при Sig.>0,05

Из-за наличия экстремальных значений в реальном ряду при аппроксимации и прогнозировании ряда появляются отрицательные значения ТСП в 2034 г. ввиду большого размаха амплитуд, что недопустимо. Поэтому мы остановились на выборе пяти главных компонент (ГК= 5) в ущерб точности прогноза ($\delta= 50\%$). В этом случае можно говорить о прогнозе увеличения и уменьшения ТСП до 2038 г. с некоторой периодичностью, что видно на рис. 8.

Таблица 5

Прогноз среднедекадной толщины снежного покрова
Forecast of the average ten-day snow thickness

пт	Годы	Реальный ряд, см	Прогнозируемый ряд, см	Точность прогноза	Периодичности изменения ряда за 1961–2018 гг.
1	1961	1	-	-	9 лет 19 лет 5 лет
...	-	Стандартное отклонение $\sigma = 2,17$ см Максимальное отклонение $\Delta h = 7,28$ см Относительная ошибка $\delta = 50$ %	
38	1998	2,4	2,4		
39	1999	2,8	3,2		
40	2000	1,0	2,6		
41	2001	3,0	2,8		
42	2002	3,4	4,4		
43	2003	4,7	5,8		
44	2004	2,6	5,6		
45	2005	3,6	4,1		
46	2006	4,6	3,1		
47	2007	2,8	3,0		
48	2008	3,3	3,5		
49	2009	1,3	4,0		
50	2010	6,5	5,3		
51	2011	4,5	6,9		
52	2012	15,1	7,8		
53	2013	4,7	6,4		
54	2014	4,8	3,4		
55	2015	0,7	1,1		
56	2016	1,9	1,2		
57	2017	2,6	2,5		
58	2018	1,2	3,0		
среднее		3,7	3,9	t -тест $Sig.= 0,599 > 0,05$, средние реального и прогнозируемого рядов статистически равны 3,7 см \approx 3,9 см (1998–2018 гг.)	
59–63	2019–2023		
64	2024	-	4,7		
65	2025	-	3,3		
66	2026	-	2,8		

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Окончание табл. 5

nn	Годы	Реальный ряд, см	Прогнозируемый ряд, см	Точность прогноза	Периодичности изменения ряда за 1961–2018 гг.
67	2027	-	3,3		
68	2028	-	4,0		
69	2029	-	4,8		
70	2030	-	5,8		
71	2031	-	6,5		
72	2032	-	5,8		
73	2033	-	3,6		
74	2034	-	1,3		
75	2035	-	0,7		
76	2036	-	1,8		
77	2037	-	3,1		
78	2038	-	3,5		

Построенные с помощью метода SSA тренды демонстрируют волнообразную динамику изменения ТСП на метеостанции Нальчик. Из рис. 8 видно, что прогнозируются периоды уменьшения толщины снежного покрова с 2023 по 2025 г. и с 2030 по 2034 г., периоды увеличения – с 2025 по 2030 г. и с 2035 по 2038 г. Наименьшее значение ТСП ожидается в 2035 г.

Заключение

По результатам исследования изменения толщины снежного покрова согласно данным метеостанции Нальчик за период 1961–2018 гг. получено, что среднедекадная толщина снежного покрова составила 3,95 см при норме 3,8 см (1961–1990 гг.), размах между минимальным и максимальным значениями достаточно большой – $R = 14$ см. За период 1961–2018 гг. квантильным методом были определены 3 экстремальных значения – 10 (1992/93 гг.), 11 (1973/74 гг.) и 15 см (2011/12 гг.). Анализ кривой распределения (асимметрия, эксцесс) показал, что коэффициент асимметрии положительный – 1,648, имеется значительная правосторонняя асимметрия, а также вероятность появления во временном ряду элементов, значения которых выше среднего. Коэффициент эксцесса положительный – 3,72, что говорит о группировке большого количества данных вокруг среднего значения.

Из результатов регрессионного анализа следует, что однонаправленный линейный тренд отсутствует ($D = 0,06$ %), полиномиальный тренд с высокой точностью описывает исходные данные ряда ($D = 12,2$ %), следовательно, имеются квазициклические периодичности, сменяющие периоды увеличения и снижения толщины снежного покрова.

Спектральный анализ ряда толщины снежного покрова показал, что выделяются 3 периода, соответствующие максимальным мощностям: 9,67 лет, 19,3 лет, 4,83 года. Возможно, что на формирование периода $T_1 = 9,67$ года влияет солнечная активность со средней периодичностью 11 лет. На формирование периода $T_2 = 19,3$ года влияют приливные силы за счет воздействия Луны и других крупных планет.

Из гармонической модели сезонного хода среднедекадной толщины снежного покрова следует, что ее максимальная толщина (осредненное многолетнее значение) $h = 6$ см имела место в 14-ой декаде (2-ая декада февраля) с высоким значением коэффициента детерминации $R^2 = 98,8$ %, который подтверждает хорошее согласие модели с реальными данными.

Прогноз среднедекадной ТСП на период до 2038 г. методом сингулярно-спектрального анализа показал, что прогнозируются периоды уменьшения толщины снежного покрова с 2023 по 2025 г. и с 2030 по 2034 г., а периоды увеличения – с 2025 по 2030 г. и с 2035 по 2038 г. Наименьшее значение ТСП ожидается в 2035 г.

Библиографический список

1. Аптуков В.Н., Митин В.Ю. Статистические модели прогнозирования среднемесячной температуры и месячной суммы осадков в г. Перми // Географический вестник = Geographical bulletin. 2021. № 2 (57). С. 84–95. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-2-84-95
2. Ашабоков Б.А., Кешева Л.А., Крученицкий Г.М., Ташилова А.А., Шокуев Р.А. Моделирование сезонной и долговременной изменчивости снежного покрова южного федерального округа России: труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. СПб, 2018. Вып. 662. С. 22–25.
3. Ашабоков Б.А., Кешева Л.А., Крученицкий Г.М., Ташилова А.А., Шокуев Р.А. Использование данных о периодической изменчивости снежного покрова для валидации сведений о чувствительности спутниковой аппаратуры оптического диапазона: труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. СПб, 2020. Вып. 674. С. 100–103.
4. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Пространственно-временное изменение климата юга европейской территории России, оценка его последствий, методы и модели адаптации АПК: монография. Нальчик: ООО «Фрегат», 2020. 476 с. ISBN: 978-5-6045060-0-4
5. Бабина Е.Д., Семенов В.А. Внутримесячная изменчивость среднесуточной приземной температуры воздуха на территории России в период 1970–2015 гг. // Метеорология и гидрология. М., 2019. № 8. С. 21–33.
6. Боровиков В. Statistica: Искусство анализа данных на компьютере. СПб: Питер, 2003. 688 с.
7. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н. Критерии экстремальности климатических явлений в температурном режиме и режиме осадков на территории России: труды ВНИИГМИ-МЦД. 2007. № 173. С. 38–53.

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

8. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Трофименко Л.Т. Рекордные морозы в январе 2006 года на территории Российской Федерации: труды ВНИИГМИ-МЦД. 2007. № 173. С. 215–220.
9. Бююль А. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей / А. Бююль, П.Цефель. СПб: ДиаСофтЮП, 2002. С. 608.
10. Вакуленко Н.В., Котляков В.М., Сонечкин Д.М. Предсказуем ли климат в геологическом масштабе времени?: доклады Академии наук. М.: Наука, 2015. Т. 460. С. 215–219. DOI: 10.7868/S086956521502022X
11. Вакуленко Н.В., Нигматулин Р.И., Сонечкин Д.М. К вопросу о глобальном изменении климата // Метеорология и гидрология. М.: Планета, 2015. № 9. С. 89–97.
12. Гельфан А.Н., Морейдо В.М. Описание макромасштабной структуры поля снежного покрова равнинной территории с помощью динамико-стохастической модели его формирования // Лёд и Снег. 2015. Т. 55, № 4. С. 61–72. DOI: 10.15356/2076-6734-2015-4-61-72
13. Гмурман В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Издательство «Высшая школа», 1972. 368 с.
14. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. 76 с. ISBN: 5-9651-0019-1
15. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: прогноз временных рядов: учеб. пособие. СПб: Изд-во Санкт-Петербургский гос. университет, 2004. 52 с.
16. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М.: Росгидромет, 2023. 104 с.
17. Катцов В.М., Семенов С.М. Климат Земли: факторы изменения и причины обеспокоенности: второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М., 2014. С. 10–17.
18. Кешева Л.А. Оценка тенденций изменения высоты снежного покрова на метеостанциях Северного Кавказа // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 4. С. 127–144. DOI: 10.37493/2308-4758.2021.4.8
19. Коршунов Н.Н., Давлетшин С.Г., Аржанова Н.М. Изменчивость характеристик снежного покрова на территории России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 7, №1. С. 80–100. DOI: 10.21513/2410-8758-2021-1-80-100
20. Крученицкий Г.М., Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Шокуев Р.А. Климатические нормы для снежного покрова Северо-Кавказского федерального округа РФ и прилегающих территорий. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019622026, 11.11.2019.
21. Крученицкий Г.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Шокуев Р.А. Моделирование сезонной и долговременной изменчивости снежного покрова южных федеральных округов России: сборник научных трудов XXIII Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 2017. С. 211–214.
22. Мохов И.И. Российские климатические исследования в 2011–2014 гг. // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. М.: Наука, 2017. Т. 53, № 5. С. 624–640. DOI: 10.7868/S0003351517050099
23. Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. Изменения характеристик снежного покрова на территории России в 1950–2013 годах: региональные особенности и связь с глобальным потеплением // Криосфера Земли. 2018. Т. 22, № 4. С. 65–75. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-4(65-75)
24. Романский С.О., Вербицкая Е.М. Краткосрочный численный прогноз погоды высокого пространственного разрешения по Владивостоку на базе модели WRF-ARW // Вестник ДВО РАН. 2014. № 5. С. 48–57.
25. Сосновский А.В., Осокин Н.И. Высота снежного покрова в лесу и поле на равнинной территории России при современном климате // Лед и снег. 2023. № 63 (4) С. 558–568. DOI: 10.31857/S2076673423040166
26. Сухова О.В. Пространственно-временная изменчивость основных характеристик снежного покрова на территории Пермского края. Географический вестник. 2012. № 3 (22). С. 64–71.
27. Bulygina O.N. The Global Climate System Review 2003 // WMO. 2005. No. 984. P. 1–63.
28. Caterpillar-SSA GistatGroup: URL: <http://www.gistatgroup.com> (дата обращения: 19.01.2024)

Referens

1. Aptukov V.N., Mitin V.YU. (2021), Statistical models for forecasting average monthly temperature and monthly precipitation in Perm, *Geograficheskiy vestnik* no 2(57), pp. 84–95. doi: 10.17072/2079-7877-2021-2-84-95.
2. Ashabokov B.A., Kesheva L.A., Kruchenitskiy G.M., Tashilova A.A., Shokuyev R.A. (2018), Modeling of seasonal and long-term variability of snow cover in the southern federal district of Russia, *Trudy Voenno-kosmicheskoy akademii im. A.F. Mozhayskogo*. Sankt-Peterburg. Vyp. 662, pp. 22–25.
3. Ashabokov B.A., Kesheva L.A., Kruchenitskiy G.M., Tashilova A.A., Shokuyev R.A. Using data on periodic variability of snow cover to validate information on the sensitivity of optical satellite equipment. // *Proceedings of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky*, ISSUE 674, 2020, pp. 100–103.
4. Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V. (2020), Spatiotemporal climate change in the south of the European territory of Russia, assessment of its consequences, methods and models of adaptation of the agro-industrial complex, *Izd. «Fregat», Nal'chik, Russia*.
5. Babina Ye.D., Semenov V.A. (2019), Intramonthly variability of average daily surface air temperature in Russia in the period 1970-2015, *Meteorologiya i gidrologiya*. Moskva. no 8. pp. 21–33.
6. Borovikov V. (2003). *The art of data analysis on a computer*. St. Petersburg: Piter, 688 p.
7. Bulygina O.N., Korshunova N.N., Razuvayev V.N. (2007), Criteria for the extremeness of climatic phenomena in temperature and precipitation regimes on the territory of Russia, *Trudy VNIIGMI-MTSD*. no 173, pp. 38–53.
8. Bulygina O.N., Korshunova N.N., Trofimenko L.T. (2007), Record frosts in January 2006 on the territory of the Russian Federation, *Trudy VNIIGMI-MTSD*, no 173, pp. 215–220.
9. Byuyul' A. (2002). SPSS: the art of information processing. Analysis of statistical data and restoration of hidden patterns / A. Byuyul', P. Tsefel'. Spb.: DiaSoftYUP, p. 608.
10. Vakulenko N.V., Kotlyakov V.M., Sonechkin D.M. (2015), Is climate predictable on a geological time scale?, *Doklady Akademii nauk*, Nauka (M.). T.460, pp. 215–219.

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

11. Vakulenko N.V., Nigmatulin R.I., Sonechkin D.M. (2015), On the issue of global climate change, *Meteorologiya i gidrologiya*, Planeta (M.). no 9. pp. 89–97.
12. Gelfan A.N., Moreido V.M. Description of the macro-scale structure of the snow cover field in a flat area using a dynamic-stochastic model of its formation // *Ice and Snow*. 2015. T. 55. No. 4. pp. 61–72. doi. org/10.15356/2076-6734-2015-4-61-72.
13. Gmurman V.S. Theory of Probability and Mathematical Statistics. M. Publishing house "Higher School", 1972. 368 p.
14. Golyandina N.E. (2004), "Caterpillar"-SSA method: time series analysis: Textbook. allowance. SPb: Izd-vo SPbGU, 76 p.
15. Golyandina N.E. (2004), "Caterpillar" method - SSA: time series forecast: Textbook: SPb: Izd-vo S. Peterburgskiy gos. universitet, 52 p.
16. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2022 god*. (2023) [Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2022], Moscow, Russia. 104 p.
17. Kattsov V.M., Semenov S.M. (2014), Earth's climate: factors of change and causes of concern, *Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii*. Moskva. pp. 10–17.
18. Kesheva L.A. (2021), Assessment of trends in changes in snow depth at weather stations in the North Caucasus, *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*. no 4, pp. 127–144.
19. Korshunov N.N., Davletshin S.G., Arzhanova N.M. (2021), Variability of snow cover characteristics on the territory of Russia, *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*. vol.7. no 1. pp.80–100.
20. *Climatic norms for snow cover in the North Caucasus Federal District of the Russian Federation and adjacent territories*, Kruchenitskiy G.M., Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Shokuyev R.A. Svidetel'stvo o registratsii bazy dannykh RU 2019622026, 11.11.2019.
21. Kruchenitskiy G.M., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Shokuyev R.A. (2017), Modeling of seasonal and long-term variability of snow cover in the southern federal districts of Russia, *Sbornik nauchnykh trudov XXIII Mezhdunarodnogo simpoziuma "Optika atmosfery i okeana. Fizika atmosfery"*. Irkutsk. pp. 211–214.
22. Mokhov I.I. (2017), Russian climate studies in 2011–2014, *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Fizika atmosfery i okeana, Nauka (M.)*, Vol.53, no 5, pp. 624–640.
23. Popova V.V., Shiryayeva A.V., Morozova P.A. Changes in the characteristics of snow cover on the territory of Russia in 1950–2013: regional features and connection with global warming // *Cryosphere of the Earth*. 2018. T. XXII. No. 4. pp. 65–75.
24. Romanskiy S.O., Verbitskaya Ye.M. (2014), Short-term numerical weather forecast of high spatial resolution for Vladivostok based on the WRF–ARW model, *Vestnik DVO RAN*. no 5. pp. 48–57.
25. Sosnovsky A.V., Osokin N.I. The depth of snow cover in forests and fields on the flat territory of Russia in the modern climate. *Ice and snow*. 2023, 63(4): 558–568. doi10.31857/S2076673423040166
26. Sukhova O.V. (2012), Spatiotemporal variability of the main characteristics of snow cover in the Perm region. *Geograficheskiy vestnik*. no 3 (22). pp. 64–71.
27. Bulygina O.N. (2005), The Global Climate System Review 2003, *WMO*. no 984. pp. 1–63.
28. Caterpillar-SSA GistatGroup: <http://www.gistatgroup.com> (data obrashcheniya: 19.01.2024).

Статья поступила в редакцию: 01.03.24, одобрена после рецензирования: 10.04.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 1 March 2024; approved after review: 10 April 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторах

Борис Азреталиевич Ашабоков

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом физики облаков Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт»;
360030, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2.
заведующий отделом, Институт информатики и проблем регионального управления Кабардино-Балкарского научного центра РАН;
360010, г. Нальчик, улица Балкарова, 2.

e-mail: ashabokov.boris@mail.ru

Алла Амарбиевна Ташилова

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт»;
360030, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2.

e-mail: tashilovaa@mail.ru

Information about the authors

Boris A. Ashabokov

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Cloud Physics, High-Mountain Geophysical Institute;
2, prospekt Lenina, Nalchik, 360030, Russia;
Head of the Department, Institute of Informatics and Regional Management Problems of the Kabardino-Balkarian Research Center of the RAS;
2, Balkarova st., Nalchik, 360010, Russia

Alla A. Tashilova

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, High-Mountain Geophysical Institute;
2, prospekt Lenina, Nalchik, 360030, Russia

*Метеорология**Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.***Лара Асировна Кешева**

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт»; 360030, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2.

e-mail: kesheva.lara@yandex.ru

Lara A. Kesheva

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, High-Mountain Geophysical Institute; 2, prospekt Lenina, Nalchik, 360030, Russia

Наталья Вячеславовна Теунова

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт»; 360030, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2.

e-mail: nata0770@yandex.ru

Nataliya V. Teunova

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, High-Mountain Geophysical Institute; 2, prospekt Lenina, Nalchik, 360030, Russia

Вклад авторов

Ашабоков Б.А. – идея, написание статьи, научное редактирование текста.

Ташилова А.А. – идея, написание статьи, научное редактирование текста.

Кешева Л.А. – сбор и обработка материала, написание статьи, построение рисунков.

Теунова Н.В. – сбор и обработка материала, написание статьи, построение рисунков.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Contribution of the authors

Boris A. Ashabokov – idea; writing of the article; scientific editing of the text.

Alla A. Tashilova – idea; writing of the article; scientific editing of the text.

Lara A. Kesheva – material collection and processing; writing of the article; plotting of the figures.

Nataliya V. Teunova – material collection and processing; writing of the article; plotting of the figures.

The authors declare no conflict of interest.

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Научная статья

УДК 504.062+911.52

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-147-159

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ РЕКИ КОЛЫМЫ

Надежда Анисимовна Николаева¹, Дмитрий Дмитриевич Пинигин², Константин Васильевич Никулин³

^{1, 2, 3} Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова, Якутский научный центр Сибирского отделения РАН, г. Якутск, Россия

¹ nna0848@mail.ru, Scopus Author ID: 56909645200, ResearcherID: I-9615-2018

² pinigind@mail.ru, Scopus Author ID: 55752669800 ResearcherID: J-9361-2015

³ nikulin9090@mail.ru

Аннотация. Расположенная на территории Республики Саха (Якутия) часть бассейна р. Колымы характеризуется крайне суровыми природно-климатическими и сложными экономическими условиями. Наличие богатых природных ресурсов обуславливает развитие горнодобывающей промышленности и энергетики, воздействие которых на слабоустойчивые северные ландшафты приводит к экологическим проблемам и придает их изучению особую актуальность. Целью является изучение ландшафтно-экологических аспектов территории бассейна р. Колымы в районе добычи каменного угля Зырянского угольного разреза и оценка устойчивости ландшафтов к механическому воздействию. Использованы методики геоэкологических и ландшафтных исследований, включая как традиционные методы, так и современные геоинформационные. Получена оценка степени устойчивости ландшафтов бассейна р. Колымы на основе ранжирования мерзлотных и биоклиматических характеристик ландшафтов и присвоения им баллов. Выделены четыре группы ландшафтов с различной степенью устойчивости – от относительно устойчивых до крайне неустойчивых. Разработана карта степени устойчивости изучаемой территории бассейна р. Колымы. Экологическое состояние природной среды верхнего течения р. Колымы изучено методом сравнительного анализа статистических материалов по загрязнению атмосферного воздуха и поверхностных вод. В результате отмечено уменьшение количества уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, что связано с неэффективностью золоуловителей. Кроме того, из-за отсутствия нужного количества очистных сооружений в речную сеть сбрасываются недостаточно очищенные сточные воды. Для предотвращения негативных последствий промышленной нагрузки на природную среду необходимо обеспечить выполнение и контроль системы природоохранных мероприятий, включая эффективность очистных сооружений для защиты воздушной и водной сред.

Ключевые слова: бассейн р. Колымы, угольный разрез, воздействие, ландшафты, мерзлотные и биоклиматические показатели, устойчивость

Финансирование. Работа выполнена в рамках проекта государственного задания FWRS-2024-0031 «Комплексные исследования приоритетов развития энергетики Республики Саха (Якутия) с учетом влияния на окружающую среду и разработка способов, методов повышения энергетической эффективности и надежности локальных энергетических систем в труднодоступных изолированных территориях Севера и Арктики».

Для цитирования: Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В. Ландшафтно-экологические аспекты состояния природной среды реки Колымы // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 147–159. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-147-159

ECOLOGY AND NATURE USE

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-147-159

THE KOLYMA RIVER BASIN: LANDSCAPE-ECOLOGICAL ASPECTS OF THE STATE OF THE ENVIRONMENT

Nadezhda A. Nikolaeva¹, Dmitry D. Pinigin², Konstantin V. Nikulin³

^{1, 2, 3} V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, SB RAS, Yakutsk, Russia

¹ nna0848@mail.ru, Scopus Author ID: 56909645200, ResearcherID: I-9615-2018

² pinigind@mail.ru, Scopus Author ID: 55752669800 ResearcherID: J-9361-2015

³ nikulin9090@mail.ru



© 2025 Эта работа Николаевой Н.А., Пинигина Д.Д., Никулина К.В. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

Abstract. The part of the Kolyma River basin located in the territory of the Republic of Sakha (Yakutia) is characterized by extremely harsh natural and climatic factors and difficult economic conditions. The abundance of natural resources there has led to the development of mining and energy industries, whose impact on fragile northern landscapes causes environmental problems, which makes a study into these landscapes a relevant research topic. The paper aims to explore the landscape-ecological aspects of the Kolyma River basin in the Zyryansky coal mining area and to assess the stability of the landscapes under mechanical impact. We used geoecological and landscape research approaches, including both traditional methods and modern geoinformation methods. The landscapes' stability degree was estimated by ranking permafrost and bioclimatic characteristics of the landscapes through assigning points to them. Then four groups of landscapes with varying degrees of stability, from relatively stable to highly unstable, were identified. A stability degree map for the studied area of the Kolyma River basin has been developed. Ecological state of the natural environment in the upper reaches of the Kolyma River was studied by means of a comparative analysis of statistical materials on atmospheric air and surface waters pollution. As a result, there has been noted a decrease in the amount of captured and neutralized pollutants entering the atmosphere, which is due to the ineffectiveness of ash traps. In addition, insufficiently treated wastewater is discharged into the river network due to the lack of an adequate number of treatment facilities. In order to prevent adverse effects of industrial pressure on the natural environment, it is necessary to ensure the implementation of and control over a system of environment protection measures, including these ensuring the efficiency of treatment facilities for air and water protection.

Keywords: Kolyma River basin, coal strip mine, impact, landscapes, permafrost and bioclimatic characteristics, stability

Funding. The work was carried out as part of the state assignment (No. FWRS-2024-0031) 'Comprehensive research on energy priorities of the Republic of Sakha (Yakutia) taking into account the environmental impact and development of approaches and methods of increasing the energy efficiency and reliability of local energy systems in remote isolated areas of the North and the Arctic'.

For citation: Nikolaeva, N.A., Pinigin, D.D., Nikulin, K.V. (2025). The Kolyma River basin: landscape-ecological aspects of the state of the environment. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp.147–159. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-147-159

Введение

Известно, что недра Северной и Северо-Восточной Якутии являются вместилищем огромных запасов стратегически важных полезных ископаемых. В настоящее время реалии экономической ситуации в России диктуют необходимость их дальнейшего развития и освоения объектов топливно-энергетического комплекса.

Территории Северной и Северо-Восточной Якутии, включая бассейн р. Колымы, представляют собой зону экологически рискованного природопользования, что объясняется крайне суровыми природно-климатическими условиями, труднодоступностью, недостаточной изученностью. В этих условиях один из основных факторов рисков – слабая устойчивость ландшафтов, обусловленная сплошным распространением многолетнемерзлых пород и недостатком солнечной радиации, что требует проведения оценки степени устойчивости ландшафтов и является особенно актуальным.

Объекты топливно-энергетического комплекса региона обеспечивают теплом и электроэнергией огромную площадь в 2,4 млн км², являются децентрализованными и включают в себя дизельные, газовые, солнечные и ветроэлектростанции, теплоэлектроцентраль, котельные [23], а также разрабатываемое открытым способом Надеждинское месторождение каменного угля, входящее в состав крупного Зырянского угольного бассейна в верховьях р. Колымы [1]. Потенциал увеличения добычи коксующегося каменного угля, которую осуществляет предприятие Зырянский угольный разрез, оценивается в размере до 1 млн т в год, что позволит экспортировать его в страны Азиатско-Тихоокеанского региона [11]. Полное развертывание производственной деятельности предприятия неизбежно приведет к изменению всех компонентов природной среды, что при недостаточной реализации превентивных мер может привести к возникновению негативных экологических последствий.

Целью работы является оценка степени устойчивости ландшафтов бассейна р. Колымы (в пределах Якутии) и анализ экологического состояния природной среды территории разработки Зырянского угольного разреза.

Природные условия и объекты исследования

Территория относится к арктическому и субарктическому климатическим поясам с резко континентальным климатом, характеризующимся большими годовыми колебаниями температуры и малым количеством осадков. Среднегодовая температура составляет около -11 °С, а годовое количество осадков колеблется в пределах 260–310 мм. Среднегодовая температура отрицательная (-11,7 °С), а колебания температуры превышают 90 °С. Зима длинная, до 6 месяцев, и очень холодная, с преобладанием антициклонического типа погоды. Лето сравнительно жаркое и сухое [6].

Р. Колыма образуется слиянием рек Кулу и Аян-Юрях, впадает в Восточно-Сибирское море. От места слияния до устья Колымы имеет длину 2600 км, площадь водосбора – 665 тыс. км². Средний годовой расход воды – 3900 м³/с. Уровненный режим Колымы характеризуется высоким весенним паводком и значительным летним августовским. За май-октябрь проходит 90–95 % годового стока. Вскрытие р. Колымы начинается с мая по июнь, средняя продолжительность периода открытой воды – до 127 суток. Температурный режим Колымы отражает суровость климата: у

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

г. Среднеколымск температура поверхности воды выше 10 °С держится в течение 1,5–2 месяцев, у поселка Черский – меньше месяца, в зимние месяцы температура воды в Колыме снижается до 0,25–0,1 °С [12].

Многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение, их толщина превышает 200 м. Многолетнемерзлые породы представлены суглинистыми, песчаными и гравийными грунтами, их криогенная текстура массивная, слоистая и корковая. На исследуемой территории почвы слабые и ледяные, с незасоленным и засоленным типом, минеральным составом и низким содержанием органического вещества [13].

Территория исследования входит в Яно-Колымскую провинцию горных редкостойных лиственничных и кедрово-стланиковых лесов Восточно-Сибирской подобласти светлохвойных лесов. Своеобразие флоры и растительности определяется расположением в области распространения северотаежных лиственничных лесов и лиственничной лесотундры. Характерна мозаика лесов и редколесий, где сообщества лиственницы и кедрового стланика чередуются с участками горных тундр, ерников, ольховников и болот, а также с долинными комплексами растительности. Основной лесообразующей породой является лиственница Каяндера и кедровый стланник. Здесь достаточно четко выделяются три высотных пояса: лесной, подгольцовый и гольцовый, где большую часть лесопокрывной площади занимают низкопродуктивные заросли кедрового стланика и лиственничные редколесья, и редины. Почвы бассейна р. Колымы преимущественно мерзлотно-аллювиальные [19].

Объектом исследования являются ландшафты, прилегающие к долине р. Колымы. Изучаемая территория входит в состав страны физико-географической страны Северо-Восточная Сибирь, ландшафтная структура состоит из 4 ландшафтных провинций арктической зоны РФ [14]: Алазее-Колымской озерно-термокарстовой тундровой (В.П.4.); Колымской озерно-термокарстовая северотаежной (В.П.2.), Юкагирской низкогорной с преобладанием горноредколесных комплексов (В.В.7.) и Момской среднегорной (В.В.6.) (рис. 1).

Также объектом исследования является Зырянский угольный бассейн, уголь которого отличается высоким качеством – низким и средним содержанием золы и серы. Разработка угля затруднена из-за сложных климатических условий и плохой транспортной доступности. На сегодняшний день большая часть твердого топлива доставляется автотранспортом на склад в поселке Зырянка. В настоящее время уголь с разреза используется как топливо в котельных и ТЭЦ Абыйского, Верхоянского, Верхнеколымского, Момского, Среднеколымского и Нижнеколымского районов, а также поставляется на Чукотку и в Магаданскую область [11].

Методы исследования

Методологическую основу исследования составляет комплексный геоэкологический подход, являющийся совокупностью географического, геосистемного (ландшафтного) [16] и экологического подходов и предполагающий системное изучение связей как между природными, так и техногенными объектами. Также он позволяет адекватно обосновывать выбор направлений территориально дифференцированных природоохранных мероприятий [8]. Геоэкологический подход включает, помимо анализа ландшафтной структуры территории, оценку устойчивости к любым видам антропогенного воздействия, а также выбор приоритетных направлений использования и развития разных типов природных комплексов [5].

Для оценки степени устойчивости природных комплексов территории разработки Зырянского угольного разреза использованы методы оценки состояния природной среды – ранжирования, балльный, ГИС-технологии пространственного анализа, методики оценки потенциальной устойчивости северных ландшафтов [22, 2], а также картографические работы [14, 21, 3]. Разные авторы применяют различные методики оценки устойчивости природных комплексов и критерии оценки [15]. Так, если в работе [15] объектом оценки устойчивости принимается поверхность или геолого-геоморфологическая среда как ее интегральная характеристика, то для оценки устойчивости ландшафтов бассейна р. Колымы приняты их мерзлотные и биоклиматические характеристики. Существует много работ и в области распространения многолетнемерзлых пород [10, 17, 20, 4], в которых основой оценки устойчивости мерзлотных ландшафтов стали льдистость поверхностных отложений и среднегодовая температура пород. В связи с этим оценка устойчивости проведена в отношении механических нарушений поверхностного покрова.

Анализ динамики экологического состояния воздушной среды дан на основе материалов ГБУ «Республиканский информационно-аналитический центр экологического мониторинга» Минэкологии РС (Я) за 2010–2023 гг. [9], динамика гидрохимического состояния поверхностных вод верхнего течения бассейна р. Колымы – по данным статистической обработки материалов сети наблюдений ФГБУ «ЯУГМС» Минэкологии Республики Саха (Якутия) за 2015–2023 гг. [7].

Результаты и обсуждение

Оценка степени устойчивости ландшафтов

Низкая устойчивость арктических ландшафтов к антропогенной нагрузке даже при экстенсивном характере хозяйственной деятельности может привести к экологическим проблемам. Для снижения негативного влияния хозяйственной деятельности целесообразно применение подхода, обеспечивающего решение экологических проблем в соответствии с закономерностями изменения ландшафтов под воздействием техногенных факторов. В связи с этим на территории бассейна р. Колымы была проведена оценка степени устойчивости ландшафтов.

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

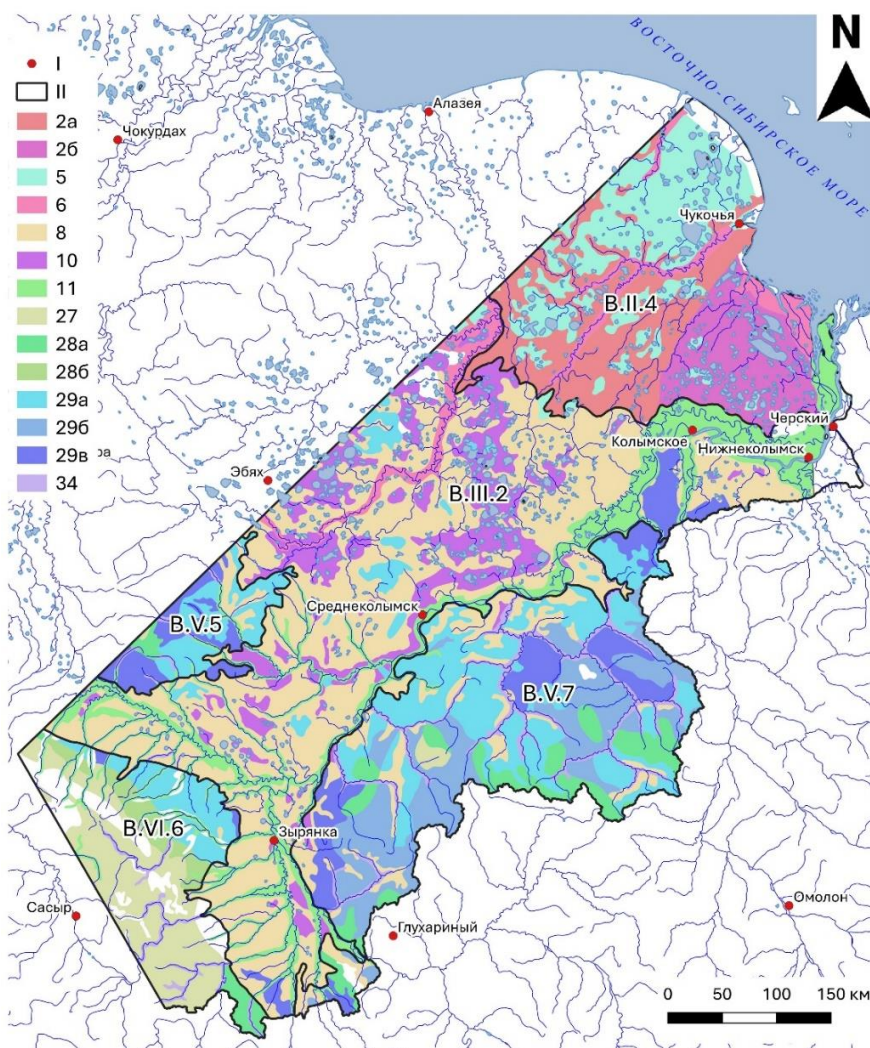


Рис. 1. Карта-схема ландшафтов бассейна р. Колымы. Условные обозначения: I – населенные пункты; II – границы ландшафтных провинций: B.II.4. – Алазее-Колымской озерно-термокарстовая тундровая; B.III.2. – Колымской озерно-термокарстовая северотаежная, B.V.7. – Юкагирская низкогорная с преобладанием горноредколесных комплексов, B.VI.6. – Момская среднегорная; 2a – типичные кустарничково-лишайниковые и моховые тундры межаласные; 2b – типичные кустарничково-лишайниковые и моховые тундры долинно-морские; 5 – тундроболота полигонально-валиковые; 6 – тундровая долинная растительность низкотеррасового типа местности; 8 – северотаежные редколесные лиственничные леса ерниковые; 10 – северотаежные мари и редины лиственнично-моховые; 11 – северотаежная долинная растительность средневысотнотеррасового типа местности; 27 – лишайниковые и кустарничково-моховые; 28a – подгольцовые заросли кедрового стланика в сочетании с ольховником и ерником склоновые делювиально-коллювиальные; 28b – подгольцовые заросли кедрового стланика в сочетании с ольховником и ерником элювиальные; 29a – горноредколесные лиственничники и редины приводораздельные элювиальные; 29b – горные лиственничные редколесья и редины склоновые делювиально-коллювиальные; 29v – горные лиственничные редколесья и редины склоновые делювиально-солифлюкционные; 34 – горноредколесная средневысотная долинная растительность

Fig. 1. Map of the landscapes of the Kolyma River basin.

Legend: I - settlements; II – boundaries of landscape provinces: B.II.4. – Alazeya-Kolyma lacustrine-thermokarst tundra; B.III.2. – Kolyma lacustrine-thermokarst northern taiga; B.V.7. – Yukagir low-mountain province with a predominance of mountain sparse forest complexes; B.VI.6. – Morskaya mid-mountain province; 2a – typical shrub-lichen and moss inter-alas tundras; 2b – typical shrub-lichen and moss valley-sea tundras; 5 – tundra-bog polygonal microrelief; 6 – tundra valley vegetation of the low-terraced type of terrain; 8 – northern-taiga larch and dwarf birch sparse forests; 10 – northern-taiga mari and larch-moss sparse forests; 11 – northern-taiga valley vegetation of the medium-altitude-terraced type of terrain; 27 – lichen and shrub-moss; 28a – subalpine thickets of dwarf pine in combination with alder and dwarf birch, deluvial-colluvial; 28b – subalpine thickets of dwarf pine in combination with alder and dwarf birch, eluvial; 29a – mountain open larch forests and open watershed eluvial forests; 29b – mountain larch woodlands and open slope forests, deluvial-colluvial; 29v – mountain larch woodlands and open slope forests, diluvial-solifluctional; 34 – mountain open-wooded middle-taiga valley vegetation

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

Известно, что устойчивость мерзлотных ландшафтов зависит, кроме льдистости поверхностных отложений грунтов, от изменчивости температуры многолетнемерзлых пород, глубины сезонно-талого слоя, мощности защитного слоя. Также она во многом зависит от изменчивости климатических и биологических характеристик [20].

Оценка устойчивости ландшафтов изучаемой территории, занятых тундровой, горно-тундровой и северо-таежной растительностью, основана на характеристиках их мерзлотных и биоклиматических условий.

Так, в качестве показателей мерзлотных условий приняты мощность сезонно-мерзлого и сезонно-талого слоев, м; характер распространения многолетнемерзлых пород, среднегодовая температура горных пород, °С и объемная льдистость горных пород, в долях единиц. Биоклиматические условия – биологическая продуктивность, запасы фитомассы (ц/га), теплообеспеченность (сумма температур за период со среднесуточными температурами выше 10 °С) и радиационный индекс сухости, ккал см² (степень увлажнения). Для характеристики мерзлотных показателей природных комплексов бассейна р. Колымы использованы данные [14, 21], биоклиматических показателей – анализ материалов [21, 3], которые сведены в табл. 1. Обозначения ландшафтов даны согласно [14].

Таблица 1

Мерзлотные и биоклиматические показатели ландшафтных провинций территории бассейна р. Колымы
 Permafrost and bioclimatic indicators of landscape provinces in the Kolyma River basin

Ландшафты	Мощность (с/с и с/с), м	Температура мерзлых пород °С	Объемная льдистость пород, доли ед.	Характер рас- простр. мерз- лых пород	Продуктив- ность, ц/га	Запасы фито- массы, ц/га	Сумма актив- ных темпера- тур (больше 10 °С)	Радиационный индекс сухо- сти, ккал. см ² /год
В.П.4 2а	0,3–0,5	-8...-10	0,8	сплошной	минимально продуктивные менее 20	20–130	очень холодные отсутств. период активных температ.	недостат. влажные 1,5–2,0
26	0,4–0,7	-8...-10	0,2–0,4	сплошной	минимально продуктивные менее 20	75–330	очень хо- лодные, менее 600 отсутств. период активных темпер.	недостат. влажные 1,5–2,0
5	0,4–0,8	-6...-8	0,6	сплошной	минимально продуктивные, менее 20	20–130	очень холодные, менее 600	влажные 0,5–1,0
6	0,4–0,8	-6...-9	0,2–0,4	прерывист.	минимально продуктивные, менее 20	75–330	холодные, менее 600	умеренно влажные 1,0–1,5
В.П.2 8	0,6–0,8	-4...-6	0,8	сплошной	низкопродук- тивные 20–40	400– 1000	умеренно холодные, 600–800	умеренно влажные 1,0–2,0
10	0,6–0,8	-3...-6	0,6	сплошной	низкопродук- тивные 20–40	400– 1000	умеренно холодные, 600–800	умеренно влажные 1,0–2,0
11	0,5–1,0	-2...-6	0,2–0,4	сплошной.	низкопродук- тивные 20–40	400– 1000	умеренно холодные, 800–1000	умеренно влажные 1,0–2,0
В.П.7. 28а	2,0–3,0	-4...-7	0,2–0,4	сплошной	среднепродук- тивные 40–60	300–800	холодные 600–800	влажные 1,0–1,5
29а	1,5–2,5	-2...-6	до 0,2... 0,2 – 0,4	сплошной	низкопродук- тивные 20–40	ок. 1000	умеренно холодные 800–1000	недостат. влажные 1,5–2,0
29б	1,5–2,0	-2...-6	0,2 – 0,4	сплошной	низкопродук- тивные 20–40	ок. 1000	умеренно холодные 800–1000	недостат. влажные 1,5–2,0
29в	1,0–2,0	-2...-4	0,6	сплошной	низкопродук- тивные 20–40	ок. 1000	умеренно холодные 800–1000	недостат. влажные 1,5–2,0
34	0,6–1,4	-2...-5	0,2–0,4	сплошной	среднепродук- тивные 40–60	ок. 1000	умеренно холодные 1000–1200	недостат. влажные 1,5–2,5

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

Окончание табл. 1

Ландшафты	Мощность (стс и смс), м	Температура мерзлых по- род °С	Объемная льдистость пород, доли ед.	Характер распростр. мерзлых пород	Продуктив- ность, ц/га	Запасы фито- массы, ц/га	Сумма актив- ных темпера- тур (больше 10 °С)	Радацион- ный индекс сухости, ккал. см ² /год
В. VI.6 27	0,7–2,0	-8...-11	до 0,2... 0,2–0,4	сплошной	низкопродук- тивные 20–40	300–00	холодные 600–800	влажные 1,0–1,5
28б	1,5–2,5	-6...-8	до 0,2... 0,2–0,4	сплошной	среднепродук- тивные 40–60	300–00	холодные 600–800	влажные 1,0–1,5
29а	1,5–2,5	-2...-6	до 0,2... 0,2–0,4	сплошной	низкопродук- тивные 20–40	ок. 1000	умеренно холодные 800–1000	недостат. влажные 1,5–2,0

Оценка степени устойчивости произведена путем группирования принятых показателей в зависимости от их влияния на снижение устойчивости ландшафта: не влияет – 1 балл; слабо влияет – 2 балла; заметно влияет – 3 балла; нарушает – 4 балла. Суммарное количество баллов каждой группы показывает степень их устойчивости: меньшее количество баллов характеризует более устойчивый ландшафт, а большее – менее устойчивый (табл. 2).

Таблица 2

Критерии оценки влияния природных компонентов на снижение устойчивости ландшафтов
Criteria for assessing the influence of natural components on the reduction in the landscapes' stability

Геокриологические и биоклиматиче- ские показатели	Оценка влияния в баллах			
	1 балл относительно устойчивые	2 балла относительно неустойчивые	3 балла неустойчивые	4 балла крайне неустойчи- вые
Мощность сезонно-талого (стс) и се- зонно-мерзлого (смс) слоев, м	2,0–3,0	1,5–2,5	1,0–2,0	менее 1,0
Температура грунтов, °С	От -5 ° и ниже	от -5 до -2 °	от -2 до -1 °	от -1 до +1 °
Льдистость отложений (объемная), отн. ед.	0,1–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6 и более
Характер распространения многолет- немерзлых пород	сплошной	сплошной с подрусловыми таликами	прерывистый	Островной
Продуктивность, ц/га	повышенно продуктивные, 60–80	средне продуктивные, 40–60	низкопродуктив- ные, 20–40	минимально продуктивные менее 20
Запасы фитомассы, ц/га	1200–2000	400–1000	330–720	20–130
Сумма активных температур (больше 10 °С)	умеренно-теп- лые, 1200–1400 и выше	умеренно холод- ные, 800–1000, 1000–1200	холодные, 600–800	очень холодные, менее 600
Радационный индекс сухости, ккал·м ² /год	влажные, 0,5–1,5	умеренно влаж- ные, 1,0–1,5;	недостаточно влажные, 1,5–2,0–2,5	избыточно влажные менее 0,5

В результате была получена шкала степеней устойчивости групп природных комплексов территории бассейна р. Колымы: относительно устойчивые – 16 баллов и ниже; относительно неустойчивые – 17–19 баллов; неустойчивые – 20–23 балла; 24 баллов и выше – крайне неустойчивые.

Суммарная оценка степени устойчивости ландшафтов территории бассейна р. Колымы представлена в табл. 3.

Расположение всех ландшафтных провинций в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород обусловило их устойчивость к любым проявлениям техногенного давления (1 балл). Большинство исследуемых природных комплексов имеет низкую и очень низкую температуру горных пород (от -2–3 °С...-6 °С до -8 °С...-10 °), что определяет слабую интенсивность возможного проявления мерзлотно-геологических процессов, т.е. устойчивость (1 балл). В связи с тем, что предел возможного разрушения морфолито-генной основы ландшафтов определяется полным вытаяванием подземного льда, наиболее опасными для освоения являются территории с мощными подземными льдами. У всех провинций исследуемой территории высокая льдистость пород – 0,3–0,6 отн. ед. в среднем, что обуславливает их неустойчивость к техногенному вмешательству (3–4 балла).

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

Таблица 3

Оценка устойчивости ландшафтов территории бассейна р. Колымы
Assessment of the landscapes' stability in the Kolyma River basin

Ландшафт	Мощность стл и смс, м	Температура пород, град	Объемная льдистость пород, %	Характер распространения мерзлоты	Продуктивность, ц/га	Запасы фитомассы, ц/га	Теплообеспеченность, град	Индекс сухости, ккал. см ² /год	Сумма баллов
2а	4	1	4	1	4	4	4	3	25
2б	4	1	2	1	4	3	4	3	22
5	4	1	4	1	4	4	4	1	23
6	4	1	2	3	4	3	4	2	23
8	4	1	4	1	3	2	3	2	20
10	4	1	4	1	3	2	3	2	20
11	4	2	2	1	3	2	3	2	19
28а	1	1	2	1	3	3	4	1	16
29а	2	1	2	1	3	2	2	3	16
29б	2	2	2	1	2	2	2	3	16
29в	3	2	4	1	2	2	2	3	19
34	4	2	2	1	2	2	2	3	18
27	3	1	2	1	3	3	3	2	18
28б	2	1	2	1	2	3	3	2	16
29а	2	1	2	1	3	2	2	3	16

Биоклиматические условия исследуемых ландшафтных провинций в основном определяют их неустойчивость и слабую степень устойчивости.

Анализ полученных результатов позволил дать оценку устойчивости природных комплексов бассейна р. Колымы. Относительно устойчивыми по сумме баллов являются подгольцовые заросли кедрового стланика, а также горноредколесные приводораздельные и коллювиальные ландшафты Юкагирской низкогорной и Момской среднегорной провинций; относительно неустойчивыми – горноредколесные солифлюкционные Юкагирской провинции ландшафты, северотаежные редколесные межаласные, маревые аласные и долинные средневисотные ландшафты Колымской озерно-термокарстовой провинции, а также ландшафты Момской провинции – горноредколесные лиственничники и редины кустарничково-лишайниковые и моховые элювиальные; неустойчивыми – ландшафты Алазее-Колымской озерно-термокарстовой провинции: тундроболота аласные и долинные ландшафты типичной тундры межаласные. Типичные кустарничково-лишайниковые и моховые тундры, расположенные в северной части Алазее-Колымской провинции, обозначены как крайне неустойчивые к любым видам антропогенной нагрузки. Горноредколесные и подгольцовые ландшафты, находящиеся в северной части Алазее-Колымской провинции, обозначены как крайне неустойчивые к любым видам антропогенной нагрузки. Территориальное распределение ландшафтов с различными степенями устойчивости в основном соотносится с закономерностями широтно-зонального распределения их мерзлотных и биоклиматических характеристик, местами прерываемых интразональными ландшафтами – марями, тундрами, а также подгольцовыми ландшафтами в горных провинциях.

По результатам оценки устойчивости, методом ГИС-технологий разработана карта-схема оценки степеней устойчивости ландшафтов изучаемой территории бассейна р. Колымы, которая представлена на рис. 2.

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

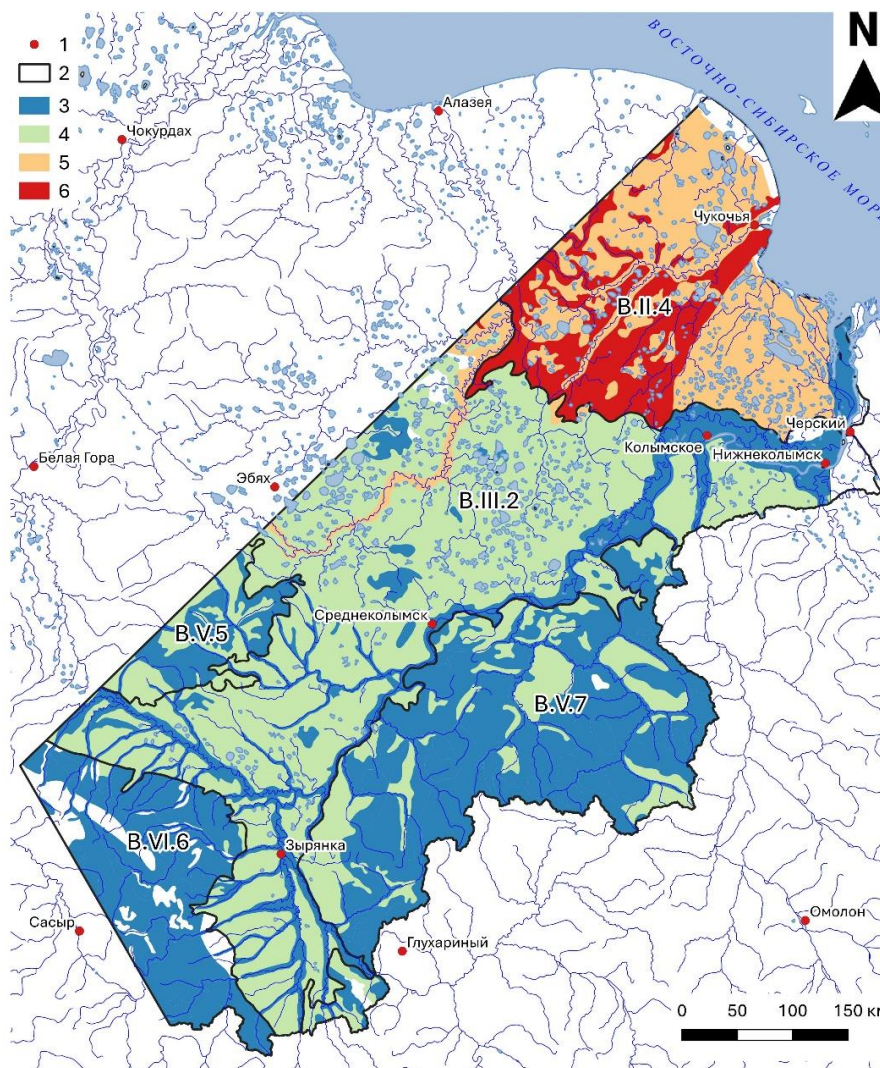


Рис. 2. Карта-схема устойчивости ландшафтов бассейна р. Колымы
Условные обозначения: 1 – населенные пункты; 2 – границы ландшафтных провинций; степень устойчивости ландшафтов: 3 – относительно устойчивые; 4 – относительно неустойчивые; 5 – неустойчивые; 6 – крайне неустойчивые

Fig. 2. Landscape stability in the Kolyma River basin
Legend: 1 - settlements; 2 – boundaries of landscape provinces; landscape stability degree: 3 – relatively stable; 4 – relatively unstable; 5 – unstable; 6 – highly unstable

Оценка экологического воздействия Зырянского угольного разреза

Исследование взаимодействия промышленного производства и природной среды территории освоения при помощи геоэкологического подхода основывается на изучении техногенного воздействия на природную среду и изменений, происходящих в ней. Это предполагает, кроме оценки степени устойчивости природных комплексов, определение факторов и оценку экологического воздействия технического сооружения на наиболее мобильные компоненты природной среды – воздух и воду.

В связи с этим произведена оценка экологического воздействия Зырянского угольного разреза на природную среду бассейна р. Колымы. Основное воздействие при разработке угольных разрезов приходится непосредственно на воздушную и водную среды. При этом негативному воздействию подвергаются все компоненты экосистемы, включая рельеф, воздух, поверхностные и подземные воды, почву, растительный покров и животный мир.

Бассейн включает Верхнеколымский, Среднеколымский и Нижнеколымский административные районы, которые в разной степени испытывают экологические проблемы, связанные с загрязнением атмосферного воздуха и поверхностных вод в результате проведения горных работ.

Воздействие на состояние воздушной среды

Экологическая ситуация на территории верхнего течения р. Колымы (Верхнеколымского района) в основном определяется состоянием воздушного бассейна. На его территории ведется разведка, а также добыча золота

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

и каменного угля предприятием «Зырянский угольный разрез». Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются объекты топливно-энергетического комплекса, в состав которых входят угольный разрез, дизельные электростанции, котельные, а также автотранспорт и лесные пожары. Анализ статистики загрязнения атмосферного воздуха за последние пять лет (2018–2022 гг.) показывает увеличение выбросов твердых веществ с 1286 до 1561 т [9]. При этом количество уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу от этих источников, с каждым годом уменьшается. Фактическое количество уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ зависит от объема поступающих на очистные сооружения загрязняющих веществ. Согласно данным Министерства экологии РС(Я), начиная с 2018 г., показатели загрязняющих веществ, поступающих на очистные сооружения, близки к нулю [9] (рис. 2).

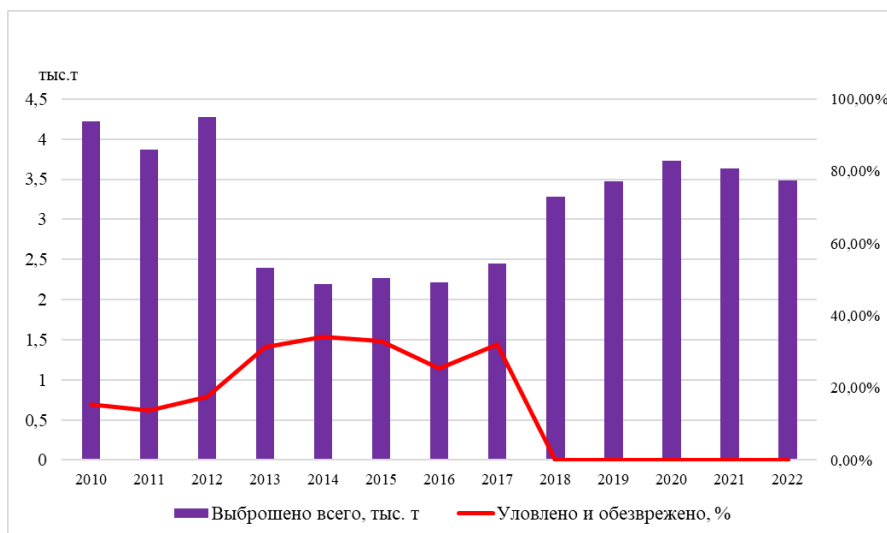


Рис. 3. Выбросы загрязняющих веществ в период с 2010 по 2022 г.

Fig. 3. Pollutant emissions from 2010 to 2022

В 2022 г. в Верхнеколымском районе от этих источников в атмосферу было выброшено 3,49 тыс. т загрязняющих веществ. По данным [9] приведены фоновые концентрации загрязняющих веществ атмосферного воздуха в п. Зырянка (рис. 4).

Работа тепловых котельных, особенно работающих на угле или мазуте, оказывает негативное воздействие на окружающую среду, включая загрязнение воздуха и воды. При сжигании угля выделяются вредные элементы и соединения, такие как триоксид и диоксид серы, монооксид и диоксид углерода, которые способствуют возникновению парникового эффекта и представляют опасность для здоровья. При неполном сгорании образуется зола, содержащая твердые частицы и токсичные вещества, такие как уран, мышьяк, ванадий, свинец, радиоактивные изотопы и бенз(а)пирен, являющийся канцерогенным соединением. При сжигании мазута выделяется большое количество диоксида серы, способствующего образованию кислотных дождей.

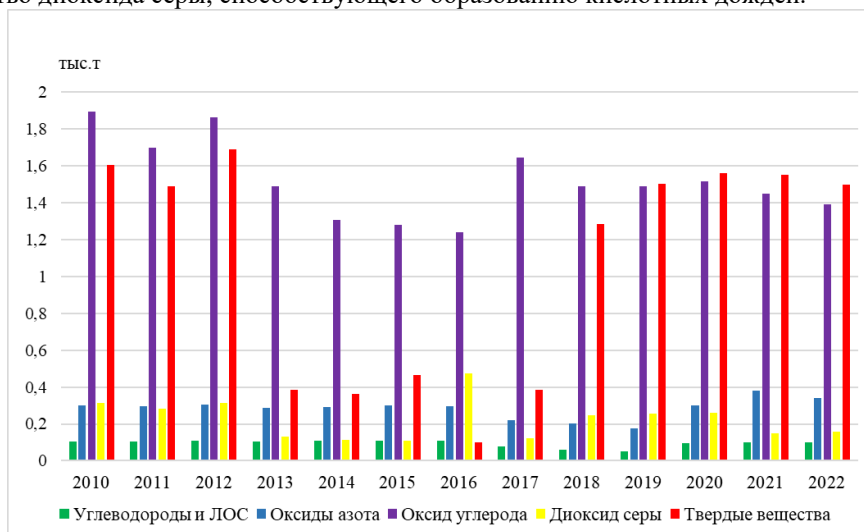


Рис. 4. Структура выбросов от стационарных источников

Fig. 4. Structure of emissions from stationary sources

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

Воздействие на состояние водной среды

Территория исследования расположена в бассейне р. Колымы, которая включает в себя большое количество рек и ручьев общей протяженностью более 592 тыс. км. Большинство этих водных путей относительно короткие, 98 % из них имеют длину менее 10 км. Распределение речного стока по годам крайне неравномерно: большая часть стока приходится на весенне-летний период – 79,5 %, на зимний период приходится всего 4,3 %, а на осенний – 16,2 % стока [18].

Загрязнение поверхностных вод в бассейне р. Колымы происходит в основном за счет сточных вод угледобывающей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства. Кроме того, в периоды высокой водности поверхностный сток с территорий населенных пунктов способствует загрязнению, и в водоемы бассейна попадают такие загрязняющие вещества, как взвешенные частицы и соединения тяжелых металлов. Помимо всего прочего, наличие маломерных судов и водного транспорта приводит к загрязнению нефтепродуктами.

Загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу, осаждаются на водной поверхности, что приводит к изменению гидрохимического режима водных объектов. Кроме того, за последние пять лет, с 2018 по 2022 г., объем сбрасываемых сточных вод, требующих очистки, увеличился с 0,48 до 0,73 млн м³. Загрязненные и недостаточно очищенные сточные воды в связи с отсутствием очистных сооружений сбрасываются в водные объекты без очистки во всех населенных пунктах, кроме с. Угольное, где имеется единственная станция биологической очистки. Для достижения желаемого эффекта необходимократно увеличить количество очистных сооружений в районе.

Основными загрязняющими веществами воды бассейна р. Колыма являются соединения марганца, алюминия, железа общего, меди и нефтепродуктов. Качественный состав воды бассейна р. Колымы оценивается 3 классом – «очень загрязненная» [7].

Максимальная кратность превышений предельно-допустимых концентраций (ПДК_{рх}) нормируемых веществ в воде рек рыбохозяйственного значения бассейна Колымы за последние годы представлена в табл. 4.

Таблица 4

Максимальные превышения предельно-допустимых концентраций в воде рек бассейна р. Колымы (2015–2023 гг.)
Maximum exceedances of MPC values in the water of the Kolyma basin rivers (2015–2023)

Пункт отбора	Максимальная кратность превышения ПДК _{рх}									
	Фенолы	Нитрит-ион	Аммоний-ион	Стронций	Алюминий	Железо	Марганец	Медь	Цинк	Ванадий
р. Колыма – п. Зырянка	5	2,4	1,7	2,2	6,7	7,3	12,4	13,7	5,6	-
р. Ясачная – п. Зырянка	5	2,6	-	1,4	3,4	2,7	9,5	9,6	1,2	-
р. Ясачная – с. Верхнеколымск	2,6	3,2	1,6	-	5,5	5,8	3,6	5,9	-	-
р. Ясачная – с. Нелемное	1,4	3	1,9	-	3	1,9	5,5	4,8	-	-
р. Зырянка – с. Угольное	-	1,6	1,3	-	37,3	13,7	7,5	98	-	1,4

Река Колыма. В районе п. Зырянка содержание взвешенных веществ, согласно лабораторным исследованиям, находилось на уровне до 3,6 мг/дм³, сухого остатка – 162 мг/дм³. Хозяйственно-питьевые нормативы превышены по показателю содержания органических веществ (ХПК) в 3,1 раза.

Река Ясачная. Качество воды оценено в створах 3 населенных пунктов: п. Зырянки, с. Верхнеколымска, с. Нелемного. В районе п. Зырянка содержание взвешенных веществ находилось на уровне до 3,0 мг/дм³, сухого остатка – 229 мг/дм³. Хозяйственно-питьевые нормативы превышены по показателю ХПК в 1,8 раза. В районе с. Верхнеколымск содержание взвешенных веществ находилось на уровне до 3,0 мг/дм³, сухого остатка – 225 мг/дм³. Хозяйственно-питьевые нормативы превышены по показателю ХПК в 3 раза. В районе с. Нелемное содержание взвешенных веществ находилось на уровне до 4,8 мг/дм³, сухого остатка – 195 мг/дм³. Хозяйственно-питьевые нормативы превышены по показателю ХПК в 1,1 раза.

Река Зырянка. В 2021 г. в районе с. Угольное по результатам химико-аналитических исследований установлено превышение предельно-допустимых концентраций по рыбохозяйственным нормативам (ПДК_{рх}) в плане содержания нитрит-иона, аммоний-иона, алюминия, железа общего, марганца, меди, ванадия. Хозяйственно-питьевые нормативы превышены по показателю ХПК в 5,2 раза.

Таким образом, в основных рыбохозяйственных водотоках бассейна ежегодно наблюдалось превышение ПДК_{рх} нормируемых веществ.

Увеличение антропогенного загрязнения и ухудшение качества воды обусловлены, прежде всего, поступлением значительного количества загрязняющих веществ с речным стоком, смывом с водосборной площади, а также загрязняющими веществами техногенного происхождения.

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

Заключение

Крайний Север Республики Саха (Якутия) относится к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород с крайне суровыми природно-климатическими условиями, неблагоприятными для развития промышленности, строительства, транспорта, сельского хозяйства. В то же время регион характеризуется исключительными минеральными и топливно-энергетическими ресурсами, что в современных условиях диктует необходимость интенсификации освоения топливно-энергетических ресурсов. При этом происходит негативное экологическое воздействие на уязвимые арктические природные комплексы со слабой степенью устойчивости и низкой восстановительной способностью.

На основе геоэкологического подхода проведены исследования природного состояния территории бассейна р. Колымы, включающие оценку степени устойчивости ландшафтов и оценку экологического воздействия Зырянского угольного комплекса на наиболее мобильные компоненты природной среды. Оценка степени устойчивости ландшафтов бассейна р. Колымы осуществлена в зависимости от влияния мерзлотных и биоклиматических показателей ландшафтов на снижение их устойчивости к антропогенному воздействию. Это позволило отнести их к природным комплексам с различными степенями устойчивости, от относительно устойчивых к крайне неустойчивым, в зависимости от локального сочетания их мерзлотных и биоклиматических характеристик. На этой основе составлена карт-схема степени устойчивости изучаемой территории бассейна р. Колымы в масштабе 1: 5000000.

Анализ динамики экологического состояния воздушной среды и гидрохимического состояния поверхностных вод верхнего течения бассейна р. Колымы показал, что увеличение выбросов и сбросов загрязняющих веществ в воздух и воду является результатом антропогенного воздействия. Воздух загрязнен твердыми веществами, оксидами азота и углерода, диоксидом серы, углеводородами и летучими органическими соединениями. В основных водотоках бассейна ежегодно наблюдаются превышения предельно-допустимых концентраций загрязняющих веществ по рыбохозяйственным нормативам, вода оценивается как очень загрязненная.

Результаты исследования могут послужить основой для оптимизации природопользования территории бассейна р. Колымы и обоснования мероприятий по снижению негативных последствий на природную среду.

Библиографический список

1. Батугина Н.С., Гаврилов В.Л., Хоютанов Е.А., Федоров В.И. Угольные месторождения арктической зоны Якутии и Чукотки: состояние сырьевой базы и возможности ее освоения // Наука и образование. 2014. № 4. С. 5–11.
2. Букс И.И. Некоторые методические вопросы определения потенциальной устойчивости природных комплексов в целях прогнозирования их состояния // Методология и методы географического прогнозирования. М., 1983. С. 104–113.
3. Букс И.И., Байбородин В.Н., Тимирбаева Л.С. Корреляционная эколого-фитоценотическая карта. Масштаб 1:7 500 000 // Сер. Карты природы, населения и хозяйства Азиатской России. М., 1977. 1 л.
4. Васильев И.С., Федоров А.Н., Варламов С.П. и др. Устойчивость криогенных ландшафтов на северном участке трассы железной дороги Якутии // Наука и образование. 2009. № 2. С. 4–8.
5. Воробьева И.Б. Системный подход геоэкологической оценки территории // Вестник ТГУ. 2014. Т. 19, № 5. С. 1485–1487.
6. Гаврилова М.К. Климат центральной Якутии. Якутск: Кн. Изд-во, 2003. 150 с.
7. ГБУ РС(Я) «Республиканский информационно-аналитический центр экологического мониторинга». URL: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/gbu-rsja-respublikanskij-informatsionno-analiticheskij-tsentr-ekologicheskogo-monitoringa> (дата обращения: 07.02.2024)
8. Геоэкологические основы территориального проектирования и планирования / отв. ред. В.С. Преображенский, Т.Д. Александрова. М.: Наука, 1989. 114 с.
9. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) до 2023 года. Министерство экологии, природопользования и лесного хозяйства Республики Саха (Якутия). Якутск, 2023.
10. Граве Н.А., Турбина М.И. Устойчивость поверхности к техногенным воздействиям в области вечной мерзлоты / отв. ред. Н.А. Граве, М.И. Турбина Якутск, 1980. С. 6–12.
11. «Зырянский угольный разрез» ориентируется на рост добычи угля до 1 млн тонн в год. URL: <https://www.sakha.gov.ru/news/front/view/id/3284347> (дата обращения: 07.02.2024)
12. Кириллов А.Ф., Сивцева Л.Н., Жирков Ф.Н. и др. Рыбообразные и рыбы бассейна реки Колыма // Молодой ученый. 2014. № 2 (61). С. 269–277.
13. Материалы оценки воздействия на окружающую среду намечаемой хозяйственной и иной деятельности. Объект: «Строительство котельной "№ 11" в п. Зырянка Верхнеколымского улуса». Якутск.: Проектная мастерская ФДСО ГУП «ЖКХ РС(Я)», 2021. 150 с.
14. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., Васильев Н.Ф., Макаров В.С. и др. / под ред. М.Н. Железняк. 2018. 2 л.
15. Скрипко М.С., Платонова С.Г., Скрипко В.В. Оценка устойчивости поверхности (на примере Обь-Чумышского междуречья, Алтайский край) // Географический вестник. 2022. № 3 (62). С. 109–125. DOI: 10.17072/2079-7877-2022-3-109-125
16. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 320 с.
17. Ташенко А.И. Оценка устойчивости природной среды районов криолитозоны к техногенным воздействиям // Известия ВГО. 1987. Т. 119, Вып. 4. С. 301–306.
18. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Колыма. Общая характеристика речного бассейна. 2014. Кн. 1. С. 44–53.

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

19. Тихменев П.Е., Пугачёв А.А., Тихменев Е.А. Экологические аспекты восстановления земель, нарушенных при разработке месторождений серебра на Севере Дальнего востока России // Вестник Северо-Восточного государственного университета. 2017. № 28. С. 72–79.
20. Федоров А.Н. Мерзлотные ландшафты, их устойчивость и восстановление // Лес и вечная мерзлота. 2000. С. 17–21.
21. Федоров А.Н., Ботулу Т.А., Варламов С.П. и др. Мерзлотные ландшафты Якутии: пояснительная записка к «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР». М.: ГУГК, 1989. 70 с.
22. Шполянская Н.А., Зотова Л.И. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири // Вестник МГУ. Серия 5. География. 1994. № 1. С. 56–65.
23. Энергетики Сахаэнерго успешно... URL: <https://in-power.ru/news/alternativnayaenergetika/51862-energetiki-sahaenergo-ushpeshno-proshli-osenne-zimnii-period.html> (дата обращения: 07.02.2024)

References

1. Batugina N.S., Gavrilov V.L., Khoyutanov E.A., Fedorov V.I. (2014), Coal deposits of the Arctic zone of Yakutia and Chukotka: state of the raw material base and its development opportunities, *Science and education*, no. 4, pp. 5–11.
2. Bux I.I. (1983), Some methodological issues of determination of potential sustainability of natural complexes in order to predict their condition, *Methodology and methods of geographical forecasting*, Moscow, pp. 104–113.
3. Bux I.I., Bayborodin V.N., Timirbayeva L.S. (1977), Correlation ecological-phytocytic map. Scale 1:7 500,000 in *Maps of nature, population and economy of Asian Russia series*, Moscow. 1 sheet.
4. Vasiliev I.S., Fedorov A.N., Varlamov S.P. et al (2009), Stability of cryogenic landscapes on the northern section of the railway route Yakutia, *Science and Education*, no. 2, pp. 4–8.
5. Vorobyeva I.B. (2014), System Approach to Geoecological Assessment of the Territory, *Vestnik TSU*, vol.19, no.5, pp. 1485–1487.
6. Gavrilova M.K. (2003), *Klimat central'noj Jakutii* [Climate of central Yakutia], Knizhnoye Izdatelstvo, Yakutsk, Russia.
7. GBU RS(Ja) «Respublikanskij informacionno-analiticheskij centr jekologicheskogo monitoringa» [GBU RS(I) «Republican Information and Analytical Center for Environmental Monitoring». Official website], available at: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/gbu-rsja-respublikanskij-informatno-anaheskij-entrekologicheskogo-monitoriga> (accessed 07 February 2024).
8. Preobrazhensky V.S., Alexandrova T.D. (eds.) *Geojekologicheskie osnovy territorial'nogo proektirovaniya i planirovaniya* [Geoecological bases of territorial design and planning] (1989), Science, Moscow, USSR.
9. Gosudarstvennyj doklad o sostojanii i ohrane okruzhajushhej sredy Respubliki Saha (Jakutija) do 2023 goda [State report on the state and protection of the environment of the Republic of Sakha (Yakutia) until 2023] (2023), Ministry of Ecology, Nature Management and Forestry of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia.
10. Gráve N.A., Turbina M.I. (eds.) (1980) *Ustojchivost' poverhnosti k tehnogennym vozdeystvijam v oblasti vechnoj merzloty* [Surface resistance to man-made impacts in the field of eternal permafrost], Yakutsk, USSR.
11. «Zyrjanskij ugol'nyj razrez» orientiruetsja na rost dobychi uglja do 1 mln tonn v god [«Zyryansk Coal Mine» focuses on the growth of coal production to 1 million tons per year], available at: <https://www.sakha.gov.ru/news/front/view/id/3284347> (accessed 07 February 2024).
12. Kirillov A.F., Sivtseva L.N., Zhirkov F.N. et al. (2014) Fish and fish of the basin of the Kolyma River, *Young Scientist*, no. 2(61), pp. 269–277.
13. Materialy ocenki vozdeystviya na okruzhajushhujuju sredu namechaemoj hozjajstvennoj i inoj dejatel'nosti. Objekt: «Stroitel'stvo kotel'noj №11» v p. Zyrjanka Verhnekolym'skogo ulusa» [Environmental impact assessment of proposed economic and other activities. Object: «Construction of boiler house no.11 in Zyryanka, Verkhokolym'sky Ulsu»] (2021), Yakutsk, Russia.
14. Fedorov A.N., Torgokin Y.I., Shestakova A.A., Vasiliev N.F., Makarov V.S. et al. (2018) *Merzlotno-landshaftnaja karta Respubliki Saha (Jakutija). Masshtab 1: 1 500 000* [Permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia). Scale 1: 1,500,000], Yakutsk, Russia.
15. Skripko M.S., Platonova S.G., Skripko V.V. (2022) Surface stability assessment (a case study of the Ob-Chumysh interfluv, Altai region), *Geographical Bulletin*, no. 3(62), pp. 109–125, doi: 10.17072/2079-7877-2022-3-109-125.
16. Sochava V.B. (1978), *Vvedenie v uchenie o geosistemah*. [Introduction to the Study of Geosystems], Nauka, Novosibirsk, USSR.
17. Stashenko A.I. (1987), Assessment of the stability of the natural environment of the cryolithozonic regions to man-made influences, *Izvestia VGO*, vol. 119, is. 4, pp. 301–306.
18. Shema kompleksnogo ispol'zovaniya i ohrany vodnyh objektov bassejna reki Kolyma. Obshhaja harakteristika rechnogo bassejna. Kniga 1 [Scheme of integrated use and protection of water bodies of the Kolyma River basin. General characteristics of the river basin. Book 1] (2014), Yakutsk, Russia.
19. Tikhmenev P.E., Pugachev A.A., Tikhmenev E.A. (2017) Ecological aspects of restoration of lands disturbed during the development of silver deposits in the North Far East of Russia, *Bulletin of the Northeastern State University*, no. 28, pp. 72–79.
20. Fedorov A.N. (2000), Frozen landscapes, their stability and restoration. Forest and permafrost. 2000. pp. 17–21.
21. Fedorov A.N., Botulu T.A., Varlamov S.P. et al. (1989) *Merzlotnye landshafty Jakutii: Pojasnitel'naja zapiska k «Merzlotno-landshaftnoj karte Jakutskoj ASSR»*. [Permafrost landscapes of Yakutia: Explanatory note to the «Permafrost-landscape map of the Yakut ASSR»], GUGK, Moscow, USSR.
22. Shpolyanskaya N.A., Zotova L.I. (1994) Map of stability of cryolithic landscapes of Western Siberia, *Bulletin of Moscow State University. Ser.5. – Geography*, no. 1. pp. 56–65.
23. Jenergetiki Sahajenergo uspeshno... [Sahaenergo power engineers successfully passed the autumn-winter period], available at: <https://in-power.ru/news/alternativnayaenergetika/51862-energetiki-sahaenergo-ushpeshno-proshli-osenne-zimnii-period.html> (accessed 07 February 2024).

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

Статья поступила в редакцию: 21.03.24, одобрена после рецензирования: 10.12.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 21 March 2024; approved after review: 10 December 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторах

Надежда Анисимовна Николаева

кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела проблем энергетики, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения РАН; 677980, Россия, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1

e-mail: nna0848@mail.ru

Дмитрий Дмитриевич Пинигин

научный сотрудник отдела проблем энергетики, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения РАН; 677980, Россия, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1

e-mail: pinigind@mail.ru

Константин Васильевич Никулин

ведущий инженер отдела проблем энергетики, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения РАН; 677980, Россия, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1

e-mail: nikulin9090@mail.ru

Information about the authors

Nadezhda A. Nikolaeva

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Department of Energy Problems, V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 1, Oktyabrskaya st., Yakutsk, 677980, Russia

Dmitry D. Pinigin

Researcher, Department of Energy Problems, V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 1, Oktyabrskaya st., Yakutsk, 677980, Russia

Konstantin V. Nikulin

Leading Engineer, Department of Energy Problems, V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 1, Oktyabrskaya st., Yakutsk, 677980, Russia

Вклад авторов:

Николаева Н.А. – идея, обработка материала, написание статьи, редактирование.

Пинигин Д.Д. – создание карты, перевод и редактирование статьи.

Никулин К.В. – сбор и анализ материала, создание графиков.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

Nadezhda A. Nikolaeva – the idea; data processing; writing and editing of the article.

Dmitry D. Pinigin – creation of the map; translation and editing of the article.

Konstantin V. Nikulin – material collection and analysis; creation of the graphs.

The authors declare no conflict of interests.

Научная статья

УДК: 550.4: 504.054

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-160-173

МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНАЯ СЪЕМКА НА ПЛАТФОРМЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА РАЙОНОВ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ АККУМУЛЯЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ**Леонид Сергеевич Кучин**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

kleond@bk.ru

Аннотация. Район исследования располагается на участке газонефтяного месторождения в верховьях р. Ясыл. В связи с распространением карстовых процессов на исследуемой территории формируются природно-техногенные аккумуляции углеводородов. Продолжается работа по выявлению нефтепромыслового техногенеза методами дистанционного зондирования Земли. По данным газогеохимической съемки построены карты распределения газов подгумусового горизонта (метана, углекислого газа, летучих органических соединений, углеводородных газов C₁-C₅). Наиболее распространенными являются газогеохимические аномалии, связанные с углеводородными газами. Все аномалии, но особенно те, которые связаны с углеводородными газами, указывают на накопление углеводородов, имеющих отношение к нефтегазовому промыслу. На их основе проведена мультиспектральная беспилотная аэрофотосъемка районов природно-техногенной аккумуляции. Выявлены шесть типов газогеохимических аномалий с максимальными концентрациями газов и их пространственное распределение. По данным мультиспектральной беспилотной аэрофотосъемки в программе DJI Terra построены ортофотопланы вегетационных индексов (NDVI, GNDVI, LCI, NDRE). Проведена дистанционная оценка связи вегетации лесных и луговых экосистем с концентрациями газов в подгумусовом горизонте. Взаимосвязь между вегетационными индексами и концентрацией газов в подгумусовом слое является нелинейной и определяется комплексом биогеохимических процессов, происходящих в наземных и подземных биогеоценозах карстового массива. Газогеохимические аномалии с высокими концентрациями углеводородных газов и лёгких органических соединений наиболее отчётливо проявляются в значениях индексов, полученных с использованием канала Red Edge. Для всех типов газогеохимических аномалий в лесных экосистемах свойственен рост значений вегетационных индексов. Для луговых сообществ при сравнении фоновых и аномальных значений газов выявлено снижение значений вегетационных индексов.

Ключевые слова: беспилотная аэрофотосъемка, вегетационные мультиспектральные индексы, газогеохимическая съемка, техногенез, газонефтяное месторождение

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Пермского края № 24-17-20025, <https://rscf.ru/project/24-17-20025/>.

Для цитирования: Кучин Л.С. Мультиспектральная съемка на платформе беспилотного летательного аппарата районов природно-техногенной аккумуляции углеводородов // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 160–173. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-160-173

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-160-173

MULTISPECTRAL SURVEY OF HYDROCARBONS NATURAL AND MAN-MADE ACCUMULATION AREAS USING AN UNMANNED AERIAL VEHICLE**Leonid S. Kuchin**

Perm State University, Perm, Russia

kleond@bk.ru

Abstract. The research area is located on the site of a gas and oil field in the upper reaches of the Yasyl River. Due to the spread of karst processes in the studied area, natural and man-made accumulations of hydrocarbons are formed. There is ongoing work done to identify oilfield technogenesis by remote sensing methods. Based on the data of a gas-geochemical survey, maps of the distribution of subhumus horizon gases (methane, carbon dioxide, volatile organic compounds, and C₁-C₅ hydrocarbon gases) were constructed. The most common are gas-geochemical anomalies associated



© 2025 Эта работа Кучина Л.С. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

with hydrocarbon gases. All anomalies, especially those related to hydrocarbon gases, indicate the accumulation of hydrocarbons related to the oil and gas industry. Based on them, multispectral unmanned aerial photography of areas of natural and man-made accumulation was carried out. Six types of gas-geochemical anomalies with maximum gas concentrations and their spatial distribution have been identified. According to the multispectral unmanned aerial photography data, orthophotoplans of vegetation indices (NDVI, GNDVI, LCI, NDRE) were built in the DJI Terra program. A remote assessment of the relationship between the vegetation of forest and meadow ecosystems and the concentrations of gases in the subhumus horizon was performed. The relationship between vegetation indices and the concentration of gases in the subhumus layer is nonlinear and is determined by a complex of biogeochemical processes occurring in terrestrial and underground biogeocenoses of the karst massif. Gas-geochemical anomalies with high concentrations of hydrocarbon gases and light organic compounds are most clearly manifested in the values of the indices obtained using the Red Edge channel. All types of gas-geochemical anomalies in forest ecosystems are characterized by an increase in the values of vegetation indices. For meadow communities, a decrease in the values of vegetation indices was revealed when comparing background and abnormal gas values.

Keywords: unmanned aerial photography, vegetation multispectral indexes, gas-geochemical survey, technogenesis, gas and oil field

Funding. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation and the Perm region No. 24-17-20025, <https://rscf.ru/project/24-17-20025/>.

For citation: Kuchin, L.S. (2025). Multispectral survey of hydrocarbons natural and man-made accumulation areas using an unmanned aerial vehicle. *Geographical Bulletin*. No. 1 (72). Pp. 160–173. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-160-173

Введение

Нефтепромысловое воздействие может негативно влиять на природную среду и вызвать деградацию растительного покрова [1]. Для оптимизации оценки деградации растительности рекомендуется применять данные дистанционного зондирования (ДЗЗ). Как правило, изучается площадь измененного растительного покрова в ходе обустройства инфраструктуры месторождений нефти [14]. Особенно активно для оценки состояния растительности применяются вегетационные индексы, полученные на основе мультиспектральной съемки [18]. Для оптимизации мониторинга экологической безопасности на нефтегазовых месторождениях часто предлагается использовать беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [24].

Существует успешный опыт проведения оценки поверхностных проявлений нефтепромыслового техногенеза по данным ДЗЗ, в том числе с применением БПЛА [7]. Однако необходима комплексная оценка, особенно воздействия на экосистемы углеводородных газов, мигрирующих из нефтеносных пластов на поверхность. Опосредованность влияния углеводородных газов на фотосинтез растений и, соответственно, возможность диагностировать с помощью ДЗЗ на базе БПЛА остается сложной и дискуссионной задачей.

Процесс добычи нефти и газа сопровождается попаданием в окружающую среду органических и минеральных техногенных веществ. Одними из таких веществ является углеводороды, выделяющиеся в атмосферу при продувках скважин, утечках или стравливании из трубопроводов, в процессе утечек из негерметичных технологических установок, а также при испарении из резервуаров товарных парков и очистных сооружений [4]. Поступление углеводородов может быть связано еще и с изменением внутрипластового давления и выходить при разгерметизации нефтегазоносных пластов, в том числе при бурении скважин [13].

Одним из широко используемых методов выявления очагов нефтезагрязнения геологической среды является газогеохимический метод исследований. Основным критерием оценки уровня загрязнения почв, грунтов и вод выступает содержание «нефтепродуктов». В качестве индикаторов мощных источников углеводородов предлагают использовать суммарное содержание углеводородов C_1 – C_5 (УВГ) [2]. Поскольку увеличение содержания УВГ может быть вызвано биогенной генерацией, то считается, что лучше применять газогеохимический метод с учетом других нефтяных углеводородов [17]. Поэтому помимо содержания УВГ в воздухе под гумусовым горизонтом измеряется также содержание метана, диоксида углерода и летучих органических соединений (ЛОС). Данная методика показывает высокую информативность при картировании приповерхностных очагов нефтезагрязнения, связанных с утечками и аварийными разливами из поверхностных объектов хранения нефтепродуктов [2].

Основные задачи исследования:

1. Построение карт ареалов содержания газов подгумусового горизонта (CH_4 , CO_2 , ЛОС, УВГ) с последующим выявлением и типизацией газогеохимических аномалий;
2. Проведение мультиспектральной ортофотосъемки выявленных районов природно-техногенной аккумуляции углеводородов;
3. Получение по данным мультиспектральной ортофотосъемки значений вегетационных индексов (NDVI, GNDVI, LCI, NDRE);
4. Оценка по данным ДЗЗ связи вегетации лесных и луговых экосистем с концентрациями газов CH_4 , CO_2 , ЛОС, УВГ в подгумусовом горизонте.

Экология и природопользование
Кучин Л.С.

Материалы и методика

Район исследования расположен в юго-восточной части Пермского края в верховьях реки Ясыл. Бассейн р. Ясыл расположен на территории газонефтяного месторождения в Ординском районе Пермского края (рис. 1). Территория относится к Ирэнскому карстовому району преимущественно гипсового и карбонатно-гипсового карста. В пределах долины Ясылского лога и примыкающих территорий расположено свыше 1300 поверхностных карстовых форм. Наиболее многочисленны карстовые воронки [11, 21].

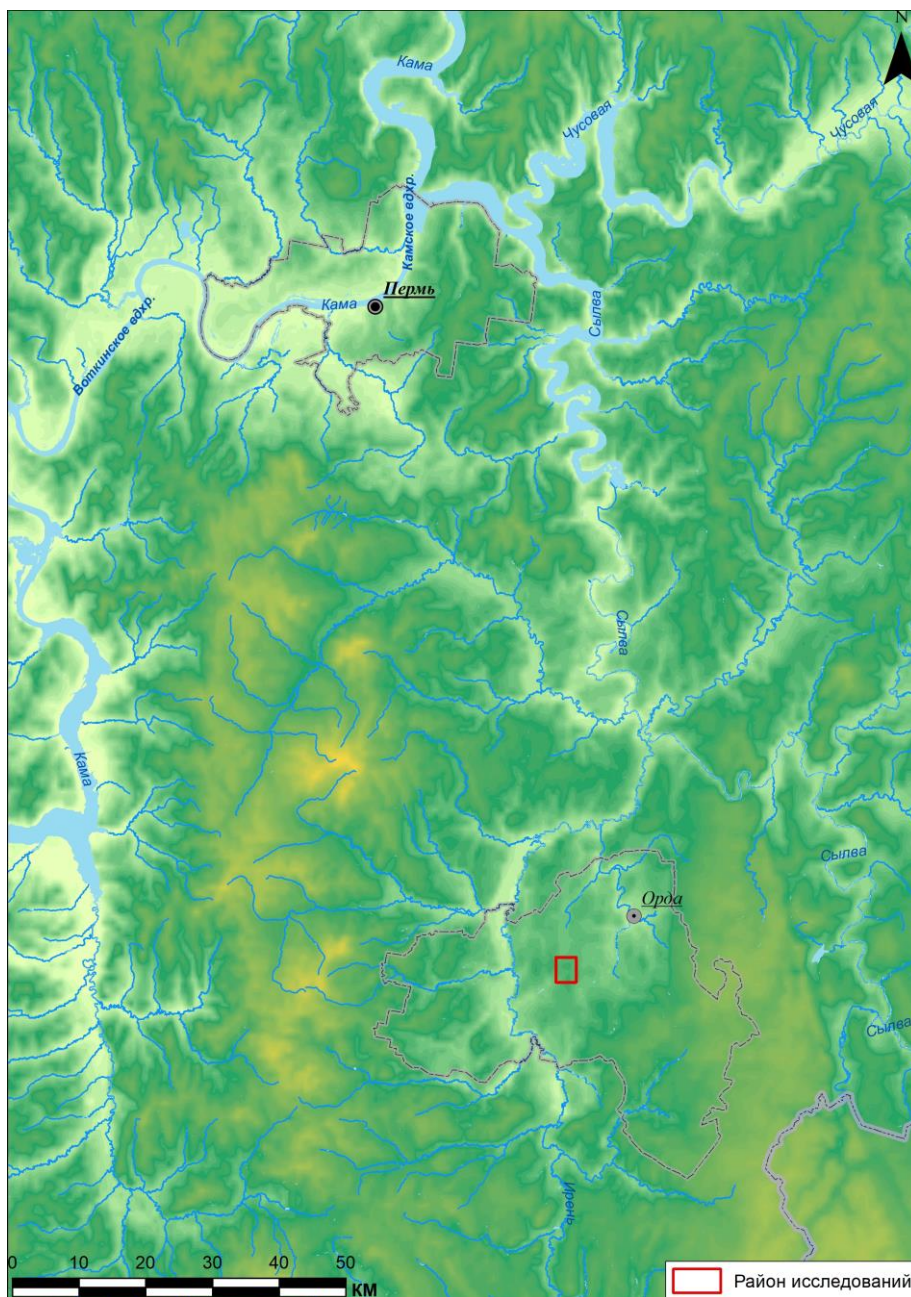


Рис 1. Район исследования природно-техногенной аккумуляции углеводородов
Fig. 1. Study area of natural and man-made accumulation of hydrocarbons

В районе исследования преобладают дерново-подзолистые и аллювиальные кислые почвы. Территория исследования находится в зоне широколиственно-пихтово-еловых (подтаежных) лесов, в Кунгурском лесостепном природном районе, характеризующемся сочетанием зональных лесных, экстразональных степных и остепненных лесных, интразональных пойменных и антропогенных фитоценозов [6].

Газогеохимическое обследование проведено лабораторией геоэкологии горнодобывающих регионов ГИ УрО РАН в 2018 г. Данные для оценки получают при помощи газоанализатора ECOPROBE-5, который предоставляет информацию о концентрации метана (CH_4), диоксида углерода (CO_2), летучих органических соединениях (ЛОС) и суммарного содержания углеводородов $\text{C}_1\text{-C}_5$ (УВГ) в газе подгумусового горизонта [3, 4].

По таблице с координатами точек газогеохимического апробирования формировался слой точек, содержащий атрибутивную таблицу концентрации почвенных газов. Затем при помощи инструмента «Естественная окрестность» (ArcMap, ArcGIS, ESRI) формировались растровые слои, содержащие распределение почвенных газов (CH_4 , CO_2 , ЛОС, УВГ).

Определялась область газогеохимических аномалий по максимальному содержанию определяемых газов. Контрольная площадь вычислялась по минимальным концентрациям, после чего на данных территориях проводилась съемка БПЛА DJI Phantom 4 Multispectral. Ортофотосъемка проводилась в июле 2024 г. на площади 175,94 га. По результатам съемки в программе DJI Terra [15] построены ортофотопланы в видимом спектре, а также индексах NDVI, GNDVI, LCI, NDRE. Разрешение полученных ортофотопланов составило 14 см/пикс.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – один из наиболее широко используемых мультиспектральных индексов, отображающий качество биопродуктивности растений. Принцип его работы основан на соотношении красного и ближнего инфракрасного спектральных диапазонов [20].

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{Red})}{(\text{NIR} + \text{Red})}, \quad (1)$$

где NIR – ближний инфракрасный (840 нм); Red – красный (650 нм).

GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) – индекс, отображающий распределение концентрации хлорофилла и скорости фотосинтеза в листьях и хвое растений. Он может применяться для выявления стрессового состояния у растительности. Выявлено, что усыхание и пожелтение листовой пластины отображается в повышении отражения в красной и снижении в зеленой области спектра снимка. Исходя из формулы, GNDVI позволяет оценить процессы угнетения растительности и выразить их в снижении значения [9].

$$\text{GNDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Green}}{\text{NIR} + \text{Green}}, \quad (2)$$

где NIR – ближний инфракрасный (840 нм); Green – зеленый (560 нм).

LCI (Leaf Chlorophyll Index) – индекс растительности, который использует спектральные характеристики отражения красной полосы и ближней инфракрасной полосы для отображения различий в содержании хлорофилла [23].

$$\text{LCI} = \frac{\text{NIR} - \text{RE}}{\text{NIR} + \text{Red}}, \quad (3)$$

где NIR – ближний инфракрасный (840 нм); RE – красный край (730 нм), Red – красный (650 нм).

NDRE (Normalized Difference Red Edge Index) – мультиспектральный индекс, ориентированный на определение достаточности азота в листьях за счет измерения активности фотосинтеза [22, 16].

$$\text{NDRE} = \frac{(\text{NIR} - \text{RE})}{(\text{NIR} + \text{RE})} \quad (4)$$

Вычисление средних значений мультиспектральных индексов осуществлялось в программе ArcMap (ArcGIS, ESRI) с применением инструмента «Зональная статистика». Значения рассчитывались по полигонам, выделенным на ортофотоплане, для зон газогеохимических аномалий и фоновых участков. Таким же образом производилось вычисление средних значений индексов по 84 площадкам по 900 м² каждая. Площадки выделялись в пределах полученных ортофотопланов (рис. 2).

В программе Microsoft Excel проводилась обработка средних значений мультиспектральных индексов и средних концентраций почвенных газов, а также построение диаграмм и графиков значений мультиспектральных индексов на выделенных участках.

Экология и природопользование
Кучин Л.С.

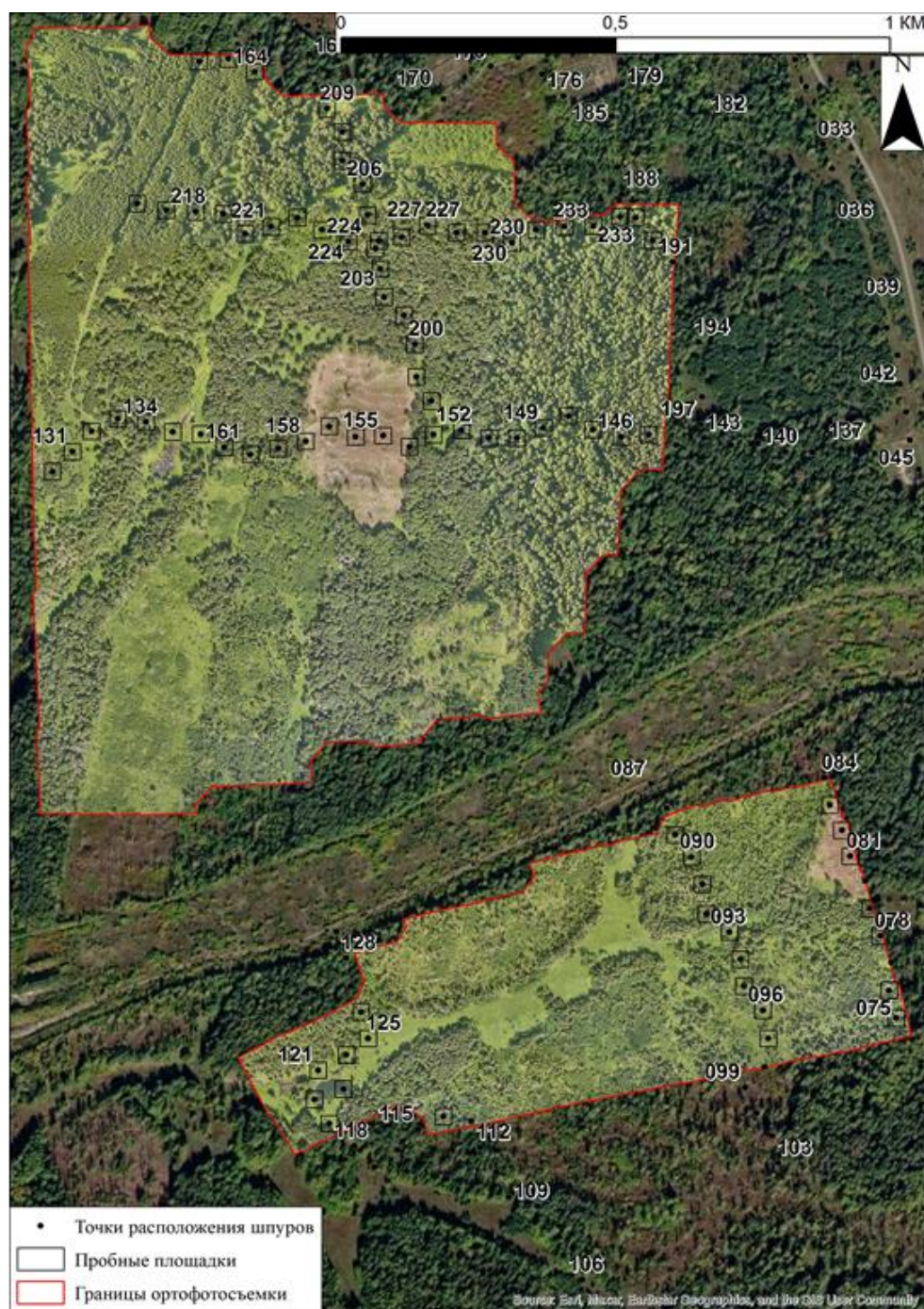


Рис. 2. Схема газогеохимического обследования и мультиспектральной съемки БПЛА
Fig. 2. Scheme of the gas-geochemical survey and multispectral UAV photography

Результаты и их обсуждение

На основании измеренного содержания почвенных газов получены значения содержания газов для 86 площадок. Из этих площадок исключены площадки, содержащие водные объекты и вырубки, поскольку для данных объектов значения вегетационных индексов минимальны и создают большой шум для оценки вегетации растительных сообществ. Для выявления общей тенденции изменения содержания газов и значений мультиспектральных индексов для лесных и луговых экосистем построены графики (рис. 3–6).

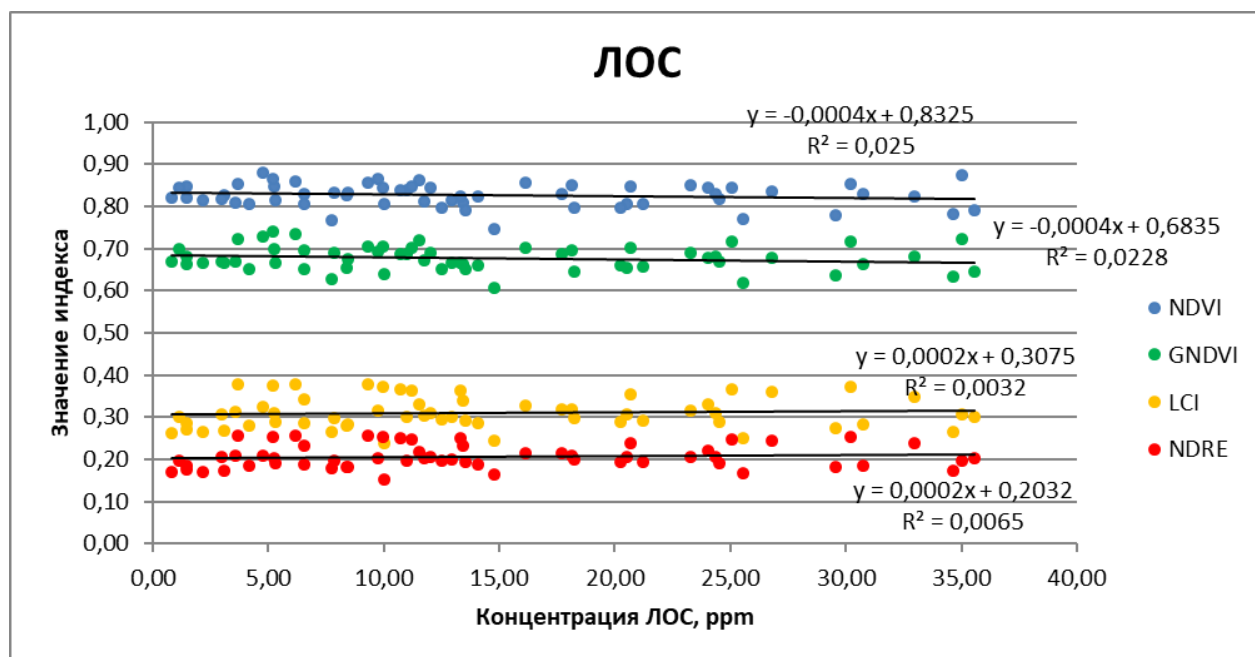


Рис. 3. Мультиспектральные вегетационные индексы и концентрации ЛОС в подгумусовом горизонте почвы
Fig. 3. Multispectral vegetation indices and VOCs concentrations in the subhumus horizon

На графике (рис. 3), показано, что существует тренд по снижению вегетационных индексов NDVI и GNDVI при увеличении концентрации ЛОС. LCI и NDRE имеют маловыраженный тренд на увеличение.

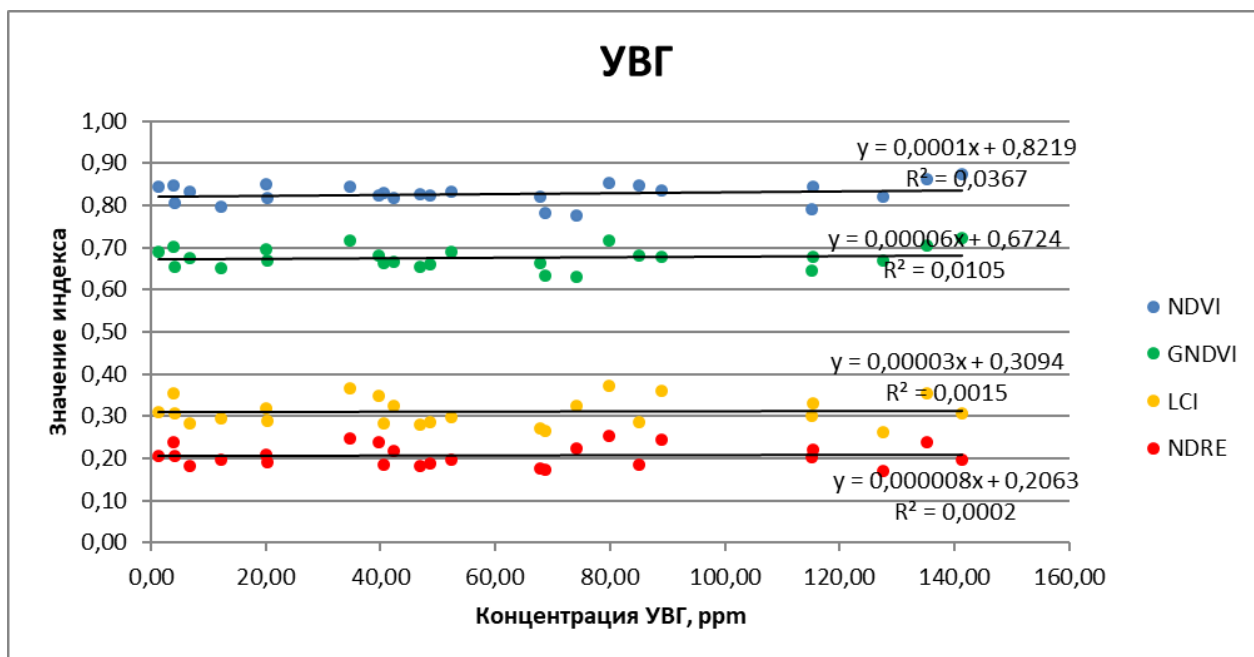


Рис. 4. Мультиспектральные вегетационные индексы и концентраций УВГ в подгумусовом горизонте почвы
Fig. 4. Multispectral vegetation indices and concentrations of HCGs in the subhumus horizon

Коэффициент аппроксимации линий тренда на графике (рис. 4) демонстрирует отсутствие линейной зависимости. Прослеживается тренд роста значений мультиспектральных индексов при росте концентраций УВГ.

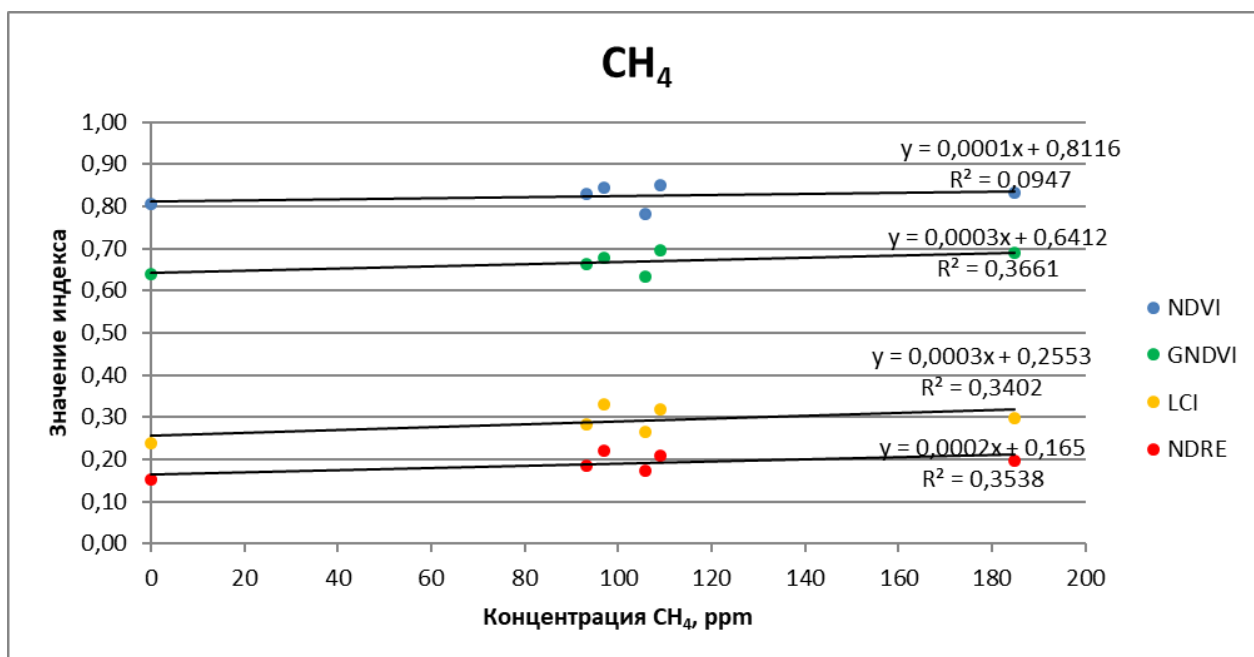


Рис. 5. График зависимости значений мультиспектральных вегетационных индексов и концентраций CH₄ в подгумусовом горизонте почвы

Fig. 5. The dependence of the multispectral vegetation indices and CH₄ concentrations in the subhumus horizon

По графику (рис. 5) наблюдается тренд незначительного роста значений всех мультиспектральных индексов относительно концентрации метана. Распределение графиков нелинейное.

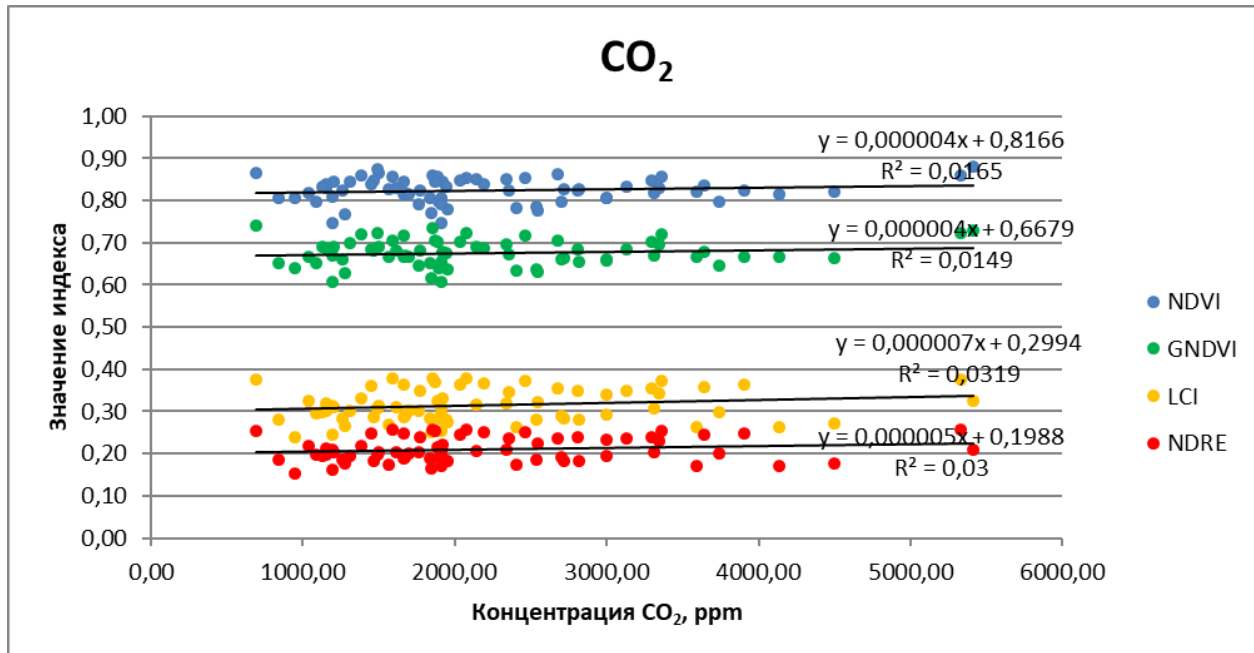


Рис. 6. График зависимости значений мультиспектральных вегетационных индексов и концентраций CO₂ в подгумусовом горизонте почвы

Fig. 6. The dependence of the multispectral vegetation indices and CO₂ concentrations in the subhumus horizon

По графику (рис. 6) заметен тренд роста значений индексов относительно концентрации CO₂. При этом коэффициент аппроксимации линии тренда (R²) свидетельствует об отсутствии линейного распределения значений, поскольку не превышает 0,03.

Как видно из графиков (рис. 3–6), выявить общий тренд влияния содержания концентрации подпочвенных газов на значения мультиспектральных вегетационных индексов невозможно. Разброс значений может быть вызван

Экология и природопользование
Кучин Л.С.

разным видовым составом растительности [5]. Поэтому с целью выявления возможного различия между аномальными (максимальными) концентрациями и фоновыми (минимальными) было решено оценить значения этих областей для лесных и луговых экосистем. Характеристика распределения почвенных газов (CH_4 , CO_2 , ЛОС, УВГ) строилась на основании их максимальных концентраций в шпуре. Всего был апробирован 231 шпур. Распределение почвенных газов на исследуемой территории представлено на рис. 7.

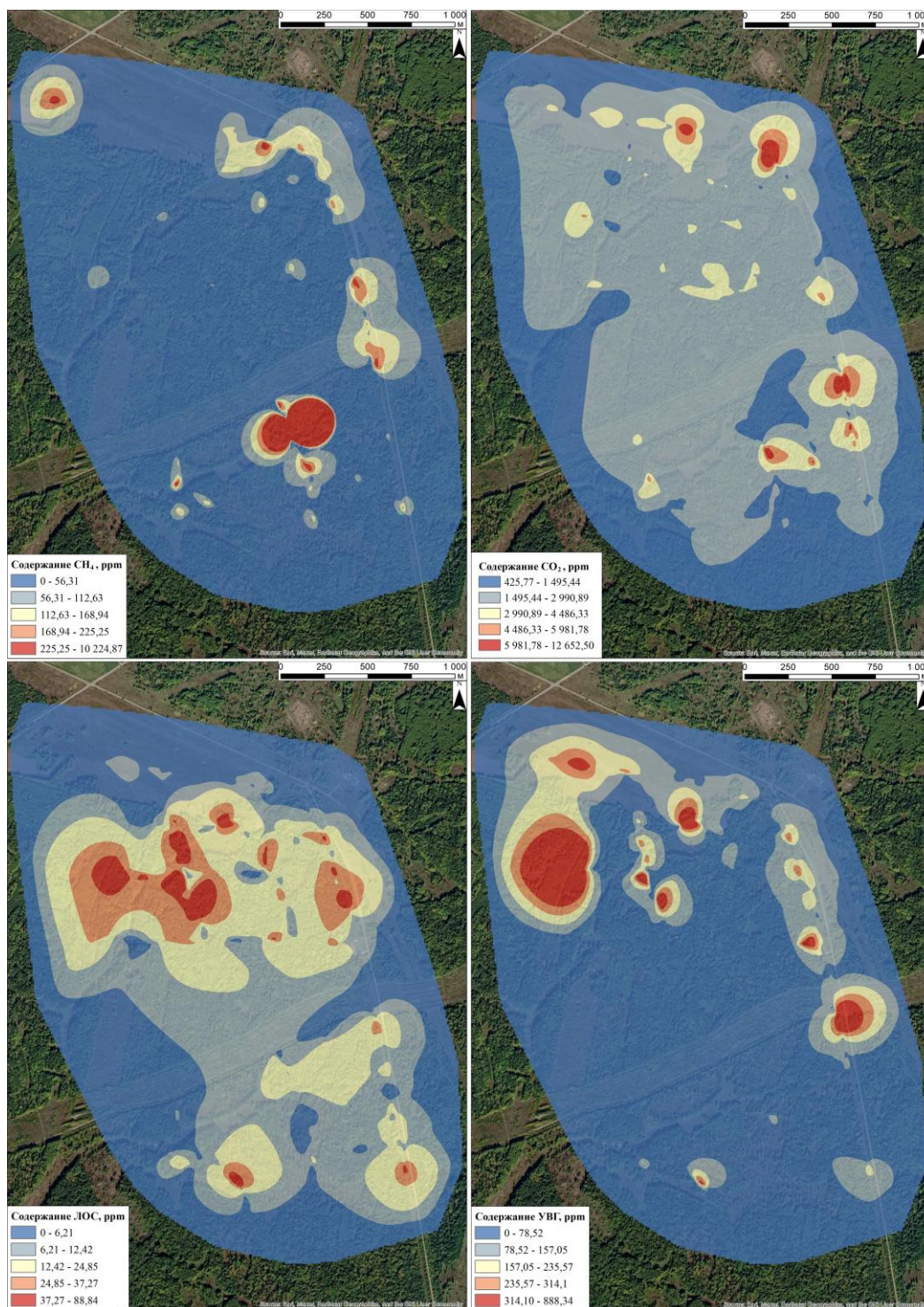


Рис. 7. Распределение содержания газов в подгумусовом горизонте почвы

Fig. 7. Distribution of gas content in the subhumus horizon

Наиболее высокие относительно фона значения характерны для ЛОС. Преобладающие по площади фоновые концентрации выявлены для CH_4 и УВГ в диапазоне от 0–56,31 ppm и 0–48,52 ppm соответственно. Повышенные

Экология и природопользование
Кучин Л.С.

концентрации газов сосредоточены в основном на севере и востоке исследуемой территории, что может быть связано с расположением нефтепромысловых объектов (скважин, нефтепроводов).

По данным распределения были выявлены зоны максимальной концентрации подпочвенных газов, которые представляют собой газогеохимические аномалии, всего выявлено 32 ареала газогеохимических аномалий (рис. 8).

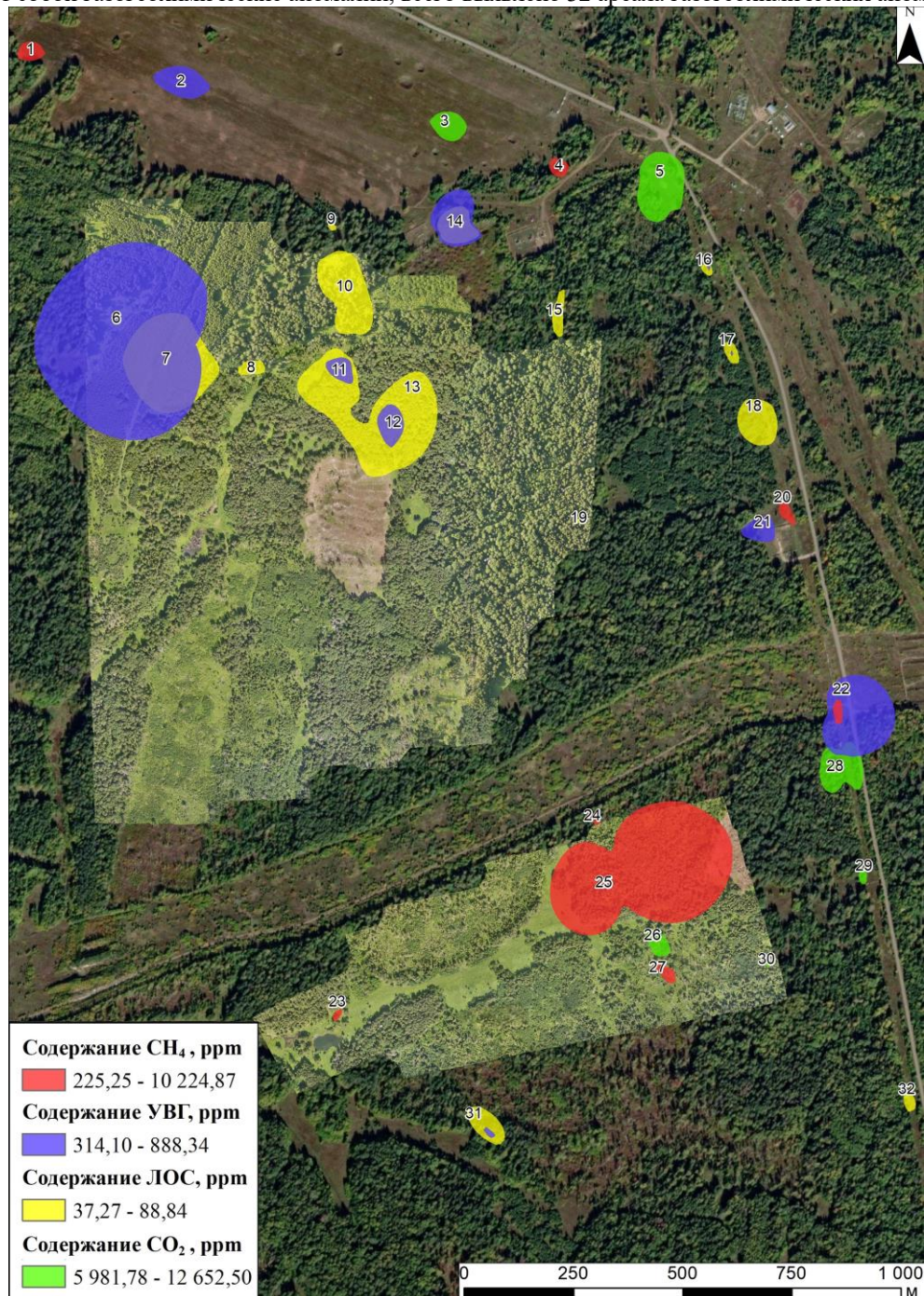


Рис. 8. Распределение газогеохимических аномалий. 1–32 – ареалы газогеохимических аномалий
Fig. 8. Distribution of gas-geochemical anomalies. 1–32 – areas of gas-geochemical anomalies

На территории исследования выделено шесть типов газогеохимических аномалий (табл.). Газогеохимические аномалии в северо-восточной части исследуемой территории связаны с нефтепромысловыми объектами. Наибольшая часть газогеохимических аномалий смешанного типа (УВГ и ЛОС) располагается в лесном массиве на севере, северо-западе района обследования. Крупная метановая газогеохимическая аномалия расположена на юге.

По наличию и сочетанию газов выявленные газогеохимические аномалии можно типизировать (табл.).

Экология и природопользование
Кучин Л.С.

Таблица

Типы газогеохимических аномалий
Types of gas-geochemical anomalies

№	Тип газогеохимической аномалии	Номера ареалов на карте (рис. 8)	Содержание газа, ppm	Площадь, га	Доля площади, %
1	Высокие концентрации УВГ	2,6,21	314,10–888,34	14,68	36,63
2	Высокие концентрации ЛОС	8, 9, 10, 13, 15, 18, 19, 32	37,27–88,84	8,24	20,56
3	Высокие концентрации CH ₄	1, 4, 20, 23, 24, 25, 27	225,25–10224,87	9,51	23,73
4	Высокие концентрации CO ₂	3, 5, 26, 28, 29, 30	5981,78–12652,50	2,98	7,44
5	Высокие концентрации УВГ и ЛОС одновременно	7, 11, 12, 14, 16, 17, 31	314,10–888,34 и 37,27–88,84	4,56	11,38
6	Высокие концентрации УВГ и CH ₄ одновременно	22	314,10–888,34 и 225,25–10224,87	0,11	0,27

Из шести типов выделенных газогеохимических аномалий четыре вызваны превышением по содержанию только одного газа. Для двух типов аномалий характерно сочетание двух газов: УВГ и ЛОС; УВГ и CH₄.

Основная доля аномалий с превышением УВГ сконцентрирована на севере (рис. 8). Данные геохимические аномалии занимают наибольшую долю площади обследованного района. Небольшая аномалия такого же типа расположена на востоке рядом с площадкой скважин, неподалеку от нее выделена метановая аномалия.

Аномалии с высоким содержанием ЛОС и УВГ свойственны лесному массиву на севере (рис. 8). Данная особенность распространения может быть вызвана миграцией нефтепродуктов по зонам трещиноватости из нефтеносных пластов. Миграция может быть причиной нефтезагрязнения ключей в верховьях р. Ясыл, поскольку газогеохимические аномалии приурочены к берегам данной реки, и в периоды паводков нефтепродукты разгружаются в родники вместе с грунтовыми водами. Подобные процессы были выявлены на других нефтяных месторождениях Пермского края [3, 12].

Аномалии с превышением ЛОС в основном расположены в северной части, в лесном массиве в верховьях р. Ясыл. Относительно небольшое количество аномалий данного типа распределено в районе нефтепровода на востоке.

Газогеохимическая аномалия с высоким содержанием УВГ и CH₄ выявлена только на нефтепроводе и может быть связана с отказами оборудования на данном участке.

Распространение аномалий: УВГ; ЛОС; УВГ и ЛОС; УВГ и CH₄; зачастую связывают с местами залегания нефтеносных пластов [2] и миграцией от них газов. Этим можно объяснить расположением аномалий в лесном массиве вдали от нефтепромысловых объектов. Возможны также техногенная миграция и вторичная аккумуляция углеводородов в полостях карстового массива.

Наиболее высокая доля аномалий с высоким содержанием метана расположена в южной части исследуемой территории (рис. 8). Данная аномалия находится неподалеку от Пономаревской пещеры, в которой ранее фиксировались проявления нефтезагрязнения [19]. Метановые аномалии могут быть различного происхождения. Достаточно высокая миграционная способность может свидетельствовать о поступлении метана от газонефтяного месторождения. Также можно предположить аварийное поступление углеводородов, их аккумуляцию в карстовом массиве и постепенное разрушение в процессе микробного метаногенеза.

Большая часть газогеохимических аномалий по содержанию CO₂ расположена в районе нефтепровода. Аномалии данного типа занимают наименьшую площадь. Аномальные концентрации углекислого газа свидетельствуют об аэробных разрушениях органического вещества, что, вероятно, связано с поступлением техногенных углеводородов и их последующей микробной деградацией.

Существуют предположения о техногенном происхождении данных газогеохимических аномалий, которые диагностируют аккумуляцию углеводородов в подземных водах при последующей разгрузке в поверхностные водотоки. Подобные скопления обусловлены повышенным пластовым давлением в разрабатываемых нефтяных залежах и возможностью его передачи в надпродуктивные горизонты или наличием техногенных резервуаров, контролирующих вторичные скопления газов в верхней части геологической среды [10].

Значения мультиспектральных индексов в пределах газогеохимических аномалий и фоновых участков, расположенных в лесных экосистемах, отражены в графиках (рис. 9).

Рост значений вегетационных индексов лесных экосистем относительно фона наблюдается для всех типов газогеохимических аномалий, что согласуется с положительным трендом для всей территории исследования (рис. 3–6).

Считается, что нефтяное загрязнение может оказывать и положительное влияние на вегетацию растений. Такое влияние выявлено для растений экосистем пустынь и полупустынь, находящихся над зонами глубинных разломов нефтеносных территорий [8]. Наибольший положительный прирост значений индексов связан с газогеохимическими аномалиями УВГ. Данная особенность регистрируется по индексам NDVI и GNDVI.

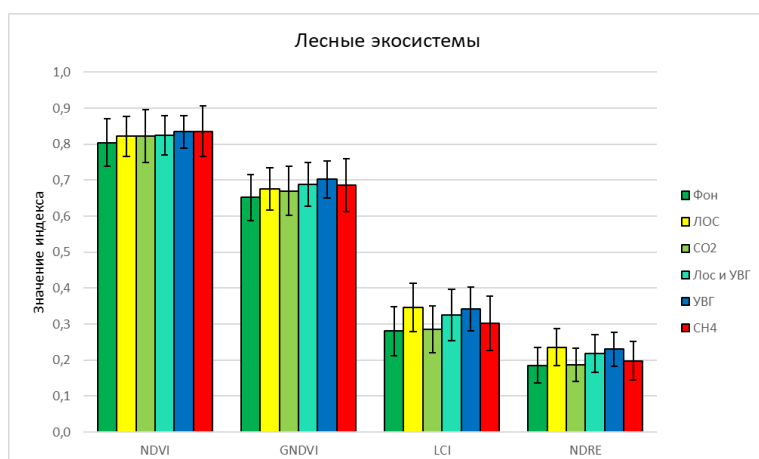


Рис. 9. График значений мультиспектральных индексов лесных экосистем для газогеохимических аномалий и фоновых участков

Fig. 9. Multispectral indices of forest ecosystems for gas-geochemical anomalies and background areas

дить излучению более глубоко в структуру листа [10].

Значения мультиспектральных индексов в пределах газогеохимических аномалий и фоновых участков, расположенных в луговых экосистемах, отражены в графиках (рис. 10).

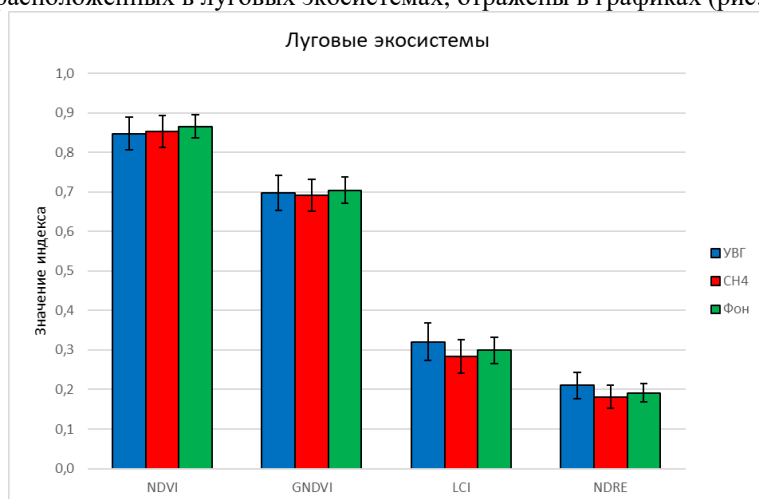


Рис. 10. График значений мультиспектральных индексов луговых экосистем для газогеохимических аномалий и фоновых участков

Fig. 10. Multispectral indices of meadow ecosystems for gas-geochemical anomalies and background areas

Индекс NDVI имеет наименьшую разницу в значениях между фоном и максимальными концентрациями почвенных газов. У индекса GNDVI еще более выражен рост значений для газогеохимических аномалий, содержащих УВГ, CH₄, а также одновременно ЛОС и УВГ.

Мультиспектральным индексам LCI и NDRE свойственен рост значений для газогеохимических аномалий по содержанию ЛОС. Однако, в отличие от GNDVI и NDVI, эти индексы фиксируют более контрастный рост значений для газогеохимических аномалий, что может быть связано с применением в синтезе этих индексов Red Edge (красный край). Считается, что отличием диапазона «красный край» от излучения в красном диапазоне является более высокая яркость излучения, это позволяет прохо-

Значения NDVI и GNDVI фиксируют снижение вегетации на территории аномалий по сравнению с фоновой экосистемой для луговых экосистем, что является отличием от лесных экосистем. Данная особенность может быть связана с более высокой чувствительностью травянистой растительности или особенностями видового состава фоновых участков.

По индексам LCI и NDRE как лесных, так и луговых экосистем выявлен рост вегетационной активности для участков газогеохимических аномалий относительно фоновых участков, что может быть связано с применением в синтезе данных индексов канала Red Edge [10]. Нами предполагается, что индексы, синтезированные с применением данного канала, могут быть более информативны для оценки состояния растительности для выявления газогеохимических аномалий с высокими содержаниями УВГ и ЛОС.

Выводы

Вегетационные индексы реагируют на изменение концентрации газов подгумусового горизонта. Рост значений вегетационных индексов при увеличении концентрации подгумусовых газов считаем преобладающим трендом. Исключением являются концентрации ЛОС, для которых фиксируется тренд снижения значений NDVI и GNDVI. Взаимосвязь вегетационных индексов и концентрации подгумусовых газов сложная и нелинейная, что обусловлено комплексом биогеохимических процессов, протекающих в наземных и подземных биогеоценозах карстового массива.

Всего выявлено шесть типов газогеохимических аномалий. Четыре типа связаны с преобладанием высоких концентраций только одного газа (CH₄, CO₂, ЛОС, УВГ). Два типа аномалий связаны с преобладанием максимальных концентраций двух газов (УВГ и ЛОС или УВГ и CH₄). Наиболее распространены газогеохимические

Экология и природопользование

Кучин Л.С.

аномалии УВГ. Все аномалии, но прежде всего УВГ, диагностируют аккумуляцию нефтепромысловых углеводородов.

Для всех типов газогеохимических аномалий свойственен рост значений вегетационных индексов лесных экосистем. Наибольший рост значений индексов NDVI и GNDVI наблюдается для участков леса в газогеохимических аномалиях с содержанием УВГ от 314,10 до 888,34 ppm. По индексам LCI и NDRE наибольший рост наблюдается для участков леса в газогеохимических аномалиях с содержанием ЛОС от 37,27 до 88,84 ppm.

Наиболее контрастно определяются газогеохимические аномалии с высокими концентрациями УВГ и ЛОС по значениям индексов LCI и NDRE. Поэтому в дальнейшей работе планируется оценить изменение значений диапазона Red Edge и определить перечень мультиспектральных индексов, синтезированных на его основе, с целью выявления наиболее чувствительных к газогеохимическим аномалиям мультиспектральных индексов.

Необходимо провести сравнительный анализ видового состава растительности районов газогеохимических аномалий и фоновой территории, чтобы исключить влияние видового состава на значения мультиспектральных вегетационных индексов.

Перспективным является расширение площади мультиспектральной беспилотной съемки для включения ряда луговых экосистем. Для этого можно использовать материалы газогеохимической съемки, проведенной в бассейне р. Каменки.

Для выделения газогеохимических аномалий перспективно проведение съемки и картирования распределения концентраций углеводородных газов в атмосферном воздухе при помощи газоанализатора, интегрированного на БПЛА.

Библиографический список

1. Андреев Д.Н., Дзюба Е.А., Хотяновская Ю.В. Биотический мониторинг в карстовом районе нефтедобычи (Пермский край) // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. № 3. С. 87–89. EDN: ZUJVAT
2. Бачурин Б.А., Одинцова Т.А., Борисов А.А. К методике идентификации источников нефтезагрязнения геологической среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 10. С. 291–298. EDN: LDFDRZ
3. Бачурин Б.А., Костарев С.М. Современные геохимические технологии идентификации источников нефтяного загрязнения гидросферы // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 11. С. 45–50. EDN: ZSIXTV
4. Борисов А.А., Бачурин Б.А. О природе нефтезагрязнения Камского водохранилища в районе Полазненского месторождения // Горное эхо. № 3 (76). С. 17–20. DOI: 10.7242/echo.2019.3.5 EDN: VSKDQY
5. Братков В.В., Кравченко И.В., Туаев Г.А., Атаев З.В., Абдулжалимов А.А. Применение вегетационных индексов для картографирования ландшафтов Большого Кавказа // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2016. № 4. С. 97–111. EDN: XYETCR
6. Бузмаков С.А. Сеть особо охраняемых природных территорий Пермского края // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. № 3 (54). С. 135–148. DOI: 10.17072/2079-7877-2020-3-135-148 EDN: VHFGGD
7. Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Кучин Л.С., Игошева Е.А., Абдулманова И.Ф. Применение беспилотной аэрофотосъемки для диагностики техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 180–193. DOI: 10.31897/PMI.2023.22 EDN: OYQTDS
8. Грищенко О.М. Ботанические аномалии как поисково-разведочный критерий нефтегазоносности // Экология. 1982. № 1. С. 18–22.
9. Гусев А.П. Дистанционные индикаторы деградации лесных геосистем юго-востока Беларуси // Вести Белорусского государственного педагогического университета. Серия 3. Физика. Математика. Информатика. Биология. География. 2020. № 1 (103). С. 46–50. EDN: EBVGTX
10. Каплин В.Г., Чичкова Е.Ф., Грядун Д.А., Кочин Д.А. Дистанционные методы мониторинга продуктивности посевов озимой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2022. № 2. С. 61–72. EDN: WVRPFF
11. Катаев В.Н., Печенкина Е.И. Поверхностные формы карста Ясильского поля // Гидрогеология и карстование: межвуз. сб. науч. тр. Пермь: Перм. ун-т., 2000. Вып. 13. С. 238–246.
12. Костарев С.М. Актуальные аспекты нефтепромысловой гидрогеологии в районах нефтедобычи Пермского края // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения: сб. науч. ст. по материалам Международной научно-практической конференции, Пермь, 17 ноября 2020 года / гл. редактор И.С. Копылов. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2021. С. 144–151. EDN: OMLBSY
13. Кудинов В.В., Гольчикова Н.Н. Локализация фонда ликвидированных скважин и типизация территории Астраханского региона по степени экологического риска // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. № 2. С. 49–55. DOI: 10.24143/1812-9498-2023-2-49-55 EDN: JUPHRJ
14. Москвиченко Д.В., Бабушкин А.Г., Идрисов И.Р. Оценка техногенной нарушенности нефтяных месторождений Среднего Приобья с использованием спутниковых снимков // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 5. С. 53–61. DOI: 10.31857/S0869780920050069 EDN: ADCDNB
15. Приложение DJI Terra для картографии и геодезии. URL: <https://dji-blog.ru/obzory/prilozhenie-dji-terra-dlja-kartografii-i-geodezicheskikh-issledovanij.html?ysclid=m6j9k2hdm735146171> (дата обращения 15.01.2025)
16. Ракутько С.А., Мишанов А.П., Маркова А.Е., Мурзаев Е.А. Биоиндикационная оценка состояния агроэкосистемы свеклопольного поля в органическом севообороте с использованием мультиспектральной съемки // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 4 (113). С. 19–36.
17. Тимшанов Р.И., Белоносов А.Ю., Шешуков С.А. Применение геохимической съемки на разных стадиях геолого-разведочных работ // Геология нефти и газа. 2018. № 3. С. 103–109 DOI:10.31087/0016-7894-2018-3-103-109 EDN: LYARNJ

Экология и природопользование

Кучин Л.С.

18. Токарева О.С., Пасько О.А., Маджид С.М., Кабраль П. Мониторинг состояния растительного покрова территории центрального Ирака с использованием спутниковых данных Landsat-8 // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. № 6. С. 19–31. DOI: 10.18799/24131830/2020/6/2671 EDN: XMOFAL
19. Хотяновская Ю.В. Изменение природной среды в карстовом районе при добыче нефти: диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук: 1.6.21. 2024. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет. 190 с. EDN: OTQUPD
20. Al-Jabri K, Al-Mulla Y, Melgani F, Stefanakis A. Remote Sensing Analysis for Vegetation Assessment of a Large-Scale Constructed Wetland Treating Produced Water Polluted with Oil Hydrocarbons // Remote Sensing. 2023. 15 (24):5632. DOI: 10.3390/rs15245632 EDN: ERWLQE
21. Khotyanovskaya, Y., Buzmakov, S. & Sannikov, P. Identification of oil mining technogenesis based on aerial photography data. J Soils Sediments. 2023. 23. P. 973–988. DOI: 10.1007/s11368-022-03357-y EDN: TAUGVO
22. Naguib N., Daliman Shaparar. Analysis of NDVI and NDRE Indices Using Satellite Images for Crop Identification at Kelantan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. 1102. 012054. DOI: 10.1088/1755-1315/1102/1/012054 EDN: AJGCUO
23. Ta Na, Chang Qingrui, Zhang Youming. Estimation of Apple Tree Leaf Chlorophyll Content Based on Machine Learning Methods // Remote Sensing. 2021. 13. doi: 3902.10.3390/rs13193902.
24. Wanasinghe T.R., Gosine R.G., De Silva O., Mann G.K., James L.A., Warrian P. Unmanned Aerial Systems for the Oil and Gas Industry: Overview, Applications, and Challenges // IEEE Access. 2020 Vol. 8. P. 166980–166997. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3020593 EDN: WCDNPN

References

1. Andreev, D.N., Dzyuba, E.A., Khotyanovskaya, Y.V., (2017). Biotic monitoring in the karst oil production area (Perm Krai). *Anthropogenic Transformation of Nature*. 3. pp. 87–89.
2. Bachurin B.A., Odintsovo T.A., Borisov A.A., (2009). Towards a methodology for identifying sources of oil pollution in the geological environment. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 10. pp. 291–298.
3. Bachurin, B.A., Kostarev, S.M., (2017). Modern geochemical technologies for identifying sources of oil pollution of the hydrosphere. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 11. pp. 45–50.
4. Borisov, A.A., Bachurin, B.A., (2019). On the nature of the oil contamination of the Kama reservoir in the area of the Porozhenskoye field. *Gornoe ekho*. 3(76). pp. 17–20. <https://doi.org/10.7242/echo.2019.3.5>
5. Bratkov, V.V., Kravchenko, I.V., Tuaeov, G.A., Ataev, Z.V., Abdulgalimov, A.A., (2016). Application of vegetation indexes for mapping landscapes of the Greater Caucasus *Scientific journal Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences*. 4. pp. 97–111.
6. Buzmakov, S.A., (2020). Network of specially protected natural territories of the Perm Territory. *Geographical bulletin*. 3(54). pp. 135–148. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-3-135-148>
7. Buzmakov, S.A., Sannikov, P.Yu., Kuchin, L.S., Igosheva, E.A., Abdulmanova, I.F., (2023). The use of unmanned aerial photography for the diagnosis of anthropogenic transformation of the natural environment during the operation of an oil field. *Notes of the Mining Institute*. Vol. 260. pp. 180–193. <https://doi.org/10.31897/PML.2023.22>
8. Grishchenko, O.M., (1982). Botanical anomalies as a prospecting and exploration criterion of oil and gas potential. *Ecology*. No. 1. C. 18–22.
9. Gusev, A.P., (2020). Remote indicators of degradation of forest geosystems in the southeast of Belarus. *News of the Belarusian State Pedagogical University. Series 3. Physics. Mathematics. Computer science. Biology. Geography*. 1 (103). pp. 46–50.
10. Kaplin, V.G., Chichkova, E.F., Grydunov, D.A., Kochin, D.A., (2022). Remote methods of monitoring the productivity of winter triticale crops in the forest-steppe of the Middle Volga region. *Bulletin of the Moscow University. Episode 5: Geography*. 2. pp. 61–72.
11. Kataev, V.N., Pechenkina, E.I. (2000). Surface forms of the Yasylsky field karst. *Hydrogeology and karst science: Interuniversity collection of scientific works*. PSU. Perm. Issue. 13. pp. 238–246.
12. Kostarev, S.M., (2021). Actual aspects of oilfield hydrogeology in the oil production areas of the Perm Region. *Geoecology, engineering geodynamics, geological safety. Pecherkin Readings: A collection of scientific articles based on the materials of the International Scientific and Practical Conference, Perm, November 17, 2020. Editor-in-chief I.S. Kopylov*. Perm: Perm State National Research University. pp. 144–151.
13. Kudinov, V.V., Golchikova, N.N., (2023). Localization of the fund of liquidated wells and typification of the territory of the Astrakhan region according to the degree of environmental risk. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2. pp. 49–55. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-2-49-55>
14. Moskovchenko, D.V., Babushkin, A.G., Idrisov, I.R. (2020). Assessment of technogenic disturbance of oil fields of the Middle Ob region using satellite images. *Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology*. 5. pp. 53–61. <https://doi.org/10.31857/S0869780920050069>
15. DJI Terra application for cartography and geodesy. URL: <https://dji-blog.ru/obzory/prilozhenie-dji-terra-dlja-kartografii-i-geodezicheskikh-issledovaniy.html?ysclid=m6j9k2hdm735146171> (date of request 15.01.2025)
16. Rakutko, S.A., Mishanov, A.P., Markova, A.E., Murzaev, E.A., (2022). Bioindication assessment of the agroecosystem of a beet field in organic crop rotation using multispectral imaging. *Agroecoengineering*. 4 (113). pp. 19–36.
17. Timshanov, R.I., Belonosov, A.Yu., Sheshukov, S.A., (2018). Application of geochemical surveying at different stages of geological exploration work. *Geology of oil and gas*. 3. pp. 103–109 <https://doi.org/10.31087/0016-7894-2018-3-103-109>
18. Tokareva, O.S., Pasko, O.A., Majid, S.M., Cabral, P., (2020). Monitoring of vegetation cover in central Iraq using Landsat-8 satellite data. *Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 6. pp. 19–31. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/6/2671>
19. Khotyanovskaya, Y.V., (2024). Changes in the natural environment in the karst region during oil production: dissertation for the degree of Candidate of Geographical Sciences: 1.6.21. Perm state university. Perm. P. 190.

Экология и природопользование

Кучин Л.С.

20. Al-Jabri, K, Al-Mulla, Y, Melgani, F, Stefanakis, A., (2023). Remote Sensing Analysis for Vegetation Assessment of a Large-Scale Constructed Wetland Treating Produced Water Polluted with Oil Hydrocarbons. *Remote Sensing*. 15(24):5632. <https://doi.org/10.3390/rs15245632>
21. Khotyanovskaya, Y., Buzmakov, S. Sannikov, P., (2023). Identification of oil mining technogenesis based on aerial photography data. *J Soils Sediments*. 23. pp. 973–988. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03357-y>
22. Naguib, N.S., Daliman, S., (2022). Analysis of NDVI and NDRE Indices Using Satellite Images for Crop Identification at Kelantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1102. 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1102/1/012054>
23. Na, T., Qingrui, Ch., Youming, Zh., (2021). Estimation of Apple Tree Leaf Chlorophyll Content Based on Machine Learning Methods. *Remote Sensing*. 13. 3902. <https://doi.org/10.3390/rs13193902>
24. Wanasinghe, T.R., Gosine, R.G., De Silva, O., Mann, G.K., James, L.A., Warrian P., (2020). Unmanned Aerial Systems for the Oil and Gas Industry: Overview, Applications, and Challenges // *IEEE Access*. Vol. 8. P. 166980–166997. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3020593>

Статья поступила в редакцию: 31.01.25, одобрена после рецензирования: 04.03.25, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 31 January 2025; approved after review: 04 March 2025; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторе

Леонид Сергеевич Кучин

аспирант кафедры биогеоэкологии и охраны
природы географического факультета
Пермского государственного национального
исследовательского университета;
614068, Россия, Пермь, улица Букирева, 15,

Information about the author

Leonid S. Kuchin

Postgraduate Student, Department of Biogeocenology and
Nature Conservation, Geography Faculty, Perm State
University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: kleond@bk.ru

Картография и геоинформатика
Московченко Д.В., Фахретдинов А.В.

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

Научная статья

УДК: 911.52+551.345.1+528.87

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-174-184

КРУПНОМАСШТАБНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ МЕРЗЛЫХ ТОРФЯНИКОВ НА ЮГЕ КРИОЛИТОЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Дмитрий Валерьевич Московченко¹, Артур Венерович Фахретдинов²

^{1,2} Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, г. Тюмень, Россия

¹ moskovchenko1965@gmail.com, ORCID 0000-0001-6338-7669, SPIN-код: 1737-1501, РИНЦ Author ID: 100984, Scopus Author ID: 8303528400, ResearcherID: I-5635-2018

² arthurfahretdinov@gmail.com, ORCID 0000-0002-8975-9771, SPIN-код: 6893-9480, РИНЦ Author ID: 1135747, ResearcherID: HKN-6575-2023

Аннотация. На юге криолитозоны мерзлота, за редким исключением, приурочена к бугристым торфяникам. Для прогноза изменения ландшафтов под влиянием потепления и организации мониторинга необходимы точные данные о распространении торфяников и занимаемой ими площади. Однако крупномасштабные карты, на которых отмечено распространение мерзлых торфяников, очень редки. Нами проведено картографирование мерзлых торфяников в районе Сибирских Увалов в зоне островного распространения многолетнемерзлых пород (ММП). В ходе полевых исследований были выделены участки с мерзлыми грунтами, проведены замеры температурного режима и глубины протаивания. Отмечено, что крупнобугристые торфяники сильнее прогреваются летом и охлаждаются зимой. Температура грунта на глубине нулевых теплооборотов близка к 0 °С. В качестве источника данных при картографировании использованы спутниковые снимки Landsat. Тестирование различных методов обработки изображений показало, что наибольшая точность распознавания достигнута при использовании метода Random Forest (значение коэффициента χ «каппа» – 0,96). Повторное картографирование с использованием снимка за другой год показало высокое сходство: различия выделенных типов поверхности составили менее 2 %, что доказало эффективность метода. Согласно построенным картам, торфяники занимают примерно четверть обследованного участка. Это один из самых крупных массивов мерзлых торфяников в зоне островного распространения мерзлоты. Несмотря на то, что участок расположен в зоне крупнобугристых болот, крупнобугристые торфяники встречаются примерно в три раза реже, чем плоскобугристые, что косвенно говорит об их слабой устойчивости.

Ключевые слова: мерзлые торфяники, потепление климата, растительный покров, классификация спутниковых снимков, спектральные характеристики

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0006) и за счет гранта РНФ (23-27-00366 «Современная динамика мерзлых торфяников на южной границе распространения в Западной Сибири»).

Для цитирования: Московченко Д.В., Фахретдинов А.В. Крупномасштабное картографирование мерзлых торфяников на юге криолитозоны Западной Сибири // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 174–184. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-174-184

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-174-184

LARGE-SCALE MAPPING OF PALSAS IN THE SOUTH OF THE CRYOLITHOZONE OF WESTERN SIBERIA

Dmitrii V. Moskovchenko¹, Artur V. Fakhretdinov²

^{1,2} Tyumen Scientific Center, SB RAS, Tyumen, Russia

¹ moskovchenko1965@gmail.com, ORCID 0000-0001-6338-7669, SPIN-code: 1737-1501, RSCI Author ID: 100984, Scopus Author ID: 8303528400, ResearcherID: I-5635-2018

² arthurfahretdinov@gmail.com, ORCID 0000-0002-8975-9771, SPIN-code: 6893-9480, RSCI Author ID: 1135747, ResearcherID: HKN-6575-2023



© 2025 Эта работа Московченко Д.В., Фахретдинова А.В. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Картография и геоинформатика
Московченко Д.В., Фахретдинов А.В.

Abstract. In the south of the cryolithozone, permafrost, with rare exceptions, is confined to palsas. Accurate data on the distribution of palsas and on the area occupied by them is needed to predict changes in landscapes under the influence of warming and to organize monitoring. However, large-scale maps showing the spread of palsas are very rare. We have mapped palsas in the area of Siberian Ridges in the zone of island distribution of permafrost. In the course of field research, areas with frozen soils were identified, temperature conditions and thawing depth were measured. High-mound palsas were noted to warm up to a greater extent in the summer and cool down in the winter. The ground temperature at the depth of zero annual amplitude is close to 0°C. Landsat satellite images were used as a data source for mapping. Testing of various image processing methods showed that the highest recognition accuracy was achieved using the Random Forest method (the kappa coefficient was 0.96). Repeated mapping using an image from another year showed high similarity: the differences in the selected surface types were less than 2%, which proved the effectiveness of the method. According to the maps, palsas occupy about a quarter of the research area. This is one of the largest arrays of palsas in the zone of island distribution of permafrost. Although the site is located in a zone of high-mound peatlands, high-mound palsas are about three times less common than flat-mound ones, which indirectly indicates their weak stability.

Keywords: palsas, climate warming, vegetation cover, classification of satellite images, spectral properties

Funding. The research was carried within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. FWRZ-2021-0006) and was funded by the Russian Science Foundation (project No. 23-27-00366 'Modern dynamics of frozen peatlands at the southern boundary of distribution in Western Siberia')

For citation: Moskovchenko, D.V., Fakhretdinov, A.V. (2025). Large-scale mapping of palsas in the south of the cryolithozone of Western Siberia. *Geographical Bulletin*. No. 1 (72). Pp. 174–184. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-174-184

Введение

В настоящее время в связи с глобальным потеплением климата много внимания уделяется проблеме деградации вечной мерзлоты. Наиболее выраженные последствия ожидаются в зоне островного распространения ММП, где растет температура в деятельном слое и увеличивается глубина сезонного протаивания [11]. Изменение температурного режима вызывает активизацию термокарста и деградацию мерзлых бугров [26, 30]. Вместе с тем нередко противоположные процессы мерзлотного пучения на влагонасыщенных грунтах. Геодинамические процессы разрушения мерзлых бугров либо их пучения несут опасность для объектов инфраструктуры нефтедобывающего комплекса. На севере Западной Сибири примерно 25 % трубопроводов приходится на участки с бугристыми болотами [4].

Для прогнозирования устойчивости инженерных сооружений и мониторинга температурного режима пород необходимо определить расположение и площадь мерзлотных геосистем, а также иметь достоверную информацию о температуре пород и глубине сезонного протаивания. Согласно современным мелкомасштабным картографическим построениям, ММП в Западной Сибири распространены в виде изолированных островов примерно до 60 параллели [32]. Отдельные мерзлые бугры пучения встречались до 57° с.ш. [5, 6]. Однако крупномасштабные геокриологические карты, на которых точно обозначены участки распространения ММП в зоне островного и спорадического залегания, в настоящее время практически отсутствуют. Исключение составляют карты небольших участков в районе размещения мерзлотных стационаров Нового Уренгоя [33], Надыма [25] и Пур-Тазовского междуречья [9]. Следует согласиться с мнением о плохой изученности территорий вблизи южной границы криолитозоны [6].

Одним из наиболее эффективных методов определения геокриологических условий является геоботаническая индикация. К примеру, в зоне лесотундр тундровая растительность является индикатором мерзлых пород, в то время как лесная и высококустарниковая – талых [14]. Определенные растительные ассоциации с высокой достоверностью индицируют глубину сезонного протаивания [19]. Растительность чутко реагирует на современные климатические изменения: потепление климата приводит в лесотундре к смене кустарничково-лишайниково-сфагновых редин с линзами мерзлых пород тальми кустарничково-пушицево-осоково-сфагновыми болотами [20].

На юге криолитозоны индикаторами ММП являются торфяники [34]. Приуроченность мерзлоты к торфяникам была давно известна естествоиспытателям. Почти сто лет назад было отмечено, что мерзлые крупнобугристые болота чаще всего встречаются в зоне спорадической мерзлоты [8]. Сохранение мерзлоты в торфяниках обусловлено особыми теплофизическими свойствами торфа, который является хорошим теплоизолятором и сохраняет минусовую температуру пород даже если среднегодовая температура воздуха положительна [7]. По данным теплофизических подсчетов, ММП под торфом не тают, если среднегодовая температура воздуха не превышает +1,5 °C [29].

В настоящее время в исследованиях криолитозоны широкое применение находят методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Возрастающая роль дистанционных методов связана с возможностью оперативного получения информации о наземном объекте для обширных труднодоступных территорий за различные промежутки времени. Таким образом, выделив с применением ДЗЗ торфяники, можно с высокой достоверностью определить распространение ММП, подсчитать занимаемую ими площадь и оценить риск повреждения инженерных сооружений.

Методика распознавания торфяников на аэрофотоснимках была изложена в работах Государственного гидрологического института (ГГИ), основанных на многолетних наблюдениях в различных природных зонах Западной Сибири [24]. Однако в настоящее время аэрофотоснимки используются мало и вытеснены космоснимками, поскольку значительно возросла доступность последних в открытых источниках. Появились новые методы

Картография и геоинформатика
Московченко Д.В., Фахретдинов А.В.

геопространственного моделирования, позволяющие распознавать на космоснимках различные типы поверхности с высокой точностью. Выделение тех или иных типов поверхности по космоснимкам нашло широкое применение при анализе нарушенности ландшафтов тундр Западной Сибири [16, 17]. Однако для более южных участков такие работы редки, а исследователи обычно ограничиваются вычислением вегетационных индексов, по которым отслеживают климатогенную динамику растительности [13, 31, 36].

Целью работы было определение оптимальных методов крупномасштабного картографирования мерзлых торфяников в южной криолитозоне. Работа основана на результатах геоэкологических и геоботанических исследований, проведенных на территории природного парка Нумто (ХМАО – Югра).

Материалы и методы

Район исследования

Для разработки методики картографирования мерзлых торфяников был выбран прямоугольный участок 10х10 км, расположенный в южной части криолитозоны, на северном макросклоне Сибирских увалов в верховьях р. Казым (координаты 63°23'–63°30' с.ш., 70°38'–70°52' в.д.). Часть участка лежит в пределах природного парка Нумто, часть находится в промышленной разработке – здесь ведется добыча нефти и создана соответствующая инфраструктура (добывающие и разведочные скважины, трубопроводы, коридоры коммуникаций). Участок расположен на разделе двух болотных зон – крупнобугристых болот и выпуклых олиготрофных (сфагновых) болот [2]. По данным ближайшей метеостанции Юильск, среднегодовая температура воздуха за период 1969–2023 гг. составляет –3,5 °С, при этом наблюдается рост температур с скоростью 0,052 °С/год. В последнее десятилетие среднегодовая температура варьировала от –4,4 (2014 г.) до +0,5 °С (2020 г.).

Отличительной особенностью ландшафтов парка Нумто является распространение здесь бугристых мерзлых торфяников тундрового типа, которые формируют комплексы площадью до нескольких десятков км² [3]. Выделяют плоскобугристые и крупнобугристые торфяники. Сухие плоскобугристые мерзлые торфяники совершенно непохожи на немерзлые выпуклые торфяные болота таежной зоны. По общему облику ландшафта и структуре растительного покрова они близки к тундрам южного Ямала [1]. Бугры имеют вид плоских «лепешек» высотой 30–50 см, реже до 70 см, площадь которых может достигать нескольких сотен квадратных метров: кочковатая поверхность бугров, достаточно однообразный растительный покров (кустарничково-лишайниковый), включающий пятна [3]. Другим распространенным типом болот являются крупнобугристые торфяники, представляющие собой комплексы выпукло-вершинных мерзлых торфяно-минеральных бугров высотой до 12 м и переувлажненных понижений, в которых мерзлота обычно отсутствует. Мерзлые торфяники чередуются с немерзлыми сосново-кустарничково-сфагновыми, осоково-пушицевыми, травяно-гипновыми болотами. Дренированные участки, сложенные песчаными породами, покрыты разреженными сосновыми кустарничково-лишайниковыми лесами. В долинах рек развиты темнохвойные травяно-моховые леса.

Полевые исследования

Распространение мерзлоты и характер растительного покрова были изучены в ходе исследований, проведенных в 2018–2023 гг. Наличие мерзлоты и глубина сезонно-талого слоя были определены с применением металлического шупа. На участках, расположенных в пределах мерзлых торфяников, выполнялись геоботанические описания по стандартной методике [22], указывалась степень нарушенности растительного покрова, фиксировались экзогенные геологические и криогенные процессы – термокарст, подтопление, термоденудация, солифлюкция и т.д. Также нами были определены техногенные нарушения, гари и горельники. На 10 участках были пробурены геоэкологические скважины, в которых установлены датчики, фиксирующие температуру грунта с частотой 4 раза в сутки.

Методика обработки ДДЗ

Для определения ландшафтной структуры и картографирования мерзлых торфяников была использована управляемая классификация спутникового снимка Landsat-9 с разрешением 30 м от 28.07.2022 г. [35] в программном комплексе QGIS 3.36 с помощью плагина Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). Выбор даты снимка обусловлен отсутствием облачности и максимальным развитием растительности в вегетационный период. Предварительно была выполнена радиометрическая и атмосферная коррекция.

Классифицирование осуществлялось на основе мультиспектрального изображения, представленного в «естественных цветах» (комбинация каналов 4-3-2), что обусловлено удобством при проведении визуального дешифрирования для создания эталонных участков (выборок), используемых в качестве обучения. На космоснимках были выделены однородные участки (сегменты), на которых в ходе наземных полевых исследований были описаны различные типы поверхности (ТП). В качестве основной таксономической единицы природных комплексов были избраны урочища. Из сегментов площадью 2–5 га были сформированы обучающие выборки – совокупность пикселей, относящиеся к различным ТП.

Анализ видимой различимости объектов на спутниковом снимке и использование материалов полевых наземных исследований позволили выделить 8 основных ТП, формирующих ландшафтную структуру территории: крупно- и плоскобугристые мерзлые торфяники; олигомезотрофные переувлажненные болота; олиготрофные болота с угнетенной сосной; грядово-мочажинные болота; сосново-кедровые среднесомкнутые леса; сосновые лишайниковые редкостойные леса; пойменные елово-кедровые леса, водные поверхности. Помимо этого, выделено два дополнительных ТП, представляющих собой видоизмененные коренные урочища: гари и горельники,

Картография и геоинформатика
Московченко Д.В., Фахретдинов А.В.

антропогенно нарушенные территории (участки, занятые инфраструктурой нефтедобычи). Пирогенные урочища выделяли по изменению спектральных характеристик при помощи синтеза каналов 7-5-3 для более наглядного представления горелых территорий.

В работе было рассмотрено несколько алгоритмов формирования типов поверхности – Random Forest, Minimum Distance и Spectral Angle Mapper. Постобработка итоговых изображений включала вычисление достоверности обработанных растров и выявление площади полученных ТП. Для более качественной демонстрации результата были использованы инструменты геообработки «отсеивание» при минимальном заданном пороговом значении и «редактор растров». Помимо этого, для анализа различимости выделенных ТП по спектральным кривым были получены коэффициенты спектральной яркости (КСЯ).

Результаты

Геокриологические условия и геоботаническая характеристика

Замеры в геокриологических скважинах показали, что температура мерзлых пород в торфяниках на глубине годовых нулевых амплитуд (10 м) составляла от –0,1 до –0,47 °С. Преобладает диапазон –0,3...–0,2 °С. Таким образом, мерзлые грунты высокотемпературные, неустойчивые к дальнейшему потеплению.

Годовой ход температур в плоскобугристых и крупнобугристых торфяниках различается. Крупнобугристые торфяники сильнее охлаждаются зимой из-за небольшого слоя снега и сильнее прогреваются летом вследствие того, что растительный покров на них зачастую разрежен либо полностью отсутствует, слой торфа невелик из-за ветровой эрозии и растрескивания, влагонасыщенность торфа мала.

Глубина сезонного протаивания изменяется в зависимости от мощности торфа, характера растительности, расположения бугров и мочажин. Максимальное протаивание (2,0 м) отмечено на одиночных буграх пучения с маломощным (0,2–1,0 м), деградировавшим слоем торфа. Геоботаническим индикатором маломощного торфа и глубокого сезонного протаивания является древесный ярус из кедра на вершинах бугров. В случае если торфяные почвы на крупных буграх относятся к среднемощным и мощным, сезонное протаивание варьирует от 0,8 до 1,2 м (и более, если деградирующий торфяной бугор покрыт трещинами).

Глубина сезонного протаивания плоскобугристых торфяников зависит от местоположения. В центре крупных плоскобугристых массивов сезонное протаивание составляет 0,5–0,6 м, в краевых частях вблизи мочажин превышает 1,0 м. Поскольку длина щупа-мерзлотомера составляла 1,6 м, не было возможности точно определить наличие либо отсутствие мерзлоты в мочажинах, но кровля ММП не была в них обнаружена ни разу. Вероятно, мочажины являются талыми.

Растительность крупно- и плоскобугристых торфяников по набору видов – эдификаторов и доминантов – сходная. В большинстве случаев основу кустарничкового яруса составляет ерник с обилием сор1–сор3. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляет 10–40 % с преобладанием багульника, брусники, голубики, водяники, мирта болотного. Характерными видами травянистых растений являются морошка, осока шаровидная, пушица. Облик фитоценозов определяет доминирование кустистых лишайников *Cladina stellaris*, *C. Rangiferina*, *Cetraria islandica*, *C. delisei*, *C. nivalis*, *C. cucullata*, *Alectoria ochroleuca*. Растительность мочажин осоково-сфагновое, пушицевое, гидрофитнотравяное. Доминантами мочажин являются осоки (*Carex chordorrhiza*, *C. rotundata*, *C. limosa*), пушицы (*Eriophorum polystachyon*, *E. russeolum*), сфагновые мхи (*Sphagnum balticum*, *Sph. Lindbergii*). В центре крупных обводненных мочажин в большом количестве встречается вахта (*Menyanthes trifoliata*).

Спектральные особенности мерзлых торфяников на ДДЗ

Одной из поставленных в данной работе задач был выбор оптимального метода картографирования торфяников и в целом ландшафтов с использованием пакетов программ, применяемых для обработки геопространственных данных. Исходя из этого, было создано классифицированное изображение с различными ТП с характерными для них растительными сообществами, а также водными и техногенными объектами (рис. 1). Основным критерием построения классифицированного изображения по выделенным ТП являлась максимальная достоверность, рассчитываемая на основе матрицы ошибок [15]. Результат показал максимально высокую достоверность классификации при использовании метода Random Forest (99,6 %, значение коэффициента χ «каппа» – 0,96) (табл. 1). Меньшая общая точность определена при выборе алгоритмов Minimum Distance и Spectral Angle Mapper, что в немалой степени обусловлено низкой спектральной разделимостью классов торфяников с редкостойными сосняками кустарничково-лишайниковыми (значение евклидова расстояния < 1, показатель сходства Брея-Кертиса > 90 %). Визуально, а также при сравнении площадей это проявлялось в уменьшении доли торфяников (17–19 %) и увеличении площади облесенных территорий в сравнении с результатами по алгоритму классификации Random Forest (25 %) (табл. 2). Кроме этого, выявлена частичная ошибка пропуска и присоединения пикселей ерничково-кустарничково-лишайниковых торфяников с болотными микроландшафтами, что обусловлено соседством данных типов болотных комплексов и сходством флористического состава на их границах. В целом для снимков со средним и высоким пространственным разрешением при мозаичности растительного покрова актуальной остается проблема наличия смешанных пикселей и отсутствия явного доминирования определенного класса [12].

Картография и геоинформатика
Московченко Д.В., Фахретдинов А.В.

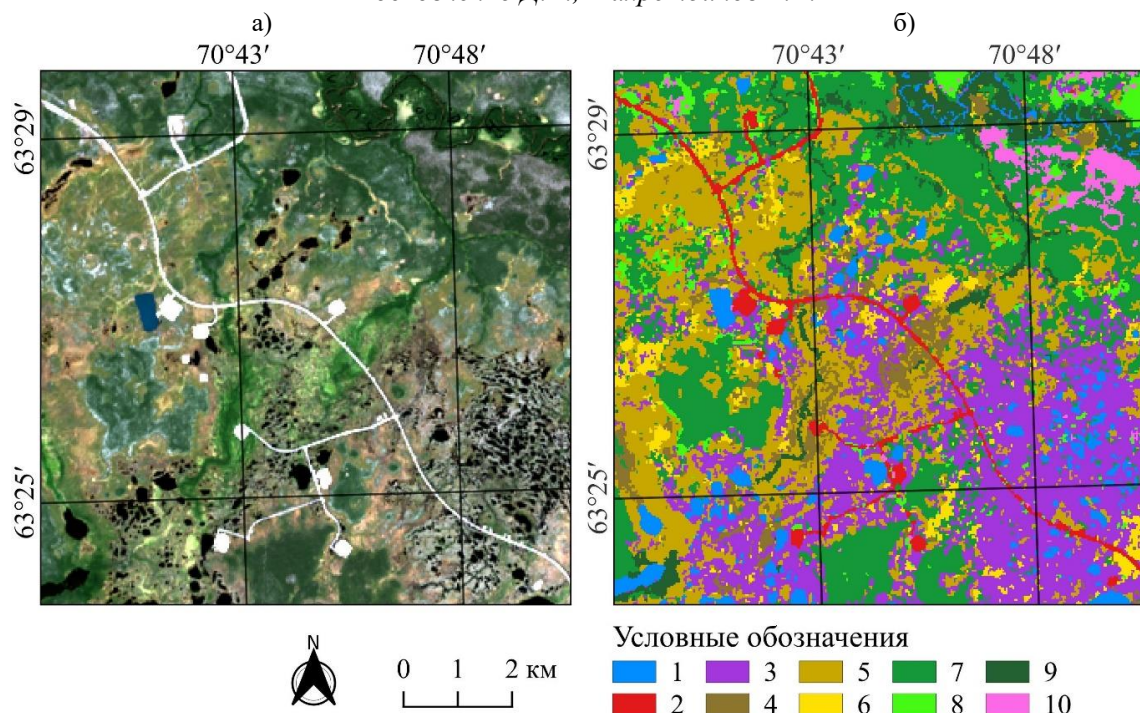


Рис. 1. а) спутниковое изображение территории исследования по данным мультиспектральной съёмки Landsat-9; б) карта-схема классифицированного растра с выделенными ТП (метод Random Forest):

1 – водные объекты; 2 – антропогенные объекты; 3 – крупно- и плоскобугристые мерзлые ерничково-кустарничково-лишайниковые торфяники; 4 – олигомезотрофные травяно-осоково-сфагново-гипновые переувлажненные болота; 5 – олиготрофные кустарничково-осоково-сфагновые болота, облесенные угнетенной сосной; 6 – грядово-мочажинные болотные комплексы с чередованием ерничково-кустарничково-сфагновых гряд и осоково-сфагновых обводненных мочажин; 7 – междуречные сосновые зеленомошно-лишайниковые и кедровые, местами лиственничные, кустарничково-зеленомошные и кустарничково-лишайниковые леса; 8 – сосновые лишайниковые редкостойные леса; 9 – пойменные елово-кедровые, с примесью берёзы, травяно-кустарничково-зеленомошные и багульниково-брусничные леса; 10 – горелые участки соснового лишайникового леса

Fig. 1. a) a satellite image of the research area according to Landsat-9; b) a map of the classified raster with selected surface types (Random Forest method): 1 – water bodies; 2 – anthropogenic objects; 3 – dwarf birch-shrub-lichen palsas; 4 – oligo-mesotrophic grass-sedge-sphagnum-hypnum moss bogs; 5 – oligotrophic shrub-sedge-sphagnum moss bogs forested with suppressed pine; 6 – hummock-ridge bog complexes with shrub-sphagnum moss ridges and sedge-sphagnum moss watered flarks; 7 – watershed pine green moss-lichen forests and cedar, in places with larch, shrub-green moss, and shrub-lichen forests; 8 – pine lichen sparse forests; 9 – floodplain spruce-cedar, in places with birch, grass-shrub-green moss and wild rosemary-lingonberry forests; 10 – burnt pine lichen forest areas

Таблица 1

Матрица ошибок выделенных классов при использовании различных методов классификации спутникового снимка Landsat-9

The error matrix of the selected classes when using various methods of classifying a Landsat-9 satellite image

1*	2*										3*	4*	5*	6*
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Метод Random Forest. Общая точность – 99,6 %, коэффициент χ «каппа» – 0,96														
1	93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93	0	0	100
2	0	149	0	0	0	0	0	0	0	0	149	0	0	100
3	0	0	225	0	0	0	1	0	0	0	226	1	3	99,6
4	0	0	0	97	0	0	0	0	0	0	97	0	0	100
5	0	0	1	0	187	0	0	0	0	0	188	1	1	99,5
6	0	0	0	0	0	68	0	0	0	0	68	0	0	100,0
7	0	0	2	0	1	0	843	0	1	1	848	5	2	99,4
8	0	0	0	0	0	0	1	231	0	0	232	1	0	99,6
9	0	0	0	0	0	0	0	0	87	0	87	0	1	100
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	138	138	0	1	100
всего	93	149	228	97	188	68	845	231	88	139	2126	8	8	-

Картография и геоинформатика
Московченко Д.В., Фахретдинов А.В.

Окончание табл. 1

1*	2*										3*	4*	5*	6*
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Метод Minimum Distance. Общая точность – 87,9 %, коэффициент χ «каппа» – 0,81														
1	93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93	0	0	100
2	0	149	0	0	0	0	0	0	0	0	149	0	2	100
3	0	0	172	0	0	0	53	0	0	1	226	54	117	76,1
4	0	0	0	93	0	4	0	0	0	0	97	4	14	95,9
5	0	0	13	4	166	4	1	0	0	0	188	22	5	88,3
6	0	2	7	10	1	46	2	0	0	0	68	22	8	67,6
7	0	0	86	0	1	0	728	25	8	0	848	120	72	85,8
8	0	0	2	0	0	0	7	217	0	6	232	15	25	93,5
9	0	0	1	0	3	0	9	0	74	0	87	13	8	85,1
10	0	0	8	0	0	0	0	0	0	130	138	8	7	94,2
всего	93	151	289	107	171	54	800	242	82	137	2126	258	258	-
Метод Spectral Angle Mapper. Общая точность – 85,5 %, коэффициент χ «каппа» – 0,79														
1	93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93	0	0	100
2	0	149	0	0	0	0	0	0	0	0	149	0	10	100
3	0	0	122	8	0	17	79	0	0	0	226	104	99	54,0
4	0	0	22	45	12	6	6	0	6	0	97	52	38	46,4
5	0	0	0	13	171	0	1	0	3	0	188	17	12	91,0
6	0	0	17	10	0	40	1	0	0	0	68	28	25	58,8
7	0	0	54	3	0	1	782	3	5	0	848	66	104	92,2
8	0	9	0	0	0	0	10	213	0	0	232	19	6	91,8
9	0	0	0	4	0	0	5	0	78	0	87	9	14	89,7
10	0	1	6	0	0	1	2	3	0	125	138	13	0	90,6
всего	93	159	221	83	183	65	886	219	92	125	2126	308	308	-

* 1 – классы по выборкам, 2 – типы поверхности по классификации и число отнесенных к ним пикселей, 3 – количество пикселей в классе, 4 – ошибка комиссии (присоединение), пиксели, 5 – ошибка оmissии (пропуска), пиксели, 4 – точность выделения класса, %

* 1 – classes by regions of interest, 2 – surface types according to classification and the number of pixels assigned to them, 3 – the number of pixels in the class, 4 – commission error (joining), pixels, 5 – omission error (skipping), pixels, 4 – accuracy of class allocation, %

Для определения правильности выделения торфяников было произведено повторное классифицирование исследуемой территории на основе спутникового снимка Landsat-8 от 30.07.2023 г. Общая величина изменчивости ТП составила менее 2 % (табл. 2). Таким образом, избранный алгоритм позволяет достоверно выделить на космоснимках мерзлые бугристые торфяники и фиксировать их последующие изменения, вызванные потеплением климата.

Таблица 2

Доля различных ТП в районе исследования, согласно классификации методом Random Forest

The proportion of different types of surfaces in the research area, according to classification

by the Random Forest method

Тип поверхности, полученный при классификации	Площади, %		Изменение доли площадей к предыдущему году, %
	Landsat-9 от 28.07.2022	Landsat-8 от 30.07.2023	
1	3,62	3,59	-0,03
2	2,08	2,48	0,40
3	24,6	26,7	2,07
4	4,36	4,8	0,44
5	19,6	17,4	-2,22
6	3,78	5,24	1,46
7	31,4	31,1	-0,28
8	3,85	2,62	-1,23
9	4,69	4,61	-0,08
10	2,07	2,07	0

Картография и геоинформатика
Московченко Д.В., Фахретдинов А.В.

Для наилучшего распознавания объектов нами также использовался КСЯ. Спектральные коэффициенты яркости являются отношением яркости объекта в данном направлении к яркости эталона (идеального рассеивателя) в том же направлении при одинаковом освещении обоих [10]. КСЯ нашли применение при оценке изменения свойств подстилающей поверхности [23], оценке состава растений в агроценозах [27], определении запасов кормов на оленьих пастбищах [18].

Значения КСЯ мерзлых торфяников в районе исследования составляют во 2 канале (синий) $0,025 \pm 0,002$ (\pm стандартное отклонение (SD)), в 3 канале (зеленый) $0,039 \pm 0,004$, в 4 канале (красный) $0,046 \pm 0,005$, в 5 канале (ближний инфракрасный) $0,21 \pm 0,021$ (рис. 2).

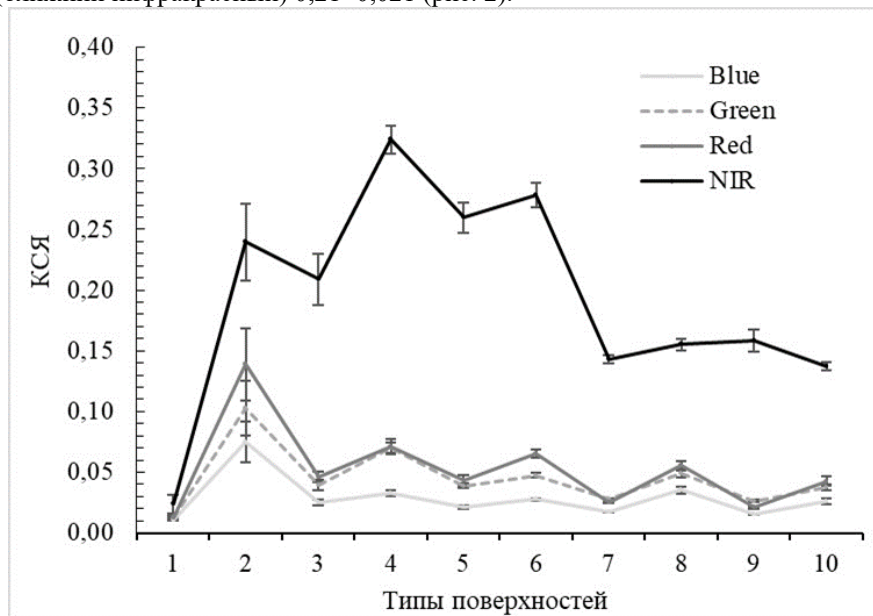


Рис. 2. Спектральные кривые по ТП с 2 по 5 каналы классифицированных спутниковых изображений Landsat-9, природный парк «Нумто» (в виде пределов погрешностей указаны значения стандартного отклонения)

Fig. 2. Spectral signatures according to the surface types from 2 to 5 bands of classified Landsat-9 satellite images, Numto Nature Park (the values of the standard deviation are indicated as error limits)

Анализ спектральных кривых выделенных ТП показывает, что ерничково-кустарничково-лишайниковые торфяники по всем 4 каналам по величине КСЯ уступают большинству болотных микроландшафтов. При сопоставлении яркостных характеристик торфяников с лесными урочищами важную роль имеет степень преобладания лишайников в напочвенном покрове и сомкнутость древостоя – по значению КСЯ в видимом диапазоне (2–4 каналы) густые пойменные и водораздельные смешанные леса уступают торфяникам, а придолинные сосновые лишайниковые редколесья, наоборот, заметно выше. Однако необходимо отметить, что отличительной особенностью торфяников является более высокое значение КСЯ в ближнем инфракрасном диапазоне спектра, чем для лесных геосистем.

Спектральная кривая гари в придолинном сосновом лишайниковом редколесье ниже, чем для участков, не затронутых пожаром, а при соотношении с торфяниками характеризуется меньшими значениями КСЯ в 3 и 4 каналах. Техногенным объектам на песчаных отсыпках присущи самые высокие величины КСЯ.

Следует отметить, что использование снимков Landsat в картографировании мерзлых торфяников имеет ограничения, поскольку небольшое пространственное разрешение не позволяет разделить плоско- и крупнобугристые торфяники, имеющие различные геоэкологические характеристики. Эта задача может быть решена применением космоснимков сверхвысокого разрешения. Выделенные с использованием снимков Landsat торфяники были нами проанализированы на снимках сверхвысокого разрешения QuickBird и WorldView2 [28]. Этот анализ с привлечением данных полевых ландшафтных описаний позволил разделить участки плоско- и крупнобугристых торфяников, различающихся по геоэкологическим условиям, а также выделить участки с длительнопромерзающими породами, залегающими под немерзлыми сосново-кустарничково-сфагновыми и осоково-гипновыми болотами. Согласно классификации, проведенной при помощи алгоритма Random Forest, бугристые торфяники занимают четверть территории исследования (25 %). Полученные по снимкам сверхвысокого разрешения результаты показали, что 19 % площади занято плоскобугристыми торфяниками, 6 % – крупнобугристыми, т.е. соотношение плоскобугристых к крупнобугристым составляет примерно 1:3. На обследованном участке доля крупнобугристых торфяников меньше, чем в среднем по региону. По данным исследований ГГИ, микроландшафты плоскобугристой группы занимают в среднем до 60 % площади болот северной тайги и лесотундры [24]. Малая площадь, занимаемая крупнобугристыми торфяниками, косвенно подтверждает их меньшую устойчивость к потеплению. Тенденция к росту температур воздуха, увеличению высоты снега, а также увеличение фитомассы кустарников и кустарничков, способствующее снегозадержанию, делают неблагоприятным прогноз сохранности ММП под крупнобугристыми торфяниками [21].

Заключение

На территории природного парка «Нумто» расположен один из самых крупных южных массивов мерзлых бугристых торфяников в зоне островного распространения ММП. Управляемая классификация с высокой степенью точности позволила выделять участки с мерзлыми бугристыми торфяными болотами. Наилучший результат

Картография и геоинформатика
Московченко Д.В., Фахретдинов А.В.

показал метод Random Forest. Отличительной особенностью криогенных геосистем является более низкая спектральная яркость в ближнем инфракрасном диапазоне длин волн при сравнении с другими типами болотных комплексов и более высокая при сопоставлении с лесными геосистемами. При анализе различимости природных комплексов в районе исследования по спектральным характеристикам наиболее значимым является степень преобладания лишайников в структуре растительности.

Библиографический список

1. Аветов Н.А., Арефьев С.П., Валеева Э.И., Глазунов В.А., Губарьков А.А., Зах В.А., Игнатова Е.А., Минаева Т.Ю., Маркина А.В., Московченко Д.В., Сирин А.А., Терехин С.А., Толпышева Т.Ю., Шишконова Е.А. Парк «Нумто»: природа и историко-культурное наследие. Сургут: ОАО «Сургутнефтегаз», Рекламно-издательский информационный центр «Нефть Приобья», 2017. 150 с. EDN: YNTXSG
2. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим / ред. К.Е. Иванов, С.М. Новиков. Л.: Гидрометиздат, 1976. 446 с.
3. Валеева Э.И., Московченко Д.В., Арефьев С.П. Природный комплекс парка «Нумто». Новосибирск, 2008. 280 с. ISBN: 978-5-02-023230-3 EDN: PYJOIT
4. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Миграционные бугры пучения на Европейском Севере России – южный и северный пределы ареала и современная динамика // Инженерная геология. 2011. № 2. С. 56–72. EDN: PBJRHP
5. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Миграционные бугры пучения на севере Западной Сибири: южный и северный пределы ареала и современная динамика // Инженерная геология. 2012. № 6. С. 18–32. EDN: PAZODH
6. Васильчук Ю. К. Современное положение южной границы зоны многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской низменности // Криосфера Земли. 2013. Т. 17, № 1. С. 17–27. EDN: PWVAZL
7. Геокриология СССР. Западная Сибирь / под ред. Е.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. Т. 2. 454 с.
8. Городков Б.Н. Крупнобугристые торфяники и их географическое распространение // Природа. 1928. № 6. С.599–601.
9. Данько М.М., Хомутов А.В. Изменения полигонально-жильных структур торфяников в зоне взаимодействия «торфяник-озеро» на севере Пур-Тазовского междуречья // К познанию цельного образа криосферы Земли: изучение природных явлений и ресурсного потенциала Арктики и Субарктики: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Тюмень, 29–30 ноября 2023 года. Тюмень: ТюмГУ-Press, 2023. С. 39–42. EDN: KCBNCW
10. Дмитриева Е.Е. Оценка точности функций спектральных коэффициентов яркости природных объектов // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 1998. № 3. С. 90–97. EDN: WGYCYB
11. Дроздов Д.С., Коростелев Ю.В., Малкова Г.В., Крестин Б.М., Сироткин Д.В., Пижанкова Е.И., Попова А.А. Создание карты геокриологических условий в составе ГИС-пакета инженерно-геологических карт листов Q-41, Q-42, R-42, R-43 масштаба 1: 1 000 000 // Информационные технологии для наук о Земле и цифровизация в геологии и горнодобывающей промышленности. ITES-2022: материалы VI Всероссийской конференции, Владивосток, 03–08 октября 2022 года. Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2022. С. 33–34. EDN: HXPPXY
12. Елсаков В. В. Влияние детальности аэрокосмических изображений на результаты классификации растительных сообществ тундры // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20, № 1. С. 176–188. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-176-188 EDN: CUTTTM
13. Елсаков В.В., Телятников М.Ю. Межгодовые изменения индекса NDVI на территории европейского северо-востока России и западной Сибири в условиях климатических флуктуаций последних десятилетий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10, № 3. С. 260–271. EDN: RBKBEL
14. Иванова Т.Ф. Применение аэрометодов при инженерно-геокриологических изысканиях. М.: Наука, 1982. 70 с.
15. Корниенко С.Г. Оценка влияния разработки Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения на состояние территории лесотундры по данным ИСЗ Landsat // Исследование Земли из космоса. 2009. № 4. С. 78–87. EDN: KUETKV
16. Корниенко С.Г. Оценка трансформаций природных ландшафтов Тазовского полуострова по данным космической съемки // География и природные ресурсы. 2011. Т. 32, № 1. С. 67–73. EDN: NDRIJT
17. Корниенко С.Г. Характеристика антропогенных трансформаций напочвенного покрова в районе Ямбургского месторождения по данным спутников Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20, № 2. С. 184–201. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-2-184-201 EDN: POEFDO
18. Михайлов В.В., Чежина В.М. Определение коэффициентов спектральной отраженной яркости доминирующих видов кормовых растений в тундрах западного Таймыра // Научно-технический бюллетень НИИ сельского хозяйства Крайнего Севера СО ВАСХНИЛ. 1988. № 1–2. С. 69–71. EDN: WESZJB
19. Москаленко Н. Г. Изменение температуры пород и растительности под влиянием меняющегося климата и техногенеза в Надымском районе Западной Сибири // Криосфера Земли. 2009. Т. 13, № 4. С. 18–23. EDN: KYRZFX
20. Москаленко Н. Г. Изменения криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири в условиях меняющегося климата и техногенеза // Криосфера Земли. 2012. Т. 16, № 2. С. 38–42. EDN: OYVAWN
21. Московченко Д.В., Губарьков А.А. Температурные режимы почв на южной границе зоны мерзлых болот в Западной Сибири // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2023. № 117. С. 23–51. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-117-23-51 EDN: LAPHBE
22. Полевая геоботаника / под ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. М., Л.: Наука, 1964. Т. 3. 530 с.
23. Прокопов Д.А., Жуков А.П. Разработка и верификация технологии прогнозирования коэффициентов спектральной яркости подстилающей поверхности по данным MODIS Terra/Aqua. Известия Алтайского государственного университета. 2014. Т. 81, № 1–2. С. 211–217. DOI: 10.14258/izvasu(2014)1.2-37 EDN: RBETWE
24. Усова Л.И. Практическое пособие по ландшафтному дешифрированию аэрофотоснимков различных типов болот Западной Сибири. М-во природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральная служба по гидрометеорологии

Картография и геоинформатика
Московченко Д.В., Фахретдинов А.В.

и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), Гос. учреждение «Гос. гидрологический ин-т». СПб: Нестор-История, 2009. 78 с. ISBN: 978-5-98187-461-1 EDN: QKJMV

25. Устинова Е.В. Крупномасштабное картографирование криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири: труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению ТИСОП: ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире, Салехард, 25–29 июня 2012 года. Салехард: ООО «Печатник», 2012. Т. 3. С. 539–544. EDN: PU1ANT

26. Шишконокова Е.А., Аветов Н.А., Березина Н.А., Толпышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. Проявления регрессивных процессов на болотах южной части природного парка Нумто (Ханты-Мансийский автономный округ – Югра) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2016. Т. 121, № 3. С. 39–50. EDN: WAWCHV

27. Шпанев А.М., Смух В.В. Изменение спектральных характеристик культурных и сорных растений под влиянием минеральных удобрений в агроценозах северо-запада России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19, № 3. С. 165–177. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-3-165-177 EDN: ILYVQ

28. ArcGIS Online Map Viewer. URL: <https://server.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/> (дата обращения 03.04.2024)

29. Camill P. Permafrost thaw accelerates in boreal peatlands during late-20th century climate warming // Climatic Change. 2005. Vol. 68, No. 1. P. 135–152. DOI: 10.1007/s10584-005-4785-y EDN: MDKBDF

30. Chasmer L., Hopkinson C. Threshold Loss of Discontinuous Permafrost and Landscape Evolution // Global Change Biology. 2017. Vol. 23, No. 7. P. 2672–2686. DOI: 10.1111/gcb.13537 EDN: YFGHGO

31. Esau I., Miles V.V., Davy R., Miles M.W., Kurchatova A. Trends in normalized difference vegetation index (NDVI) associated with urban development in northern West Siberia // Atmospheric Chemistry and Physics. 2016. Vol. 16, No. 15. P. 9563–9577. DOI: 10.5194/acp-16-9563-2016 EDN: WVZKHT

32. European Environment Agency. Permafrost in the Northern hemisphere. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/permafrost-in-the-northern-hemisphere> (дата обращения 26.03.2024)

33. Malkova G., Drozdov D., Vasiliev A., Gravis A., Kraev G., Korostev Y., Nikitin K., Orekhov P., Ponomareva O., Romanovsky V., Sadurtdinov M., Shein A., Skvortsov A., Sudakova M., Tsarev A. Spatial and Temporal Variability of Permafrost in the Western Part of the Russian Arctic // Energies. 2022. Vol. 15, No. 7. DOI: 10.3390/en15072311 EDN: RDGTTA

34. Shur Y.L., Jorgenson M.T. Patterns of permafrost formation and degradation in relation to climate and ecosystems // Permafrost and Periglacial Processes. 2007. Vol. 18, No. 1. P. 7–19. DOI: 10.1002/PPP.582 EDN: XUQXVQ

35. USGS Earthexplorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения 02.04.2024)

36. Walker D.A., Leibman M.O., Epstein H.E., Forbes B.C., Bhatt U.S., Reynolds M.K., Comiso J.C., Gubarkov A.A., Khomutov A.V., Jia G.J., Kaarlejarvi E., Kaplan J.O., Kumpula T., Kuss P., Matyshak G., Moskalenko N.G., Orekhov P., Romanovsky V.E., Ukraintseva N.G., Yu Q. Spatial and temporal patterns of greenness on the Yamal Peninsula, Russia: interactions of ecological and social factors affecting the Arctic normalized difference vegetation index // Environmental Research Letters. 2009. Vol. 4, No. 4. P. 045501. DOI: 10.1088/1748-9326/4/4/045004 EDN: MWSDRR

References

1. Avetov N.A., Aref'ev S.P., Valeeva E.I., Glazunov V.A., Gubarkov A.A., Zakh V.A., Ignatova E.A., Minaeva T.Yu., Markina A.V., Moskovchenko D.V., Sirin A.A., Terekhin S.A., Tolpyshcheva T.Yu., Shishkonakova E.A. (2017), *Park «Numto»: priroda i istoriko-kul'turnoe nasledie* [Numto Park: nature and historical and cultural heritage], OAO «Surgutneftegaz», Reklamno-izdatel'skii informatsionnyi tsentr «Neft' Priob'ya», Surgut, Russia.

2. Ivanov K.E., Novikov S.M. (ed.) (1976), *Bolota Zapadnoi Sibiri, ikh stroenie i gidrologicheskii rezhim* [Bogs of Western Siberia, their structure and hydrological regime], Leningrad, Gidrometeoizdat, USSR.

3. Valeeva E.I., Moskovchenko D.V., Aref'ev S.P. (2008), *Prirodnyi kompleks parka "Numto"* [The natural complex of park "Numto"], Nauka, Novosibirsk, Russia

4. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.K., Budantseva N.A., Chizhova Yu.N. (2011), "Palsas in the European North of Russia: the southern and northern limits of the areal and the modern dynamics", *Inzhenernaya geologiya*, no. 2, pp. 56–72.

5. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.K., Budantseva N.A., Chizhova Yu.N. (2012), "Palsas in the north of Western Siberia: the southern and northern limits of the areal and the modern dynamics", *Inzhenernaya geologiya*, no. 6, pp. 18–32.

6. Vasil'chuk Yu.K. (2013), "Modern southern limit of permafrost in Western Siberia lowland", *Kriosfera Zemli*, vol. 17, no. 1, pp. 17–27.

7. Ershov E.D. (ed.) (1989), *Geokriologiya SSSR. Zapadnaya Sibir'* [Geocryology of the USSR. Western Siberia], Nedra, Moscow, USSR

8. Gorodkov B.N. (1928), "Palsas and their geographical distribution", *Priroda*, no. 6, pp. 599–601.

9. Danko M.M., Khomutov A.V. (2023), "Changes in polygonal-vein structures of peatlands in the zone of interaction "peat-lake" in the north of the Pur-Taz interfluvium", *K poznaniyu tsel'nogo obraza kriosfery Zemli: izuchenie prirodnikh yavlenii i resursnogo potentsiala Arktiki i Subarkтики* [towards the knowledge of the integral image of the Earth's cryosphere: the study of natural phenomena and the resource potential of the Arctic and Subarctic], *sbornik materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation], Tyumen, Russia, November 29–30 2023, pp. 39–42.

10. Dmitrieva E.E. (1998), "Estimation of the accuracy of functions of spectral brightness coefficients of natural objects", *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geodeziya i aerofotos'emka*, no. 3, pp. 90–97.

11. Drozdov D.S., Korostev Y.V., Malkova G.V., Krestin B.M., Sirotkin D.V., Pizhankova E.I., Popova A.A. (2022), "Creation of a map of geocryological conditions as part of a GIS package of engineering and geological maps of sheets Q-41, Q-42, R42, R-43 scale 1: 1 000 000", *Informatsionnye tekhnologii dlya nauk o Zemle i tsifrovizatsiya v geologii i gornodobyvayushchei promyshlennosti. ITES-2022* [Information technology for Earth sciences and digitalization in geology and mining. ITES-2022], *Materialy VI Vserossiiskoi konferentsii* [Materials of the VI All-Russian Conference], Vladivostok, Russia, 3–8 October 2022, pp. 33–34.

12. Elsakov V.V. (2023), "The influence of aerospace imagery spatial resolution on mapping results of tundra vegetation", *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 20, no. 1, pp. 176–188. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-176-188

Картография и геоинформатика
Московченко Д.В., Фахретдинов А.В.

13. Elsakov V.V., Teljatnikov M.Yu. (2013), "Effects of interannual climatic fluctuations of the last decade on NDVI in north-eastern European Russia and Western Siberia", *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 10, no. 3, pp. 260–271.
14. Ivanova T.F. (1982), *Primenenie aerometodov pri inzhenerno-geokriologicheskikh izyskaniyakh* [The use of aerometodes in engineering and geocryological surveys], Nauka, Moscow, USSR.
15. Kornienko S. G. (2009), "Estimation of Urengoy's Oil and Gas Deposit Mining Impact on a Condition of Forest Tundra Landscape Using Landsat Data", *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, no. 4, pp. 78–87.
16. Kornienko S. G. (2011), "Assessing the transformations of natural landscapes of the Taz peninsula using space-borne imagery", *Geography and Natural Resources*, vol. 32, no. 1, pp. 67–73.
17. Kornienko S. G. (2023), "Characteristics of anthropogenic transformations of the ground cover in the area of Yamburg gas field based on Landsat satellite data", *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 20, no. 2, pp. 184–201.
18. Mikhailov V.V., Chezina V.M. "Determination of the spectral reflected brightness coefficients of the dominant species of forage plants in the tundra of Western Taimyr", *Nauchno-tekhnicheskii byulleten' NII sel'skogo khozyaistva Krainego Severa SO VASKhNIL*, no. 1–2, pp. 69–71.
19. Moskalenko N. G (2009), "Permafrost and vegetation changes in the Nadym region of West Siberian northern taiga due to the climate change and technogenesis", *Kriosfera Zemli*, vol. 13, no. 4, pp. 18–23.
20. Moskalenko N. G (2012), "Cryogenic landscape changes in the West Siberian northern taiga in the conditions of climate change and human-induced disturbances", *Kriosfera Zemli*, vol. 16, no. 2, pp. 38–42.
21. Moskovchenko D.V., Gubarkov A.A. (2023), "Soil temperature regimes on the southern border of the zone of frozen bogs in Western Siberia", *Dokuchaev Soil Bulletin*, no. 117, pp. 23–51. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-117-23-51
22. Lavrenko E.M., Korchagina A.A. (ed.) (1964), *Polevaya geobotanika* [Field geobotany], Nauka, Moscow, USSR.
23. Prokopov D.A., Zhukov A.P. (2014), "Development and verification of the technology for land surface reflectances prediction from MODIS – Terra/Aqua data", *Izvestiya of Altai State University Journal*, vol. 81, no. 1–2, pp. 211–217. DOI: 10.14258/izvasu(2014)1.2-37
24. Usova L.I. (2009), *Prakticheskoe posobie po landshaftnomu deshifirovaniyu aerofotosnimkov razlichnykh tipov bolot Zapadnoi Sibiri* [A practical manual to landscape interpretation of aerial photographs of various types of bogs in Western Siberia], Nestor-Istoriya, Saint-Petersburg, Russia.
25. Ustinova E.V. (2012), "Large-scale mapping of cryogenic landscapes of the Northern taiga of Western Siberia", *Trudy Desyatoi Mezhdunarodnoi konferentsii po merzlotovedeniyu TICOP* [Tenth international conference on permafrost TICOP], *Resursy i riski regionov s vechnoi merzlotoi v menyayushchemsya mire* [Resources and risks of permafrost areas in a changing world], Salekhard, 25–29 June 2012, pp. 539–544.
26. Shishkonakova E.A., Avetov N.A., Berezina N.A., Tolpysheva T.Yu., Shvedchikova N.K. (2016), "Manifestation of regressive processes in mires of south part of Numto nature park (Khanty-Mansi autonomous okrug – Yugra)", *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Biological Series*, vol. 121, no. 3, pp. 39–50.
27. Shpanev A.M., Smuk V.V. (2022), "Changes in the spectral characteristics of cultivated and weed plants under the influence of mineral fertilizers in agrocenoses of the North-West of Russia", *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 19, no. 3, pp. 165–177. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-3-165-177
28. ArcGIS Online Map Viewer (2024), available at: <https://server.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/> (Accessed 3 April 2024).
29. Camill P. (2005), "Permafrost thaw accelerates in boreal peatlands during late-20th century climate warming", *Climatic Change*, vol. 68, no. 1, pp. 135–152. DOI: 10.1007/s10584-005-4785-y
30. Chasmer L., Hopkinson C. (2017), "Threshold Loss of Discontinuous Permafrost and Landscape Evolution", *Global Change Biology*, vol. 23, no. 7, pp. 2672–2686. DOI: 10.1111/gcb.13537
31. Esau I., Miles V.V., Davy R., Miles M.W., Kurchatova A. (2016), "Trends in normalized difference vegetation index (NDVI) associated with urban development in northern West Siberia", *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 16, no. 15, pp. 9563–9577. DOI: 10.5194/acp-16-9563-2016
32. European Environment Agency. Permafrost in the Northern hemisphere (2024), available at: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/permafrost-in-the-northern-hemisphere> (Accessed 26 March 2024).
33. Malkova G., Drozdov D., Vasiliev A., Gravis A., Kraev G., Korostelev Y., Nikitin K., Orekhov P., Ponomareva O., Romanovsky V., Sadurtdinov M., Shein A., Skvortsov A., Sudakova M., Tsarev A. (2022), "Spatial and Temporal Variability of Permafrost in the Western Part of the Russian Arctic", *Energies*, vol. 15, no. 7. DOI: 10.3390/en15072311
34. Shur Y.L., Jorgenson M.T. (2007), "Patterns of permafrost formation and degradation in relation to climate and ecosystems", *Permafrost and Periglacial Processes*, vol. 18, no. 1, pp. 7–19. DOI: 10.1002/PPP.582
35. USGS Earthexplorer (2024), available at: <https://earthexplorer.usgs.gov> (Accessed 2 April 2024)
36. Walker D.A., Leibman M.O., Epstein H.E., Forbes B.C., Bhatt U.S., Raynolds M.K., Comiso J.C., Gubarkov A.A., Khomutov A.V., Jia G.J., Kaarlejarvi E., Kaplan J.O., Kumpula T., Kuss P., Matyshak G., Moskalenko N.G., Orekhov P., Romanovsky V.E., Ukraintseva N.G., Yu Q. (2009), "Spatial and temporal patterns of greenness on the Yamal Peninsula, Russia: interactions of ecological and social factors affecting the Arctic normalized difference vegetation index", *Environmental Research Letters*, vol. 4, no. 4, pp. 045501. DOI: 10.1088/1748-9326/4/4/045004

Статья поступила в редакцию: 10.05.24, одобрена после рецензирования: 04.12.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 10 May 2024; approved after review: 04 December 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Картография и геоинформатика
Московченко Д.В., Фахретдинов А.В.

Информация об авторах

Дмитрий Валерьевич Московченко

доктор географических наук, заведующий сектором геоэкологии Института проблем освоения Севера, Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН;

625026, г. Тюмень, ул. Малыгина, 86

e-mail: moskovchenko1965@gmail.com

Артур Венерович Фахретдинов

младший научный сотрудник Института проблем освоения Севера, Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН;

625026, г. Тюмень, ул. Малыгина, 86

e-mail: arthurfahretdinov@gmail.com

Information about the authors

Dmitrii V. Moskovchenko

Doctor of Geographical Sciences, Head of the Geoecology Section, Institute of the Problems of Northern Development, Federal Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;

86, Malygina st., Tyumen, 625026, Russia

Artur V. Fakhretdinov

Junior Researcher, Institute of the Problems of Northern Development, Federal Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;

86, Malygina st., Tyumen, 625026, Russia

Вклад авторов

Московченко Д.В. – идея исследования, формирование концепции статьи, сбор, обработка и анализ полевых данных, написание статьи, научное редактирование текста.

Фахретдинов А.В. – обработка и анализ данных ДЗЗ, создание графических материалов, участие в написании методики и результатов исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Dmitrii V. Moskovchenko – the research idea; the article concept; collection, processing, and analysis of field data; writing of the article; scientific editing of the text.

Artur V. Fakhretdinov – processing and analysis of remote sensing data; creation of the graphic materials; participation in the writing of the methodology and research results.

The authors declare no conflict of interest.

Научное издание

Географический вестник
Geographical Bulletin

Выпуск №1(72)/2025

Редактор *А.С. Серебrenиков*
Корректор *С.А. Вороненко*
Компьютерная верстка *М.К. Пехтерева*

Подписано в печать 25.03.2025. Выход в свет 31.03.2025.
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 23,25. Тираж 500 экз. Заказ № 37

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