

**Географический вестник**  
= *Geographical bulletin*

Выпуск 1/2024

**Научный журнал**

Основан в 2005 году. Выходит 4 раза в год

**Geographical Bulletin**

Issue 1/2024

**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](mailto: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](mailto: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)

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

**Колейка Яромир**, Doc.RNDr., Институт геоники Академии наук Чехии (Острава, Чехия)

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

**Паллот Джудит**, PhD, проф. Колледжа Christ Church университета Oxford, специалист в области Human Geography of the Russian Federation (Оксфорд, Великобритания)

**Пехланер Харальд**, д.н., проф. кафедры туризма Католического университета Эйхштетта – Ингольштадт (Эйхштетт, Германия), (Lehrstuhl Tourismus / Zentrum für Entrepreneurship Katholische Universität Eichstätt – Ingolstadt)

**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);

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

**Kolejka Jaromir**, Doc. RNDr., Institute of Geonics of the CAS (Ostrava, Czech Republic);

**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);

**Pallot Judith**, PhD, Professor of the Human Geography of Russia, Christ Church College, Oxford University (Oxford, Great Britain);

**Pechlaner Harald**, Doctor of Science, Professor of the Department of Tourism Catholic University of Eichstett-Ingolstadt, (Lehrstuhl Tourismus / Zentrum für Entrepreneurship Katholische Universität Eichstätt – Ingolstadt) (Eichstett, Germany);

**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 биogeоценологии 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 Виталий Германович**, д.г.н.,  
заведующий кафедрой гидрологии и охраны  
водных ресурсов ПГНИУ (Пермь, Россия)

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

**Назаров Николай Николаевич**, д.г.н., проф.,  
ведущий научный сотрудник Лаборатории  
палеогеографии и геоморфологии Тихоокеанского  
института географии Дальневосточного отделения  
Российской академии наук (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., доцент  
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)

**Vitaly G. Kalinin**, Doctor of Geographical Sciences,  
Professor, Head of the Department of Hydrology and  
Water Conservation, PSU (Perm, Russia)

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

## СОДЕРЖАНИЕ

## CONTENTS

<b>ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ</b>	6	<b>PHYSICAL GEOGRAPHY, LANDSCAPES AND GEOMORPHOLOGY</b>
<b>Назаров Н.Н., Фотеева П.С.</b> Использование космических снимков в изучении этнокультурных ландшафтов на примере агрландшафтов лесной зоны	6	<b>Nikolay N. Nazarov, Polina S. Foteeva</b> The use of satellite images in the study of ethnocultural landscapes: the case of agrolandscapes of the forest zone
<b>ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ И ПОЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ</b>	15	<b>ECONOMIC, SOCIAL AND POLITICAL GEOGRAPHY</b>
<b>Дружинин А.Г., Кузнецова О.В.</b> Стратегия пространственного развития России: векторы обновления	15	<b>Alexander G. Druzhinin, Olga V. Kuznetsova</b> Spatial development strategy of Russia: update vectors
<b>Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Сопнев Н.В., Ткачева Т.А.</b> Геоинформационный анализ миграции молодежи на основе big data (на примере Ставропольского края и республики Дагестан)	27	<b>Natalia A. Shchitova, Ilya P. Suprunchuk, Nikolay V. Sopnev, Tatiana A. Tkacheva</b> Geoinformation analysis of youth migration based on big data (a case study of the Stavropol Territory and the Republic of Dagestan)
<b>Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.</b> Роль трансграничных миграций в формировании и трансформации этноконтактных зон (пример Российско-Казахстанского порубежья)	41	<b>Tatyana I. Gerasimenko, Natalya Y. Svyatokha</b> The role of trans-border migration in the formation and transformation of ethnic-contact zones (the case of the Russia-Kazakhstan border)
<b>ГИДРОЛОГИЯ</b>	59	<b>HYDROLOGY</b>
<b>Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М.</b> Особенности моделирования прорыва ледникового озера на примере озера Варшезкуль Нижнее (Таджикистан)	59	<b>Viktoriia A. Iudina, Sergey S. Chernomorets, Elena A. Savernyuk, Ivan V. Krylenko, Vera M. Kidyayeva</b> The features of a glacial lake outburst modeling: a case study of Varshezkul Lower (Tajikistan)
<b>Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.</b> Уровни залегания, условия питания и гидрохимия водоносных горизонтов бессточной области Обь- Иртышского междуречья (на примере степной части Алтайского края)	71	<b>Elena S. Orlova, Valentina I. Zanosova, Irina D. Rybkina</b> Levels of deposition, recharge conditions and hydrochemistry of aquifers of the Ob-Irtysh interfluve (a case study of the steppe part of the Altai Territory)
<b>Kalinin V.G., Mikova K.D., Chichagov V.V.</b> Detection of the change point in ice formation dates	87	<b>Vitaliy G. Kalinin, Ksenia D. Mikova, Vladimir V. Chichagov</b> Detection of the change point in ice formation dates
<b>МЕТЕОРОЛОГИЯ</b>	103	<b>METEOROLOGY</b>
<b>Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.</b> Изменения климата на территории Республики Татарстан	103	<b>Yuri P. Perevedentsev, Konstantin M. Shantalinsky, Nadezhda A. Mirsaeva, Alexander A. Nikolaev</b> Climate change on the territory of the Republic of Tatarstan
<b>Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.</b> Изменение основных климатических показателей в предгорной зоне северного Кавказа за период 1961–2022 гг.	113	<b>Lyudmila M. Fedchenko, Alla A. Tashilova, Lara A. Kesheva, Nataliya V. Teunova</b> Changes in the main climatic indicators in the foothill zone of the North Caucasus over the period 1961–2022

<b>Опутина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.</b> Индикация состояния растительности в г. Магнитогорске для оценки качества атмосферного воздуха и совершенствования его мониторинга	124	<b>Irina P. Oputina, Vladimir A. Shklyayev, Natalya V. Kostyleva</b> Indication of the condition of vegetation in Magnitogorsk for assessing the quality of atmospheric air and improving its monitoring system
<b>Подrezова Ю.А.</b> Оценка климатических факторов риска пожарной опасности леса на исследуемых территориях Воронежской и Калужской областей в сезон 2022 г.	138	<b>Yuliia A. Podrezova</b> Assessment of climatic factors of forest fire hazard risks for study areas in the Voronezh and Kaluga regions in the 2022 season
<b>ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ</b>	151	<b>ECOLOGY AND NATURE USE</b>
<b>Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.</b> Влияние климатических изменений на распространение бактериальной водянки березы	151	<b>Ekaterina A. Bogdan, Rita G. Kamalova, Larisa N. Belan, Iren O. Tuktarova</b> The impact of climate change on the spread of bacterial wetwood of birch
<b>Гашкова Л.П.</b> Оценка влияния атмосферного переноса на накопление тяжёлых металлов компонентами болот в окрестностях г. Томска	166	<b>Lyudmila P. Gashkova</b> Influence of atmospheric transport on the accumulation of heavy metals by the components of the mires around Tomsk
<b>РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ И ТУРИЗМ</b>	176	<b>RECREATIONAL GEOGRAPHY AND TOURISM</b>
<b>Калуцков В.Н.</b> Литературные магистрали – новый культурно- географический феномен	176	<b>Vladimir N. Kalutskov</b> Literary highways as a new cultural and geographical phenomenon
<b>ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ</b>	189	<b>GEOGRAPHICAL EDUCATION</b>
<b>Зайцев А.А., Кулакова С.А., Фролова И.В., Харин Р.В.</b> География без границ: информационный портал и его возможности	189	<b>Andrey A. Zaitsev, Svetlana A. Kulakova, Irina V. Frolova, Roman V. Kharin</b> Geography without Borders: the information web portal and its possibilities

**ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ**

Научная статья

УДК 911:52

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-6-14

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ  
В ИЗУЧЕНИИ ЭТНОКУЛЬТУРНЫХ ЛАНДШАФТОВ  
НА ПРИМЕРЕ АГРОЛАНДШАФТОВ ЛЕСНОЙ ЗОНЫ****Николай Николаевич Назаров<sup>1</sup>✉, Полина Сергеевна Фотеева<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток, Россия<sup>2</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия<sup>1</sup> nikolainazarovpsu@gmail.com ✉<sup>2</sup> p.foteeva@ya.ru

**Аннотация.** В статье предложена и апробирована методика выявления и анализа элементов этнокультурного ландшафта (ЭЛ) на примере территории локализованного проживания марийцев в Сылвенском поречье (Пермский край). Исследования проводились с использованием космических снимков (Google Earth Pro). При проведении многоуровневой пространственной дифференциации агроландшафтов лесной зоны предлагается использовать набор показателей, характеризующих морфологическую структуру и морфометрические характеристики природно-хозяйственных объектов. Выделено несколько зон с населённым пунктом в центре: селитебная зона, зона преимущественно сельскохозяйственных земель, зона эпизодического хозяйственного воздействия (леса, промышленные угодья, удаленные сенокосы и выпасы). В качестве характеристики, отвечающей за планировочный тип ландшафтно-хозяйственного ареала (селитьба, пашня, сенокосы), выбрано количество и взаиморасположение в нем поселений (ядер). Предлагается в качестве анализируемого показателя использовать долю (%) распространения одноядерных (одиночное поселение), двухъядерных (группа из двух поселений), трехъядерных (группа из трех поселений). В качестве показателей этнокультурной дифференциации исследуемой территории использовались метрические соотношения между элементами артефактов и физиофактов, фиксируемые на топографических картах и космических снимках. Из других количественных показателей, характеризующих неоднородность территории, рассматривалась доля (%) поселений, расположенных в определенном типе местности, и доля (%) поселений определенного планировочного типа. В качестве показателя, характеризующего положение селений в группе, использовался коэффициент групповой плотности. По мере отработки метода дистанционного изучения территории проживания этнической группы перечень показателей этнокультурной дифференциации ЭЛ может изменяться (увеличиваться, сокращаться).

**Ключевые слова:** этнокультурный ландшафт, этническая группа, физиофакт, ландшафтно-хозяйственный ареал, агроландшафт

**Для цитирования:** Назаров Н.Н., Фотеева П.С. Использование космических снимков в изучении этнокультурных ландшафтов на примере агроландшафтов лесной зоны // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 6–14. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-6-14

**PHYSICAL GEOGRAPHY, LANDSCAPES AND GEOMORPHOLOGY**

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-6-14

**THE USE OF SATELLITE IMAGES IN THE STUDY OF ETHNOCULTURAL  
LANDSCAPES: THE CASE OF AGRO-LANDSCAPES OF THE FOREST ZONE****Nikolay N. Nazarov<sup>1</sup>, Polina S. Foteeva<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Pacific Geographical Institute, Far-Eastern Branch of the RAS, Vladivostok, Russia<sup>2</sup> Perm State University, Perm, Russia<sup>1</sup> nikolainazarovpsu@gmail.com ✉<sup>2</sup> p.foteeva@ya.ru

**Abstract.** The article proposes and tests a method for identifying and analyzing elements of ethnocultural landscape through the example of the territory of the Mari people's localized residence in the Sylvensky district (Perm region). The research was carried out with the use of satellite images (Google Earth Pro). While conducting a multi-level spatial differentiation of agro-landscapes of the forest zone, it is proposed to use a set of indicators characterizing the morphological structure and morphometric characteristics of natural and economic objects. The zoning of the territory involved the allocation of several zones with a settlement in the center: a residential zone, a zone of predominantly agricultural land, and a zone of episodic economic impact (forests, commercial lands, remote hayfields and pastures). The number and location of settlements (cores) in the landscape-and-economic area were chosen as a characteristic indicating the planning type of such an area (settlement, arable land, hayfields). *It is proposed to use the share (%) of single-core settlements, dual-core settlements and three-core settlements as the analyzed indicator.* Metric relations between the elements of artifacts and physiofacts captured on topographic maps and satellite images were used as indicators of the ethnocultural differentiation of the studied territory. Among other quantitative indicators characterizing the heterogeneity of the territory, the proportion (%) of settlements located in a certain type of area and the proportion (%) of settlements of a certain planning type were considered. The coefficient of group density was used as an indicator characterizing the position of settlements in the group. As the method of remote study of an ethnic group's residence territory develops, the list of indicators of ethnocultural differentiation of ethnocultural landscapes may change (increase, decrease).

**Keywords:** ethnocultural landscape, ethnic group, physiofact, landscape-and-economic area, agricultural landscape

**For citation:** Nazarov, N.N., Foteeva, P.S. (2024). The use of satellite images in the study of ethnocultural landscapes: the case of agrolandscapes of the forest zone. *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 6–14. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-6-14

Особенности и степень проявления устойчивости («живучести») культурных традиций людей, переселившихся из мест традиционного проживания на новые территории, являются одними из наименее изученных вопросов культурного ландшафтоведения [1, 5]. В первую очередь это связано со слабой разработанностью методов фиксации отличительных черт этнического уклада (характера?) в окружающем ландшафте и с отсутствием наработок по их распознаванию в «рисунке» природных геосистем, сельскохозяйственных угодий и селитьбы. Решение данной проблемы безусловно будет способствовать более глубокому изучению и освещению вопросов сохранения культурных традиций в быте, ведения приусадебных и сельскохозяйственных работ, отношения к природе в целом. Кроме того, достижение понимания степени устойчивости культурных традиций людей, принадлежащих к разным этническим группам, может стать ключом к выстраиванию тренда развития культурного ландшафта, причем не только в пределах ареала «нового» («пионерного») освоения, но и на смежных территориях, являющихся местом проживания коренного населения в данном регионе. Сложность и многовекторность (часто непредсказуемость) протекания адаптационных механизмов как на локальном, так и на более высоких уровнях (региональном, государственном) подтверждается всей историей заселения и освоения ландшафтов Земли на разных этапах развития цивилизаций [2, 10, 12].

Попытка решения вопроса о степени устойчивости культурных традиций в рамках задач, реализуемых этноприродным ландшафтоведением, по-видимому, может быть осуществлена через поиск и фиксацию определенных черт или проявлений культурного кода отдельной этнической группы на территории нового обитания. Примером такого опыта по распознаванию материальных проявлений культуры, которые могли бы послужить основанием для отнесения их к определенным этническим сообществам, может быть использование ландшафтных *артефактов* и *физиофактов*. Первые, по мнению В.Н. Калущкого [6], синтезируют физические взаимодействия между культурной традицией и окружающей местной природой (традиционные технологии, орудия труда, жилище и т.д.), вторые представляют собой природные объекты и урочища, ставшие в результате освоения территории органичной частью культурной традиции. Отмечается, что совокупность ландшафтных артефактов и физиофактов формирует так называемый «внешний» (пейзажно-визуальный, формальный) культурный ландшафт [6, 16], а

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Назаров Н.Н., Фотеева П.С.

«внешние» элементы культуры народа обычно связаны с расселением, хозяйством и материальным жизнеобеспечением (пищей, одеждой, жилищем) [15]. Важно отметить, что восприятие и изучение «внешнего» культурного ландшафта (на это указывают практически все исследователи) может происходить и без погружения во «внутренний» (живой, содержательный, мифологический, топонимический, фольклорный, этнический) ландшафт. В плане развития этноприродного ландшафтоведения, следование данному подходу позволяет сосредоточить больше внимание на методах установления внешних образов культурного ландшафта, например разработке дистанционных методов выявления особенностей и антропогенных «нарушений» в рисунке и структуре территориальных систем ландшафта – артефактов и физиофактов проявлений культуры.

Как показывает анализ публикаций, посвященных изучению культурных ландшафтов, общепринятой методики по выявлению этнической индивидуализации артефактов и физиофактов не существует. Тем не менее способы и методы фиксирования изменений в структуре ландшафта, а также расположении сельскохозяйственных угодий и селитбы сегодня уже применяются [11]. Примерами таковых являются: учет и анализ расположения придомовых сооружений относительно центрального объекта (обычно основного жилого помещения), а также огорода/сада; расчет соотношений площадей, занимаемых ими в пределах усадьбы; фиксирование удаленности сельскохозяйственных угодий относительно селитебной зоны; расчет плотности расположения поселений и взаиморасстояния; установление наличия и масштабов зоны хозяйственного освоения вокруг поселений и некоторые другие расчетные операции.

При выборе конкретных показателей обустройства элементарного этнокультурного ландшафта (ЭЭЛ) целесообразно и правомерно использовать некоторые из уже апробированных разработок отечественных и зарубежных исследователей. Например, схемы обустройства и дифференциации территорий проживания: «экологической поляризации ландшафта» [13, 14], «сельского селитебного ландшафта» [11], «ключевых структур элементарного сельского поселения» [17], «ландшафтно-хозяйственных ареалов» [3, 9] и некоторые другие.

Принимая во внимание возможности и особенности использования дистанционных методов при проведении многоуровневой пространственной дифференциации агроландшафтов лесной зоны, предлагается использовать набор показателей, характеризующих морфологическую структуру и морфометрические характеристики природно-хозяйственных объектов. Зонирование территории предполагает выделение нескольких зон с населённым пунктом в центре. Центр (ядро) ЭЭЛ включает в себя *селитебную зону (А)*, состоящую из жилой (1А) и нежилой (2А) территорий (рис. 1). К нежилой части центральной зоны относятся огороды и частные хозяйственные строения, располагающиеся в непосредственной близости от дома. Далее от центра следует «средняя» часть элементарного ландшафта – это *зона преимущественно сельскохозяйственных земель (Б)*. Основная ее часть обычно бывает представлена пахотой. Значительную долю в пределах второй зоны могут занимать сенокосы, выпасы и выгоны, которые часто располагаются по периферии поселения. Каждый из выделов на космических снимках, как правило, характеризуется четко выраженными морфологическими границами.

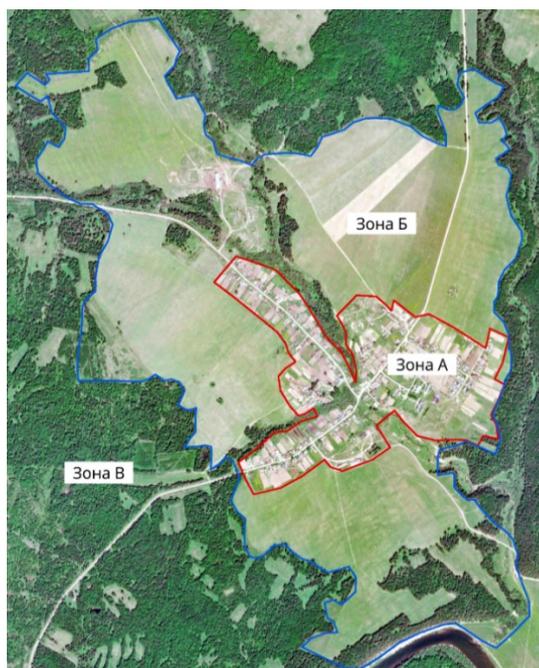


Рис. 1. Пример зонирования ЭЭЛ.  
Село Сызганка, Пермский край  
Fig. 1. An example of an elementary  
ethnocultural landscape zoning.  
Syzganka village, Perm Krai

Третью, внешнюю, зону эпизодического хозяйственного воздействия (В) представляют леса различного хозяйственного использования (дровяные и строевые леса и зарастающие вырубki, зарастающая пахота, ягодники, моховые болота), промысловые угодья (сбор грибов и ягод, рыболовство, охотничьи угодья), удаленные сенокосы и выпасы.

Важной характеристикой, отвечающей за планировочный тип ландшафтно-хозяйственного ареала (ЛХА) (селитьба, пашня, сенокосы), выступает количество и взаиморасположение в нем поселений (ядер) [4]. Предлагается в качестве анализируемого показателя использовать долю (%) распространения одноядерных (одиночное поселение), двухъядерных (группа из двух поселений) трехъядерных (группа из трех поселений) в пределах исследуемой территории. Признаками, объединяющими ЛХА в группу, являются слияние зон преимущественно сельскохозяйственных земель и формирование единой для них зоны эпизодического хозяйственного воздействия.

Важное замечание о самой процедуре исследования (относительно объективности в выделении целостных ландшафтных образов и возможности формализовать сам процесс их вычленения) в свое время

было сделано Е.Ю. Колбовским [7]. По его мнению, целостные ландшафтные образы формируются не столько набором элементов (природных и природно-хозяйственных объектов), сколько метрическими соотношениями между ними. Следуя данному выводу, нами предлагается метрические соотношения между элементами артефактов и физиофактов, фиксируемые на топографических картах и космических снимках, использовать в качестве искомым показателей этнокультурной дифференциации исследуемой территории. Из других количественных показателей, характеризующих ее неоднородность, предлагается использовать долю (%) поселений, расположенных в определенном типе местности, и долю (%) поселений определенного планировочного типа. В качестве показателя, характеризующего положение селений в группе, целесообразно использовать коэффициент групповой плотности, применяющийся при оценке пространственной организации селитебных ландшафтов. Вычисляется коэффициент по формуле:

$$K = R/0,5\sqrt{R}, \quad (1)$$

где  $K$  – искомым коэффициент;  $R$  – среднее расстояние между поселениями в км.

По мнению С.В. Панкова [11], при значениях  $K = 0-1$  группа поселений образует агломерационный тип; при  $K = 1-1,43$  – групповой компактный; при  $K = 1,43-1,74$  – групповой сближенный; при  $K = 1,74-2$  – групповой разряженный.

Таким образом, в качестве искомым показателей этнокультурной дифференциации на территории проживания этнической группы (ТПЭГ) предлагается использовать:

1. Долю (%) ландшафтно-хозяйственных ареалов в ТПЭГ:
  - а) одноядерных;
  - б) двухъядерных;
  - в) трехъядерных.
2. Долю (%) поселений планировочного типа с внешней формой:
  - а) линейная однорядная;

## Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Назаров Н.Н., Фотеева П.С.

- б) линейная двухрядная;
  - в) линейная многорядная;
  - г) нелинейная гнездовая;
  - д) нелинейная сложная.
3. Долю (%) поселений, расположенных в типе местности:
    - а) склоновом (приречно-склоновом);
    - б) пойменном;
    - в) надпойменно-террасовом;
    - г) плакорном.
  4. Среднее расстояние от поселений до внешних границ зоны *Б*, км.
  5. Среднее расстояние от поселений до внешних границ зоны *В*, км.
  6. Площадь зоны *А*, км<sup>2</sup>.
  7. Площадь зоны *Б*, км<sup>2</sup>.
  8. Среднее значение коэффициента групповой плотности поселений.
  9. Среднее значение соотношений площади зоны *А* к площади зоны *Б*, %.
  10. Среднее значение соотношений площади зоны *А* к суммарной площади зон *Б* и *В*, %.
  11. Среднее значение соотношений площади *1А* к площади *2А*, %.

Для апробации технических возможностей выделения ЭЭЛ и методики формирования перечня показателей этнокультурной дифференциации ТПЭГ, используя для этого результаты дешифрирования космических снимков (Google Earth Pro), была выбрана территория локализованного проживания марийцев в Сылвенском поречье (бассейн Камы, Пермский край) (рис. 2).

В пределах исследуемой территории располагается 7 поселений, из них 4 одноядерных и 1 двухядерный ЛХА (рис. 3). В ТПЭГ зафиксированы все планировочные типы поселений. В единственном количестве присутствует нелинейно-квартальный. Большая часть поселений (70 %) располагается в плакорном типе местности. Количественная характеристика элементов этнического характера (кода), потенциально присутствующих во «внешнем» культурном ландшафте марийцев Сылвенского поречья, представлена в таблице.

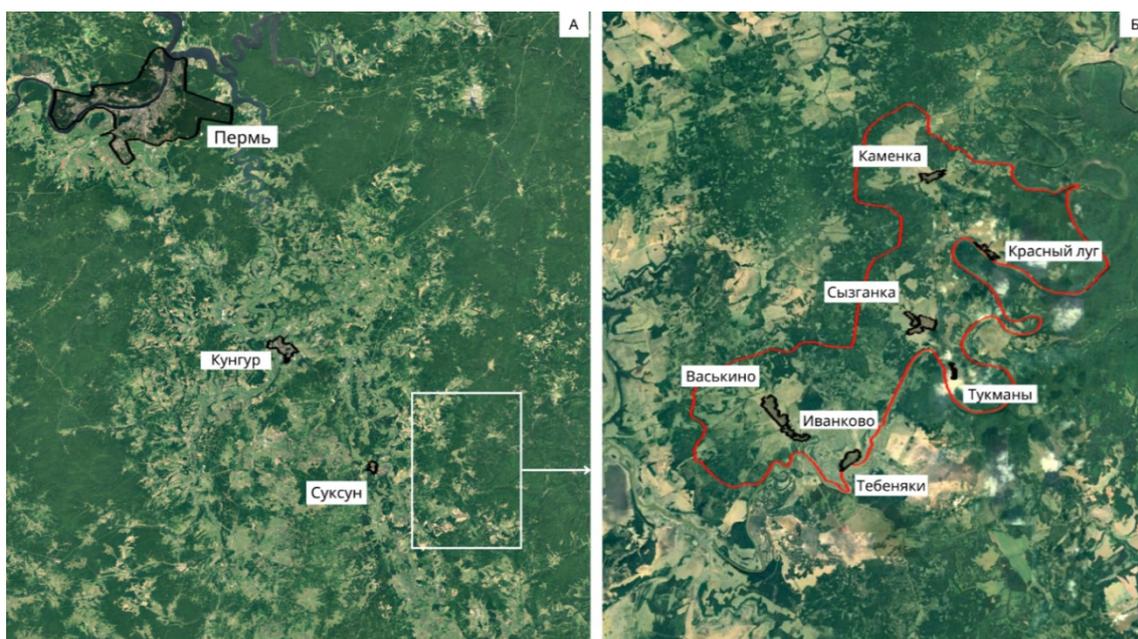


Рис. 2. Территория локализованного проживания марийцев в Сылвенском поречье, Пермский край

Fig. 2. The territory of localized residence of Mari in the Sylvensky district, Perm Krai

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Назаров Н.Н., Фотеева П.С.

Оценивая в целом возможности предложенного метода по вычленению культурного кода этноса в окружающем его ландшафте, следует отметить, что вполне допустимо, и это не противоречит логике перманентного повышения чувствительности данного метода по выявлению своеобразия формирования ЛХА в других ТПЭГ, расширение или, напротив, сокращение списка оценочных показателей. В частности, это касается случаев при рассмотрении степных и лесостепных ландшафтов, горных и предгорных территорий.



Рис. 3. Двухъядерный ЛХА  
Fig. 3. Dual-core LHA

Свою лепту в характер изменения показателей могут внести особенности истории и времени (продолжительности) заселения этносом нового пространства, которые безусловно влияют на степень устойчивости сохранения культурных традиций в быте, ведение приусадебных и сельскохозяйственных работ, отношение к природе в целом.

Таблица

Характеристики этнокультурной дифференциации природно-хозяйственных элементов на территории проживания марийцев в Сылвенском поречье  
Characteristics of ethnocultural differentiation of natural and economic elements in the territory of residence of the Mari people in the Sylvensky district

Показатели		Каменка	Красный луг	Тукманы	Сызганка	Тебеняки	Иванково	Васькино	Доля, (%) в ТПЭГ	Среднее значение для ТПЭГ
Поселение в составе	одноядерного ЛХА	+	+	+	+				80	
	двухъядерного ЛХА						+		20	
Планировочный тип поселения с внешней формой	линейная однорядная			+			+		30	
	линейная двухрядная					+		+	30	
	линейная многорядная	+	+						30	
	нелинейная				+				10	
	квартальная									
Расположение в типе местности	надпойменно-террасовом		+			+			30	
	плакорном	+		+	+		+	+	70	
Среднее расстояние от поселений до внешних границ зоны Б, км		3,1	1,7	1,7	1,7	1,7	2,0	2,0		2,0
Среднее расстояние от поселений до внешних границ зоны В, км		4,3	1,9	2,1	2,2	2,1	2,4	2,7		2,5
Площадь зоны А, км <sup>2</sup>		0,44	0,25	0,11	0,86	0,46	0,38	0,81		0,47

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Назаров Н.Н., Фотеева П.С.

Окончание табл.

Показатели	Каменка	Красный луг	Тукманы	Сызганка	Тебеняки	Иванково	Васькино	Доля, (%) в ТПЭГ	Среднее значение для ТПЭГ
Площадь зоны Б, км <sup>2</sup>	7,88	2,5	3,14	4,44	4,17	4,97	4,01		4,44
Среднее значение коэффициента групповой плотности	-	-	-	-	3,5	2,6	2,6		2,9
Среднее значение соотношений площади зоны А к суммарной площади зон Б и В, %	1,8	2,0	1,8	4,9	3,5	5,3	5,6		3,6
Среднее значение соотношений площади 1А к площади 2А, %	11,7	13,7	9,7	16,8	13,2	11,7	7,0		12,0

### Выводы

1. При изучении структурных особенностей ТПЭГ в лесных агроландшафтах равнинных территорий дешифрирование космических снимков является основным методом распознавания и выявления элементов культуры.

2. При выборе конкретных показателей обустройства элементарных этнокультурных ландшафтов целесообразно использование уже апробированных наработок (методов) фиксации проявлений культуры: особенности расселения людей, ведения хозяйства, тип воздействий на природные территориальные системы, формы организации и расположения селитебных комплексов и др.

3. Объективизация наличия культурного кода в природных и природно-хозяйственных объектах может осуществляться с использованием таких показателей, как: средние значения и/или доля (%), соотношение площадных характеристик, расположение в ландшафте (геоморфосистеме), планировочный тип поселения.

4. По мере отработки метода дистанционного изучения ТПЭГ, перечень показателей этнокультурной дифференциации ЭЭЛ может изменяться (увеличиваться, сокращаться).

### Библиографический список

- Белозеров В.С., Шитова Н.А., Соловьев И.А., Чихичин В.В. Миграции и расселение даргинцев в равнинных районах Предкавказья: этапы, факторы, современные особенности адаптации // Региональные исследования. 2016. № 4. С. 37–44.
- Головнев А.В. Антропология движения (древности Северной Евразии). Екатеринбург, 2009. 495 с.
- Жихарева О.И. Изучение ландшафтно-хозяйственных ареалов как средства реконструкции трендов развития культурного ландшафта (на примере Ярославского Верхневолжья) // Российский журнал прикладной экологии. 2015. № 2 (2). С. 26–31.
- Жихарева О.И. Историко-географические закономерности развития культурного ландшафта Ярославского Верхневолжья // Географический вестник. 2017. № 1(40). С. 17–24. doi10.17072/2079-7877-2017-1-17-24.
- Игошева М.А. Адаптационный потенциал этнической идентичности в условиях глобализации: социально-психологический ресурс // Гуманитарный научный вестник. 2020. № 3. С. 205–210.
- Калуцков В.Н. Ландшафт в культурной географии. М.: Новый хронограф, 2008. 320 с.
- Колбовский Е.Ю. Культурный ландшафт и экологическая организация территории регионов: на примере Верхневолжья: дис. докт. геогр. наук. Ярославль, 1999. 410 с.
- Колбовский Е.Ю. Культурный ландшафт и национальный пейзаж: две стороны одной реальности (опыт культурологической экологии) // Историческая география: теория и практика. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2004. С. 22–30.
- Колбовский Е.Ю. Ландшафтное планирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издат. центр «Академия», 2008. 336 с.
- Коробов А.А. Миграционный фактор напряженности этнополитических напряжений в Российской Федерации: автореф. ... докт. полит. наук. Саратов, 2008. 42 с.
- Панков С.В. Сельские селитебные ландшафты Окско-Донской равнины (в пределах Тамбовской области): автореф. ... канд. дис. геогр. наук. Воронеж, 2003. 17 с.
- Плотников Е.В. К вопросу о формировании полиэтнической структуры населения Сахалинской области в конце XIX – начале XX века // Ученые записки Сахалин. гос. ун-та. 2015. № 11–12. С. 164–168.
- Родоман Б.Б. География, районирование, картоиды. Смоленск: Ойкумена, 2007. 368 с.
- Родоман Б.Б. Поляризованная биосфера. Смоленск: Ойкумена, 2002. 336 с.

## Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Назаров Н.Н., Фотеева П.С.

15. Ямсков А.Н. Этноэкологические исследования культуры и концепция культурного ландшафта // Культурный ландшафт: теоретические и региональные исследования. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. С. 62–77.
16. Aasbø S. History and Ecology. *Papers from the Department of Geography, University of Trondheim*. 1999. № 27. pp. 95–101.
17. Brian K. Roberts. *Landscapes of Settlement Prehistory to the present*. London and New York Taylor & Francis e-Library, 2003. 181 p.

## References

1. Belozеров V.S., Shitova N.A., Soloviev I.A., Chikhichin V.V. (2016) Migration and settlement of Dargins in the lowland areas of the Pre-Caucasus: stages, factors, modern features of adaptation, *Regional studies*, no. 4, pp. 37–44.
2. Golovnev A.V. (2009) *Anthropology of Movement (Antiquities of Northern Eurasia)*. Yekaterinburg, 495 p.
3. Zhikhareva O.I. (2015) The study of landscape and economic areas as a means of reconstructing trends in the development of the cultural landscape (on the example of the Yaroslavl Upper Volga region), *Russian Journal of Applied Ecology*, no. 2(2), pp. 26–31.
4. Zhikhareva O.I. (2017) Historical and geographical patterns of the development of the cultural landscape of the Yaroslavl Upper Volga region, *Geographical Bulletin*, no. 1(40), pp. 17–24. doi 10.17072/2079-7877-2017-1-17-24
5. Igosheva M.A. (2020) The adaptive potential of ethnic identity in the context of globalization: a socio-psychological resource, *Humanitarian Scientific Bulletin*, no. 3, pp. 205–210.
6. Kalutskov V.N. (2008) *Landscape in cultural geography*. Moscow: Novyi Chronograph, 320 p.
7. Kolbovsky E.Y. (1999) Cultural landscape and ecological organization of the territory of the regions: on the example of the Upper Volga region: dis. doct. geogr. sciences. Yaroslavl, 410 p.
8. Kolbovsky E.Yu. (2004) *Cultural landscape and national landscape: two sides of one reality (experience of cultural ecology) // Historical geography: theory and practice*. St. Petersburg: Publishing House of RSMU, pp. 22–30.
9. Kolbovsky E.Yu., 2008. *Landscape planning: textbook. manual for students of higher studies*. Moscow: Publishing Center «Academy», 336 p.
10. Korobov A.A. (2008) Migration factor of tension of ethno-political tensions in the Russian Federation. Autoref. dis. doct. polit. Sciences /Saratov State Socio-Economic University. Saratov, 42 p.
11. Pankov S.V. (2003) Rural residential landscapes of the Oka-Don plain (within the Tambov region). Abstract of the cand. dis. geogr. sciences. Voronezh, 17 p.
12. Plotnikov E.V. (2015) On the question of the formation of the polyethnic structure of the population of the Sakhalin region at the end of the XIX – early XX century, *Scientific notes of Sakhalin state University*, no. 11–12, pp. 164–168.
13. Rodoman B.B. (2007) *Geography, zoning, cartography: A collection of works*. Smolensk: Oikumena, 368 p.
14. Rodoman B.B. (2002) *Polarized biosphere: Collection of articles*. Smolensk. Oikumena, 336 p.
15. Yamskov A.N. (2003) *Ethnoecological studies of culture and the concept of cultural landscape, Cultural landscape: theoretical and regional studies*. Moscow: Publishing House of Moscow university, pp. 62–77.
16. Aasbø S. (1999) History and Ecology. *Papers from the Department of Geography*. University of Trondheim, no. 27, pp. 95–101.
17. Brian K. Roberts (2003) *Landscapes of Settlement Prehistory to the present*. London and New York Taylor & Francis, e-Library, 181 p.

Статья поступила в редакцию: 12.01.2023, одобрена после рецензирования: 21.11.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 12 January 2023; approved after review: 21 November 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

## Информация об авторах

**Николай Николаевич Назаров**

доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Лаборатории палеогеографии и геоморфологии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН; 690041, Россия, г. Владивосток, ул. Радио, 7

e-mail: nikolainazarovpsu@gmail.com

## Information about the authors

**Nikolay N. Nazarov**

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Leading Researcher, Laboratory of Paleogeography and Geomorphology, Pacific Geographical Institute, Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; 7, Radio st., Vladivostok, 690041, Russia

**Полина Сергеевна Фотеева**

ассистент кафедры физической географии и ландшафтной экологии, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: p.foteeva@ya.ru

**Polina S. Foteeva**

Assistant, Department of Physical Geography and Landscape Ecology, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

---

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология*  
*Назаров Н.Н., Фотеева П.С.*

**Вклад авторов**

Назаров Н.Н. – формулировка идеи, постановка задачи исследования, написание статьи, научное редактирование текста.

Фотеева П.С. – сбор и обработка материала, визуализация результата.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors**

Nikolay N. Nazarov – formulation of the idea; formulation of the research task; writing of the article; scientific editing of the text.

Polina S. Foteeva – collection and processing of the material; visualization of the result.

The authors declare no conflict of interest.

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ И ПОЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ**

Научная статья

УДК 911.3:355

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-15-26

**СТРАТЕГИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ:  
ВЕКТОРЫ ОБНОВЛЕНИЯ**Александр Георгиевич Дружинин<sup>1</sup>, Ольга Владимировна Кузнецова<sup>2</sup><sup>1</sup> Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия<sup>1</sup> Институт географии РАН, г. Москва, Россия<sup>1,2</sup> Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, г. Москва, Россия<sup>1</sup> alexdru9@mail.ru, Scopus Author ID: 7005628550<sup>2</sup> kouznetsova\_olga@mail.ru

**Аннотация.** Присущие современному мироустройству масштабные геополитические и геоэкономические изменения, дополняемые пролонгированными экономико-технологическими и демографическими трендами, проецируются на российское пространство, корректируя как его внешний контур, так и внутреннюю архитектуру. В этом контексте вновь оживился дискурс о целевых ориентирах, направлениях и способах активизации территориальной социально-экономической динамики Российской Федерации, актуализирована разработка обновлённой стратегии её пространственного развития. Цель статьи состоит в базирующемся на инструментарии общественно-географического анализа выявлении присущих современной России важнейших проблемных областей, дилемм, альтернатив и приоритетов в области её пространственного развития, а также обосновании на этой основе концептуального подхода к обновлению ключевых положений ныне действующей Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г. Констатируется, в частности, внутренняя противоречивость данного документа (превалирование установок на «выравнивание» в рамках аглоцентрированной модели, стремление совместить центростремительные тренды с поиском форматов противодействия «сжатию» освоенного пространства и др.) и его одновременная транзитивность, восприимчивость к инновациям («муниципализация» подходов, учёт «фактора геополитики» и др.). Подчёркнута необходимость модификации Стратегии за счёт сфокусированного внимания к экзогенным детерминантам пространственного развития России (включая формирование «Большой Евразии»), а также его научно-технологическим и оборонно-промышленным факторам. Обоснована целесообразность более последовательного смещения акцентов на стимулирование межрегиональной и межмуниципальной интеграции, на взаимоподдерживающее соразвитие субъектов федерации и муниципальных образований в едином общероссийском рыночном, транспортно-логистическом и информационном пространстве на основе баланса «москвоцентризма» с поддержкой иных полюсов роста, расширением и «взаимонаслоением» их сфер влияния.

**Ключевые слова:** пространственное развитие, стратегия, интеграционные процессы, регионы, муниципальные образования, связь территории, районирование, Россия

**Финансирование:** исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-18-00180 «Поливариантность детерминант и трендов экономической динамики муниципальных образований России: концептуализация, идентификация и типологизация в интересах государственного регулирования пространственного развития») в Институте народнохозяйственного прогнозирования РАН.

**Для цитирования:** 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

**ECONOMIC, SOCIAL AND POLITICAL GEOGRAPHY**

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-15-26

**SPATIAL DEVELOPMENT STRATEGY OF RUSSIA: UPDATE VECTORS****Alexander G. Druzhinin<sup>1</sup>, Olga V. Kuznetsova<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia<sup>1</sup> Institute of Geography of the RAS, Moscow, Russia<sup>1,2</sup> Institute of Economic Forecasting of the RAS, Moscow, Russia<sup>1</sup> alexdru9@mail.ru, Scopus Author ID: 7005628550<sup>2</sup> kouznetsova\_olga@mail.ru

**Abstract.** The large-scale geopolitical and geo-economic changes inherent in the modern world order, complemented by prolonged economic, technological, and demographic trends, are projected onto the Russian space, correcting both its external contour and internal architecture. In this context, the discourse on targets, directions, and ways of activating the territorial socio-economic dynamics of the Russian Federation has revived, and the development of an updated strategy for its spatial development has been reinvigorated. Based on the tools of socio-geographical analysis, the study aims to identify the most important problem areas characteristic of modern Russia, dilemmas, alternatives, and priorities in the field of its spatial development, as well as to substantiate on this basis a conceptual approach to updating the key provisions of the current Spatial Development Strategy of the Russian Federation for the Period up to 2025. The paper notes the internal inconsistency of this document (the prevalence of orientation toward ‘alignment’ within the agglomerative model, the desire to combine centripetal trends with the search for formats to counteract the ‘compression’ of the developed space, etc.) and its simultaneous transitivity, susceptibility to innovation (‘municipalization’ of approaches, consideration of the ‘geopolitics factor’, etc.). The paper emphasizes the need to modify the Strategy by focusing on the exogenous determinants of Russia's spatial development (including the formation of ‘Greater Eurasia’), as well as its scientific, technological, and defense-industrial factors. We substantiate the reasonableness of a more consistent shift in emphasis to the stimulation of interregional and inter-municipal integration, to mutually supportive co-development of regions and municipalities within a single market, transport, logistics, and information space based on the balance of ‘Moscow-centrism’ with the development of other growth poles, expansion, and ‘interlayering’ of their spheres of influence.

**Keywords:** spatial development, strategy, integration processes, regions, municipalities, connectivity of the territory, zoning, Russia

**Funding:** The research was carried out under a grant of the Russian Science Foundation (project No. 23-18-00180 ‘Multivariety of determinants and trends in economic dynamics of Russian municipalities: conceptualization, identification, and typologization in the interests of state regulation of spatial development’) in the Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences.

**For citation:** Druzhinin, A.G., Kuznetsova, O.V. (2024). Spatial development strategy of Russia: update vectors. *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 15–26. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-15-26

**Введение и постановка проблемы**

Для России вопросы её пространства (обширнейшего, разнородного, асимметричного по многим селитебным, ресурсным и хозяйственным характеристикам) и в более сфокусированном, предельно созвучном предмету общественной географии контексте *пространственной организации* традиционно выступают первостепенными, ключевыми. Особым образом они актуализировались в постсоветский период (в связи с федерализацией государственной власти [34] и в ещё большей мере благодаря инициированному новыми политико-экономическими реалиями росту территориальных социально-экономических диспропорций и контрастов, коррелирующих с масштабными миграционными «перетоками»), обретя дополнительную проблемность и остроту уже в последнее десятилетие, характеризуемое не только фактической консервацией российской центрально-периферийной пространственной структуры (демонстрирующей черты «архипелага крупных центров в мире периферии» [35, с. 342]), но и стагнацией российской экономики [33], что само по себе существенно снизило потенциал социально-экономического «выравнивания», генерируя вполне корректное понимание, что «обитаемое и экономическое пространство России сжимается и будет сжиматься дальше» [15, с. 12].

Экономическая, социальная и политическая география  
Дружинин А.Г., Кузнецова О.В.

Ситуация, инициирующая возрастающую потребность в осмысленном и целеориентированном **пространственном развитии**, усугублялась и внешними вызовами. Речь идёт, в частности, о уже проявившемся с момента глобального кризиса 2008 г. и далее всё нарастающем запросе на трансформацию сложившихся межрегиональных хозяйственных и селитебных пропорций в условиях последовательного «дрейфа» геоэкономических интересов нашей страны на глобальный Восток и Юг [9], о соответствующем создании дополнительных «точек роста» и объектов инфраструктуры. Наряду с этим в связи с резко проявившимся (соотносимым с очередной «холодной войной» [16]) конфликтом в системе «Россия – коллективный Запад» в пространственной социально-экономической динамике существенно возросли геополитические ограничения и риски, а на авансцене национальной повестки вновь оказались императивы обеспечения безопасности, устойчивости и территориальной целостности. Именно в данном контексте пятилетие назад Правительством РФ утверждён специальный документ – «*Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г.*» (далее – СПР), чьи положения, послылы, а затем и среднесрочные эффекты имплементации, ещё на стадии разработки оказавшись предметом междисциплинарного дискурса, были подвержены в том числе многоаспектной профессиональной критике [18, 19, 22, 27, 28, 30, 31, 37]. В дискуссионном поле пребывали при этом практически все ключевые компоненты стратегии: предложенная в ней сетка макрорегионов, перечень «центров роста», списки перспективной экономической специализации территорий, транспортные проекты [13]. СПР вменяли также её общую неадекватность приоритетам и реалиям России, «антифедералистичность» (констатируя, что «субъектам Федерации как бы отводится роль пассивных наблюдателей» [3, с. 638] и одновременно уже с иных позиций – следование логике ресурсной экономики советского типа при игнорировании строгих критериев социоэкономической эффективности [38].

Проявившийся осязаемый разброс точек зрения и суждений симптоматично отражает, как представляется, не только чрезвычайную сложность российского пространства, разнородность факторов и трендов его динамики, равно как и вариантность стратегической перспективы, но и изначальную, обусловленную политической ангажированностью («искусством возможного», попыткой «пройти между Сциллой и Харибдой») эклектичность СПР, сочетающуюся с её концептуальной «промежуточностью», транзитивностью, открытостью к ситуативно-конъюнктурным изменениям.

И действительно, уже в 2021–2022 гг. текст действующего документа оказался дополнен содержательными и понятийно-категориальными новациями [Распоряжение Правительства РФ от 13.02.2019 N 207-р (ред. от 30.09.2022) «Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года» [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_318094/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318094/)], в числе которых целесообразно особо выделить: 1) установку на дальнейшую *деконцентрацию в рамках аглоцентрированной модели пространственного развития* (вводом в документ не только понятия «городская агломерация», но и «опорного населенного пункта», равно как и декларирования необходимости *улучшения транспортной доступности сельских территорий*); 2) акцент на «*сбалансированное пространственное развитие*» при одновременном «продвижении» мобильных форматов оказания услуг, провозглашения необходимости повышения мобильности трудовых ресурсов, также означающих выстраивание стратегии освоения и развития российского пространства в рамках признания магистрального тренда на его «сжатие»; 3) констатацию возрастающего влияния на пространственную динамику «фактора геополитики», проявившуюся, в частности, в приоритетном внимании к «*приграничным муниципальным образованиям*»; 4) «муниципализацию» стратегических установок в сфере пространственного развития – аспектную, непоследовательную, но тем не менее симптоматичную и (как подчёркивалось ранее [23]) крайне необходимую.

Экономическая, социальная и политическая география  
Дружинин А.Г., Кузнецова О.В.

Однако даже в своём модифицированном виде СПР по целому ряду аспектов остаётся неадекватной запросам и возможностям современного российского общества (известный российский экономист-регионовед В.Н. Лексин удачно отождествил результат её реализации с «некрозом ткани российского пространства» [28, с. 21]), равно как и темпу, «плотности» изменений в его пространственной организации. Это обстоятельство не только констатируется представителями исследовательского сообщества [4, 5], но и осознаётся на высшем государственном уровне, что проявилось в недавнем решении *разработать в 2024 г. новую концепцию СПР Российской Федерации* [Кабмин в 2024 г. представит новую концепцию стратегии пространственного развития. <https://tass.ru/ekonomika/19369521>]. Цель статьи состоит в попытке её авторов, осмысливая и раскрывая важнейшие проблемные области, дилеммы, альтернативы и приоритеты в пространственном развитии нашей страны, наметить содержательный контур подобного рода концепции, высветить наиболее значимые и актуализированные её компоненты.

**Важнейшие новации российского пространства и способы их учёта в СПР.** Стартовым отправным моментом при формировании концептуальных подходов для СПР должен явиться учёт ключевых для России обстоятельств, проявившихся в последние два года.

Первое связано, разумеется, со специальной военной операцией, с глобальной геополитикой и может быть идентифицировано как *системный рост воздействия на российское пространство «военного фактора»*. Отчасти он имеет ограниченное по времени влияние – в части несколько выравнивающего социально-территориальную асимметрию потенциала денежных выплат участникам военных действий (и членам их семей). Вместе с тем в целом это пролонгированный и пока лишь своими отдельными аспектами корректирующий общую инерцию территориально-хозяйственной и селитебной динамики процесс (подходы к его анализу рассмотрены в [10]). Среди наиболее явных его сторон – формирование дополнительных «плюсов роста» в местах концентрации (локализации) предприятий оборонно-промышленного комплекса при возрастающей роли последнего в качестве одного из межтерриториальных интеграционных «скрепов» (по завершении СВО предприятия ОПК могут стать центрами производства поставляемого на экспорт вооружения и/или высокотехнологичных конверсионных производств); формирование особого места в российском пространстве регионов и отдельных муниципальных образований как непосредственно включённых в театр военных действий или испытавших их последствия (юго-запад России), так и ставших местом развёртывания новых частей и соединений (западное и северо-западное порубежья). Представляется необходимым в этой связи не только полноформатно «прописать» в формируемой СПР приоритеты поддержки и послевоенной реабилитации новых российских территорий (при одновременной их интеграции в экономическую, селитебную и социокультурную структуры страны), но и включить их в число приоритетных геостратегических территорий, предусматривая целесообразность первоочередной федеральной поддержки в связи со специфическими, усложнёнными условиями жизни и ведения хозяйственной деятельности.

Второе обстоятельство – противостояние с коллективным Западом в целом, которое придало среди прочего дополнительный импульс евразийскому вектору российской геостратегии, сохранив и нарастив тем самым *влияние на пространственное развитие нашей страны экзогенных детерминант*. На микроуровне ещё большую значимость обрели, в частности, приграничные и приморские муниципальные образования; на мезоуровне проявился «контактный» межцивилизационный, межгосударственный потенциал таких регионов, как Адыгея, Башкортостан, Бурятия, Дагестан, Республика Крым, Татарстан, Тыва, Чечня (территорий-посредников в российских кросс-культурных коммуникациях с «центральными зонами» Исламской Уммы, Тюркского мира и др.). Эти новации предполагают уточнение подходов к выделению геостратегических территорий России: исходя из приграничного или приморского положения, статус геостратегических должны получать скорее отдельные муниципальные образования, а

Экономическая, социальная и политическая география  
Дружинин А.Г., Кузнецова О.В.

не субъекты федерации в целом (хотя в отдельных случаях геостратегическими могут оказываться все муниципальные образования региона), тогда как особую значимость в развитии внешнеэкономических связей должны иметь не только приграничные или приморские регионы (прежде всего уместно говорить о «*стратегических территориях евразийской интеграции*» – существенно значимых для устойчивого и эффективного присутствия России в евразийских интеграционных структурах и процессах).

Жёсткие турбулентные и высококонкурентные условия пока лишь формирующегося многополюсного мира и соответствующие современным реалиям многовекторные партнёрства Российской Федерации в условиях полицентрической Евразии инициируют и общее смещение приоритетов СПР в пользу не только региональной и муниципальной проблематики, но и одновременно с этим *обеспечения соразмерной с нашими евразийскими партнёрами и соседями социально-экономической динамики всего российского пространства как единого целого*. Вопрос этот (ныне являющийся одним из сердцевинных, во многом экзистенциальных для России) в свою очередь тесно увязан с ключевыми, устойчиво воспроизводимыми все последние годы (в том числе в связи с СПР) дилеммами нашего пространственного развития, точнее с возможностями и путями их разрешения.

Третье важнейшее обстоятельство – новое усиление (после «паузы» 2010–2018 гг. на фоне пандемии COVID-19 и СВО) ставших для постсоветской России реальностью *депопуляционных процессов* (по данным Росстата, численность постоянного населения в 2022 г. превысила численность населения 2019 г. только в 22 субъектах Федерации [<https://fedstat.ru/indicator/31556>], рост численности населения за 2022 г. был зафиксирован в 33 регионах [<https://fedstat.ru/indicator/61751>]). Согласно демографическому прогнозу Росстата, число жителей страны (без учёта новых территорий) в ближайшее десятилетие будет сокращаться примерно на 450–500 тыс. в год, при этом данный показатель заведомо не учитывает прямые и косвенные военные потери [Демографический прогноз. Федеральная служба государственной статистики. <https://rosstat.gov.ru/folder/12781>]. В пространственной проекции подобный тренд будет проявляться как ускоренное обезлюдивание подавляющей части сельской периферии, равно как и исчерпание ресурсов количественного роста для значительной части городских территорий. Новая СПР в этой связи должна сполна учитывать данные *демографические ограничения* и в существенно большей, нежели её предшественница, мере быть *ориентированной на межтерриториальную коммуникацию, координацию, мобильность*, в том числе и на обеспечение возможности «присутствия» каждого активного жителя России в двух-трёх точках её пространства. Подобный феномен уже имеет место [29], однако продолжает оставаться интересным по большей части только научному сообществу, одним из подтверждением чего является тот факт, что анкета Всероссийской переписи населения не предусматривает указания двух или большего числа реально постоянных мест жительства. Данный феномен следует и далее идентифицировать, стимулировать и постулировать, в том числе в формате СПР.

**Основные дилеммы пространственного развития современной России и пути их разрешения с позиций общественной географии.** С какой бы территорией мы ни имели дело, подчёркивал основоположник отечественной экономической географии Н.Н. Баранский, «её можно и должно рассматривать двояко: 1) как часть некоторого более обширного целого и 2) как целое, состоящее из частей» [2, с. 19]. И это классическое методологическое видение диалектического единства целого и его обособленных составляющих (когда с позиций географического миропонимания «мир = миры» [36]) по-прежнему сверхактуально для нашей страны, для стратегирования её пространственного развития.

В развитии пространства как *позиционированной во внешнем окружении фрагментированной целостности*, по существу, превалируют две во многом альтернативные идеологии. Первая акцентирована на эффекты концентрации и агломерации, ориентирует на приоритет

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Дружинин А.Г., Кузнецова О.В.*

сильных, предоставляя всем иным, не оказавшимся в их немногочисленной страте, возможности, связанные с интеграционными процессами, с диффузией инноваций, наконец, с «компенсаторными» перетоками ресурсов. Потенциал её реализации в современной России, заметим, лимитирован государственным устройством страны, её этнодемографической «мозаичностью», а также доминирующей в последнее время и демонстрирующей свой ренессанс социокультурной традицией. Вторая же, напротив, постулирует именно выравнивание, рассредоточение, включая и столь актуальное для Российской Федерации освоение (реосвоение) территорий. Последнему, кстати, объективно благоприятствует локализация наиболее значимых компонент природно-ресурсного потенциала именно на периферии страны (с выраженным северо-восточным вектором), а противостоит веками складывавшаяся селитебная и хозяйственная «уплотнённость» в историческом ядре формирования Российского государства, уже в постсоветский период переформатированная в гипертрофированный московско-питерский асимметричный пространственный бицентризм.

Что же, в итоге, для России, для её современной пространственной динамики следует рассматривать в качестве общефедерального приоритета: социально-экономическое выравнивание, поддержку «слабых» (а следование этой концептуальной установке в последние годы встречает возрастающую оппозицию в исследовательском сообществе [5; 15]) или развитие страны с преимущественной опорой на территории-лидеры (на первую десятку субъектов Федерации по объёму их хозяйственной активности приходится 54% всего ВРП), которые, впрочем, как полагают [31], также не демонстрируют явного превосходства ни с точки зрения эффективности производства, ни темпов экономического роста?

Нужен ли в СПР вообще превалирующий акцент на межтерриториальном социально-экономическом выравнивании (чему напрямую противодействуют центр-периферийные градиенты, равно как и практическая неустраиваемость различий в условиях проживания и хозяйственной деятельности по оси «север – юг»)? Либо более реалистично каждую территорию стараться эффективно (для конкретной территориальной общности и России в целом) «вписать» в пространственную архитектуру страны, одновременно адаптируя последнюю к меняющимся реалиям (в том числе ментальным, связанным с тиражируемыми установками на многополярность, справедливость, учёт интересов большинства)?

Чем должна являться в этой связи сама СПР: инструментом «подтягивания» территорий-аутсайдеров до некоего усреднённого уровня, или, напротив, нормативным актом, постулирующим поступательную динамику всей страны как единой внутренне структурированной системы? Необходимо ли, возможно ли в новом варианте СПР первоочередное «продвижение» интересов тех или иных, пусть и весьма проблемных, ресурсообеспеченных регионов (например, Дальнего Востока, территорий Сибири, Арктической зоны), или конфигурация и структура российского пространства (особенно в условиях современных геополитических коллизий) диктуют необходимость многовекторного развития, предполагающего в том числе поддержку уже чётко выраженного [12] «поворота» на юг, равно как и пролонгацию западного, в том числе балтийского вектора?

Формируя концепцию СПР в условиях глобальной турбулентности, следует также чётко осознавать: соответствует ли задачам обеспечения нашей национальной безопасности именно выравнивание (как принято полагать [3]) или целостность страны сопряжена с разумной, регулируемой асимметрией? Как мы понимаем само «выравнивание»? Стоит ли говорить (в духе идеологии середины прошлого столетия о «равномерном размещении производительных сил» [20]) о реальном нивелировании ключевых социально-экономических различий, которое достижимо лишь гипотетически, при крайне высоких и, скорее всего, малоэффективных затратах? Или же нужно принять как данность устойчивое воспроизводство центр-периферийной модели и сконцентрироваться на недопущении чрезмерной, разрушающей единство социально-экономического пространства дистанции между лидерами и периферией?

Экономическая, социальная и политическая география  
Дружинин А.Г., Кузнецова О.В.

Полагаем, что концептуально новая версия СПР должна вмещать ответы на перечисленные вопросы, предложив приемлемый для всего российского общества, для регионов и муниципальных образований страны именно *сбалансированный подход, ориентированный на развитие, эффективность, территориальную целостность, солидарность и сопряжённость*. Его методологической основой при этом призвана стать сердцевинная в общественной географии *идея полимасштабности*, предполагающая для СПР в том числе компенсационный крен от региональной фрагментированности российского пространства к его интегрированности, от преимущественно региональной фокусировки СПР к её столь же необходимой муниципальной проекции, от «точечного» моноцентрического развития к мультиплицирующему позитивные социально-экономические эффекты моно-полицентрическому сетевому взаимодействию. Заведомая *компромиссность* будущей СПР (по идеологическим, организационным и иным мотивам) и необходимость в этой связи действенного преодоления дилемм пространственного развития на основе совмещения (а лучше синтеза) двух вышеизложенных подходов определяют круг её ключевых приоритетов.

**Ключевые приоритеты для новой версии СПР Российской Федерации.** Важнейший – *интеграционный*, ориентирующий на решение сверхзадачи *дальнейшего развития межрегиональных и межмуниципальных взаимодействий*, причём пусть и не равноправных (что в принципе невозможно), но заведомо выигрышных для всех территорий-участников. Его концептуальное «присутствие» ощутимо и в действующей СПР, и в связанном с вопросами пространственного развития дискурсе [3, 19, 24], но пока ориентировано в преимущественной мере на собственно агломерационные процессы [21] либо на диверсифицированные «точечные» федеральные приоритеты за пределами оконтуриваемых ими зон. В то же время, как подчёркивал ведущий отечественный геоурбанист Г.М. Лаппо, «отдавая приоритет крупным городам... нельзя забывать о необходимости использования потенциала всего расселения» [25, с. 9]. Этот тезис, кстати, стыкуется и с более широкой, столь же актуализированной в современных условиях, зародившейся в 1970-е гг. идеей «Единой системы расселения», предполагающей «координированное развитие всех типов поселений» [1, с. 538].

Ориентируясь на позитивные изменения в транспортно-логистической сфере, в обновлённую СПР следует вместить, в частности, установку на стимулирование «малых» групповых систем расселения (сельских, полу-сельских), и в этом плане продуктивно предложение формирования «ассоциаций населённых пунктов» [17] с ядрами менее 100 тыс. жителей. Последние должны получить федеральную и региональную поддержку в увязке с динамикой урбанистических «полюсов роста» в формате планомерной организации стратегически значимых для современной России «осей развития», понимаемых как выстраиваемые вдоль (и на основе) транспортных коридоров международного, федерального и межрегионального значения совокупности сопряжённых городских агломераций и опорных населённых пунктов, формирующих интегрированные социально-экономические пространства.

Акцентируем внимание на том, что новые скоростные автомобильные и железнодорожные магистрали не только порождают возможности для активизации экономической динамики тяготеющих к ним регионов и их муниципальных образований в формате *линейной полицентрической регионализации* (с коррекцией доминантных селитебных и хозяйственных связей в пользу «соседей по трассе»), но и инициируют объединение складывающихся «*рассредоточенных конурбаций*» (агломераций, оказывающихся в 1,5–2 часовой доступности) в контурах размытых, динамичных, взаимно наслаивающихся российских «*больших пространств*».

Ранее нами уже фокусировалось внимание на соответствующей проблематике применительно к российскому Югу [11]. Здесь же подчеркнём *заведомое потенциальное типологическое многообразие «больших пространств»*, поскольку в этом качестве способны выступить: 1) традиционные культурно-хозяйственно-природные макрорегионы («уникальные террито-

Экономическая, социальная и политическая география  
Дружинин А.Г., Кузнецова О.В.

риально-управленческие образования» [26]) наподобие Урала (чей концепт продолжает культивироваться [32]); 2) расширительные версии последних (например, «Большой Юг России» [11]); 3) различающиеся своими географическими и социально-экономическими параметрами «междуморья» (особым образом перспективны в новой геополитической ситуации балто-каспийское, а также балто-тихоокеанское); 4) «межтерриториальные» (между ментально устоявшимися макрорегионами страны) ареалы и полосы (включая, к примеру, Урало-Поволжье, рассматриваемое [6] как своеобразная переходная зона между европейской и азиатской частями России); 5) оси и полосы между крупнейшими городскими российскими агломерациями (наиболее значимая, формируемая именно автодорожным строительством – «Санкт-Петербург – Москва – Нижний Новгород – Казань» – стала реальностью уже в конце 2023 г.).

Основываясь на примате вышеизложенных интеграционных приоритетов, вся траектория территориально-хозяйственной и селитебной динамики современной России должна объединять в итоге последовательное *продвижение от отдельных полимасштабных, иерархичных «центров роста» с их ареалами влияния к взаимно пересекающимся «ареалам развития», и далее к единому моно-полицентрическому континуально-дискретному национальному пространству*. И этот магистральный вектор, в свою очередь, предполагает концептуальный **отказ от укоренённого упрощённого понимания структурирования российского пространства** лишь в контурах субъектов Федерации и муниципальных образований, равно как и фигурирующей в действующей СПР сетки «макрорегионов» (пусть даже, как подчёркивается [7], весьма обоснованных), **в пользу признания наличия** (наряду с последними) **сложных, многомерных интегрированных пространственных структур**. Заметим также, что любого рода районирование – это не только попытка вычленения неких «объективных данностей», но и ментальная фрагментация пространственной целостности, создающая предпосылки в том числе для последующих «разломов» и «разрывов» единой хозяйственной и селитебной «ткани» страны (весьма нежелательных, особенно в геополитическом противостоянии). *Примат территориально-интеграционного над регионально-фрагментирующим* (при одновременном сочетании этих подходов) должен, полагаем, стать лейтмотивом новой СПР, равно как и её **дальнейшая «муниципализация»**, наряду с акцентом на межмуниципальные структуры и взаимодействия, что означает: последовательное внедрение типологических подходов (в том числе природно-зональных, центрo-периферийных, этнодемографических) в формирование как фактологии СПР, так и её положений, направлений реализации; увязку приоритетов и возможностей пространственного развития с коррекцией системы местного самоуправления; культивирование муниципально-сфокусированных подходов при обосновании научно-технологического аспекта пространственного развития, ставшего в последнее время особо значимым; максимально возможное «приближение» инструментария СПР к человеку, непосредственной среде его жизнедеятельности, её состоянию (и тем самым преодолению негатива ситуации, когда, по справедливому определению сибирских коллег, «человек и природа отошли на второй план» [18, с. 36]).

### Заключение

Разработка обновлённой СПР Российской Федерации предполагает как всесторонний (в том числе критический) учёт предшествующего опыта, так и осмысление новых (иницированных изменившимися для страны внутренними и в ещё большей мере внешними условиями её функционирования) трендов, проблемных ситуаций и целевых ориентиров территориальной организации российского общества. В ходе обновления СПР важно исходить из усложнения процессов формирования российского пространства: увеличивается роль и разнообразие форматов возвратной мобильности населения; благодаря развитию транспортной инфраструктуры растёт влияние городов на окружающие территории не только в пределах город-

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Дружинин А.Г., Кузнецова О.В.*

ских агломераций, но и более обширных пространств, в результате чего собственно агломерационные процессы дополняются формированием более сложных структур – осей и ареалов развития, «рассредоточенных конурбаций»; военные действия в пределах новых субъектов Российской Федерации делают их совершенно особым типом территорий, нуждающихся не только в инкорпорировании в общероссийское пространство, но и в послевоенном восстановлении. Подобное усложнение пространственной структуры неизбежно требует гораздо более выраженного, по сравнению с действующей СПР, смещения акцентов с регионального уровня на муниципальный (включая введение в оборот термина «геостратегические муниципальные образования»), но вместе с тем и полимасштабного подхода.

Понимание реального разнообразия, мозаичности российского пространства должно являться основой не только и даже не столько для выработки мер пространственной политики в отношении разных типов территорий, сколько для обеспечения единства российского пространства за счет широкомасштабного развития взаимодействия территорий на самых разных иерархических уровнях (межрегиональном, межмуниципальном). Должны быть сформированы представления о единой системе расселения (вбирающей в себя нынешние многочисленные варианты разных центров роста – городских агломераций, сельских агломераций, опорных населенных пунктов) и, главное, о их взаимовлиянии и соразвитии. Такой подход, как представляется, в конечном итоге может помочь в поиске ответа на ключевой вопрос пространственной политики (определение необходимых масштабов и форматов сокращения территориальных различий), поскольку позволит уйти от традиционного противопоставления города и села, центра и периферии к осмыслению потенциала и конкретных направлений их взаимозависимого развития.

**Библиографический список**

1. Агафонов Н.Т., Лавров С.Б., Хорев Б.С. О некоторых ошибочных концепциях в урбанистике // Известия Всесоюзного географического общества. 1982. Вып. 6. С. 533–538.
2. Баранский Н.Н. О методике лекций по районному курсу экономической географии СССР // Известия Всесоюзного географического общества. 1941. № 1. С. 16–22.
3. Бухвальд Е.М., Кольчугина А.В. Стратегия пространственного развития и приоритеты национальной безопасности Российской Федерации // Экономика региона. 2019. Т. 15, вып. 3. С. 631–643. doi: 10.17059/2019-3-1.
4. Бухвальд Е.М., Валентик О.Н., 2023. Корректировки в стратегии пространственного развития: есть ли значимые продвижения? // Региональная экономика. Юг России. Т. 11, № 1. С. 31–42. doi: <https://doi.org/10.15688/re.volsu.2023.1.3>.
5. Гильмундинов В.М., Панкова Ю.В. Пространственное развитие России в условиях внутренних и внешних вызовов // Проблемы прогнозирования. 2023. № 4 (199). С. 82–93. doi: 10.47711/0868-6351-199-82-93
6. Голубченко И.В. Урало-Поволжье: место в районировании и территориальной организации России // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2008. № 5. С. 48–53.
7. Голубченко И.В. О районировании России (в связи с проектом стратегии пространственного развития) // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2018. № 4. С. 32–38. doi: 10.18384/2310-7189-2018-4-32-38
8. Дружинин А.Г. Пролонгация «москвоцентричности» российского пространства: pro et contra // Полис. Политические исследования. 2018. № 5. С. 29–42. doi: <https://doi.org/10.17976/jpps/2018.05.04>
9. Дружинин А.Г. Идеи классического евразийства и современность: общественно-географический анализ. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2021. 270 с.
10. Дружинин А.Г. «Военная тематика» в российских общественно-географических исследованиях: подходы, тренды, приоритеты // Географический вестник. 2023. № 19(1). С. 30–43. doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-30-43.
11. Дружинин А.Г. Актуальные проблемы систематизации и унификации географической терминологии в исследованиях южнороссийского регионогенеза // Научная мысль Кавказа. 2023. № 1. С. 5–15.
12. Дружинин А.Г., Кузнецова О.В. «Южный вектор» в пространственном развитии постсоветской России: основные факторы и проявления // Федерализм. 2023. № 2. С. 5–26.
13. Жихаревич Б.С. Влияние Стратегии пространственного развития России на муниципальные стратегии // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2021. № 3. С. 8–19. doi: 10.52897/2411-4588-2021-3-8-19.
14. Замятина Ю.Н., Пилясов А.Н. Россия, которую мы обрели: исследуя пространство на микроуровне. М.: Новый хронограф, 2013. 548 с.
15. Зубаревич Н.В. Региональное развитие и региональная политика в России // ЭКО. 2014. № 4 (478). С. 6–27. <https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2014-4-6-27>.
16. Караганов С.А. О третьей Холодной войне // Россия в глобальной политике. 2021. Т. 19, № 4 (110). С. 21–34. doi: 10.31278/1810-6439-2021-19-4-21-34

Экономическая, социальная и политическая география  
Дружинин А.Г., Кузнецова О.В.

17. Катанандов С.Л., Межевич Н.М., Солодилов В.В. «Сельские агломерации» и «сельские ассоциации населенных пунктов» – возможные направления развития местного самоуправления на Северо-Западе России // Управленческое консультирование. 2021. № 9. С. 9–17. doi: 10.22394/1726-1139-2021-9-9-17.
18. Крюков В.А., Селиверстов В.Е. Стратегическое планирование пространственного развития России и её макрорегионов: в плену старых иллюзий // Российский экономический журнал. 2022. № 5. С. 22–40. doi: 10.33983/0130-9757-2022-5-22-40
19. Коломак Е.А., Крюков В.А., Мельникова Л.В., Селиверстов В.Е., Суслов В.И., Суслов Н.И. Стратегия пространственного развития России: ожидания и реалии // Регион: экономика и социология. 2018. № 2. С. 264–287. doi: 10.15372/REG20180212
20. Константинов О.А. К истории и современному состоянию экономико-географической науки в СССР // Известия Всесоюзного географического общества. 1955. № 3. С. 259–266.
21. Котов А.В. Варианты пространственного развития России в контексте межрегиональных взаимодействий // Проблемы прогнозирования. 2021. № 3. С. 135–144. doi: 10.47711/0868-6351-186-135-144
22. Кузнецова О.В. Стратегия пространственного развития Российской Федерации: иллюзия решений и реальность проблем // Пространственная экономика. 2019. Т. 15, № 4. С. 107–125. <https://dx.doi.org/10.14530/se.2019.4.107-125>.
23. Кузнецова О.В. Развитие муниципальной проблематики в государственной пространственной политике России // Региональные исследования. 2022. № 2. С. 16–24. doi: 10.5922/1994-5280-2022-2-2
24. Лаженцев В.Н. Арктика и Север в контексте пространственного развития России // Экономика региона. 2021. Т. 17, вып. 3. С. 737–754. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-3-2>.
25. Лаппо Г.М. Города на пути в будущее. М: Мысль, 1987. 236 с.
26. Лексин В.Н., Порфирьев Б.Н. Экспертиза проектов развития макрорегионов России: проблемы организации // Проблемы прогнозирования. 2016. № 6 (159). С. 18–29.
27. Лексин В. Как это делается. К разработке стратегии пространственного развития России // Свободная мысль. 2018. № 4 (1670). С. 13–30.
28. Лексин В.Н. Дороги, которые не мы выбираем (о правительственной «Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года») // Российский экономический журнал. 2019. № 3. С. 3–24. doi: 10.33983/0130-9757-2019-3-3-24
29. Между домом и... домом. Возвратная пространственная мобильность населения России. М.: Новый хронограф, 2016. 504 с.
30. Минакир П.А. Российское экономическое пространство. Стратегические тупики // Экономика региона. 2019. Т. 15, вып. 4. С. 967–980. <https://doi.org/10.17059/2019-4-1>
31. Михеева Н.Н. Стратегия пространственного развития: новый этап или повторение старых ошибок // ЭКО. 2018. № 5. С. 159–178. doi: 10.30680/ЕСО0131-7652-2018-5-158-178
32. Назукина М.В. Уральский макрорегион в системе территориальных идентичностей современной России // Известия РАН. Серия географическая. 2015. № 6, С. 37–47. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-6-37-47>
33. Порфирьев Б.Н. Перспективы экономического роста России // Научные труды Вольного экономического общества России. 2020. Т. 221, № 1. С. 83–91.
34. Смирнягин Л.В. Общественная география. Федерализм. Регионализм. М.: КомКнига, 2005. 464 с.
35. Трейвиш А.И. Город, район, страна и мир. Развитие России глазами страноведа. М.: Новый хронограф, 2009. 372 с.
36. Тютюнник Ю.Г. О феномене географии // Известия РАН. Серия географическая. 2010. № 6. С. 8–18.
37. Шамахов В.А., Межевич Н.М. Стратегия пространственного развития Российской Федерации до 2025 года: экономические возможности и управленческие ограничения // Управленческое консультирование. 2019. № 4. С. 19–27. doi: 10.22394/1726-1139-2019-4-19-27
38. Швецов А.Н. Российское пространство в процессе исторических переходов (к разработке и реализации теории постсоветских системных преобразований организации социоэкономического пространства) // Российский экономический журнал. 2021. № 6. С. 66–100. <https://doi.org/10.33983/0130-9757-2021-6-66-100>
39. Широ А.А., Михеева Н.Н., Гусев М.С., Савчишина К.Е. Макроэкономическая стабилизация и пространственное развитие экономики // Проблемы прогнозирования. 2019. № 5. С. 3–15.

#### References

1. Agafonov N.T., Lavrov S.B., Xorev B.S. On some erroneous concepts in urbanism [O nekotory'x oshibochny'x koncepciyax v urbanistike] // Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshhestva. 1982. No. 6. Pp. 533–538
2. Baranskij N.N. On the methodology of lectures on the regional course of economic geography of the USSR [O metodike lekcij po rajonnomu kursu e'konomicheskoy geografii SSSR] // Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshhestva. 1941. No. 1. Pp. 16–22.
3. Bukhvald E.M., Kolchugina A.V. The spatial development strategy and national security priorities of the Russian Federation. *Economy of Region*. 2019. T.15, No. 3. Pp. 631–643 doi: 10.17059/2019-3-1
4. Buchwald E.M., Valentik O.N., 2023. Amendments in Spatial Development Strategy: Are There Any Significant Advances? *Regionalnaya ekonomika. Yug Rossii* [Regional Economy. South of Russia], vol. 11, no. 1, pp. 31–42. (in Russian). doi: <https://doi.org/10.15688/re.volsu.2023.1.3>
5. Gilmundinov V.M. and Pankova Yu.V. Spatial Development of Russia under the Conditions of External and Internal Challenges // *Studies on Russian Economic Development*. 2023 Vol. 34, No. 4 Pp. 484–491. doi: 10.1134/S107570072304007X
6. Golubchenko I.V. The Urals-Volga Region and its place in the regionalization and territorial organization of Russia // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5. Geografiya*. 2008. № 5. S. 48–53
7. Golubchenko I. Zoning of Russia (In Connection with the Draft of the Spatial Development Strategy). In: *Bulletin of the Moscow Region State University, Series: Natural Sciences*, 2018, no. 4, pp. 32–38. doi: 10.18384/2310-7189-2018-4-32-38

Экономическая, социальная и политическая география  
Дружинин А.Г., Кузнецова О.В.

8. Druzhinin A.G. Prolongation of the “Moscow-Centric” Russian Space: *pro et contra*. – Polis. Political Studies. 2018. No. 5. Pp. 29–42. (In Russ.) <https://doi.org/10.17976/jpps/2018.05.04>
9. Druzhinin A.G. The ideas of classical Eurasianism and modernity: a socio-geographical analysis [Idei klassicheskogo evrazijskogo i sovremennost': obshhestvenno-geograficheskij analiz]. Rostov-na-Donu: Izd-vo Yuzhnogo federal'nogo universiteta. 2021. 270 p.
10. Druzhinin A.G. (2023). Military topics in Russian socio-geographical research: approaches, trends, priorities. Geographical Bulletin. No. 19(1). Pp. 30–43. doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-30-43.
11. Druzhinin A.G. Actual problems of systematization and unification of geographical terminology in the research of South Russian regionogenesis // Nauchnaya mysl' Kavkaza. 2023. № 1. Pp. 5-15.
12. Druzhinin A.G., Kuznetsova O.V. The Southern Vector in the Spatial Development of Post-Soviet Russia: the Main Factors and Manifestations. Federalism. 2023;28(2):5-26. (In Russ.) <https://doi.org/10.21686/2073-1051-2023-2-5-26>.
13. Zhikharevich B.S. Impact of the spatial development strategy of Russia on municipal strategies// E'konomika Severo-Zapada: problemy i perspektivy razvitiya. 2021. № 3. Pp. 8–19 doi: 10.52897/2411-4588-2021-3-8-19
14. Zamyatina Yu.N., Pilyasov A.N. Rossiya, kotoruyu my' obreli: issleduya prostranstvo na mikrourovne [The Russia we have found: exploring space at the micro level.]. M: Novy'j khronograf. 2013. 548 s.
15. Zubarevich N.V. Regional'noe razvitie i regional'naya politika v Rossii [Regional development and regional policy in Russia]// E'KO. 2014. № 4 (478). Pp. 6–27. <https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2014-4-6-27>.
16. Karaganov S.A. O tret'ej Xolodnoj vojne [On the Third Cold War]// Rossiya v global'noj politike. 2021. T. 19. № 4 (110). S. 21-34. doi: 10.31278/1810-6439-2021-19-4-21-34
17. Katanandov S.L., Mezhevich N.M., Solodilov V.V. "Rural Agglomerations" and "Rural Associations of Settlements" — Possible Directions for the Development of Local Self-Government in the North-West of Russia. *Administrative Consulting*. 2021;(9):9-17. (In Russ.) <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2021-9-9-17>
18. Kryukov V.A., Seliverstov V.E. Strategic planning of the spatial development of Russia and its macro-regions: Captured to old illusions. *Russian Economic Journal*. 2022;(5):22–40. (In Russ.). <https://doi.org/10.33983/0130-9757-2022-5-22-40>.
19. Kolomak E.A., Kryukov V.A., Melnikova L.V., Seliverstov V.E., Suslov V.I., Suslov N.I. Spatial development strategy of Russia: expectation and reality. *Region: Economics & Sociology*, 2018, No.2 (98), Pp. 264–287. doi: 10.15372/REG20180212
20. Konstantinov O.A. K istorii i sovremennomu sostoyaniyu e'konomiko-geograficheskoy nauki v SSSR [On the history and current state of economic and geographical science in the USSR]// *Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshhestva*. 1955. № 3. Pp. 259–266.
21. Kotov A.V. Options for the Spatial Development of Russia in the Context of Interregional Interactions // *Studies on Russian Economic Development*. 2021. Vol. 32. № 3. Pp. 318–324. doi: 0.1134/S1075700721030072
22. Kuznetsova O.V. Problems of Elaboration of Spatial Development Strategy of the Russian Federation. *Prostranstvennaya Ekonomika = Spatial Economics*, 2019, Vol.15, No.4, Pp.107–125. <https://dx.doi.org/10.14530/se.2019.4.107-125> (In Russian).
23. Kuznetsova O.V. Development of municipal issues in the state spatial policy of Russia. // *Regional'ny'e issledovaniya*. 2022. No. 2. Pp. 16–24. doi: 10.5922/1994-5280-2022-2-2
24. Lazhentsev, V. N. (2021). The Arctic and the North: A Russian Spatial Development Context. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 17(3), 737–754, <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-3-2>.
25. Lappo G.M. Goroda na puti v budushhee [Cities on the way to the future]. M: My'sl', 1987. 236 p.
26. Leksin V.N., Porfiryev B.N. E'kspertiza proektov razvitiya makroregionov Rossii: problemy organizatsii [Expertise of projects for the development of macro-regions of Russia: problems of organization]// *Problemy prognozirovaniya*. 2016. № 6 (159). Pp. 18–29.
27. Leksin V.N. How it is Being Made. On Elaborating Strategy of Spatial Development of Russia. *Svobodnaya Mysl' = Free Thought*, 2018, No. 4, Pp. 13–30. (In Russian)
28. Leksin V.N. The Roads that We do not Choose (on the Government «Strategy of Spatial Development of the Russian Federation for the Period up to 2025»). *Rossiskiy Ekonomicheskij Zhurnal = Russian Economic Journal*, 2019, no. 3, pp. 3–24. doi: 10.33983/0130-9757-2019-3-3-3-24 (In Russian)
29. Mezhdum domom i... domom. Vozvratnaya prostranstvennaya mobil'nost' naseleniya Rossii [Between the house and... the house. Recurrent spatial mobility of the Russian population]. M.: Novy'j khronograf. 2026. 504 p.
30. Minakir, P. A. (2019). Russian Economic Space: Strategic Impasses. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 15(4), 967-980 <https://doi.org/10.17059/2019-4-1>.
31. Mixeeva N.N. Strategiya prostranstvennogo razvitiya: novy'j e'tap ili povtorenie stary'kh oshibok [Spatial development strategy: a new stage or the repetition of old mistakes]// E'KO. 2018. No. 5. Pp. 159–178. doi: 10.30680/ECO0131-7652-2018-5-158-178.
32. Nazukina M.V. Urals Macroregion in the System of Territorial Identities of Modern Russia. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2015;(6):37-47. (In Russ.) <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-6-37-47>.
33. Porfiryev B.N. Prospects for Russia's economic growth. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*. 2020. T. 221. No. 1. Pp. 83–91.
34. Smirnyagin L.V. Obshhestvennaya geografiya. Federalizm. Regionalizm [Human geography. Federalism. Regionalism]. M.: KomKniga. 2005. 464 s.
35. Trejvish A.I. Gorod, rajon, strana i mir. Razvitie Rossii glazami stranoveda [City, district, country and world. The development of Russia through the eyes of a country scientist]. M.: Novy'j khronograf. 2009. 372 s.
36. Tyutyunnik Yu.G. About the Phenomenon of Geography. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2010. No 6. Pp. 8–18.
37. Shamakhov V.A., Mezhevich N.M. The Strategy of Spatial Development of the Russian Federation until 2025: Economic Opportunities and Administrative Restrictions. *First Article. Administrative Consulting*. 2019;(4):19–27. (In Russ.) doi: 10.22394/1726-1139-2019-4-19-27

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Дружинин А.Г., Кузнецова О.В.*

38. Shvetsov A.N. Russian space in the process of historical transitions (towards the development and implementation of the theory of post-Soviet system transformations of the organization of the socio-economic space). *Russian Economic Journal*, 2021. No. 6. Pp. 66–100. (In Russ.). <https://doi.org/10.33983/0130-9757-2021-6-66-100>

39. Shirov A.A., Mikheeva N.N., Gusev M.S., Savchishina K.E. Makroe`konomicheskaya stabilizaciya i prostranstvennoe razvitie ekonomiki [Macroeconomic stabilization and spatial development of the economy]. *Problemy` prognozirovaniya*. 2019. No. 5. Pp. 3–15.

Статья поступила в редакцию: 25.12.2023, одобрена после рецензирования: 04.03.2024, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 25 December 2023; approved after review: 4 March 2024; accepted for publication: 14 March 2024.

**Информация об авторах**

**Information about the authors**

**Александр Георгиевич Дружинин**

доктор географических наук, профессор, директор Северо-Кавказского НИИ экономических и социальных проблем Южного федерального университета, ведущий научный сотрудник Института географии РАН, главный научный сотрудник Института народнохозяйственного прогнозирования РАН, 344006, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105; 119017, Россия, г. Москва, Старомонетный переулок, 29, стр. 4, 117418, Россия, г. Москва, Нахимовский просп., 47  
 e-mail: alexdru9@mail.ru

**Alexander G. Druzhinin**

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Director of the North Caucasus Research Institute of Economic and Social Problems of the Southern Federal University; Leading Researcher, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences; Chief Researcher, Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences; 105, Bolshaya Sadovaya st., Rostov-on-Don, 344006, Russia; 29, bld. 4, Staromonetny pereulok, Moscow, 119017, Russia; 47, Nakhimovsky prospekt, Moscow, 117418, Russia  
 e-mail: alexdru9@mail.ru

**Ольга Владимировна Кузнецова**

доктор экономических наук, профессор, профессор РАН, главный научный сотрудник Института народнохозяйственного прогнозирования РАН, 117418, Россия, г. Москва, Нахимовский просп., 47  
 e-mail: kouznetsova\_olga@mail.ru

**Olga V. Kuznetsova**

Doctor of Economics, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences; 47, Nakhimovsky prospekt, Moscow, 117418, Russia  
 e-mail: kouznetsova\_olga@mail.ru

**Вклад авторов**

Дружинин А.Г. – идея, формирование концепции статьи, сбор библиографического материала, обработка библиографического материала, написание введения и части основного текста.

Кузнецова О.В. – анализ нормативных документов, участие в формировании концепции статьи, написание заключения и части основного текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Contribution of the authors**

**Alexander G. Druzhinin** – the idea; formation of the concept of the article; collection and processing of the bibliographic material; writing of the introduction and part of the main text.

**Olga V. Kuznetsova** – analysis of regulatory documents; participation in the formation of the article concept; writing of the conclusion and part of the main text.

The authors declare no conflict of interest.

Экономическая, социальная и политическая география  
Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Сопнев Н.В., Ткачева Т.А.

Научная статья

УДК 314.7+528.9

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-27-40

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ МИГРАЦИИ МОЛОДЕЖИ НА ОСНОВЕ BIG DATA (НА ПРИМЕРЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ И РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН)

Наталья Александровна Щитова<sup>1</sup>, Илья Павлович Супрунчук<sup>2</sup>, Николай Владимирович Сопнев<sup>3</sup>,  
Татьяна Александровна Ткачева<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия

<sup>1</sup> stavgeo@mail.ru

<sup>2</sup> ilia\_suprunchuk@mail.ru

<sup>3</sup> sopnev.stav@gmail.com

<sup>4</sup> tianasurneva@yandex.ru

**Аннотация.** Статья посвящена анализу молодежной миграции из периферийных регионов Юга европейской России. Нарастание депопуляционных тенденций в южнороссийских территориях актуализирует проблематику, связанную с миграционными потерями наиболее активной части населения. Исследование опирается на материалы официальной статистики и большие данные (Big Data), полученные из социальной сети «ВКонтакте», представленные в виде интерактивного атласа «Виртуальное население России», данных поисковых запросов «Яндекс Вордстат». Полученные данные визуализированы с помощью пространственной инфографики. Установлены основные особенности миграции молодежи на региональном и внутрирегиональном уровнях. В целом преобладают процессы оттока молодых людей в столичные территории (Москва, Санкт-Петербург, Московская область) и более экономически развитые соседние регионы – Краснодарский край и Ростовскую область. В Ставропольском крае убыль местной молодежи компенсируется притоком иностранных студентов. Большая часть выпускников старших классов остается для продолжения обучения в своих регионах, выбирают место обучения в других городах не более 15–20 % абитуриентов. Наибольшей привлекательностью ожидаемо пользуются столичные вузы, университеты соседних крупных городов привлекательны вдвое меньше. Ставропольский край выступает в качестве аттрактивной территории для молодых людей из отдельных республик Северного Кавказа преимущественно как образовательный центр. Республика Дагестан выглядит как малопривлекательная территория для жителей других регионов. Анализ поисковых запросов показал, что наибольший интерес к республике проявляют жители тех территорий, где сформировались наиболее крупные миграционные сообщества выходцев из Дагестана, что подтверждает гипотезу о существовании «виртуальных диаспор».

**Ключевые слова:** миграция, молодежь, большие данные, ГИС-технологии, Ставропольский край, Республика Дагестан

**Финансирование:** исследование выполнено в рамках гранта РФФИ № 23-27-00056 «Миграционное поведение молодежи в регионах Юга Европейской России с разным характером демографического развития (примеры Ставропольского края и Республики Дагестан)».

**Для цитирования:** Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Сопнев Н.В., Ткачева Т.А. Геоинформационный анализ миграции молодежи на основе big data (на примере Ставропольского края и республики Дагестан) // Географический вестник = Geographical bulletin, 2024. № 1(68). С. 27–40. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-27-40



Экономическая, социальная и политическая география  
Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Сопнев Н.В., Ткачева Т.А.

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-27-40

## GEOINFORMATION ANALYSIS OF YOUTH MIGRATION BASED ON BIG DATA (A CASE STUDY OF THE STAVROPOL TERRITORY AND THE REPUBLIC OF DAGESTAN)

Natalia A. Shchitova<sup>1</sup>, Ilya P. Suprunchuk<sup>2</sup>, Nikolay V. Sopnev<sup>3</sup>, Tatiana A. Tkacheva<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

<sup>1</sup> stavgeo@mail.ru

<sup>2</sup> ilia\_suprunchuk@mail.ru

<sup>3</sup> sopnev.stav@gmail.com

<sup>4</sup> tatianasurneva@yandex.ru

**Abstract.** The article analyzes youth migration from the peripheral regions of Southern European Russia. Increasing depopulation trends in the southern Russian territories highlight the problems associated with the migration losses of the most active part of the population. The study is based on official statistics and big data obtained from the VKontakte social network and presented in the form of an interactive atlas *Virtual Population of Russia* as well as data from Yandex Wordstat search queries. The data are visualized with the use of spatial infographics. The study established the main features of youth migration at the regional and intraregional levels. In general, there prevail processes of outflow of young people to the capital territories (Moscow, St. Petersburg, Moscow region) and more economically developed neighboring regions such as Krasnodar Krai and the Rostov region. In the Stavropol Territory (Stavropol Krai), the declining number of young people is compensated by an influx of foreign students. Most of high school graduates remain to continue their studies in their native regions, no more than 15-20% of applicants choose to study in other cities. Metropolitan universities are predictably most popular, the universities of neighboring large cities are less attractive. Stavropol Krai acts as an attractive territory for young people from certain republics of the North Caucasus, mainly as an educational center. The Republic of Dagestan looks like an unattractive territory for residents of other regions. According to an analysis of search queries, the greatest interest in the republic is shown by residents of those territories where the largest migration communities of immigrants from Dagestan have formed. It confirms the hypothesis of the existence of 'virtual diasporas'.

**Keywords:** migration, big data, GIS technologies, Stavropol Territory, Republic of Dagestan

**Funding:** The study was funded by a grant from the RSF, project No. 23-27-00056 'Migration behavior of young people in the regions of Southern European Russia with different demographic development patterns (the case of the Stavropol Territory and the Republic of Dagestan)'

**For citation:** Shchitova N.A., Suprunchuk I.P., Sopnev N.V., Tkacheva T.A. (2024). Geoinformation analysis of youth migration based on big data (a case study of the Stavropol Territory and the Republic of Dagestan). *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 27–40. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-27-40

### Введение

Общее ухудшение демографической ситуации в России в XXI в. сочетается с высокими пространственными диспропорциями в ее показателях и характеристиках. Депопуляция в Европейской части России, начавшись в XX в. в центральных регионах, постепенно охватывала все новые ареалы. В равнинных южных регионах она проявилась несколько позже по сравнению с Центральной Россией, а в последние двадцать лет ухудшение демографических показателей прослеживается и в горных северокавказских республиках. Некоторое время негативные демографические тренды сглаживались за счет миграций из стран ближнего зарубежья, однако к началу третьего десятилетия XXI в. внешний миграционный приток заметно сократился, а миграционный отток местного населения стал более явным [0, 0, 0]. В возрастном профиле миграционной убыли преобладает молодежь, что ведет не только к сокращению численности, но и к изменению возрастнo-половой структуры, увеличению доли лиц старших возрастов, дальнейшему ухудшению всех демографических параметров. Выпускники школ безвозвратно уезжают на учебу, выпускники региональных вузов стремятся найти работу в более перспективных центрах страны. Сохранение данных тенденций сдерживает социально-экономическое развитие периферийных территорий, создавая реальную угрозу их «социального опустынивания» [0, 0].

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Соннев Н.В., Ткачева Т.А.*

Наращение и массовое распространение в последние годы миграционных настроений среди молодежи в периферийных регионах России отмечается рядом исследователей [0, 0, 0]. Масштабы и направленность миграционных потоков достаточно четко коррелируют с особенностями географического (в т.ч. транспортного) положения городов и сельских поселений, инфраструктурной обеспеченностью, наличием инвестиционных площадок и др. Отток молодежи происходит не только из сельской местности, но также из малых и средних городов, что чаще всего связано с выездом на учебу в крупные города. Образовательная молодежная миграция отражает проблемы, связанные с территориальной организацией высшего образования в России. Следствием неравномерного развития образовательных центров в стране может стать «вымывание» молодежи из регионов, не имеющих достаточного числа сильных учебных заведений. В связи с этим актуализируются исследования пространственных аспектов конкурентоспособности отдельных вузов, выделяя для них «зоны миграционного тяготения» [0].

Наличие успешного университета в регионе способствует наращиванию и качественному улучшению его человеческого капитала. Как правило, чем выше потенциальные возможности трудоустройства в городе, тем более привлекательны его высшие учебные заведения для абитуриентов. В связи с этим важен анализ молодежной миграции в двух связках: «школа – вуз» и «вуз – рынок труда» [0]. Более того, с выбором вуза образовательная миграция теоретически не заканчивается. В мире активно развиваются инструменты академической мобильности студентов и молодых специалистов, хотя в России по многим объективным причинам академическая мобильность находится на довольно низком уровне [0].

Вместе с тем эти актуальные процессы не вполне детально изучены, что во многом связано с дефицитом (а в ряде случаев и с недостаточной достоверностью) официальных статистических данных. В последнее время стало технически возможным изучать особенности миграционных процессов на основе использования ресурсов Big Data [0, 0, 30, 31]. Под Big Data в данной работе понимаются крупные массивы разнообразной информации и набор специальных технологий для работы с ними [0]. Одновременно такие данные характеризуются существенным увеличением скорости поступления и дополнения больших объемов информации с дальнейшей возможностью ее пространственной визуализации [0, 0]. Источниками Big Data служат разнообразные цифровые ресурсы, в т.ч. социальные медиа, данные сотовых операторов, социальных сетей, машинные данные и др. [0]. Ключевым инструментом в обработке больших данных являются ГИС-технологии, позволяющие обрабатывать большие объемы данных, проводить их пространственный анализ и моделировать исследуемые процессы [0, 0, 0, 0].

Целью данной статьи является установление особенностей молодежной миграции на основе использования больших данных социальных сетей с помощью средств геоинформационного анализа на примере двух во многом контрастных южнороссийских регионов – Ставропольского края и Дагестана.

### **Материалы и методы исследования**

В изучении миграционных процессов усиливаются тенденции использования виртуальных и цифровых технологий. Имеются немногочисленные примеры применения методов анализа социальных сетей для выявления особенностей пространственного (в т.ч. и миграционного) поведения людей [0, 0, 0], трансформируется категориальный аппарат, появляются новые понятия (например, «цифровые диаспоры мигрантов»). Главным информационным источником данного исследования выступают Big Data, полученные из разных цифровых ресурсов. Прежде всего, использовались данные социальной сети «ВКонтакте», представленные в виде портала «Виртуальное население России» [0]. Впервые данные из этого источника были использованы и концептуализированы Н.Ю. Замятиной и А.Д. Яшунским [0]. Интерактивный атлас «Виртуальное население России» является порталом, включающим большой объем информации из анкет пользователей социальной сети «ВКонтакте» открытого доступа, и позволяет получить данные о географии перемещения пользователей. Все статистические данные собраны в сервисе по нескольким блокам: базовая статистическая информация о пользователях

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Соннев Н.В., Ткачева Т.А.*

(пол, год рождения, наличие высшего образования, число различных мест проживания) имеет 835 тыс. строк данных; блок «школьное образование по месту жительства и по месту его получения» включает 736 и 733 тыс. строк соответственно; блок «высшее образование» состоит из специальностей высшего образования по месту жительства (674 тыс. строк), месту окончания школы (744 тыс. строк), месту получения высшего образования (3,5 тыс. строк) и ряду других показателей (последний переезд, друзья и т.д.). Суммарно база данных имеет объем более 500 Мб и 1,5 млн строк данных. В данном исследовании использовано более 10 тыс. строк данных. Обработка полученных материалов базировалась на геоинформационной платформе QGIS, которая является кроссплатформенной и имеет широкий функционал для работы с большими массивами информации, пространственного анализа, моделирования и визуализации разнообразной информации. Кроме того, анализировались специфические запросы, являющиеся «маркерами» молодежной миграции, с помощью сервиса для оценки пользовательского интереса к тематикам «Яндекс Вордстат», который содержит подробную статистику запросов за последние 30 дней. Запросы касались трех главных тем, отражающих интересы молодых людей по поводу работы, высших учебных заведений и аренды недвижимости. Полученные данные привязывались к исследуемым территориям на региональном и муниципальном уровнях, для чего использовался разработанный «Яндексом» показатель «региональная популярность запроса». Дополнительно анализировались информативность запросов и разнообразные комбинации при составлении запроса. Если показатель больше 100, то интерес к данной проблеме в регионе повышен, если меньше, то понижен.

Для сравнения использовались данные официальной государственной статистики по миграционному приросту молодежи по возрастным когортам.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Наибольшие межрегиональные контрасты в развитии демографической ситуации отмечаются на Юге Европейской части России особенно между равнинными и горными регионами [4, 23], что и послужило основанием для определения территориальных рамок данного исследования. Выбор в качестве исследовательских кейсов Ставропольского края и Республики Дагестан обусловлен, с одной стороны, их географической близостью, а с другой – существенными различиями в протекании демографических и социально-экономических процессов. Дагестан представляет собой один из самых молодых регионов России (средний возраст населения – 33,6 лет, доля молодежи 15–29 лет – 23,2 %) и характеризуется благоприятным характером демографического развития (суммарный коэффициент рождаемости – 1,87, естественный прирост положительный и составляет 7,79 %) и повышенной долей трудоспособного населения. В некоторых работах даже высказывается мнение, что для Дагестана одним из путей сокращения негативных последствий трудоизбыточности является стимулирование миграционной мобильности молодежи [0]. Ставропольский край по своим демографическим параметрам ближе к среднероссийским показателям и заметно отличается от северокавказских республик (средний возраст – 39,8 лет, доля молодежи – 17,1 %, суммарный коэффициент рождаемости – 1,43, естественный прирост отрицательный – -3,3 ‰). Край частично «удерживает» некоторое количество молодых людей, в первую очередь за счет своих урбанизированных территорий – Ставропольской и Кавминводской городских агломераций, в которых сохраняется миграционный приток [0]. Одновременно край имеет некоторую миграционную привлекательность для молодежи из соседних северокавказских республик, в частности Карачаево-Черкесии и Кабардино-Балкарии [0]. Постепенно растет и приток иностранных студентов, приезжающих на учебу в регион [0].

По данным официальной статистики (табл. 1), Ставропольский край и Республика Дагестан имеют разные тенденции миграционных процессов молодого населения. Республика Дагестан отличается стабильной миграционной убылью молодежи, которую лишь в последние три года удалось несколько снизить как за счет уменьшения оттока местной молодежи, так и за счет увеличения потока международных мигрантов. Миграционные процессы молодежи в

Экономическая, социальная и политическая география  
Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Соннев Н.В., Ткачева Т.А.

Ставропольском крае имеют несколько иной характер. Хотя, как и Дагестан, край теряет молодое население в ходе межрегиональной миграции, общая ситуация, на первый взгляд, выглядит более благополучной. В 2019 и 2021 гг. межрегиональную миграционную убыль удалось перекрыть за счет высокого прироста международной молодежной миграции, а в 2020 г. в условиях разгара пандемии был зафиксирован даже небольшой прирост и в межрегиональном обмене. Благодаря международной миграции (а это, по всей видимости, образовательные мигранты) суммарная убыль молодежи Ставропольского края минимальна. Однако следует учитывать временный характер образовательных миграций – далеко не все иностранные студенты планируют остаться в регионе. При этом межрегиональная убыль носит более устойчивый характер.

Таблица 1

Абсолютный миграционный прирост молодежи (15–34 года)  
в Республике Дагестан и Ставропольском крае в 2017–2021 гг., человек  
Absolute migration growth of young population (15–34 years old)  
in the Republic of Dagestan and the Stavropol Territory in 2017–2021, people

Миграция	2017	2018	2019	2020	2021
Ставропольский край					
Всего	-2903	-2456	6243	-1663	503
Межрегиональная	-3637	-2986	-229	45	-795
Международная	734	530	6472	-1708	1298
Республика Дагестан					
Всего	-6784	-5767	-3024	-2052	-1919
Межрегиональная	-6697	-6398	-4409	-2737	-2934
Международная	-87	631	1385	685	1015

Составлено по данным [12].

Основные тенденции внутрирегиональной дифференциации муниципальных образований по характеру молодежной миграции просматриваются на примере частного случая за 2021 г., хотя отдельные различия, очевидно, носят ситуативный характер и требуют более пристального исследования (рис. 1, 2). В Ставропольском крае четко выделяются центры притяжения и зоны выталкивания молодежи. Главным притягивающим центром ожидается выступает региональная столица, ей несколько проигрывают города Кавминводской агломерации, «отбирающие» молодых мигрантов из близлежащих сельских поселений. Окраинные сельские районы края молодежь теряют. Исключение составляют граничащие с северокавказскими республиками южные районы, в которых проявляются разнообразные этнические перемещения, не всегда корректно отражающие реальную ситуацию.

В Дагестане лидерами по миграционному приросту выступают города республики – Каспийск, Дербент, Хасавюрт, Избербаш и Кизляр. Нестандартна для региональной столицы миграционная убыль в Махачкале. Такие данные, возможно, связаны с «особенностями» статистического учета и требуют уточнения. Наибольшие показатели миграционной убыли молодежи характерны для южных горных территорий, которые являются трудоизбыточными и имеют ряд ограничений в жизненных перспективах молодежи. Довольно высока миграционная убыль и в северных полупустынных равнинных районах (Ногайском и Бабаюртовском).

Сравнение показателей Ставропольского края и Дагестана на муниципальном уровне демонстрирует более благоприятную ситуацию с молодежной миграцией в Ставропольском крае. Его города сохраняют выраженную миграционную привлекательность для молодежи, около половины сельских территорий не имеют кризисных показателей оттока молодежи и даже испытывают минимальный прирост. Самые неблагоприятные по показателям миграционной убыли ставропольские муниципалитеты на фоне Дагестана занимали бы средние место.

Материалы проекта «Виртуальное население России» позволяют проследить основные направления молодежных миграционных потоков.

Экономическая, социальная и политическая география  
 Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Соннев Н.В., Ткачева Т.А.

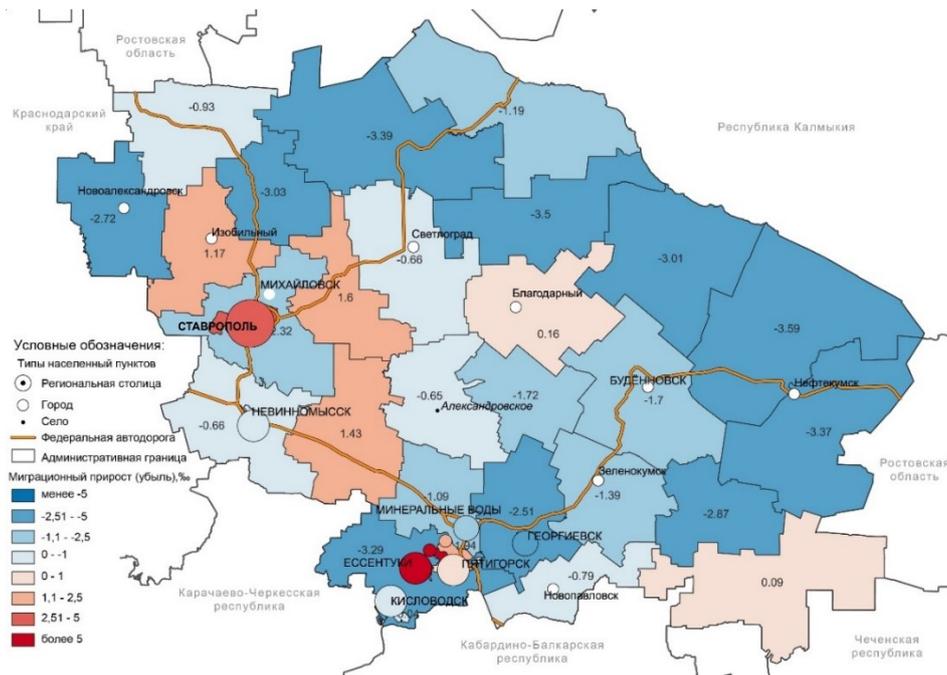


Рис. 1. Миграционный прирост молодежи (15–34 года) в районах Ставропольского края, 2021 г., %  
 Fig. 1. Migration growth of young population (15–34 years old) in the districts of the Stavropol Territory, 2021, %

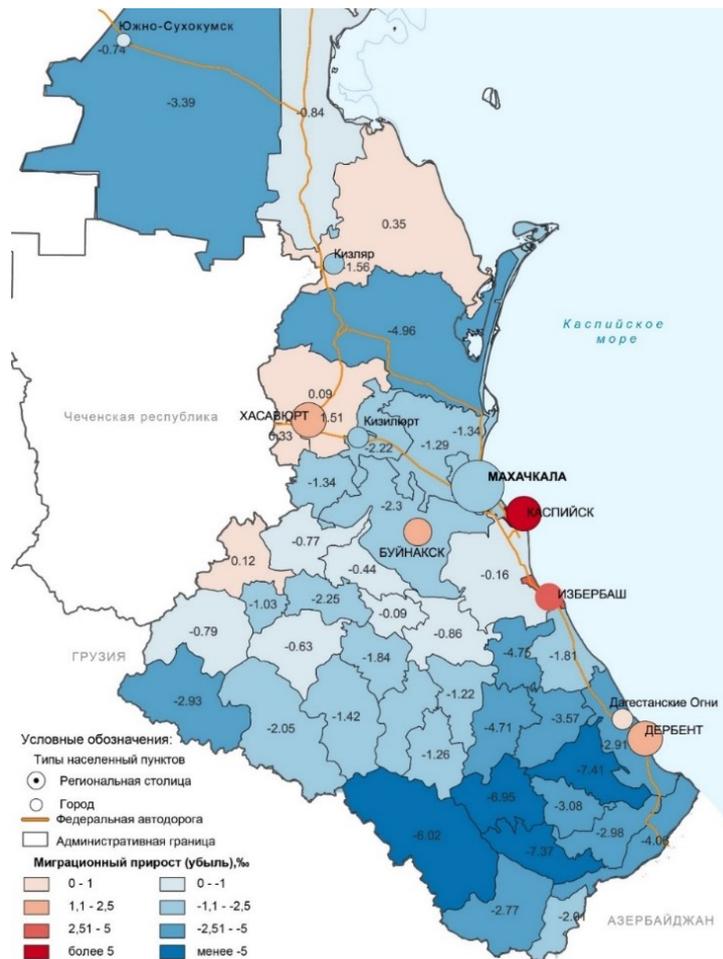


Рис. 2. Миграционный прирост молодежи (15–34 года) в районах Республики Дагестан, 2021 г., %  
 Fig. 2. Migration growth of young population (15–34 years old) in the districts of the Republic of Dagestan, 2021, %

Экономическая, социальная и политическая география  
Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Соннев Н.В., Ткачева Т.А.



Рис. 3. Основные направления миграционных потоков молодежи (15–34 года) Ставропольского края  
Fig. 3. The main directions of migration flows of young people (15–34 years old) of the Stavropol Territory



Рис. 4. Основные направления миграционных потоков молодежи (15–34 года) Республики Дагестан  
Fig. 4. The main directions of migration flows of young people (15–34 years old) of the Republic of Dagestan

В Ставропольском крае достаточно четко выделяются две группы направлений: столичное (Москва – около 4 тыс. чел., Санкт-Петербург – 1,5 тыс. чел, Московская область – 0,3 тыс. чел.) и «соседское», включающее крупнейшие города из соседних регионов (Краснодар – почти 2 тыс. чел, Ростов-на-Дону – более 1 тыс. чел.). Обратный поток вдвое меньше и отличается по составу – это преимущественно жители соседних сельских поселений Краснодарского края (0,9 тыс. чел.) и Ростовской области (0,4 тыс. чел.). Прослеживается обратная (возвратная?) миграция из Москвы. Одновременно Ставропольский край привлекает молодежь из ряда северокавказских республик: Карачаево-Черкесии (0,9 тыс. чел.), Дагестана (0,8 тыс. чел.), Кабардино-Балкарии (0,6 тыс. чел.). Приток из других республик ничтожен, что не подтверждает заявления о центральности или геополитическом и экономическом доминировании Ставрополя в СКФО (рис. 3).

Миграционные потоки молодежи из Дагестана по сравнению со Ставрополем более масштабны, но географически похожи. Наибольшей привлекательностью также пользуются Москва (10,1 тыс. чел.) и Санкт-Петербург (3 тыс. чел.). Второе место по важности занимают равнинные регионы Северного Кавказа: Ростовская область (1,4 тыс. чел.), Краснодарский край (1,2 тыс. чел.), Ставропольский край (0,8 тыс. чел.). Специфической чертой является выбор Ханты-Мансийского автономного округа (1,2 тыс. чел.). Возвратный поток существенно меньше: Москва (2,2 тыс. чел.), Санкт-Петербург (0,4 тыс. чел.), Ставропольский край (0,3 тыс. чел.), Краснодарский край (0,3 тыс. чел.),

Ростовская область (0,26 тыс. чел.). Данные показатели отчетливо свидетельствуют о том, что Дагестан в значительной степени теряет свое молодое население (рис. 4).

Экономическая, социальная и политическая география  
Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Соннев Н.В., Ткачева Т.А.

Таблица 2

География выбора мест обучения выпускников школ, прибывших/выбывших в Республику Дагестан, 2015  
Geography of the places chosen for study by high school graduates who arrived in/left for the Republic of Dagestan, 2015

<i>Прибывшие</i>		<i>Выбывшие</i>	
<i>Регион</i>	<i>Количество, чел.</i>	<i>Регион</i>	<i>Количество, чел.</i>
Москва	612	Москва	3663
Ставропольский край	132	Санкт-Петербург	1164
Санкт-Петербург	120	Ростовская область	662
Краснодарский край	96	Ставропольский край	502
Чечня	93	Краснодарский край	447
ХМАО	85	Астраханская область	396
Брянская область	81	ХМАО	327
Ростовская область	75	Волгоградская область	199
Волгоградская область	50	Московская область	199

Составлено по данным [12].

Более детально было проанализировано миграционное поведение выпускников старших классов в связи с выбором ими мест послешкольного образования. Большая часть выпускников школ республики Дагестан остается обучаться в своем регионе. В вузы других территорий отправляются не более 15 % выпускников. Наибольшей популярностью пользуются вузы Москвы и Санкт-Петербурга. Еще 7–8 % едут учиться в крупные вузы соседних равнинных регионов – Ростова-на Дону, Ставрополя, Краснодара, Астрахани, Волгограда. Есть небольшой, не более 1.5 тыс. чел., приток выпускников, выбирающих вузы Дагестана (в т.ч. желающие получить исламское высшее образование) (табл. 2).

Также большинство ставропольских выпускников остается в регионе. Однако число уезжающих учиться в другие регионы примерно вдвое больше, чем из Дагестана. Выбор вузов десятично традиционен и представлен двумя основными направлениями – «столичными» Москвой и Санкт-Петербургом, а также «соседними» регионами с более крупными городами и развитой образовательной средой (Краснодарский край и Ростовская область). Ставропольский край более привлекателен для абитуриентов по сравнению с Дагестаном. Въездной поток составляет 7–8 тыс. чел. Среди посылающих регионов лидируют Краснодарский край, Карачаево-Черкесская и Кабардино-Балкарская республики (табл. 3).

Таблица 3

География выбора мест обучения выпускников школ, прибывших/выбывших в Ставропольский край, 2015  
Geography of the places chosen for study by high school graduates who arrived in/left for the Stavropol Territory, 2015

<i>Прибывшие</i>		<i>Выбывшие</i>	
<i>Регион</i>	<i>Количество, чел.</i>	<i>Регион</i>	<i>Количество, чел.</i>
Краснодарский край	1526	Москва	5162
Карачаево-Черкессия	1435	Санкт-Петербург	2592
Кабардино-Балкария	1011	Ростовская область	2468
Ростовская область	735	Краснодарский край	2003
Чечня	544	Московская область	560
Москва	525	Саратовская область	254
Дагестан	502	Волгоградская область	244
Северная Осетия	456	ХМАО	206
Калмыкия	448	Астраханская область	205

Составлено по данным [12].

Экономическая, социальная и политическая география  
 Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Соннев Н.В., Ткачева Т.А.

Анализ региональных особенностей запросов-маркеров по городам Ставропольского края и Республики Дагестан показал их разную востребованность и географическую популярность.

Ставропольский край имеет широкую сеть связей и пользуется значительной привлекательностью у молодых людей из большинства соседских регионов. В трудовой миграции заинтересованы жители Карачаево-Черкесской и Кабардино-Балкарской Республик, в аренде недвижимости к ним добавляется Республики Северная Осетия-Алания и Дагестан, Волгоградская и Ростовская области.

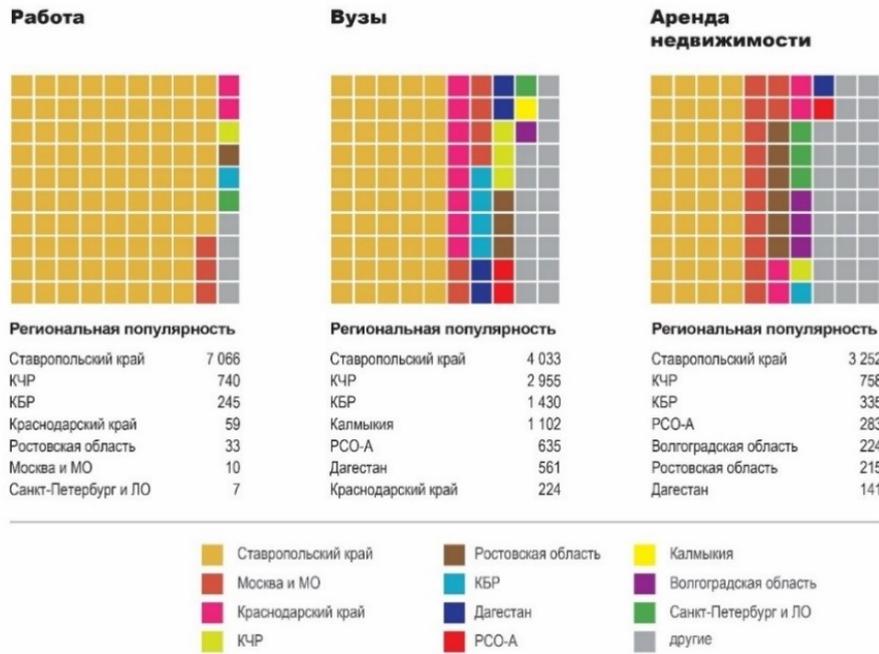


Рис. 5. Региональные особенности запросов городов Ставропольского края за март 2023 г.  
 Fig. 5. Regional features of queries from cities of the Stavropol Territory for March 2023.

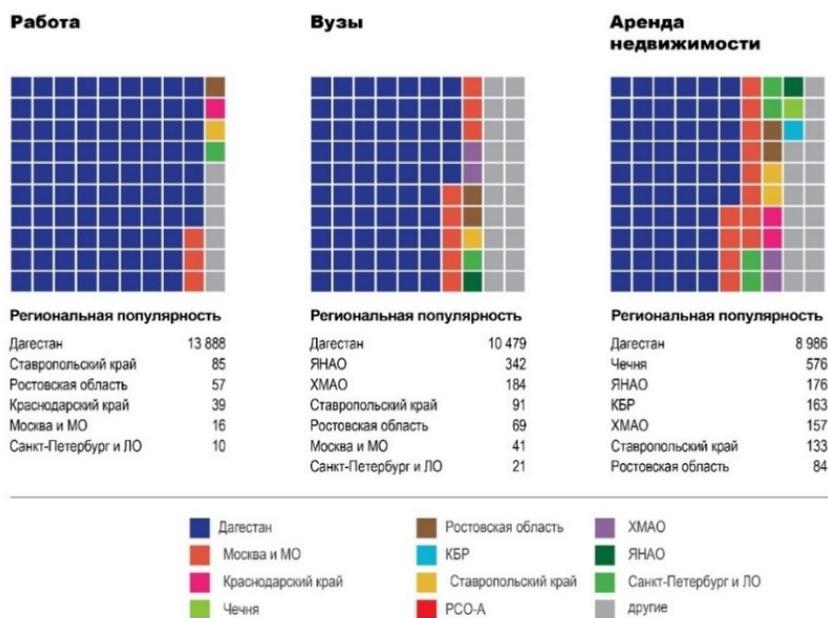


Рис. 6. Региональные особенности запросов городов Республики Дагестан за март 2023 г.  
 Fig. 6. Regional features of queries from cities of the Republic of Dagestan for March 2023.

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Соннев Н.В., Ткачева Т.А.*

Самое большое число запросов (более 40 %) и наибольшее географическое разнообразие характерно для вопросов аренды недвижимости, что, вероятно, связано с туристской специализацией края. Одновременно прослеживается роль и значимость Ставрополья как образовательного южнороссийского центра.

Большой интерес к высшим учебным заведениям проявляют все граничащие с ним регионы – Краснодарский край и Ростовская область, Республики Дагестан, Калмыкия, Северная Осетия-Алания, Карачаево-Черкесская и Кабардино-Балкарская (рис. 5).

Республика Дагестан, в отличие от Ставропольского края, выглядит более географически изолированной и менее привлекательной территорией. Вузами Дагестана также интересуются в основном в самой республике, а также еще два региона – Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа, что является следствием присутствия в этих регионах большого числа мигрантов из Дагестана, сохраняющих информационные связи с родной республикой [0]. Как и в случае Ставропольского края, наиболее «пестрая» географическая картина сложилась при анализе запроса «аренда недвижимости». Подтверждаются трудовые связи региона с Москвой и нефтедобывающими регионами, а также с соседями – Кабардино-Балкарской и Чеченской Республиками, а также Ставропольским краем (рис. 6).

### **Выводы**

Данные официальной статистики и материалы проекта «Виртуальное население» однозначно свидетельствуют о преобладании миграционного оттока молодежи из Ставропольского края и Дагестана. Если в Ставропольском крае отток компенсируется прибытием образовательных мигрантов, то потери Дагестана невосполнимы. Внутрирегиональная миграция молодежи имеет выраженный центростремительный характер, потери молодежи периферией нарастают по мере удаления от более развитых региональных центров.

Для молодежи Ставропольского края наибольший интерес представляют Москва, Санкт-Петербург и соседние крупнейшие города. География миграционных предпочтений дагестанской молодежи более разнообразна и включает не только крупные города, но и более мелкие поселения соседних территорий, а также нефтедобывающие регионы страны.

Выпускники старших классов обоих регионов выбирают в качестве мест получения высшего образования столичные вузы Москвы и Санкт-Петербурга, а также крупных образовательных центров Юга России – Краснодара и Ростова-на-Дону. Вузы Дагестана востребованы преимущественно местными выпускниками. Высшие образовательные заведения Ставропольского края более привлекательны для молодежи из других территорий и более активно притягивают абитуриентов из северокавказских республик, соседних равнинных регионов.

Анализ запросов выявил некоторый интерес молодых людей из соседних регионов к Ставропольскому краю. Наиболее привлекателен он для молодых жителей Кабардино-Балкарской и Карачаево-Черкесской Республик, рассматривающих край в качестве перспективной территории для поиска работы или получения образования, а также для переселения на постоянное место жительства. Наиболее выражен интерес к краю в качестве образовательного центра. За счет количества, уровня и разнообразия вузов Ставропольский край притягивает молодежь из северокавказских республик и граничащих с ним муниципальных образований Краснодарского края и Ростовской области.

Республика Дагестан представляет собой пример малопривлекательной в миграционном отношении территории. Анализ показал, что регион мало интересен кому-то, кроме собственных жителей. География запросов демонстрирует реальное существование «цифровых диаспор» уроженцев республики в наиболее экономически развитых регионах – Москве, Санкт-Петербурге, Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах.

Полученные результаты могут быть интересны региональным структурам власти и местного самоуправления для выработки управленческих решений по преодолению отрицательных последствий молодежной миграции и укреплению миграционной безопасности.

Экономическая, социальная и политическая география  
Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Соннев Н.В., Ткачева Т.А.

Предлагаемые методы использования цифровых ресурсов могут быть использованы в качестве дополнительного инструмента анализа молодежных миграций на уровне всей страны и ее отдельных регионов. Безусловно, не следует преувеличивать полноту и значимость таких изысканий, однако представление о направленности и тенденциях идущих процессов, часто невидимых официальной статистикой, можно получить.

#### Библиографический список

1. Атаева А.Г., Уляева А.Г. Межрегиональная молодежная миграция как угроза утери человеческого капитала территории (на материалах Республики Башкортостан и регионов Приволжского федерального округа). Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2018. № 44. С. 38–57.
2. База данных показателей муниципальных образований [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (дата обращения 10.10.2022).
3. Белозеров В.С., Щитова Н.А., Есикова В.О. Геоинформационный мониторинг и моделирование процессов иммиграции студентов в Россию ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Географический факультет МГУ, 2022. Т. 28, ч. 2. С. 19–33. doi: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-19-33
4. Белозёров В.С., Панин А.Н., Турун П.П., Эшироков В.М. Геоинформационный мониторинг этнодемографических, миграционных процессов и сети поселений на Юге России. Вестник Южного научного центра РАН. 2009. Т. 5, № 3. С. 96–104.
5. Волынский В.Э. «Большие данные» (Big Data) в градостроительстве / В.Э. Волынский // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 3. С. 99–102.
6. Габдрахманов Н.К., Никифорова Н.Ю., Леушков О.В. «От волги до Енисея...»: образовательная миграция молодежи в России. Современная аналитика образования. 2019. № 5(26). С. 4–42.
7. Гребенюк А.А., Субботин А.А. Исследование миграционных процессов в электронных социальных сетях. Цифровая социология. 2021. Т. 4, № 2. С. 23–31.
8. Зайончковская Ж. А. Миграционные связи России после распада СССР // Миграционные процессы после распада СССР. М., 1994. С. 3–46.
9. Зайончковская Ж.А. Миграция населения СССР и России в XX веке: эволюция сквозь катаклизмы // Проблемы прогнозирования. 2000. № 4. С. 1–15.
10. Замятина Н.Ю. Метод изучения миграций молодежи по данным социальных Интернет-сетей: Томский государственный университет как центр производства и распределения человеческого капитала (по данным социальной Интернет-сети «ВКонтакте») // Региональные исследования. 2012. № 2. С. 15–28.
11. Замятина Н.Ю., Яшунский А.Д. Виртуальная география виртуального населения. // Мониторинг Общественного мнения: Экономические и социальные перемены. 2018. № 1. С. 117–137. doi: 10.14515/monitoring.2018.1.07.
12. Интерактивный атлас «Виртуальное население России». [Электронный ресурс]. URL: <http://webcensus.ru/> (дата обращения 01.10.2022).
13. Калачикова О.Н., Будилов А.П. Отток молодежи из сельской местности: мотивы и возможности регулирования // Социальное пространство. 2018. № 3. С. 1–9. doi: 10.15838/sa.2018.3.15.1
14. Костина Е.А. Академическая мобильность студентов высшей школы России: кросс-культурный подход // Философия образования. 2014. № 6 (57). С. 64–76.
15. Лабовская Ю.В. Миграция молодежи как проблема социально-трудовой сферы Ставропольского края // Современные аспекты информационно-правового и инфраструктурного обеспечения устойчивого социально-экономического развития Северо-Кавказского региона. Ставрополь: АГРУС, 2020. С. 90–95.
16. Мирзабалаева Ф. Миграционные настроения молодежи периферийного региона // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 256.
17. Мкртчян Н.В. Миграция молодежи в региональные центры России в конце XX – начале XXI века // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2013. № 6. С. 19–32.
18. Мкртчян Н.В. Миграция молодежи из малых городов России // Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены. 2017. № 1(137). С. 225–242. doi: 10.14515/monitoring.2017.1.15
19. Рыбаковский Л.Л., Рязанцев С.В. Международная миграция в Российской Федерации: научный доклад / Институт социально-политических исследований Российской академии наук. М.: ИСПИ РАН, 2005. 64 с.
20. Ткачева Т.А., Супрунчук И.П. Опыт внутрирегионального анализа образов территории в дискурсе социальных медиа (на примере Северо-Кавказского федерального округа) // Географический вестник=Geographical Bulletin. 2022. № 1(60). С. 119–135. doi: 10.17072/2079-7877-2022-1-119-135.
21. Ульямсбаева А.О. Современные тенденции межрегиональной образовательной миграции российской молодежи // Теория и практика общественного развития. 2020. № 12(154). С. 33–37.
22. Черкасов А.А., Махмудов Р.К., Соннев Н.В. Пространственный анализ городов и агломераций: интеграция технологий ГИС и Big Data // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 4. С. 95–112. doi 10.37493/2308-4758.2021.4.6.
23. Черкасов А.А., Белозёров В.С., Щитова Н.А., Соннев Н.В. Геоинформационный мониторинг демографических процессов в регионах юга Европейской России // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2020. Т. 26, ч. 1. С. 127–140. doi: 10.35595/2414-9179-2020-1-26-127-140
24. Чудиновских О.С. Большие данные и статистика миграции / О.С. Чудиновских // Вопросы статистики. 2018. Т. 25, № 2. С. 48–56.

Экономическая, социальная и политическая география  
Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Соннев Н.В., Ткачева Т.А.

25. Щитова Н.А., Белозёров В.С., Полян П.М., Тикунова И.Н. Адаптация и интеграция мигрантов на Юге России (на примере Ставропольского края) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2020. Т. 26, ч. 1. С. 181–189. doi: 10.35595/2414-9179-2020-1-26-181-189
26. DeMers M.N. (2002) Fundamentals of Geographic Information Systems / M.N. DeMers. John Wiley & Sons.
27. Ficior D., Salagean T., Ioana P., et al. (2021) Population Analysis Using Gis Software Tools – Case Study of Romania. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*. 78. 63. 10.15835/buasvmcn-hort:2021.0026.
28. Gualda E., Rebollo C. (2020) Big data y Twitter para el estudio de procesos migratorios: Métodos, técnicas de investigación y software. *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*. 147. 10.5944/empiria.46.2020.26970.
29. LeGates R. (2005) Think Globally, Act Regionally: GIS and Data Visualization for Social Science and Public Policy Research. Esri Press.
30. Sîrbu A., Andrienko G. & Andrienko N., Boldrini C., et. al. (2021) Human migration: the big data perspective. *International Journal of Data Science and Analytics*. 11. 10.1007/s41060-020-00213-5.
31. Tjaden J. (2021) Measuring migration 2.0: a review of digital data sources. *Comparative Migration Studies*. 9. 10.1186/s40878-021-00273-x.
32. Tomlinson R. (2003) Thinking about GIS: geographic information system planning for managers / R. Tomlinson. Redlands, California: ESRI Press.

### References

1. Ataeva A.G., Ulyayeva A.G. Modern trends and factors of inter-regional migration of youth in Russia *Bulletin of Tomsk State University. Economics*, No. 44, 2018, pp. 38-57 (In Russian).
2. Database of indicators of municipalities [Electronic resource]. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (accessed 10.10.2022) (In Russian).
3. Belozerov V.S., Shchitova N.A., Esikova V.O. Geoinformation monitoring and modeling of student immigration to Russia *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference*. Moscow: MSU, Faculty of Geography, 2022. V. 28. Part 2. pp. 19–33. doi: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-19-33 (In Russian).
4. Belozerov V.S., Panin A.N., Turun P.P., Eshrokov V.M. Geoinformation monitoring of ethnodemographic, migratory processes and a network of settlements in the South of Russia. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra* 2009. Vol. 5. No. 3. pp. 96–104 (In Russian).
5. Volynskov V. E. Big data in urban planning. *Academia. Architecture and Construction*. 2017. No. 3. pp. 99–102 (In Russian).
6. Gabdrakhmanov N. K. Nikiforova N., Leshukov O. Educational migration of youth in Russia. *Modern education analytics*. 2019. No. 5(26). pp. 4–42 (In Russian).
7. Grebenyuk A.A., Subbotin A.A. Research of migration processes in electronic social networks. *Digital Sociology*. Vol. 4. No. 2. 2021. pp. 23–31 (In Russian).
8. Zayonchkovskaya Zh. A. Migracionnye svyazi Rossii posle raspada SSSR. *Migracionnye processy posle raspada SSSR*. M., 1994. pp. 3–46 (In Russian).
9. Zayonchkovskaya Zh.A. 20th century population migrations in the USSR and Russia: evolution through cataclysms. *Studies on Russian Economic Development*. 2000. No. 4. pp. 1–15 (In Russian).
10. Zamyatina N. Yu. Bifurcations of the fate of a frontier city: Igarka lessons. *Regional studies*. 2012. No. 2. pp. 15–28 (In Russian).
11. Zamyatina N. Yu., Yashunsky A. D. Virtual geography of virtual population. *Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes*. 2018. № 1. pp. 117–137. doi: 10.14515/monitoring.2018.1.07 (In Russian).
12. Interactive atlas "Virtual population of Russia". [electronic resource]. URL: <http://webcensus.ru/> (accessed 01.10.2022) (In Russian).
13. Kalachikova O.N., Budilov A.P. Youth Urbanization: Motives and Regulation Options. *Social space*. 2018. No. 3. pp. 1–9. doi: 10.15838/sa.2018.3.15.1 (In Russian).
14. Kostina E. A. Academic mobility of the higher education students of Russia: A cross-cultural approach. *Philosophy of Education*. 2014. № 6 (57). pp. 64–76 (In Russian).
15. Labovsky Yu.V. Youth migration as a problem of the social and labor sphere of the Stavropol Territory. Modern aspects of information, legal and infrastructural support of sustainable socio-economic development of the North Caucasus region. Stavropol: AGRUS, 2020. pp. 90–95 (In Russian).
16. Mirzabalaeva F. Migratory mood of the youth in peripheral region. *Modern problems of science and education*. 2013. No. 4. P. 256 (In Russian).
17. Mkrтчyan N.V. Migration of youth in regional centers of Russia at the end of 20th – early 21st century. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2013. No. 6. pp. 19–32 (In Russian).
18. Mkrтчyan N.V. The youth migration from small towns in Russia. *Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes*, No. 1 (137). 2017. pp. 225-242. doi:10.14515/monitoring.2017.1.15 (In Russian).
19. Rybakovsky L.L., Ryazantsev S.V. International migration in the Russian Federation / Institute of Socio-Political Studies of the Russian Academy of Sciences. Moscow: ISPI RAS, 2005. 64 p (In Russian).
20. Tkacheva T.A., Suprunchuk I.P. Experience of intraregional analysis of images of the territory in the discourse of social media (on the example of the North Caucasus Federal District). *Geographical Bulletin*. No.1(60). 2022. pp. 119-135. doi: 10.17072/2079-7877-2022-1-119-135(In Russian).
21. Ulmyasbaeva A.O. Tendencies of modern inter-regional educational migration of youth. *Theory and Practice of Social Development*, No. 12 (154), 2020, P. 33–37(In Russian).

*Экономическая, социальная и политическая география*  
 Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Сопнев Н.В., Ткачева Т.А.

22. Cherkasov A.A., Makhmudov R.K., Sopnev N.V. Spatial analysis of cities and agglomerations: integration of GIS and big data technologies. *The science. Innovation. Technologies*. 2021. No. 4. pp. 95–112. doi 10.37493/2308-4758.2021.4. (In Russian).
23. Cherkasov A.A., Belozerov V.S., Shchitova N.A., Sopnev N.V. Geoinformation monitoring of demographic processes in the regions of the South of European Russia *InterCarto. InterGIS*. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2020. V. 26. Part 1. P. 127–140. doi: 10.35595/2414-9179-2020-1-26-127-140 (In Russian).
24. Chudinovskikh O.S. Big data and statistics on migration. *Voprosy statistiki*. 2018;25(2):48–56 (In Russian).
25. Shchitova N.A., Belozerov V.S., Polyan P.M., Tikunova I.N. Adaptation and integration of migrants in the south of Russia (on the example of the Stavropol Region) *InterCarto. InterGIS*. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2020. V. 26. Part 1. pp. 181–189. doi: 10.35595/2414-9179-2020-1-26-181-189 (In Russian).
26. DeMers M. N. Fundamentals of Geographic Information Systems / M. N. DeMers. John Wiley & Sons, 2002. 480 p.
27. Ficior D., Salagean T., Ioana P., et al. (2021). Population Analysis Using Gis Software Tools – Case Study of Romania. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture. 78. 63. 10.15835/buasvmcn-hort:2021.0026.
28. Gualda E., Rebollo C. (2020). Big data y Twitter para el estudio de procesos migratorios: Métodos, técnicas de investigación y software. *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*. 147. 10.5944/empiria.46.2020.26970.
29. LeGates R. Think Globally, Act Regionally: GIS and Data Visualization for Social Science and Public Policy Research / LeGates, R. Esri Press, 2005. 538 p.
30. Sîrbu A., Andrienko G. & Andrienko N., Boldrini C., et. al. (2021). Human migration: the big data perspective. *International Journal of Data Science and Analytics*. 11. 10.1007/s41060-020-00213-5.
31. Tjaden J. (2021). Measuring migration 2.0: a review of digital data sources. *Comparative Migration Studies*. 9. 10.1186/s40878-021-00273-x.
32. Tomlinson R. Thinking about GIS: geographic information system planning for managers / R. Tomlinson. Redlands; California: ESRI Press, 2003. 325 p.

Статья поступила в редакцию: 04.09.2023, одобрена после рецензирования: 21.10.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 4 September 2023; approved after review: 21 October 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

Информация об авторах

Information about the authors

**Наталья Александровна Щитова**

доктор географических наук, профессор кафедры социально-экономической географии, Северо-Кавказский федеральный университет; 355000, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1  
 e-mail: stavgeo@mail.ru

**Natalia A. Shchitova**

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Department of Socio-Economic Geography, North Caucasus Federal University; 1, Pushkina st., Stavropol, 355000, Russia

**Илья Павлович Супрунчук**

кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии, Северо-Кавказский федеральный университет; 355000, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1  
 e-mail: ilia\_suprunchuk@mail.ru

**Ия П. Suprunchuk**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Socio-Economic Geography, North Caucasus Federal University; 1, Pushkina st., Stavropol, 355000, Russia

**Николай Владимирович Сопнев**

ассистент кафедры картографии и геоинформатики, Северо-Кавказский федеральный университет; 355000, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1  
 e-mail: sopnev.stav@gmail.com

**Nikolay V. Sopnev**

Assistant, Department of Cartography and Geoinformatics, North Caucasus Federal University; 1, Pushkina st., Stavropol, 355000, Russia

**Татьяна Александровна Ткачева**

ассистент кафедры социально-экономической географии, Северо-Кавказский Федеральный университет; 355000, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1  
 e-mail: tatianasurneva@yandex.ru

**Tatiana A. Tkacheva**

Assistant, Department of Socio-Economic Geography, North Caucasus Federal University; 1, Pushkina st., Stavropol, 355000, Russia

---

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Щитова Н.А., Супрунчук И.П., Сопнев Н.В., Ткачева Т.А.*

**Вклад авторов**

Щитова Н.А. – идея, обработка материала, написание около 30 % текста статьи.

Супрунчук И.П. – обработка материала, написание около 30 % текста статьи.

Сопнев Н.В. – обработка материала, формирование базы данных, создание картографического материала, написание около 20 % текста статьи.

Ткачева Т.А. – сбор материала, написание около 20 % текста статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors**

Natalia A. Shchitova – the idea; processing of the material; writing of about 30% of the text.

Ilya P. Suprunchuk – processing of the material; writing of about 30% of the text.

Nikolay V. Sopnev – processing of the material; database formation; creation of the cartographic material; writing of about 20% of the text.

Tatiana A. Tkacheva – material collection; writing of about 20% of the text.

The authors declare no conflict of interest.

Научная статья

УДК 913:911.3

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-41-58

**РОЛЬ ТРАНСГРАНИЧНЫХ МИГРАЦИЙ В ФОРМИРОВАНИИ  
И ТРАНСФОРМАЦИИ ЭТНОКОНТАКТНЫХ ЗОН  
(ПРИМЕР РОССИЙСКО-КАЗАХСТАНСКОГО ПОРУБЕЖЬЯ)**Татьяна Ильинична Герасименко<sup>1</sup>, Наталья Юрьевна Святоха<sup>2</sup><sup>1</sup> Институт географии РАН, г. Москва, Россия<sup>2</sup> Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия<sup>1</sup> gerasimenko@igras.ru, РИНЦ Author ID: 296581<sup>2</sup> osugeo@yandex.ru, РИНЦ Author ID: 622360

**Аннотация.** Государственная граница, как правило, отражает сложную историю взаимоотношений между соседними странами, которые базируются на общем культурном и политическом наследии. На протяжении веков на территории Российско-Казахстанского трансграничного региона шло формирование единого социально-экономического, инфраструктурного и этнокультурного пространства, которое в конце XX в. оказалось разделено политической границей. Данное исследование направлено на анализ воздействия миграционных процессов в Российско-Казахстанском трансграничном регионе на трансформацию геопространства сопредельных государств под влиянием историко-географических и других факторов. В качестве объекта изучения авторами рассматриваются этноконтактные зоны (ЭКЗ), формирование которых на различных исторических этапах отражает общую эволюцию этнокультурного пространства. Установлено, что следствием общей сложной этнической структуры населения и активных межэтнических контактов на протяжении XVI–XX вв. стало этнокультурное сходство мигрантов и автохтонного населения. Так, в приграничных районах по обе стороны границы традиционная казахская культура была сильно трансформирована, приобрела большое сходство с русской и подверглась вестернизации. В настоящее время ситуация меняется в сторону возрождения культуры и традиций казахского населения в Казахстане. Проблемой для населения приграничных российских регионов становится то, что культура и менталитет иммигрантов имеет всё больше отличий. Эта ситуация усложняет характер межкультурных отношений и требует разумной миграционной и культурной региональной политики.

Географическим последствием миграций в XXI в., кроме изменения этнического состава, казахизации населения Казахстана и формирования новых ЭКЗ в России, стало уменьшение плотности населения приграничных с Россией районов Казахстана. Анализ статистических данных за период с 2013 по 2023 г. показал сокращение численности населения в приграничных регионах России и Казахстана, за исключением Тюменской, Новосибирской, Атырауской, Актыубинской, Западно-Казахстанской областей и Республики Алтай.

Выявлено, что потоки мигрантов в Россию существенно превышают обратные. Выезжает из Казахстана преимущественно интеллектуальная элита, квалифицированные кадры. В структуре иммигрантов из Казахстана существенную часть составляет молодёжь, в подавляющем числе случаев выезжающая в Россию на учёбу и часто не возвращающаяся. Однако рост числа казахстанцев, не знающих русский язык, замедляет эти процессы. Приграничные регионы России нередко служат перевалочными базами для мигрантов, которые устремляются в более привлекательные районы.

**Ключевые слова:** трансграничные миграции, этнокультурное пространство, этноконтактная зона, российско-казахстанский трансграничный регион

**Финансирование:** результаты исследования в области историко-географических особенностей миграций и их роли в формировании этнического состава населения и этноконтактных зон получены Герасименко Т.И. при финансовой поддержке РНФ в рамках проекта № 23-17-00005 «Этноконтактные зоны на постсоветском пространстве: генезис, типология, конфликтогенность».

Исследование миграционных процессов в российско-казахстанском трансграничном регионе в XXI в., а также инфографика и картосхемы выполнены Святохой Н.Ю. в рамках НИР Оренбургского государственного университета № ГР 122120100022 «Территориальные аспекты адаптации к современным вызовам и проблемы устойчивого развития региона».

**Для цитирования:** Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю. Роль трансграничных миграций в формировании и трансформации этноконтактных зон (пример Российско-Казахстанского порубежья) // Географический вестник = Geographical bulletin, 2024. № 1(68). С.41–58. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-41-58

Original article



doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-41-58

## THE ROLE OF TRANS-BORDER MIGRATION IN THE FORMATION AND TRANSFORMATION OF ETHNIC-CONTACT ZONES (THE CASE OF THE RUSSIA-KAZAKHSTAN BORDER)

Tatyana I. Gerasimenko<sup>1</sup>, Natalya Y. Svyatokha<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geography of the RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Orenburg State University, Orenburg, Russia

<sup>1</sup> gerasimenko@igras.ru, Author ID: 296581

<sup>2</sup> osugeo@yandex.ru, Author ID: 622360

**Abstract.** The state border, as a rule, reflects the complex history of relations between the neighboring countries, which are based on a common cultural and political heritage. For centuries, on the territory of the Russian-Kazakh trans-border region was being formed a single socio-economic, infrastructural, and ethnocultural space, which was divided by a political border at the end of the 20th century. This study aims to analyze the impact of migration processes in the Russian-Kazakh trans-border region on the transformation of the geospace of the neighboring states under the influence of historical, geographical, and other factors. The object of the present study are ethnic-contact zones (ECZs). Their formation reflects the general evolution of the ethnocultural space at various historical stages. The ethnocultural similarity between migrants and the autochthonous population is the result of the general complex ethnic structure of the population and intensive interethnic contacts during the 16th – 20th centuries. Thus, in the border areas on both sides of the border, traditional Kazakh culture was greatly transformed, it acquired a great similarity with Russian culture and underwent Westernization. Currently, the situation is changing toward the revival of culture and traditions of the Kazakh population in Kazakhstan. The problem for the population of the Russian border regions is that the culture and mentality of immigrants are becoming increasingly different. This situation complicates intercultural relations and requires a reasonable migration policy and cultural regional policy.

Among the geographical consequences of migrations in the 21st century, in addition to the change in the ethnic composition, Kazakhization of the population of Kazakhstan, and the formation of new ECZs in Russia, there is observed a decrease in the population density in Kazakh regions bordering Russia. An analysis of statistical data for the period from 2013 to 2023 showed a decrease in the population of the border regions of Russia and Kazakhstan, with the exception of Tyumen, Novosibirsk, Atyrau, Aktobe and West Kazakhstan regions, and the Altai Republic.

The study has discovered that migrant flows to Russia significantly exceed reverse ones. They are mainly intellectual elite and qualified personnel who leave Kazakhstan. In the structure of immigrants from Kazakhstan, a significant part is young people, who, in the overwhelming majority of cases, go to Russia to study and often do not return. However, an increase in the number of Kazakhstan's citizens who do not know the Russian language slows down these processes. Border regions of Russia often serve as 'transshipment bases' for migrants who rush to more attractive areas.

**Keywords:** trans-border migration, ethnocultural space, ethnic-contact zone, Russian-Kazakh trans-border region

**Funding:** The research into historical and geographical features of migrations and their role in the formation of ethnic composition of the population and ethnic-contact zones was carried out by T.I. Gerasimenko with funding from the Russian Science Foundation under project No. 23-17-00005 'Ethnic-contact zones in the post-Soviet space: genesis, typology, conflict potential'.

The study of migration processes in the Russian-Kazakh trans-border region in the 21st century was done, infographics and maps were prepared by N.Y. Svyatokha as part of research project of Orenburg State University No. GR 122120100022 'Territorial aspects of adaptation to modern challenges and problems of sustainable development of the region'.

**For citation:** Gerasimenko, T.I., Svyatokha, N.Y. (2024). The role of trans-border migration in the formation and transformation of ethnic-contact zones (the case of the Russia-Kazakhstan border). *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 41–58. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-41-58

### Введение

Государственная граница между Россией и Казахстаном – самая протяжённая непрерывная сухопутная граница в мире (свыше 7,5 тыс. км). Делимитация в результате национально-территориального размежевания произошла в 1924–1925 гг., но это была условная граница. Пространство по обе её стороны развивалось в течение длительного периода времени как единое, в том числе и в советский период. Российско-казахстанская граница не просто выполняла контактные и интеграционные функции, она объединяла соседние территории. Здесь сформир-

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.*

ровалось единое социально-экономическое, инфраструктурное и этнокультурное пространство, сложились минимум четыре этноконтактные зоны (ЭКЗ) регионального уровня и множество локальных ЭКЗ (под ЭКЗ понимаем тип этнокультурных регионов [3]) с комплиментарным (по Л.Н. Гумилёву [7]) населением, где взаимодействовали и влияли друг на друга христиане (преимущественно славянские и финно-угорские народы) и мусульмане (преимущественно тюркские народы), а также народы, заселявшие регион в результате миграций в разные периоды времени. Формированию единого этнокультурного пространства способствовало отсутствие природных барьеров. Поэтому возникли сложности при постсоветской делимитации и демаркации в 1991 г., когда граница официально приобрела статус государственной. Разграничение вызвало много споров и противоречивых оценок. Граница разделила единое прежде пространство, многие ЭКЗ стали трансграничными. С тех пор граница претерпела множество изменений, связанных с демаркацией, регулированием миграций и международных торговых отношений. Приграничные территории Казахстана были наиболее плотно населены и освоены. Когда же граница изменила свой статус с условной на реальную и стала государственной (с усиленной барьерной функцией), прежде единое пространство стало трансграничным и возникли различные проблемы – от геополитических до социально-экономических и бытовых. Произошла дивергенция геопространства соседних государств. Всплеск трансграничных и региональных миграций после распада СССР привёл к серьёзным географическим последствиям, в том числе к существенному изменению этнического состава населения по обе стороны границы. Начали формироваться новые этноконтактные зоны.

Граница имеет большое значение для обеих стран, она определяет их территориальную целостность, национальный суверенитет и региональное влияние. Граница отражает сложную историю взаимоотношений между Россией и Казахстаном, которые базируются на общем культурном и политическом наследии, но также имеют различия и противоречия. Граница – это транслятор как сотрудничества, так и конкуренции между двумя странами Евразии. В последние годы обе страны приложили значительные усилия для улучшения инфраструктуры, контроля и регулирования границы, а также для расширения возможностей для легального пересечения границы гражданами обеих стран.

Трансграничные миграции являются одним из важных современных факторов формирования населения сопредельных территорий России и Казахстана. В связи с длительным развитием этих территорий в рамках единого культурного и экономического пространства, где граница была проведена условно, говорить о миграциях как о трансграничном явлении в прошлом можно с известной долей условности. Население приграничных территорий на протяжении десятков лет формировалось преимущественно под влиянием миграций, а после образования современной границы миграционные процессы приобрели новые характеристики и последствия. Разумеется, определённую роль в формировании населения региона и динамики его этнического состава играл естественный прирост, который у тюркских народов был существенно выше, чем у славянских. В настоящее время коэффициент фертильности российских этносов почти сравнялся, в Казахстане он по-прежнему различается и вносит определённый вклад в казахизацию населения. Всё же наиболее существенные изменения происходят за счёт миграций.

Цель данного исследования – выявить роль трансграничных российско-казахстанских миграций в трансформации геопространства сопредельных государств под влиянием историко-географических и других факторов.

### **Материалы и методы**

Информационной базой данного исследования послужили официальные статистические данные российской Федеральной службы государственной статистики, в частности данные о численности и миграциях населения Российской Федерации [17], а также данные Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан (Бюро национальной

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.*

статистики) [9]. Данные о населении исследуемого региона были получены из глобальной модели «Kontur Population: плотность населения для 3-километровых шестиугольников НЗ», распространяемой по открытой лицензии [5]. На основе указанной модели были проведены расчёты плотности населения.

Для пространственного анализа и картографирования данных использовались геоинформационные технологии, в частности десктопное приложение QGIS 3.30 – бесплатная геоинформационная система с открытым исходным кодом.

Кроме того, использовались полевые методы, в том числе социологические, применявшиеся в течение ряда лет на территории сопредельных государств и позволившие выявить специфику российско-казахстанских миграций, а также анализ трендов, направлений и объёмов современных трансграничных миграционных потоков между Россией и Казахстаном в контексте социально-экономических и политических процессов, происходящих в этих странах.

### **Результаты и обсуждение**

#### **1. Историко-географические особенности миграций и их роль в формировании этнического состава населения и ЭКЗ в досоветский период**

До массовой российской колонизации регион пережил несколько волн заселения. Миграционные потоки были направлены с востока либо юго-востока. В различные исторические периоды эта область была заселена разными народами – от древних собирателей, рыболовов и охотников, которые принадлежали к ямной культуре, до угро-, ирано-, монголо-, тюркоязычных и славянских народов (чудь, сарматы, гунны, авары, хазары, угры, печенеги, гузы, кыпчаки, татаро-монголы, мангаты). Народы с разной культурой, образом жизни и традициями сменяли друг друга на обширных степных пространствах. Степь служила домом и для кочевников, которые вытеснили оседлую цивилизацию, разрушив города, медные рудники, а также другие средства и виды деятельности. Они частично ассимилировали, частично вытеснили своих предшественников с этой территории.

Многочисленные источники (например, [19]), а также более ранние арабские, персидские и западноевропейские исследователи отмечали, что до Российской Империи и до казахского этноса территория современного Казахстана пережила несколько волн заселения. Здесь проживали разные народы – например, эта территория была частью кочевого государства Золотая Орда (в восточной литературе Улус Джучи, или Синяя Орда), созданного монголами. Богатое этнокультурное наследие этой области отражается в археологических памятниках, топонимах [15], специфической этнической культуре с множеством элементов, заимствованных у предков и соседей.

Исторически процесс присоединения современной территории Казахстана к Российской Империи начался ещё в XVIII в., когда русские крепости и поселения стали появляться на северных границах казахских жузов. В то же время казахские ханы обращались к российскому царю за защитой от внешних угроз, таких как набеги джунгаров.

Русско-казахские связи, по оценкам историков, были установлены в конце XVI в., а российское присутствие в исследуемом регионе было закреплено в виде добровольного принятия российского подданства казаками Младшего, а затем и Среднего жуза в середине XVIII в. [16, 20]. Подробно эти процессы были рассмотрены одним из авторов в рамках докторской диссертации [4]. К моменту массовой российской колонизации сформировавшиеся здесь этноконтактные зоны отличались нестабильностью, межэтнические взаимоотношения развивались по типу «химеры» (враждебные) либо «ксении» (нейтральные) (по Л.Н. Гумилёву) [7]. Во время российской колонизации и в советское время вектор миграций сменился на противоположный, колонисты прибывали на современную приграничную территорию России и Казахстана преимущественно с запада и северо-запада.

Большая часть территории современного Северного Казахстана была присоединена к России в 30–40-х гг. XVIII в. – позже, чем Сибирь, Дальний Восток, Казанское и Астраханское

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.*

ханства. Дипломатические усилия России подкрепились созданием сети военных укреплений от устья р. Яик до Алтая. Созданная укрепленная линия казачьих поселений выполняла роль границы не столько с барьерной, сколько с контактной функцией. Казачье войско формировалось как многонациональное, хотя преимущественно русские составляли его основу. Так, по данным переписи 1889 г., в Оренбургском казачьем войске всего насчитывалось 329316 казаков. Среди них русских – 287324 (87,5 %), татар – 21581 (6 %), нагайбаков – 8709 (3 %). Все же остальные, вместе взятые, насчитывали 11702 человек, что составляло 3,45 %. В целом среди казаков Уральского войска были указаны представители 8 национальностей [14]. По сути, казачье войско представляло собой этноконтактную зону, взаимоотношения внутри которой развивались по типу «симбиоза» (взаимопользные), а этнокультурные группы достаточно быстро интегрировались.

## **2. Историко-географические особенности миграций и их роль в формировании этноконтактных зон в XX в.**

Процесс формирования государственности на казахских землях был связан с историческими событиями XX в. На его протяжении трансформировалось этнокультурное пространство региона. В 1917 г., после Октябрьской революции, казахский народ воспользовался возможностью самоопределения и провозгласил автономию (Алашская автономия). В 1919–1920 гг. в составе РСФСР территория Казахстана существовала в качестве административной единицы под названием «Киргизский край» (с центром в г. Оренбурге). В 1920 г. в составе РСФСР была образована Киргизская Автономная ССР, которая в 1925 г. была переименована в Казахскую АССР. В 1936 г. Казахстан получил статус союзной республики в составе Советского Союза. При этом границы республики были проведены условно и неоднократно менялись. Ранее территория современного Казахстана была поделена между Астраханской губернией, двумя сибирскими генерал-губернаторствами, Туркестанским генерал-губернаторством и Бухарским эмиратом. К моменту образования Казахстана происходили бурные споры относительно его территориального состава. Камнем преткновения были Акмолинская, Семипалатинская, Уральская, Омская области. Вставал вопрос о включении в его состав большей части Средней Азии, а также Барнаульского уезда Алтайского края. Территория сложилась в основном лишь в 1921 г. Тогда же были аннулированы закреплённые ещё в XVIII в. владения казаков – 10-верстные полосы по рекам Урал и Иртыш. После проведения национально-государственного размежевания Средней Азии в 1924 г. Казахстану отошли части Сыр-Дарьинской и Семиреченской областей. Позже в его состав вошла Чимкентская область. Современный территориальный состав и административно-территориальное деление окончательно сложились только к концу XX в. [6].

В XX в. важнейшими отправными толчками миграционного притока на территорию приграничных с Россией регионов современного Казахстана стали несколько знаковых событий, которые можно рассматривать как факторы. В целях снижения остроты аграрного вопроса в сельской местности центральной полосы Российской империи, царские власти организовали широкомасштабное переселение крестьян на территорию современного Казахстана. В рамках Столыпинской реформы 1906 г. в Акмолинскую, Тургайскую, Уральскую и Семипалатинскую области были перевезены более 400 тыс. хозяйств. К сожалению, земли, которые были строго распределены, из-за непонимания менталитета и устройства общества кочевников колонисты считали «ничьими», селились на них, что привело к восстанию 1916 г. На самом деле обитавшие здесь до прихода русских народы киргиз-кайсаки (казахи) и другие вли кочевой образ жизни, хорошо описанный исследователями [8, 13]. Кочевой образ жизни формировал особый менталитет и накладывал отпечаток на все элементы и особенности культуры. Кроме кочевников, жили в северной части современного Казахстана и оседлые народы – русские, татары, мешеряки, мордва, черемисы (марийцы), вотяки (удмурты), чувашаи и др. Казахские поселения размещались в речных долинах.

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.*

Российская колонизация исходила из признания права аборигенов на принадлежавшую им территорию и никогда, как правило, не вела к физическому истреблению. Попытки насильственной ассимиляции на определенных этапах были, но не они определяли этнокультурное развитие территории. Кроме того, изучение русского языка и принятие христианства открывали определённые карьерные возможности для нерусского населения. Это хорошо понимали национальные лидеры и нередко сами способствовали проведению такой политики.

Миграции были связаны также с Первой мировой войной, революцией, гражданской войной, голодом 1921–1922 гг. Миграции этого периода имели и возвратный характер, серьёзных изменений в этническом составе не произошло, за исключением увеличения доли украинцев.

В процессе формирования и становления азиатских республик в регион переселялись специалисты в области медицины и образования. Для формирования национальной интеллигенции требовалось обучение, это способствовало трансграничным миграциям. Велось и языковое строительство. Для целого ряда народов была создана письменность. Переселенцы влияли на жизнь местного населения, но и сами испытывали влияние других народов. В результате взаимодействия происходило нивелирование отдельных элементов этнической культуры, что привело к формированию общих культурных черт и регионального самосознания населения. Взаимовлияние проявлялось в заимствованиях артефактов, архитектуры, застройки и планировки селений, особенностей поведения, традиций, языковых заимствованиях, а также в сфере профессионального искусства и литературы.

Более серьёзные изменения произошли с 1926 по 1939 гг. в результате миграций, связанных первоначально с насильственным переводом казахов на осёдлость, голодом, большой смертностью и оттоком казахского населения в Россию, Китай, Монголию, Афганистан, Иран, Турцию. Об откочёвках казахов за пределы республики, на которые приходится более трети потерь, говорят такие факты: численность казахского населения, проживавшего в соседних с Казахстаном республиках, увеличилась за межпереписной период 1926–1939 гг. в 2,5 раза и составила 794 тыс. чел. Численность населения Казахстана и доля казахов уменьшалась. Следует, однако, обратить внимание и на тот факт, что, возможно, сокращение было связано с запретами на калым и многожёнство, в результате чего часть населения уклонялась от переписи, в частности девушки, грудные младенцы, а также мужчины молодых возрастов, так как у населения сохранились воспоминания о мобилизации на трудовые работы в годы Первой мировой войны. Недоучёт получился и вследствие сложности административно-территориальной структуры края и распылённости кочевого и полукочевого населения [1]. Почти все авторы сходятся в том, что казахи в 1939 г. составили меньшинство – 36,4 % – против 58,2 % в 1926 г. 97,9 % казахов проживали в сельской местности. Самой большой этнокультурной группой стали русские – 41,2 % (в 1926 г. доля их составляла 20,5 %). В то же время за счёт миграций число казахов возросло в РСФСР в 2,3 раза (в Узбекистане – в 1,7 раза, в Каракалпакии – в 2,5 раза, в Киргизии – в 10 раз). Доля в общей численности населения других народов, проживавших в республике (кроме украинцев, численность которых сократилась в 1,3 раза, возможно, за счёт ассимиляции), увеличилась [1].

В 1930-е гг. проводился организационный набор рабочих кадров для нужд промышленности. В этот же период начинаются переселения, связанные с ликвидацией кулачества как класса. Из Казахстана высылали баев и кулаков в другие регионы. Начала проводиться политика насильственного переселения людей по национальному признаку. Депортация народов привела к существенному изменению этнического состава населения Казахстана.

В 1935 г. из Ленинградской области были депортированы ингерманландцы, часть которых попала в Казахстан [11]. В апреле 1936 г. из приграничных районов Украинской ССР были высланы поляки и немцы, в основном в северные области. В 1940 – начале 1941 гг. в республику прибыли поляки, высланные из Западной Украины и Западной Белоруссии. Расселены

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.*

они были в Актюбинской, Кустанайской, Павлодарской, Семипалатинской и Северо-Казахстанской областях.

В 1937 г. в Казахстан было переселено более 90 тыс. высланных из Приамурья корейцев. Разместили их в Алма-Атинской, Южно-Казахстанской, Актюбинской, Кустанайской, Западно-Казахстанской, Северо-Казахстанской, Карагандинской областях.

Кроме переселенцев из России, в 1937–1939 гг. в Казахстан мигрировали иранцы, курды, турки, армяне, китайцы и др. из приграничных районов юга республики.

Позже изменение этнодемографической ситуации было связано с рядом процессов: эвакуацией репрессированного населения, эвакуацией населения с оккупированных фашистами территорий, после войны – с освоением целины и индустриализацией республики. В годы Второй мировой войны регион стал центром размещения эвакуированных предприятий и населения. Индустриализация, проходившая в несколько этапов, а также освоение целины способствовали миграционному притоку и изменению этнического состава населения. По данным переписи 1959 г., в Казахстане русские составили 42,7 % населения республики, казахи – 30,0 %, украинцы – 8,2 %, немцы – 7,1 %, татары – 2,1 %, узбеки – 1,5 %, белорусы – 1,1 %, корейцы – 0,8 %. Из российских этносов проживали также мордва, чуваша, башкиры. В последующие десятилетия национальный состав Казахстана меняется: казахи возвращают себе демографическое господство, утраченное за годы индивидуальных и коллективных ссылок и освоения целины, главным образом за счёт естественного прироста, другие мусульманские народы (за исключением татар) также повышают свою абсолютную и относительную численность, а остальные постепенно исчезают с этнической карты республики.

Казахи восстановили свою прежнюю численность к концу 60-х гг. в результате демографического взрыва, а в 1989 г. стали самым многочисленным народом в Казахстане. После обретения независимости казахстанское Агентство по статистике скорректировало данные переписи 1989 г. (были исключены военнослужащие – в большинстве своём славяне) и объявило, что в республике в год переписи казахи составляли 40,1 % населения. На севере и северо-востоке Казахстана к концу советского периода казахи составляли 17–30 % [10, 18]. Это районы с доминирующей русской культурой, более урбанизированные, экономически традиционно связанные с Россией, испытывающие сложности из-за разрыва связей с Россией.

### **3. Историко-географические особенности миграций и их роль в формировании этноконтактных зон в постсоветский период**

Распад СССР в 1991 г. и образование независимых государств СНГ привёл к новой волне трансграничных миграций. Вектор миграций снова изменился. Анализ состава мигрантов, направления и причин миграций показывает положительное для России сальдо миграций.

В 1999 г. была осуществлена первая перепись населения независимого Казахстана. Миграционные потери республики (сальдо общей миграции) в 2000 г. составили более 108 тыс. чел., в 2001 г. – свыше 88 тыс. чел., в 2002 г. – около 60 тыс. чел., в 2003 г. – лишь 8 тыс. чел. С 2004 по 2011 г. сальдо общей миграции в Казахстане было положительным, достигнув максимальных значений (более 33 тыс. чел.) в 2006 г. С 2012 г. (и по 2022 г.) сальдо общей миграции вновь стало отрицательным.

Среди этносов за период между переписями 1989 и 1999 гг. заметнее всего снизилась численность немцев: с 958 до 353 тыс. чел. Количество русских сократилось с 6,228 до 4,48 млн (с начала 1940-х по середину 1980-х гг. русских в Казахстане было больше, чем казахов), украинцев – с 896 до 547 тыс., татар – с 328 до 249 тыс., белорусов – с 183 до 112 тыс., корейцев – с 103 до 100 тыс., азербайджанцев – с 90 до 78 тыс., поляков – с 60 до 47 тыс., евреев – с 20 до 8 тыс. Снизилась также численность чеченцев, башкир, молдаван, ингушей, мордвы, армян, греков, киргизов, болгар, лезгин, туркмен и большинства других национальностей. Выросла численность лишь казахов – с 6,535 до 7,985 млн, узбеков – с 332 до 371 тыс., уйгуров – с 185 до 210 тыс., дунган – с 30 до 37 тыс. и курдов – с 25 до 33 тыс. Реальностью

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.*

стало, с одной стороны, стремление этнических групп к самовыражению, с другой – активизация межэтнических контактов, что было связано с новой волной трансграничных миграций. В российские регионы через российско-казахстанскую границу устремились переселенцы не только из Казахстана, но и из других стран СНГ, главным образом из Средней Азии.

По оценкам, за 1990-е гг. Казахстан покинули около 3 млн чел. Приблизительно половина уехавших – русские (по оценкам, это около 1,2 млн чел.); немало среди уехавших немцев, украинцев, татар, белорусов и евреев. В то же время в Казахстан репатриировалось большое количество оралманов (иностранцев или лиц без гражданства казахской национальности, постоянно проживавших на момент приобретения суверенитета Республикой Казахстан за её пределами и прибывшие в Казахстан для постоянного проживания). С 2020 г. термин «оралман» официально заменён на «кандас». По данным Министерства труда Республики Казахстан, с 1991 по июнь 2023 г. в республику переселился 1 млн 115,1 тыс. этнических казахов. Более половины кандасов (54,2 %), прибывших в Казахстан с начала 2023 г., являются выходцами из Узбекистана, 20,1 % – из КНР, 11 % – из России, 6,4 % – из Монголии, 4,9 % – из Туркменистана и 3,3 % – из других стран.

В начале 2000-х гг. эмиграция сократилась, в то время как иммиграция, в основном за счёт оралманов, увеличилась. Однако экономический кризис 2008–2009 и 2014–2015 гг. привёл к новому росту эмиграции, в первую очередь квалифицированных кадров. Сальдо миграции специалистов с высшим образованием в 2022 г. в Казахстане составило -2359 чел. За период с 2018 по 2022 гг. из страны выехало 48 тыс. чел. с высшим образованием. В 2022 г. их доля равнялась 39 % от всех выбывших из страны. В 2022 г. из Казахстана в другие страны выбыло 8470 специалистов, из них с техническим образованием – 23 %, экономическим – 11,5 %, педагогическим – 7,5 %, медицинским – 4,5 %.

В 2000-е гг. из Казахстана продолжало выезжать славянское (70–75 % всех эмигрантов) и другое русскоязычное население, в том числе русскоязычные казахи. Особенно это коснулось приграничных с Россией территорий и привело к уменьшению плотности их населения. Это обстоятельство вкупе с политикой переселения казахского населения из южных районов, а также притока оралманов, иммигрирующих по специальной программе в северный, северо-западный и северо-восточный Казахстан, а также реформой административно-территориального деления привело к казахизации этих когда-то неказахских регионов. Кроме того, серьёзной проблемой стала утечка умов. Приток оралманов и возвратные миграции казахов не перекрывают эмиграции.

По данным Всемирной ассоциации казахов, число казахов за рубежом составляет около 5,5 млн человек, или около 28 % всех казахов. Большинство казахов (за пределами Казахстана) проживает в России, Узбекистане, Киргизии и Монголии. Также значительные диаспоры казахов существуют в Турции, Иране, Афганистане, Китае и других странах.

Учёт миграций осложняет тот факт, что из-за запрета на двойное гражданство часть миграций неофициальна. Иногда казахстанцы получают российский паспорт, не сообщая об этом.

Более подробный анализ проведён нами в отношении десяти лет (2013–2023 гг.), поскольку за этот период существует сопоставимая статистика.

По состоянию на 2023 г., к границе примыкают восемь областей Казахстана (с учётом новообразованной Абайской области) с населением 5,7 млн чел. и 12 субъектов России с населением 23,9 млн чел. (по данным на 2021 г.). В общей сложности в приграничных регионах России и Казахстана проживает более 29 млн чел. (из них 13,8 млн мужчин и 15,8 млн женщин). Максимальная численность населения среди приграничных регионов России и Казахстана – в Самарской и Челябинской областях России (более 3 млн чел.), со стороны Казахстана – в Актюбинской и Костанайской областях (928 тыс. чел. и 832 тыс. чел. соответственно) (рис. 1).

## Экономическая, социальная и политическая география

Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.

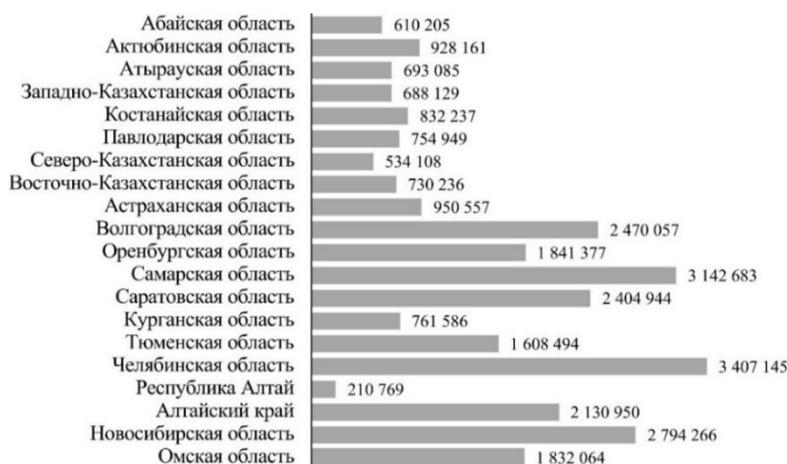


Рис. 1. Численность населения в приграничных регионах России и Казахстана (по состоянию на 1 января 2023 г.), чел. Составлено авторами по [9, 12, 17]

Fig. 1. Population in the border regions of Russia and Kazakhstan (as of January 1, 2023). Compiled by the authors according to [9, 12, 17]

За десятилетний период (2013–2023 гг.) численность населения приграничных с Казахстаном регионов (рис. 2) России в основном сократилась, исключение – Тюменская и Новосибирская области. Со стороны Казахстана в приграничных регионах, таких как Западно-Казахстанская, Атырауская и Актюбинская области, наблюдался существенный рост численности населения (на 11, 25 и 17 % соответственно); регион, где максимально сократилось население – Северо-Казахстанская область (на 8 %).



Рис. 2. Изменение численности населения приграничных регионов России и Казахстана за период с 2013 по 2023 г., %. Для удобства сравнения численность населения Абайской области (2023 г.) учтена в численности населения Восточно-Казахстанской области. Составлено авторами по [9, 12, 17]

Fig. 2. Population change in the border regions of Russia and Kazakhstan for the period from 2013 to 2023, %. For ease of comparison, the population of the Abai region (2023) is considered as part of the population of the East Kazakhstan region. Compiled by the authors according to [9, 12, 17]

Плотность населения в приграничных с Россией регионах Казахстана (и приграничных с Казахстаном субъектах РФ), как и в прошлые исторические периоды, возрастает близ государственной границы (рис. 3). Это одна из важнейших особенностей российско-казахстанского приграничья.

Экономическая, социальная и политическая география  
Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.

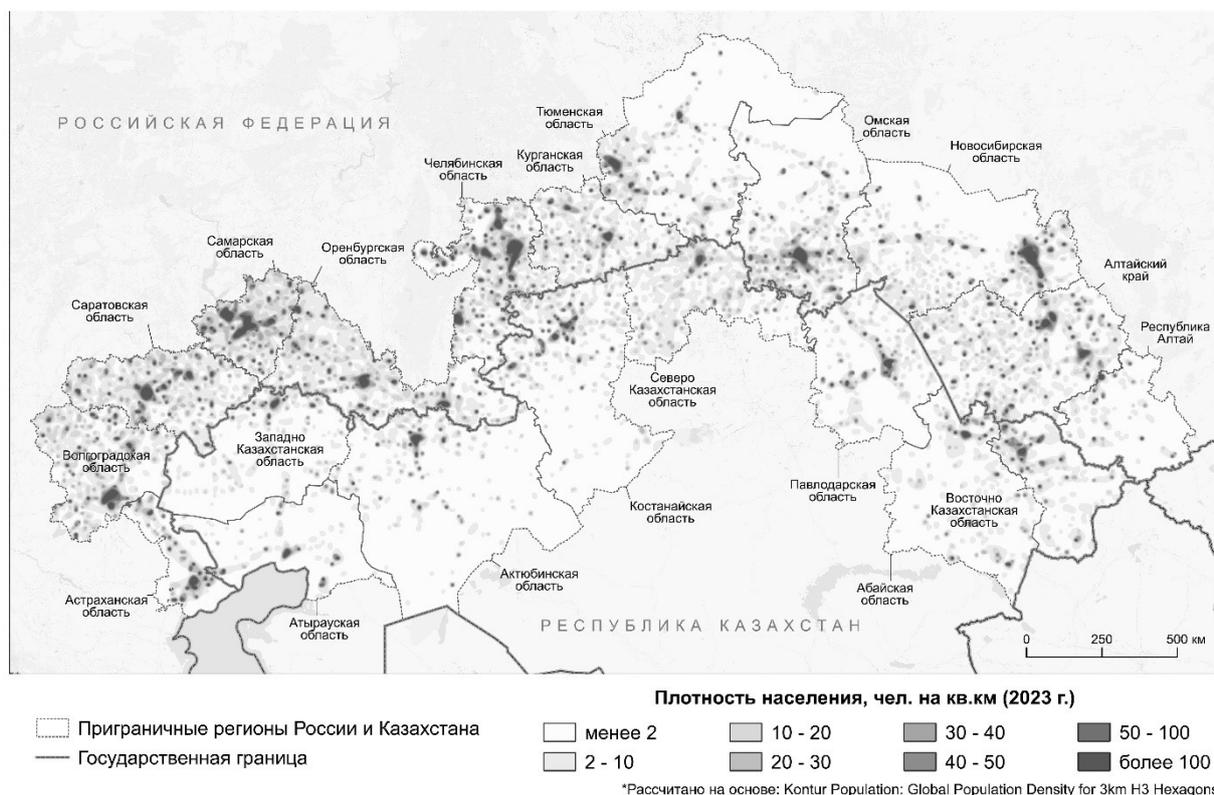


Рис. 3. Плотность населения в приграничных регионах России и Казахстана, 2023 г.  
Рассчитано авторами на основе данных глобальной модели численности населения [5]  
Fig. 3. Population density in the border regions of Russia and Kazakhstan, 2023.  
Calculated by the authors based on data from the global population model [5]

В 2022 г. в Казахстан из других стран въехало 17425 чел., а выехало в другие страны 24147 чел. Среди приграничных с Россией регионов максимальное число прибытий зафиксировано в Костанайской области (1135 чел.), там же отмечен и самый высокий показатель количества выбывших за пределы страны (3068 чел.). Единственный из приграничных регионов, где в 2022 г. наблюдалось положительное сальдо внешней миграции, это Атырауская область.

Были проанализированы межрегиональные перемещения русских в Республике Казахстан. Так, в 2022 г. среди приграничных с Россией регионов Казахстана максимальное количество русских въехало в Северо-Казахстанскую (735 чел.) и Восточно-Казахстанскую (805 чел.) области, эти же регионы являются лидерами и по количеству выехавших русских – 1081 и 803 чел. соответственно. Сальдо межрегиональной миграции русских среди приграничных с Россией областей максимально (и это единственный регион с положительным значением сальдо миграции) в Западно-Казахстанской области (26 чел.), а минимальное в Абайской области (-374 чел.). А в целом по Казахстану самое высокое сальдо миграции русских у городов Астана и Алматы (более 1000 чел.).

В среднем за шестилетний период (2017–2022 гг.) больше всего русских (внешняя миграция) среди пограничных с Россией регионов Казахстана прибыло в Северо-Казахстанскую и Восточно-Казахстанскую области (рис. 4). Лидеры межрегиональной миграции русских (по количеству прибытий) – Костанайская и Северо-Казахстанская области. Костанайская, Западно-Казахстанская и Павлодарская области – регионы с положительным сальдо межрегиональной миграции русских. В остальных регионах (как в случае внешней, так и межрегиональной миграции) в среднем за рассматриваемый период наблюдается отрицательное сальдо миграции.

Экономическая, социальная и политическая география  
Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.

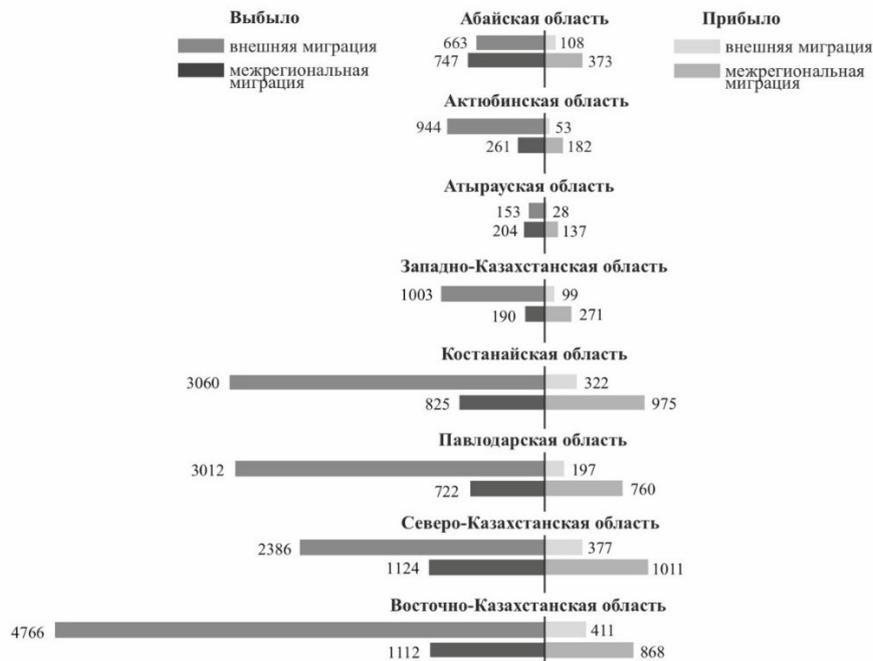


Рис. 4. Средние показатели (за период 2017–2022 гг.) миграции русских в приграничные с Россией регионы Республики Казахстан. Для Абайской области используются показатели за 2022 г. Составлено авторами по [9]  
Fig. 4. Average indicators (2017 - 2022) of the migration of Russians to the regions of the Republic of Kazakhstan bordering Russia. For the Abai region, indicators for 2022 are used. Compiled by the authors according to [9]

Внешний миграционный обмен между Российской Федерацией и Республикой Казахстан в целом за шестилетний период (2017–2022 гг.), согласно данным казахской статистики [9], характеризуется сокращением иммигрирующих русских в Казахстан, но исключение – 2022 г., когда в Казахстан въехало более 4300 русских. Также важно отметить, что и количество выехавших из страны русских существенно сократилось в 2022 г., достигнув значения 16 тыс. чел. (рис. 5).

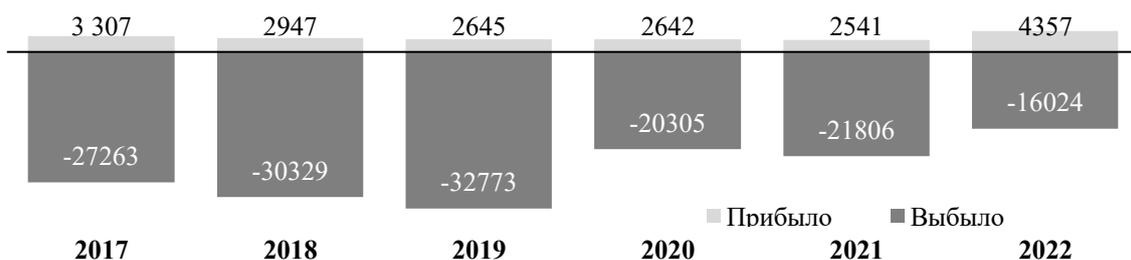


Рис. 5. Показатели внешней миграции русских в/из Республики Казахстан в 2017–2022 гг.  
Составлено авторами по [9]

Fig. 5. Indicators of external migration of Russians to/from the Republic of Kazakhstan (2017–2022).  
Compiled by the authors according to [9]

По данным статистики Казахстана в 2022 г. из России в Казахстан мигрировало 5891 человек, а в Россию из Казахстана – 19383 человека, и это максимальное число прибытий и минимальное число убытий за период с 2017 по 2022 г. (рис. 6).

Экономическая, социальная и политическая география  
Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.

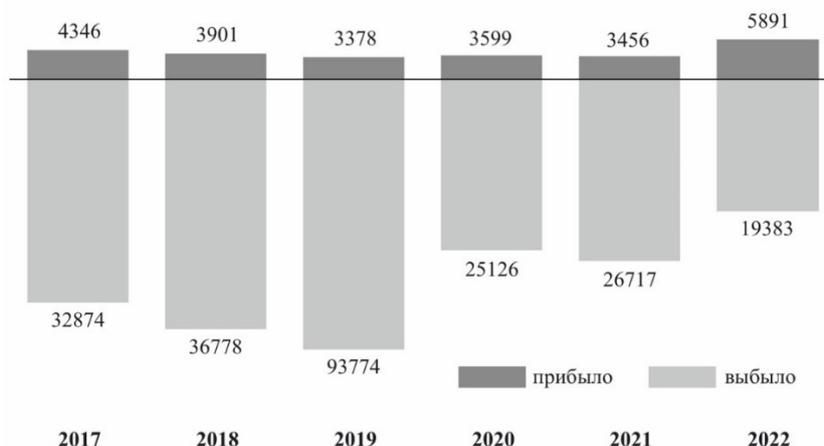


Рис. 6. Показатели внешней миграции между Россией и Казахстаном за период с 2017 по 2022 г. Данные приведены по отношению к Казахстану (т.е. прибыло из России в Казахстан, выбыло из Казахстана в Россию соответственно). Составлено авторами по [9, 12, 17]

Fig. 6. Indicators of external migration between Russia and Kazakhstan (2017–2022). The data are given in relation to Kazakhstan (those who arrived from Russia to Kazakhstan, those who departed from Kazakhstan to Russia, respectively). Compiled by the authors according to [9, 12, 17]

Доля казахов в населении приграничных регионов России за последний межпереписной период (2010–2020 гг.) в большинстве случаев сократилась. Единственный приграничный регион, где доля казахского населения выросла, – Астраханская область (рис. 7). Это обстоятельство привело к изменению этнического состава населения.



Рис. 7. Изменение доли казахского населения в приграничных с Казахстаном регионах России за период с 2010 по 2020 г., %. Составлено авторами по [12, 17]

Fig. 7. Changes in the share of Kazakh population in the regions of Russia bordering Kazakhstan (2010-2020), %. Compiled by the authors according to [12, 17]

Среди приграничных регионов России максимальная доля казахов в населении субъекта – в Астраханской области (по данным переписи 2020–2021 гг., она составляет 14,97 %), далее идут Республика Алтай (6,00 %) и Оренбургская область (5,78 %) (рис. 8). Доля же русских в населении приграничных регионов Казахстана в большинстве случаев значительно выше. Так, в Северо-Казахстанской области русские составляют почти 50 % населения региона (по данным на 2020 г.). На графике (рис. 9) представлены данные о доле русского и казахского населения в общей численности населения приграничных областей Казахстана (на 2009 г.) и субъектов России (на 2010 г.) соответственно.

Экономическая, социальная и политическая география  
Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.

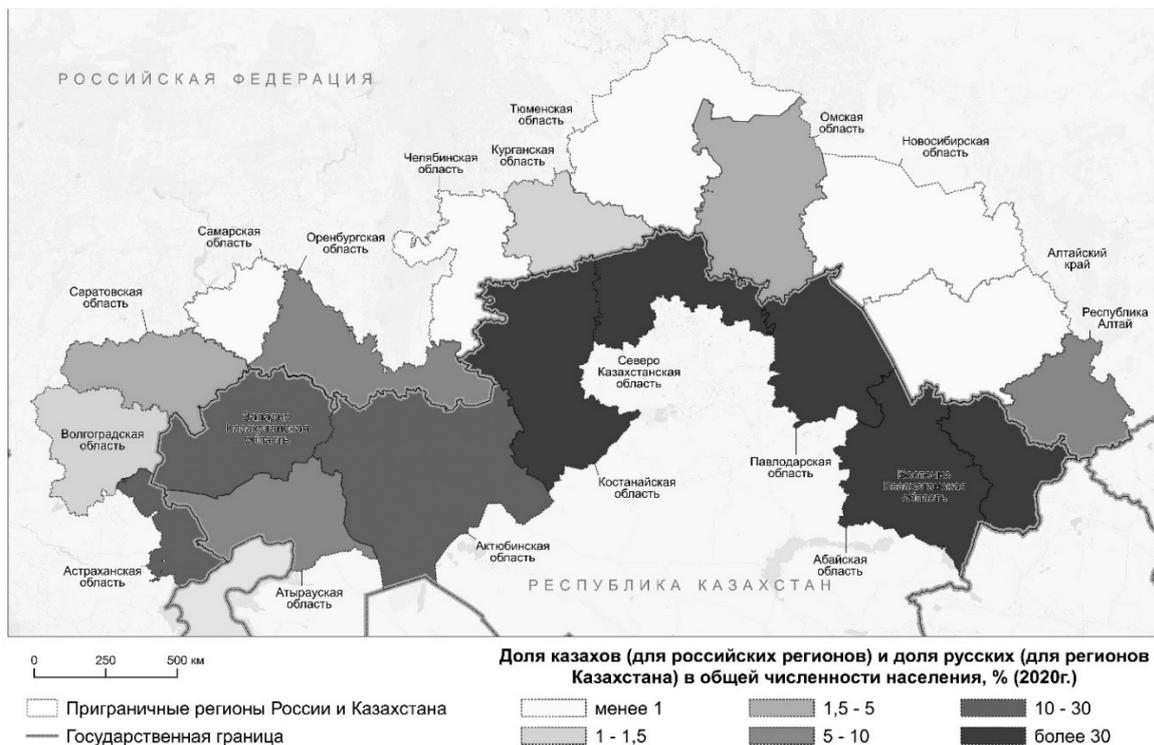


Рис. 8. Доля казахов и русских в приграничных регионах России и Казахстана соответственно, % от постоянного населения (2020 г.). Составлено авторами по [9, 12, 17]  
Fig. 8. The share of Kazakhs and Russians in the border regions of Russia and Kazakhstan, respectively, % of the permanent population (2020). Compiled by the authors according to [9, 12, 17]

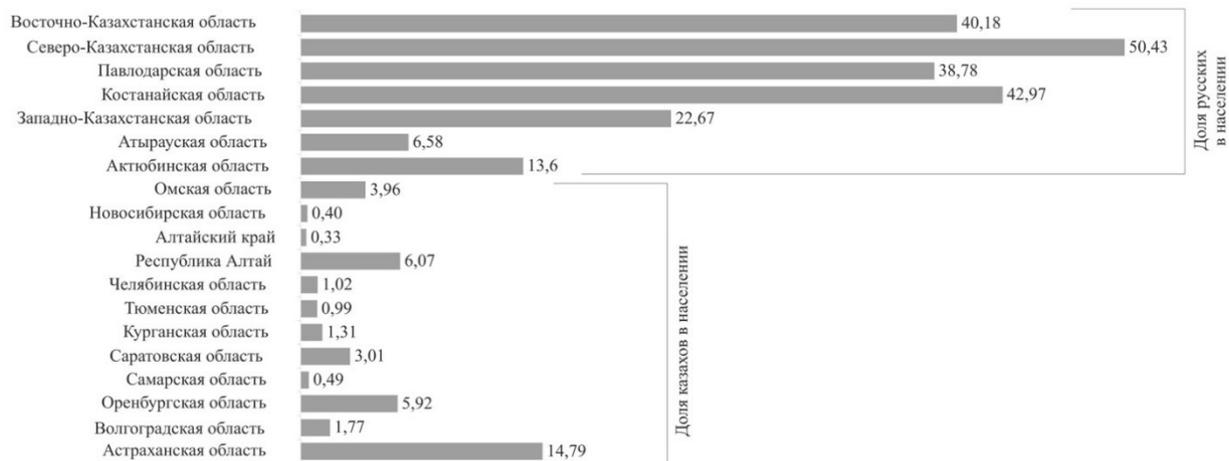


Рис. 9. Доля казахов и русских в приграничных регионах России и Казахстана соответственно, % от постоянного населения (для России данные за 2010 г., для Казахстана – за 2009 г.). Составлено авторами по [9, 12, 17]  
Fig. 9. The share of Kazakhs and Russians in the border regions of Russia and Kazakhstan, respectively, % of the permanent population (data for Russia for 2010, for Kazakhstan – for 2009). Compiled by the authors according to [9, 12, 17]

Средний коэффициент миграционного прироста на 10000 человек населения за период с 2017 по 2021 г. в большинстве приграничных российских и во всех приграничных казахстанских регионах – отрицательный (рис. 10).

Экономическая, социальная и политическая география  
Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.

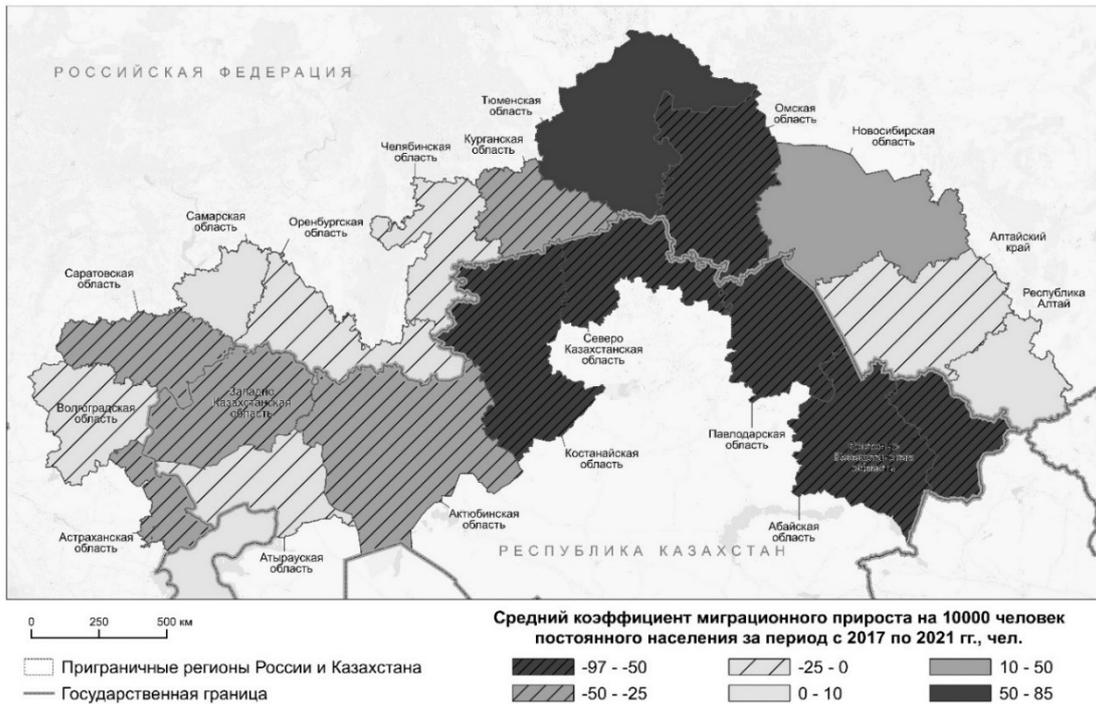


Рис. 10. Средний коэффициент миграционного прироста на 10 000 человек населения за период с 2017 по 2021 г. Составлено авторами по [9, 12, 17]  
Fig. 10. The average migration growth rate per 10,000 population for the period from 2017 to 2021. Compiled by the authors according to [9, 12, 17]

Средние за период с 2017 по 2021 г. показатели сальдо международной и межрегиональной миграции населения в приграничных регионах России и Казахстана представлены на графике (рис. 11). Согласно данным российской статистики [17], в 2021 г. из Казахстана в Россию прибыло 72668 человек, выбыло в Казахстан из России 24351 человек.

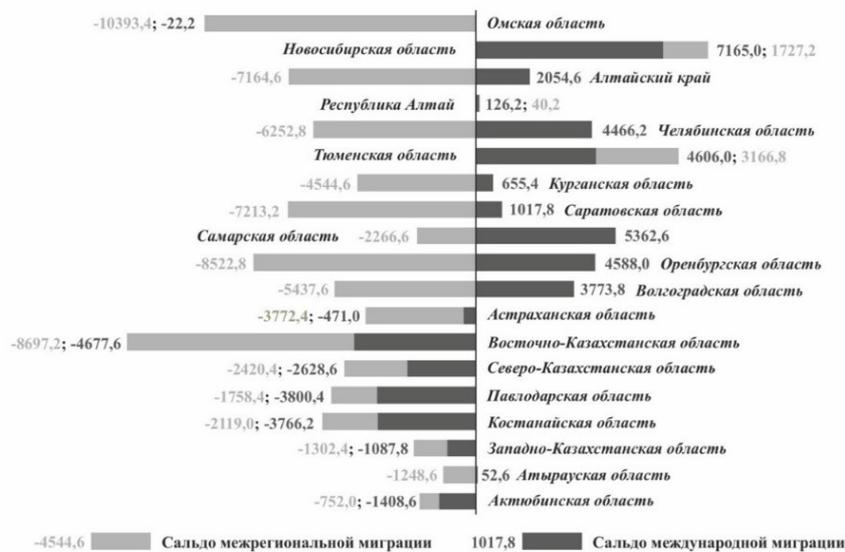


Рис. 11. Средние показатели сальдо международной и межрегиональной миграции населения в приграничных регионах России и Казахстана за период с 2017 по 2021 г. Составлено авторами по [9, 12, 17]  
Fig. 11. Average indicators of the balance of international and interregional migration of the population in the border regions of Russia and Kazakhstan (2017–2021). Compiled by the authors according to [9, 12, 17]

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.*

Потоки мигрантов в Россию, по имеющимся статистическим данным, существенно превышают обратные. Выезжает из Казахстана интеллектуальная элита, квалифицированные кадры. В структуре иммигрантов из Казахстана существенную часть составляет молодёжь, в подавляющем числе случаев выезжающая в Россию на учёбу и часто не возвращающаяся. Так, по данным [12], в 2020–2021 учебном году из 162,5 тыс. студентов из стран СНГ, обучающихся по программам бакалавриата, специалитета, магистратуры в государственных и муниципальных образовательных организациях высшего образования и научных организациях российской федерации на условиях общего приёма, 49 тыс. – граждане Казахстана. В свою очередь, регионы России характеризуются разной степенью привлекательности для молодёжи [2]. В России их привлекает относительно недорогое качественное образование и более высокие зарплаты. Кроме того, рынок труда в Казахстане отстаёт от потребностей растущего населения и не выдерживает конкуренции с таковым в соседнем государстве, что является одним из существенных факторов эмиграции. Однако переход на казахский язык и рост числа не знающих русский язык замедляет эти процессы. Тем не менее проблема «утечки умов» и снижения качества человеческого капитала стоит перед Казахстаном довольно остро, на это указывают многие эксперты.

Прирост населения в Казахстане превышает рост рынка труда, в России ситуация до последнего времени была намного лучше, поэтому трансграничные миграции были неизбежны. Приграничные регионы России служат перевалочными базами для мигрантов из Средней Азии и Казахстана. Отсюда они часто перемещаются в более крупные города и в районы с привлекательными условиями труда.

### **Выводы**

Формирование этнокультурного пространства российско-казахстанского порубежья происходило в несколько этапов. Эта территория пережила несколько волн заселения. Миграции и колонизация изначально играли определяющую роль в изменении этнического состава населения.

Массовая российская колонизация (с 30–40-х гг. XVIII в.) привела к формированию основ современной этнической географии региона. Позже Столыпинская аграрная реформа, Первая мировая война, революция, гражданская война, голод 1921–1922 гг., советизация, перевод казахов на оседлость, получение государственности, переселение народов, эвакуация в годы Второй мировой войны, индустриализация, освоение целины внесли существенный вклад в трансформацию этнического и конфессионального состава населения и предопределили характер межэтнических взаимоотношений. Вектор миграций по сравнению с дороссийским периодом изменился на противоположный. В регионе сложилась единая региональная полиэтничная общность, включающая несколько региональных и локальных ЭКЗ с толерантными отношениями, основанными на «ксении» и «симбиозе» (по Л.Н. Гумилёву).

Межэтнические контакты, многочисленные заимствования привели к конвергенции и этнокультурному сродству мигрантов и автохтонного населения. В приграничных районах традиционная культура казахов была сильно трансформирована, имела большое сходство с русской и подвержена вестернизации по обе стороны границы. В настоящее время происходит этнокультурная дивергенция, ситуация существенно изменилась.

В постсоветские годы трансграничный миграционный обмен был связан с оттоком казахского населения (русских и других русскоговорящих, евреев, немцев), русскоговорящих казахов из Казахстана и притоком части казахского населения из России, а также репатриации оралманов (кандасов) в Казахстан. Происходит изменение этнического состава и формирование новых этноконтактных зон по обе стороны границы. Фиксируется несколько этапов трансграничных миграций: сокращение оттока и рост числа репатриантов в начале 2000-х гг.; новая волна эмиграции квалифицированных кадров в период кризисов 2008–2009 и 2014–2015 гг. В настоящее время тенденция сохраняется.

Экономическая, социальная и политическая география  
Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.

Географическим последствием миграций, кроме казахизации населения Казахстана и формирования новых ЭКЗ в России, стало уменьшение плотности населения приграничных с Россией районов Казахстана. Приток оралманов (кандасов) и возвратные миграции казахов не перекрывают эмиграции. Численность населения в приграничных регионах России и Казахстана снижается, за исключением Тюменской, Новосибирской, Атырауской, Актыбинской и Западно-Казахстанской областей и Республики Алтай.

Потоки мигрантов в Россию существенно превышают обратные. Выезжают из Казахстана интеллектуальная элита, квалифицированные кадры. В структуре иммигрантов из Казахстана существенную часть составляет молодёжь, в подавляющем числе случаев выезжающая в Россию на учёбу и часто не возвращающаяся. Рост числа не знающих русский язык замедляет эти процессы. Однако проблема «утечки умов» и снижения качества человеческого капитала стоит перед Казахстаном довольно остро.

Приграничные регионы России служат перевалочными базами для мигрантов, которые устремляются в более привлекательные районы.

Иммигранты обладают культурной спецификой, отличной от местной, а это приводит к усложнению сущности и характера межкультурных отношений и требует разумной миграционной и культурной региональной политики, а следовательно, дальнейших научных исследований с целью сохранения толерантных отношений в регионах, в том числе и во вновь формирующихся этноконтактных зонах.

#### Библиографический список

1. Алексеев А.Н. Население Казахстана в 1926–1939 годах // Компьютер и историческая демография / Ред. В.Н. Владимиров. Барнаул, 2000. С. 27–40.
2. Габдрахманов Н.К. Молодежная миграция как индикатор региональной аттрактивности / Н.К. Габдрахманов // Географический вестник. 2020. № 1(52). С. 96–107. doi 10.17072/2079-7877-2020-1-96-107. EDN AYKZMT.
3. Герасименко Т.И., Родоман Б.Б. Этноконтактные зоны как вид этнокультурных регионов // Социально-экономическая география. Вестник Ассоциации российских географов-обществоведов. 2018. № 7. С. 51–59. EDN URONKN.
4. Герасименко Т.И. Проблемы этнокультурного развития трансграничных регионов. Санкт-Петербург: РТП ЛГУ, 2005. 235 с. EDN QPBKLB.
5. Глобальная плотность населения для 3-километровых шестиугольников НЗ // Kontur Population. URL: <https://data.humdata.org/dataset/kontur-population-dataset-3km> (дата обращения 15.05.2023)
6. Голунов С.В. Российско-казахстанская граница: история формирования // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 4: История. Регионоведение. Международные отношения. 2005. № 10. С. 68–87. EDN MSSTWP.
7. Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. Москва: Айрис-Пресс, 2005. EDN QOEFKZ.
8. Меч С.П. Россия. Географический сборник для чтения в семье и школе. 7-е изд. М.: Тип-лит. Т-ва И.Н. Кушнерев и Ко, 1901. 382 с.
9. Миграция населения Республики Казахстан // Агентство по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан Бюро национальной статистики. URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/social-statistics/demography/publications/6356> (дата обращения 15.05.2023)
10. Национальный состав населения Республики Казахстан. Т. 4, часть 1. Население Республики Казахстан по национальностям, полу и возрасту / Итоги переписи населения 1999 года в РК. Алматы. 2000. С. 13–16.
11. Полян П.М. Не по своей воле...: История и география принудительных миграций в СССР. Москва: ОГИ. Мемориал, 2001. 328 с. EDN WGSPKN.
12. Российский статистический ежегодник // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12994> (дата обращения 15.05.2023)
13. Россия. Полное географическое описание нашего отечества. Настольная и дорожная книга для русских людей. В 20 т. Т. 18. Киргизский край / под ред. В.П. Семенова. СПб.: изд. А.Ф. Девриена, 1903. 479 с.
14. Стариков Ф.М. Историко-статистический очерк Оренбургского казачьего войска: с приложением статьи о домашнем быте оренбургских казаков, рисунков со знамен и карты / составил войсковой старшина Ф. Стариков. Оренбург: типография Б. Бреслина, 1891. 250 с.
15. Топонимия Ближнего Зарубежья: 100 лет переименований: Атлас-справочник / Т.И. Герасименко, В.Н. Калудцов, О.В. Коломейцева [и др.]; Русское географическое общество. М., 2020. 255 с. doi 10.5281/zenodo.7477880. EDN JQIPZW.
16. Чибилев А.А. Российско-Казахстанский приграничный субрегион: проблемы международного экологического сотрудничества // Известия Оренбургского отделения Русского географического общества. 2005. № 1. С. 5–15. EDN SZLVOD.
17. Численность и миграция населения Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13283> (дата обращения 15.05.2023)
18. Шибутов М. Миграция из Казахстана в Россию: сколько, кто и почему // ИА REGNUM. URL: <https://regnum.ru/news/society/2304708.html> (дата обращения 01.10.2022)
19. Шоинбаев Т.Ж. Добровольное вхождение казахских земель в состав России. Алма-Ата: Казахстан, 1982. 279 с.
20. Шоинбаев Т.Ж. Прогрессивное значение присоединения Казахстана к России. Алма-Ата: Казахстан, 1973. 244 с.

## Экономическая, социальная и политическая география

Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.

## References

1. Alekseenko A.N. (2000), *Naselenie Kazakhstana v. 1926–1939 godakh* [The population of Kazakhstan 1926–1939], *Komp'juter i istoricheskaja demografija*, edited by V.N. Vladimirov, Barnaul, pp. 27–40. (in Russian)
2. Gabdrahmanov N.K. (2020), *Molodezhnaja migracija kak indikator regional'noj attraktivnosti* [Youth migration as an indicator of regional attractiveness], *Geograficheskij vestnik*, no. 1(52), pp. 96–107, doi 10.17072/2079-7877-2020-1-96-107 (in Russian)
3. Gerasimenko T.I., Rodoman, B.B. (2018), *Jetnokontaktnye zony kak vid jetnokul'turnyh regionov* [Ethnocontact zones as a type of ethnocultural regions], *Social'no-jekonomicheskaja geografija. Vestnik Associacii rossijskih geografov-obshhestvovedov*, no. 7, pp. 51–59. (in Russian)
4. Gerasimenko T.I. (2005), *Problemy jetnokul'turnogo razvitija transgranichnyh regionov* [Problems of ethnocultural development of trans-border regions], Sankt-Peterburg, RTP LGU, 235 p. (in Russian)
5. *Global'naja plotnost' naselenija dlja 3-kilometrovyh shestiugol'nikov H3* [Global population density for 3 km H3 hexagons]. Kontur Population. Available at: <https://data.humdata.org/dataset/kontur-population-dataset-3km> (Accessed: 15 May 2023). (in Russian)
6. Golunov S.V. (2005), *Rossijsko-kazahstanskaja granica: istorija formirovanija* [Russian-Kazakh border: history of formation], *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta Serija 4: Istorija. Regionovedenie. Mezhdunarodnye otoshenija*, no. 10, pp. 68–87. (in Russian)
7. Gumilev L.N. (2005), *Jetnogenez i biosfera Zemli* [Ethnogenesis and biosphere of the Earth], Moskva, Ajris-Press. (in Russian)
8. Mech S.P. (1901), *Rossija. Geograficheskij sbornik dlja chtenija v sem'e i shkole* [Russia. Geographical collection for reading in the family and school.]. Moscow, Tip-lit. T-va I.N. Kushnerev i Ko, 382 p. (in Russian)
9. *Migracija naselenija Respubliki Kazahstan* [Migration of the population of the Republic of Kazakhstan]. Agentstvo po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan Bjuro nacional'noj statistiki. Available at: <https://stat.gov.kz/ru/industries/social-statistics/demography/publications/6356> (Accessed: 15 May 2023). (in Russian)
10. *Nacional'nyj sostav naselenija Respubliki Kazahstan. T.4, chast' 1. Naselenie Respubliki Kazahstan po nacional'nostjam, polu i vozrastu* [National composition of the population of the Republic of Kazakhstan. V. 4, part 1. Population of the Republic of Kazakhstan by nationality, sex and age] (2000), *Itogi perepisi naselenija 1999 goda v RK. Almaty*, pp. 13–16. (in Russian)
11. Poljan P.M. (2001), *Ne po svoej vole... : Istorija i geografija prinuditel'nyh migracij v SSSR* [Against the will...: History and geography of forced migrations in the USSR], Moskva, OGI, Memorial, 328 p. (in Russian)
12. *Rossijskij statisticheskij ezhegodnik* [Russian Statistical Yearbook]. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki. Available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12994> (Accessed: 15 May 2023). (in Russian)
13. *Rossija. Polnoe geograficheskoe opisanie nashego otechestva. Nastol'naja i dorozhnaja kniga dlja russkikh ljudej. V 20 t. T. 18. Kirgizskij kraj* [Russia. A complete geographical description of our fatherland. Desktop and travel book for Russian people. In 20 volumes. Vol. 18. Kirghiz region] (1903), edited by V.P. Semenova, SPb, izd. A.F. Devriena, 479 p. (in Russian)
14. Starikov F.M. (1891) *Istoriko-statisticheskij ocherk Orenburgskogo kazach'ego vojska: s prilozheniem stat'i o domashnem byte orenburgskikh kazakov, risunkov so znamen i karty* [Historical and statistical essay of the Orenburg Cossack army: with an article about the domestic life of the Orenburg Cossacks, drawings from banners and a map], edited by F. Starikov, Orenburg, tipo-litografija B. Breslina, 250 p. (in Russian)
15. Gerasimenko T.I., Kaluckov V.N., Kolomejceva O.V., Matasov V.M., Mitin I.I., Morozova M.M., Svjataha N.Ju., Jamskov A.N. *Toponimija Blizhnego Zarubezh'ja: 100 let pereimenovanij: Atlas-spravochnik* [Toponymy of the Near Abroad: 100 years of renaming: Atlas-reference book], Moskva, 255 p. doi 10.5281/zenodo.7477880 (in Russian)
16. Chibilev A.A (2005), *Rossijsko-Kazahstanskij prigranichnyj subregion: problemy mezhdunarodnogo jekologicheskogo sotrudnichestva* [Russian-Kazakhstan border subregion: problems of international environmental cooperation], *Izvestija Orenburgskogo otdelenija Russkogo geograficheskogo obshhestva*, no. 1, pp. 5–15. (in Russian)
17. *Chislennost' i migracija naselenija Rossijskoj Federacii* [Number and migration of the population of the Russian Federation]. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki. Available at: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13283> (Accessed: 15 May 2023). (in Russian)
18. Shibusov M. *Migracija iz Kazahstana v Rossiju: skol'ko, kto i pochemu* [Migration from Kazakhstan to Russia: how much, who and why], IA REGNUM. Available at: <https://regnum.ru/news/society/2304708.html> (Accessed: 15 May 2023) (in Russian)
19. Shoinbaev T.Zh. (1982), *Voluntary entry of Kazakh lands into Russia* [Voluntary entry of Kazakh lands into Russia], Alma-Ata, Kazakhstan, 279 p. (in Russian)
20. Shoinbaev T.Zh. (1973), *Progressivnoe znachenie prisoedinenija Kazahstana k Rossii* [Progressive Significance of Kazakhstan's Accession to Russia], Alma-Ata, Kazakhstan, 244 p. (in Russian).

Статья поступила в редакцию: 03.08.2023, одобрена после рецензирования: 15.11.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 3 August 2023; approved after review: 15 November 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

*Экономическая, социальная и политическая география*  
*Герасименко Т.И., Святоха Н.Ю.*

Информация об авторах

Information about the authors

**Татьяна Ильинична Герасименко**

доктор географических наук, профессор, старший научный сотрудник, отдел социально-экономической географии, Институт географии РАН; 119017, Россия, г. Москва, Старомонетный пер., 29, стр. 4

**Tatyana I. Gerasimenko**

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Senior Researcher, Department of Socio-Economic Geography, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences; bld. 4, 29, Staromonetny pereulok, Moscow, 119017, Russia  
e-mail: gerasimenko@igras.ru

**Наталья Юрьевна Святоха**

кандидат географических наук, доцент, кафедра географии и регионоведения Оренбургского государственного университета; 460018, Россия, г. Оренбург, просп. Победы, 13  
e-mail: osugeo@yandex.ru

**Natalya Y. Svyatokha**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Geography and Regional Studies, Orenburg State University; 13, prospekt Pobedy, Orenburg, 460018, Russia

**Вклад авторов**

Герасименко Т.И. – научное руководство, анализ литературных источников, исследования в области историко-географических особенностей миграций и их роли в формировании этнического состава населения и этно-контактных зон.

Святоха Н.Ю. – обработка статистических данных, исследование миграционных процессов в Российско-Казахстанском трансграничном регионе в XXI в., инфографика и картосхемы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors**

Tatyana I. Gerasimenko – scientific supervision; analysis of literary sources; research into historical and geographical features of migrations and their role in shaping the ethnic composition of the population and ethnic-contact zones.

Natalya Y. Svyatokha – processing of statistical data; study of migration processes in the Russian-Kazakh trans-boundary region in the 21st century; infographics and maps.

The authors declare no conflict of interest.

## Гидрология

Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М.

## ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.4.042; 551.435.47

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-59-70

**ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОРЫВА ЛЕДНИКОВОГО ОЗЕРА  
НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ВАРШЕЗКУЛЬ НИЖНЕЕ (ТАДЖИКИСТАН)****Виктория Антоновна Юдина<sup>1</sup>, Сергей Семенович Черноморец<sup>2</sup>, Елена Александровна Савернюк<sup>3</sup>,  
Иван Владимирович Крыленко<sup>4</sup>, Вера Михайловна Кидяева<sup>5</sup>**<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> МГУ им. Ломоносова, г. Москва, Россия<sup>1</sup> viktoriiaurovskaja@gmail.com, Scopus ID: 57211199635<sup>2</sup> sc@geogr.msu.ru, Scopus ID: 15131000100<sup>3</sup> savernyuk@geogr.msu.ru, Scopus ID: 57193665733<sup>4</sup> i-krylenko@yandex.ru, Scopus ID: 57220095415<sup>5</sup> vera.kidyaeva@yandex.ru, Scopus ID: 26632201700

**Аннотация.** В работе рассматривалось моделирование возможного прорывного паводка на примере ледникового озера Варшезкуль Нижнее, расположенного на территории Западного Памира. С момента образования озера в 1968 г. и по 2022 г. озеро увеличилось в 8,3 раза, активный рост наблюдался до 2000 г. По результатам обследования долины в 2018 г. объем озера составил 1,94 млн м<sup>3</sup>. Для оценки максимального расхода паводка применялась программа FLOVI, включающая в себя уравнения модели прорыва озера через внутрiledниковый туннель, разработанные Ю.Б. Виноградовым. По результатам моделирования было выявлено, что начальная температура воды в озере является наиболее чувствительным параметром модели. Максимальный расход прорывного паводка при температуре воды, равной 4 °С, окажется на 2,8 раза выше, чем для 0 °С, и составит 400 м<sup>3</sup>/с. Кроме того в интервале от 0 до 4 °С расход прорывного паводка будет увеличиваться в среднем на 30 % на 1 °С. Также были приведены результаты обработки реанализа ERA5 (ECMWF Re-Analysis 5) в виде графиков температуры поверхностного слоя, придонной и общей, в период с июня по октябрь за 2018–2022 гг. Наблюдалось практически полное совпадение значений, и температура в даты установления ледостава на озере была значительно завышена. Это может быть связано с малым разрешением данных (30 км) и небольшой площадью озера. Также было проведено сравнение результатов моделирования с оценками максимального расхода прорывного паводка по эмпирическим зависимостям. Разница в значениях расхода, определенных по различным формулам, составила около 95 %.

**Ключевые слова:** ледниковое озеро, прорывной паводок, Памир, FLOVI, ERA5

**Финансирование:** работа выполнена при поддержке тем госзадания МГУ им. М.В. Ломоносова НИЛ Снежных лавин и селей и НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, разделы I.7(ЦИТИС 121051300175-4), 1.13 (ЦИТИС 121051100166-4).

**Благодарность:** авторы выражают благодарность Aga Khan Agency for Habitat и лично У.Р. Пирмамадову, И.И. Зикиллобекову, Ю.Х. Раимбекову за помощь и поддержку.

**Для цитирования:** Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М. Особенности моделирования прорыва ледникового озера на примере озера Варшезкуль Нижнее (Таджикистан) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 59–70. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-59-70



## Гидрология

Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М.

## HYDROLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-59-70

THE FEATURES OF A GLACIAL LAKE OUTBURST MODELING:  
A CASE STUDY OF VARSHEZKUL LOWER (TAJIKISTAN)Viktoriia A. Iudina<sup>1</sup>, Sergey S. Chernomorets<sup>2</sup>, Elena A. Savernyuk<sup>3</sup>, Ivan V. Krylenko<sup>4</sup>, Vera M. Kidyaeva<sup>5</sup><sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia<sup>1</sup> viktoriiaurovskaya@gmail.com, Scopus ID 57211199635<sup>2</sup> devdorak@gmail.com, Scopus ID 15131000100<sup>3</sup> savernyuk@gmail.com, Scopus ID 57193665733<sup>4</sup> i-krylenko@yandex.ru, Scopus ID 57220095415<sup>5</sup> vera.kidyaeva@yandex.ru, Scopus ID 26632201700

**Abstract.** The study deals with the modeling of a possible outburst flood with the example of glacial lake Varshezkul Lower located in the Western Pamirs. From the formation of the lake in 1968 and until 2022, the lake increased by 8.3 times, its active growth was observed until 2000. According to the survey of the valley in 2018, the volume of the lake was 1.94 million m<sup>3</sup>. To estimate the maximum flood discharge, the FLOVI program was used, which includes model equations of a lake outburst through an intraglacial tunnel developed by Yu.B. Vinogradov. The simulation showed the initial water temperature in the lake to be the most sensitive parameter of the model. The maximum discharge of an outburst flood at a water temperature of 4 °C will be 2.8 times higher than for 0 °C and will amount to 400 m<sup>3</sup>/s. In the range from 0 to 4 °C, the outburst flood discharge will increase by approximately 30% 1 °C. The results of processing the ERA5 reanalysis (ECMWF Re-Analysis 5) were presented in the form of graphs of the surface layer temperature, bottom and general temperature in the period from June to October for 2018-2022. An almost complete coincidence of values was observed, and the temperature on the dates of the freeze-up on the lake was significantly overestimated. This may be due to a low resolution of the data (30 km) and a small area of the lake. Also, the simulation results were compared with estimates of the maximum outburst flood discharge from empirical dependences. The difference in the flow discharges determined by various formulas was about 95%.

**Keywords:** glacial lake, flood outburst, Pamir, FLOVI, ERA5

**Funding:** This study was carried out within the framework of state assignments of Lomonosov Moscow State University, sections I,7 (CITIS 121051300175-4).

**Acknowledgments:** The authors express their gratitude to Aga Khan Agency for Habitat and particularly to U.R. Pirmamadov, I.I. Zikillobekov, and Yu.Kh. Raimbekov for help and support.

**For citation:** Iudina, V.A., Chernomorets, S.S., Savernyuk, E.A., Krylenko, I.V., Kidyaeva, V.M. (2024). The features of a glacial lake outburst modeling: a case study of Varshezkul Lower (Tajikistan). *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 59–70. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-59-70

## Введение

Ледниковые озера являются одними из самых распространённых в мире и составляют около 50 % от общего числа озёр [7]. В условиях изменения климата наблюдается активное отступление ледников, которое в свою очередь ведет к образованию от сотен до тысячи ледниковых озёр по всему миру [19, 25].

По данным [23], на 2017 г. на Памире насчитывалось 12 186 ледников площадью  $10\,396,20 \pm 421,16$  км<sup>2</sup>, неравномерно распределённых по разным районам. Из них на Западном Памире (бассейн Амударьи) 10031 ледников общей площадью  $8106,58 \pm 346,24$  км<sup>2</sup> (77,98 ± 3,33 %), на Восточном Памире (бассейн реки Тарим) 2155 ледников общей площадью  $2289,62 \pm 74,92$  км<sup>2</sup> (22,02 ± 0,72 %). С 2000 по 2017 г. площадь оледенения на Памире сократилась на  $124,28 \pm 81,33$  км<sup>2</sup> со скоростью приблизительно  $1,17 \pm 0,77$  % [23]. Согласно климатическому сценарию [18], будет наблюдаться значительное сокращение массы льда (до 87 % в Азии). При реализации данного сценария самые большие ледниковые озера будут находиться в Каракоруме и на Памире [18].

По данным [17], площадь моренных озёр на Памире с 2008 по 2017 г. увеличилась на 10 %. Общий объём 8 крупнейших моренных озёр на Памире, по данным [18], составляет  $2,57 \pm 0,74$  км<sup>3</sup>. Средняя площадь ледниковых озёр составляет 0,19 км<sup>2</sup>, а это больше, чем в

## Гидрология

Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М.

центральных Гималаях (0,15 км<sup>2</sup>), восточных Гималаях (0,12 км<sup>2</sup>), юго-востоке Тибетского нагорья (0,11 км<sup>2</sup>) и Перуанских Андах (0,10 км<sup>2</sup>) [30].

В связи с вышеперечисленным увеличивается опасность прорыва ледниковых озер. Целью данной работы является оценка характеристик прорывного паводка на примере ледникового озера Варшезкуль Нижнее, расположенного на территории Западного Памира в пределах Горно-Бадахшанской автономной области.

## Объект исследования

Исследуемое озеро Варшезкуль Нижнее располагается в верховьях реки Варшездара. Бассейн реки расположен на северном склоне восточной оконечности Шугнанского хребта. Река является левым притоком Гунта и впадает в него на 102 км выше устья последнего – на отметке 3106 м. Длина реки Варшездара составляет 18 км, а площадь водосбора равняется 71,7 км<sup>2</sup> [3]. Бассейн расположен на границе Западного и Восточного Памира и сочетает черты рельефа, характерные для обеих областей. Так, наблюдаются значительные перепады высот от гребней хребтов до днища долин (1–1,3 км) и ледниковый рельеф, еще слабо переработанный эрозией и склоновыми процессами.

Озеро Варшезкуль Верхнее находится на высоте 4788,6 м в 15 км от устья реки Варшездара. Площадь акватории озера составляет 348 тыс. м<sup>2</sup>, длина – 1000 м, характерная ширина – 300 м. Северный берег крутой скальный, западный и восточный – моренные, на южном к воде выходят два склоновых ледника с разделяющим их скальным гребнем. Запруда озера представляется достаточно надёжной.

Сравнение снимков высокого разрешения 1969, 1971 и 2012 гг. показало, что изменения в чаше озера Варшезкуль Верхнее происходили только за счет сокращения прилегающих ледников. Площадь озера за 53 года увеличилась на 25 тыс. м<sup>2</sup> – с 355 тыс. м<sup>2</sup> до 380 тыс. м<sup>2</sup>, то есть на 7 %. Несмотря на общее понижение поверхности ледника Варшез за период с 1969 по 2022 г., отступления и разрушения массива береговой морены ледника Варшез, слагающей нижнюю часть перемычки озера, вверх по склону в сторону озера пока не произошло.

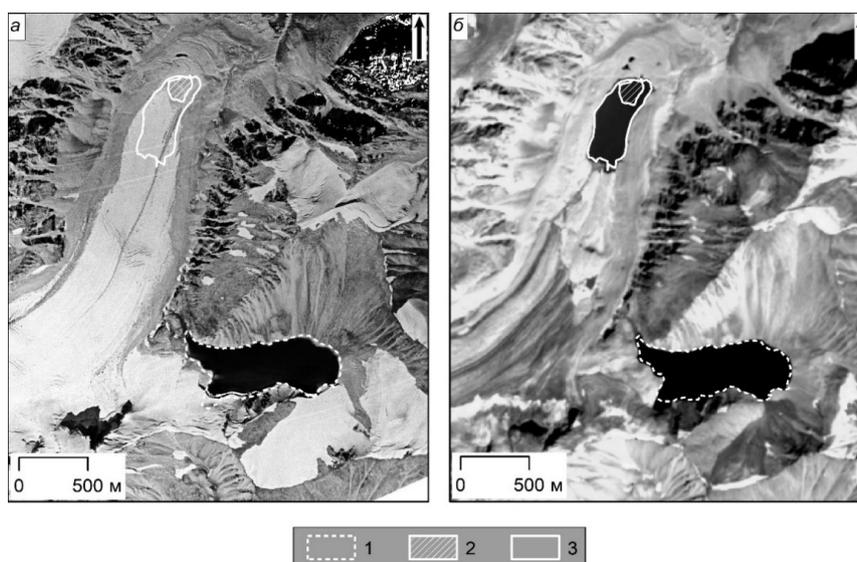


Рис. 1. Схема изменения и развития озер с 1969 по 2022 г.: а – космический снимок КН-4И от 15.09.1971, б – космический снимок Sentinel 2 от 31.08.2022; 1 – контур озера Варшезкуль Верхнее (на снимке а – 31.08.2022, на снимке б – 15.09.1971), 2 – контур озера Варшезкуль Нижнее от 27.09.1969, 3 – граница озера Варшезкуль Нижнее от 31.08.2022

Fig. 1. Scheme of change and development of lakes from 1969 to 2022: а – KH-4I satellite image dated 15 September 1971, б – Sentinel 2 space image dated 31 August 2022; 1 – the contour of Lake Varshezkul Verkhneye (in picture а – 31 August 2022, in picture б – 15 September 1971), 2 – the contour of Lake Varshezkul Lower as of 27 September 1969, 3 – the border of Lake Varshezkul Lower as of 31 August 2022

## Гидрология

Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М.

Озеро Варшезкуль Нижнее лежит в чаше, образованной мёртвыми льдами бывшего языка ледника Варшез, на абсолютной отметке 4532,5 м. Длина озера Варшезкуль Нижнее составляет 700 м, ширина в средней части – 260 м, глубины превышают 20 м, площадь акватории в летний период – 173 тыс. м<sup>2</sup>, объем, по состоянию на 2018 г., составляет 1,94 млн м<sup>3</sup> [6]. Современный активный язык ледника находится на южном берегу озера в 100–150 м от уреза воды. С запада и востока берега озера образуют высокие, по 15–25 м, гряды мёртвых льдов, покрытые рыхлообломочным плащом и круто обрывающиеся к озеру. Северный берег и запруду озера Варшезкуль Нижнее формирует последний по времени образования конечно-моренный вал. На поверхности вала хорошо прослеживаются изогнутые полосы движения, имеются просадки с небольшими эфемерными озерами. Предположительно, большая часть вала все еще остается цельным ледовым телом, покрытым чехлом грубообломочной поверхностной морены. Поскольку озеро наледниковое, то, скорее всего, продолжится трансформация его ложа и берегов в результате таяния льдов. Так, наблюдается значительное возрастание площади акватории озера Варшезкуль Нижнее на протяжении последних 40 лет.

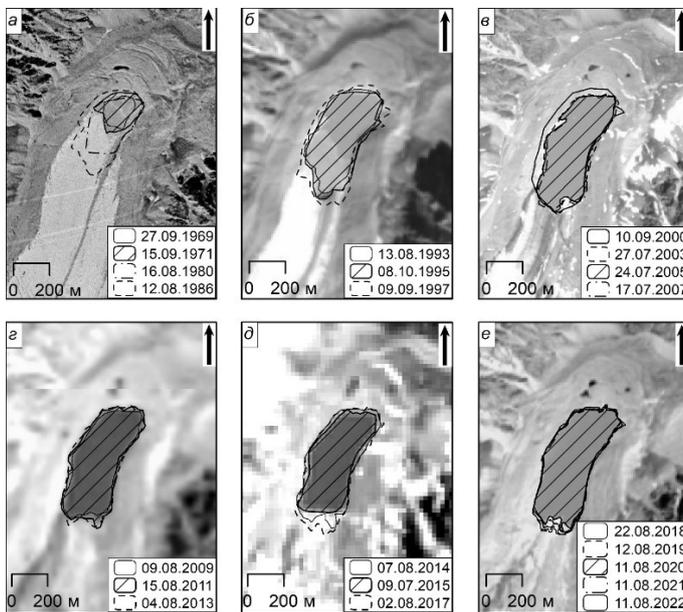


Рис. 2. Развитие озера Варшезкуль Нижнее с 1969 по 2022 г. Подложка: а – КН-4В от 15.09.1971; б – SPOT 3 от 08.10.1995; SPOT 5 от 24.07.2005; Landsat 5 от 15.08.2011; Landsat 8 от 09.07.2015; Sentinel 2 от 11.08.2020

Fig. 2. Development of Lake Varshezkul Lower from 1969 to 2022. Substrate: а – КН-4В dated 15 September 1971; б – SPOT 3 dated 8 October 1995; SPOT 5 dated 24 July 2005; Landsat 5 as of 15 August 2011; Landsat 8 dated 9 July 2015; Sentinel 2 as of 11 August 2020

В 1968 г., по данным [24], площадь озера составляла 23,3 тыс. м<sup>2</sup>. Процесс формирования озера Варшезкуль Нижнее (рис. 2) прослеживается по космическим снимкам КН-4А (1969), КН-4В (1971), Landsat 1 (1980), SPOT 1 (1986), Landsat 4 (1993, 1994, 1996–1999), SPOT 3 (1995), SPOT 4 (2000–2002), SPOT 5 (2003–2007), Landsat 5 (2008–2011), Landsat 7 (2012), Landsat 8 (2013–2016), Sentinel 2 (2017–2022).

В 1969 г. озеро лежало в ледяной чаше, с боков образованной заморенными ледяными грядами срединных морен, в северной части ограниченной серией разновозрастных конечно-моренных валов и в южной – отступающим языком ледника Варшез. Активный рост озера наблюдался с 1969 по 2000 г. За этот период максимальная площадь водного зеркала выросла в 8,3 раза. В 2000 г., по данным [31–34], наблюдалась максимальная площадь – около 190 тыс. м<sup>2</sup>. В последующие годы минимальная площадь в период абляции (август) зафиксирована на космоснимке от 09.08.2009 г. – 145 тыс. м<sup>2</sup>, а близкая к максимальной – 187 тыс. м<sup>2</sup> – наблюдалась 11.08.2022 г.

Сравнение снимков высокого разрешения 1969, 1971 и 2012 гг. показало, что изменения в чаше озера происходили в основном на боковых массивах мертвых льдов гряд срединных морен. Активных оползаний и оплывин с уступа массива конечно-моренных валов с 1969 г. не было. Эфемерные озера на конечно-моренных валах стабильны и не меняют своего положения, не увеличиваются в размерах. Следы паводков и селевых потоков с озера и уступа мас-

## Гидрология

Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М.

сива конечно-моренных валов с 1969 по 2022 г. отсутствуют. С левой стороны имеется термокарстовая воронка, образовавшаяся в 2008–2009 гг. Рост озера происходил в основном за счет отступления ледника Варшез.

В целом береговая линия озера с 2003 г. стабильная. Отступивший на 200 м (1 км с 1969 г.) от озера край ледника сейчас не играет активной роли в росте границ озера. Можно предположить, что линейные размеры озера будут прирастать незначительно, если фильтрация воды в озере будет оставаться на том же уровне, что и сейчас. Однако возможно дальнейшее увеличение глубины озера, рост его объёма за счет протаивания льдов в днище и на перемычке правой ледяной гряды и изменение режима фильтрации. По результатам геоморфологического обследования, проведенного в 2019 г., были выявлены просадки и сбросы в запруде озера Варшезкуль Нижнее. Одним из вариантов развития прорывного паводка является возможность образования канала стока в гряде мертвых льдов.

## Материалы и методы

В данной работе применялась программа FLOVI [12], а именно первый блок, в котором используются уравнения модели прорыва озера с ледяной плотиной [1]. В основе модели лежит предположение, что тепла, выделяемого за счет превышения температуры воды над температурой тающего льда и особенно диссипации энергии водного потока, достаточно для выработки за относительно короткий промежуток времени туннеля, способного обеспечить катрастофических сброс воды из озера [1–2]:

$$Q = \delta * \left\{ \frac{\rho_0 * g}{\rho r l} * \left[ (x + h) * (W_0 - W) + \frac{a}{m + 1} * (W_0^{m+1} - W^{m+1}) \right] \right\}^{\frac{5}{4}} * \sqrt{a * W^m}$$

$$x = \frac{c_0}{g} * t * \left\{ 1 - \exp \left[ - \frac{400 * \delta^{0.3} * l * (a * W^m)^{0.15}}{Q^{0.55} * \rho_0 * c_0} \right] \right\}, \quad (1)$$

где  $\rho_0$  – плотность воды, 1000 кг/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность воды и льда, 850–910 кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>;  $r$  – удельная теплота плавления льда, 334000 Дж/кг;  $l$  – длина туннеля, м;  $h$  – превышение точки входа туннель над точкой выхода, м;  $W_0$  – объём воды в озере перед началом прорыва, тыс. м<sup>3</sup>;  $a, m$  – морфометрические параметры чаши озера, определяемые из уравнения  $H = aW^m$ ;  $c_0$  – удельная массовая теплоемкость воды, 4190 Дж/кг·°С,  $t$  – температура воды в озере, °С. Максимальный расход прорывного паводка будет наблюдаться при  $W$ , при котором будет выполняться равенство:

$$W_0 * \left( h + \frac{a}{m} * W_0^m \right) = W * \left[ \left( \frac{2.5}{m} + 1 \right) * h + \frac{a}{m+1} * \left( \frac{2.5}{m} + 3.5 \right) * W^m \right]. \quad (2)$$

Согласно геоморфологическому обследованию долины, длина подледникового канала составит 650 м. Разница в отметках высот между началом и концом туннеля определялась с использованием спутникового снимка ALOS PALASR (разрешение 12,5 м) и составила 81 м. Объём воды в озере Варшезкуль, а также морфометрические параметры чаши были определены на основе батиметрической съемки и составили 1,94 млн м<sup>3</sup> [6].

Ранее программа FLOVI уже применялась для моделирования прорывных паводков на территории Западного Памира [9–10]. Также результаты моделирования прорыва озера Варшезкуль Нижнее с уменьшенной длиной канала представлены в работе [11].

## Результаты и обсуждение

**Моделирование прорывного паводка.** По результатам моделирования наименьший расход прорывного паводка наблюдается при начальной температуре воды, равной 0 °С, и составляет 141 м<sup>3</sup>/с (рис. 3). Время наступления пикового расхода при этом составляет 19 часов.

При увеличении температуры воды на 0,5 °С пиковый расход увеличивается на 21 %, а время добега сокращается на 6,4 часа. При дальнейшем росте температуры расход прорывного паводка будет увеличиваться примерно на 13 % на каждые 0,5 °С, в среднем на 30 % на 1 °С. Максимальный расход при температуре воды, равной 4 °С, окажется в 2,8 раза выше, чем

## Гидрология

Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М.

для 0 °С, и составит 400 м<sup>3</sup>/с. При этом время добегаания уменьшится приблизительно на 16 часов. Также нужно отметить, что, начиная с температуры воды, равной 2 °С и выше, разница во времени добегаания составляет в среднем 0,6 часа. Кроме того, нужно отметить, что график зависимости времени добегаания максимального расхода от начальной температуры воды в озере имеет форму гиперболы (рис. 4А).

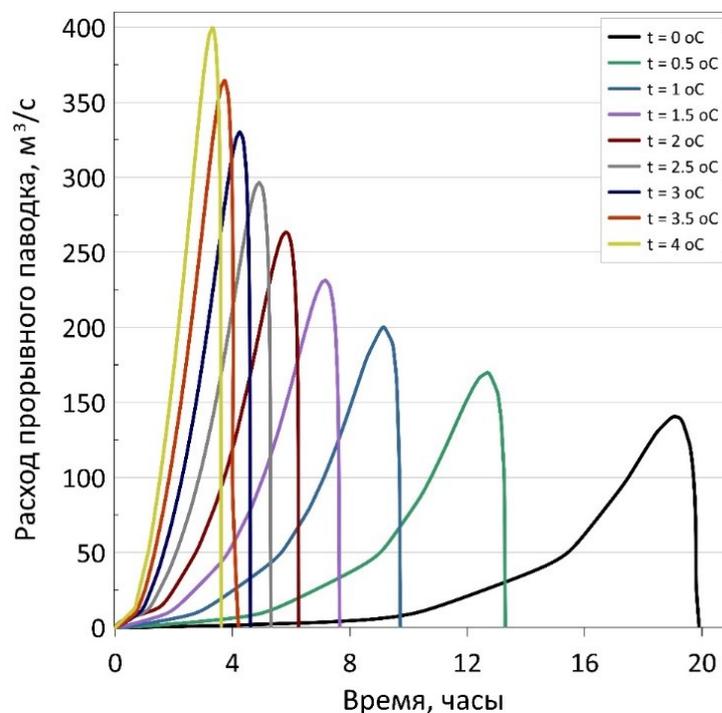


Рис. 3. Гидрографы прорывного паводка озера Варшезкуль Нижнее при начальной температуре воды от 0 до 4 °С

Fig. 3. Hydrographs of the outburst flood of Lake Varshezkul Lower at an initial water temperature from 0 to 4°C.

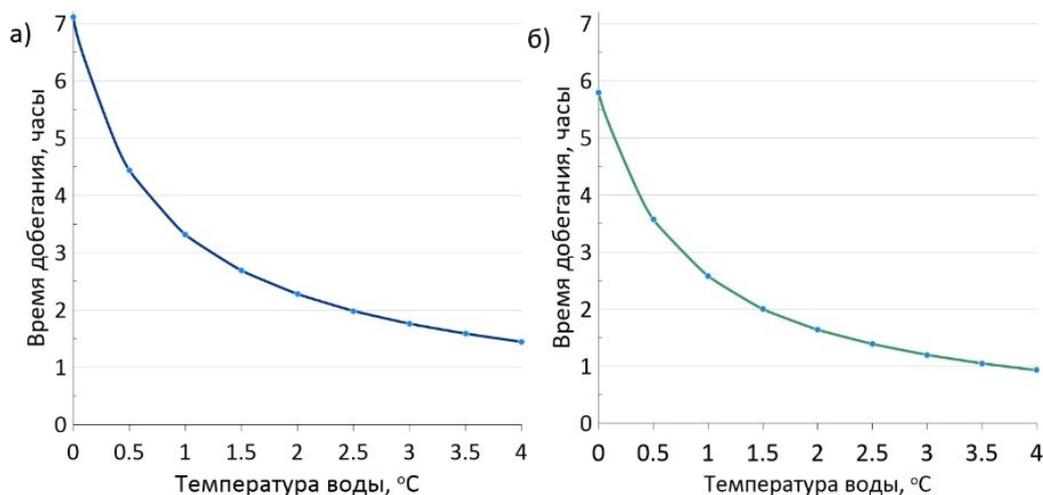


Рис. 4. Зависимость времени добегаания максимального расхода прорывного паводка от начальной температуры воды: а) для озера Варшезкуль Нижнее, б) для озера Бодомдара Нижнее [8]

Fig. 4. Dependence of the travel time of the maximum discharge of outburst flood on the initial water temperature: a) for Lake Varshezkul Lower, b) for Lake Bodomdara Lower [8]

## Гидрология

Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М.

Схожий график был ранее получен при моделировании паводка из озера Бодомдара (ГБАО, Таджикистан) [8] (рис. 4Б). Также разница во времени добегаания сокращается в среднем до 0,2 часа при достижении значения температуры воды, равной 2 °С и выше. Полученные графики демонстрируют, что от величины общей температуры воды в озере зависят не только значения максимального расхода, но и его время добегаания.

**Оценка температуры воды в озере.** Во время обследования озера в июле 2018 г. температура поверхностного слоя воды в озере составляла приблизительно около 5 °С [6]. Однако в модели прорыва озера используется именно средняя температура воды в озере, а не поверхностного слоя [1]. В данном случае наиболее вероятная температура воды в озере может находиться в летний период времени в интервале от 2,5 до 4 °С в зависимости от суточного хода температуры воды, а также температуры воздуха.

В настоящее время для определения как атмосферных, так и гидрологических характеристик активно используются данные реанализа [13, 20, 21, 27]. Одним из наиболее широко используемых реанализов является ERA5 (ECMWF Re-Analysis 5) [20], необходимый в данной работе для определения общей температуры воды в озере и придонной. Реанализ ERA5 представляет собой сеточные данные Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) с часовым осреднением значений с шагом в  $0,25 \times 0,25^\circ$  широты и долготы [20]. В основе лежит четырехмерная вариационная ассимиляция данных наблюдений. По результатам обработки данных реанализа для озера Варшездара был получен следующий график температуры воды (рис. 5).

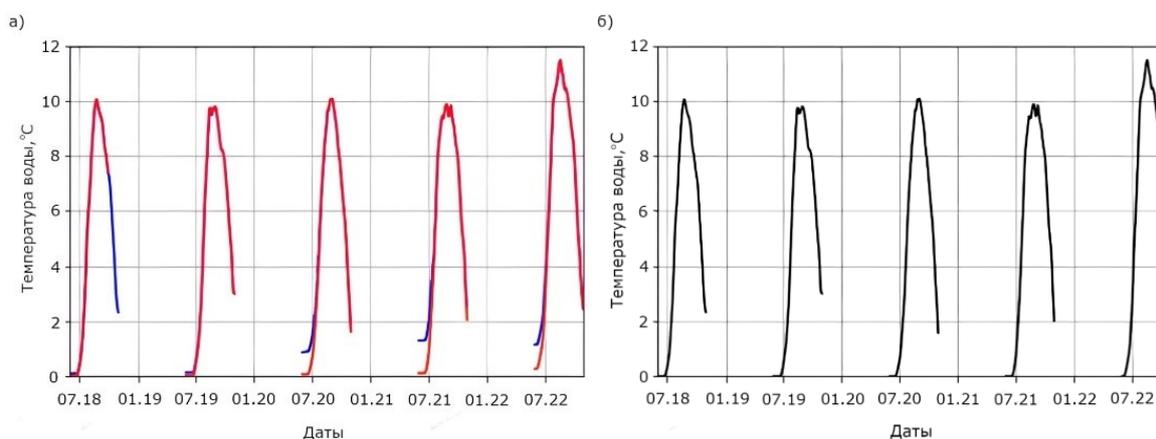


Рис. 5. Температура воды в озере по данным реанализа ERA5: а) красная линия – общая температура воды в озере, синяя – придонная, б) черная линия – температура поверхностного слоя

Fig. 5. Water temperature in the lake according to ERA5 reanalysis: a) red line – total water temperature in the lake, blue – bottom temperature, b) black line – surface layer temperature

Как можно видеть на рисунке, наблюдается практически полное совпадение температуры поверхностного слоя – общей и придонной. Согласно классификации по термическому режиму [5], высокогорные озера подразделяются на субполярные и полярные. В субполярных озерах температура поверхности воды выше 4 °С наблюдается только летом в течение очень короткого промежутка времени. В полярных озерах температуры поверхности воды в озере всегда находятся в интервале от 0 до 4 °С. Средняя поверхностная и общая температура с 2018 по 2022 г. оказываются идентичными и составляют 0,24 °С в июне, 3,8 °С в июле, 9 °С в августе, 8,9 °С в сентябре и 5,1 °С в октябре. При этом установление ледового покрова на озера Варшезкуль Нижнее происходило в период с 20 по 25 октября. Среднее значение общей температуры воды в эти даты, по данным реанализа, составило 3,7 °С. Несоответствие данных может быть связано с малым разрешением данных (30 км) и небольшой площадью озера.

## Гидрология

Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М.

Таким образом, можно говорить о том, что данные реанализа на настоящий момент не могут быть использованы для определения температуры воды в высокогорных озерах.

**Оценка расхода прорывного паводка по эмпирическим зависимостям.** Ранее для долины реки Варшездара была проведена оценка возможных последствий возникновения прорывного паводка с использованием модели FLO-2D [4]. Максимальный расход прорывного паводка в данном случае задавался равным  $100 \text{ м}^3/\text{с}$  [4]. В данной работе дополнительно были проведены расчеты максимального расхода прорывного паводка по эмпирическим формулам (табл.).

Таблица

Эмпирические уравнения, используемые для оценки максимального расхода прорывного паводка, и результаты расчетов

Empirical equations used to estimate the maximum outburst flood discharge and calculation results

№	Источник	Формула	Расход прорывного паводка $Q$ , $\text{м}^3/\text{с}$
1	[26]	$Q = 1.776 * V^{0.47}$	1602
2	[16]	$Q = 0.72 * V^{0.53}$	1548
3	[29]	$Q = 0.045 * V^{0.66}$	636
4	[14]	$Q = 75 * (V/10^6)^{0.67}$	117
5	[28]	$Q = 46 * (V/10^6)^{0.66}$	70
6	[15]	$Q = 113 * (V^{64})$	140

Как можно видеть, разница в расходах, вычисленных по эмпирическим формулам, может достигать более  $900 \text{ м}^3/\text{с}$ , то есть примерно 95 %. При этом нужно отметить, что значение, полученное по формуле [28], оказалось минимальным. Далее следуют формулы [14–15], разница в максимальных значениях составляет около 20 %. Достаточно близкие результаты были получены по формулам [16, 26], разница в расходах составила около 3 %. Также значения, вычисленные по этим формулам, оказались наибольшими. Результаты моделирования, полученные в программе FLOVI, попадают в диапазон результатов формул [14, 29].

Однако такие зависимости достаточно ограничены в использовании. Большинство из этих формул были получены обратным путем на основании исторических данных по прорывам озер. В данных формулах не рассматриваются физические процессы, происходящие при опорожнении ледникового озера, что может привести к недооценке реальных значений [24].

### Заключение

В работе представлены результаты моделирования прорывного паводка на примере ледникового озера Варшезкуль Нижнее, расположенного на территории Западного Памира. В бассейне реки Варшездара расположены два высокогорных озера Варшезкуль – Верхнее и Нижнее. По результатам геоморфологического обследования, проведенного в 2018 г., было установлено, что запруда озера Варшезкуль Верхнее достаточно стабильна. Также площадь озера за 53 года увеличилась на 7 %. В то время как сравнение комических снимков с 1969 по 2022 г. показало, что площадь озера Варшезкуль Нижнее выросла в 8,3 раза. Увеличение акватории озера происходило в основном на боковых массивах мертвых льдов гряд срединных морен. Одним из вариантов развития прорывного паводка является возможность образования канала стока в гряде мертвых льдов.

Расчет характеристик прорывного паводка проводился в программе FLOVI, при этом использовался блок уравнений модели прорыва озера, предложенных Ю.Б. Виноградовым. Дополнительно было выполнено сравнение результатов моделирования со значениями, полученными по эмпирическим зависимостям. Разница в расходах, вычисленных по эмпирическим формулам, может достигать 95 %. Несмотря на то, что результаты моделирования попадают в диапазон значений расходов, определенных по эмпирическим зависимостям, нельзя однозначно утверждать, какие именно зависимости следует использовать. Это связано прежде

## Гидрология

Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М.

всего с тем, что такие формулы не учитывают физические процессы, происходящие при прорыве озер. Также эмпирические коэффициенты в данных зависимостях были получены на основе небольшого количества прорывов озер.

По результатам моделирования в программе FLOVI было выявлено, что температура воды в озере является одним из наиболее чувствительных параметром в модели. Температура воды в озере варьируется по глубине, в течение суток и в рамках сезонных изменений. Единичные измерения распределения температуры по глубине не могут дать точное значение средней температуры, при которой будет наблюдаться прорыв озера. Однако такие измерения позволяют определить, к какому типу по термическому режиму [5] – субполярному или полярному – можно отнести то или иное озеро. В результате обработки данных реанализа ERA5 нами были получены значения общей и придонной температуры воды в озере за 2018–2022 гг. с августа по октябрь. Так, общая температура воды в озере за август и сентябрь значительно превысила значения, предлагаемые в классификации [5]. Также были продемонстрированы графики изменения общей температуры воды для дат, когда озеро уже было покрыто льдом. Полученные значения сильно превышают прогнозируемые. Таким образом, на настоящий момент в связи с имеющимся разрешением (30 км) данные реанализа некорректно отображают температуру воды для высокогорных озер, общая длина которых оказывается значительно ниже сетки реанализа.

При моделировании прорыва ледниковых озер в отсутствие данных наблюдений рекомендуется проводить численные эксперименты с изменением температуры воды в озере от 0 и до 4 °С согласно классификации [5] для определения наибольшего возможного расхода прорывного паводка. В каждом конкретном случае следует учитывать высоту расположения озера, близость ледников, а также распределение глубин в озере. Важным этапом будущих работ станет моделирование ледниковых озер Памира с различной начальной температурой воды в озере и выявление закономерностей изменения пикового расхода прорывного паводка.

## Библиографический список

1. Виноградов Ю.Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 156 с.
2. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. М.: Изд-во Академия, 2010. 304 с.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Том 14. Бассейны рек Средней Азии. Выпуск 3. Бассейн р. Аму-Дарья. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 322 с.
4. Кидяева В.М., Крыленко И.В., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Куровская В.А., Раимбеков Ю.Х., Бобов Р.А., Пирмамадов У.Р., Мародасейнов Ф.О. Реакция высокогорных озер западного Памира на изменение климата (на примере озера Варшезкуль Нижнее, Горно-Бадахшанская автономная область, Таджикистан). // Геоморфология. 2021. № 52. С. 90–104.
5. Хатчинсон Д.Э. Лимнология. / сокр. пер. с англ. Цыцарпина Г.В., Шинкар Г.Г. / ред. и предисл. Россолимо Л.Л. М.: Прогресс, 1969. 592 с.
6. Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Кидяева В.М., Рудой А.Н., Висхаджиева К.С., Аршинова М.А., Юдина (Куровская) В.А. Батиметрическая съемка озер Куленкуль (Дузахдара), Варшезкуль, Патхур (Чапдара), Джизев, Хавраздара и моделирование возможных прорывов. М.: Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2018. 278 с.
7. Эдельштейн К.К. Гидрология озер и водохранилищ: учеб. для вузов. М.: Перо, 2014. 399 с.
8. Юдина В.А. Оценка характеристик селевых потоков и прорывных паводков на основе комплекса математических моделей: автореф. дис. канд. геог. наук: 1.6.16. М., 2022. 28 с.
9. Юдина (Куровская) В.А. Оценка характеристик гляциального селевого потока с использованием цепочки математических моделей // Географический вестник. 2022. Т. 4, № 63. С. 67–79.
10. Юдина (Куровская) В.А., Черноморец С.С., Крыленко И.Н., Виноградова Т.А., Крыленко И.В., Савернюк Е.А., Гуломайдоров А.Г., Зикиллобеков И.И., Пирмамадов У.Р., Раимбеков Ю.Х. Оценка возможных последствий прорывных паводков на примере долины реки Бодомдара (Таджикистан) // Криосфера Земли. 2022. Т. 26, № 5. С. 14–28.
11. Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М. Моделирование прорыва ледникового озера // Труды IX Всероссийской научно-практической конф. с международным участием «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов». Пермь, 25–28 мая 2023 г.; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2023. С. 217–222.
12. Юдина В.А., Юдин Н.Е., Виноградова Т.А. Программа для расчета прорывного паводка и селевого потока (FLOVI). Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022683748. 2022.
13. Cerlini P.B., Saraceni M., Silvestri L., Meniconi S, Brunone B. Monitoring the water mass balance variability of small shallow lakes by an ERA5-Land reanalysis and water level measurement-based model. An Application to the Trasimeno Lake, Italy // Atmosphere. 2022. V. 13. 949 p. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos13060949>
14. Clague J.J., Mathews W.H. The magnitude of jokulhlaups // Journal of Glaciology. 1973. № 12. P. 501–504.

## Гидрология

Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М.

15. Costa J.E., Shuster R.L. The formation and failure of natural dams // Geological Society of America Bulletin. 1988. № 100. P. 1054–1068.
16. Evans S.F. The maximum discharge of outburst floods caused by the breaching of man-made and natural dams // Canadian Geotechnical Journal. 1986. № 23. P. 385–387.
17. Chen F., Zhang M., Guo H., Allen S., Kargel J.S., Haritashya U.K., Watson C.S. Annual 30 m dataset for glacial lakes in High Mountain Asia from 2008 to 2017 // Earth System Science Data. 2021. № 2. C. 741–766.
18. Furian W, Loibl D, Schneider C. Future glacial lakes in High Mountain Asia: an inventory and assessment of hazard potential from surrounding slopes // Journal of Glaciology. 2021. № 264. P. 653–670. URL: <https://doi.org/10.1017/jog.2021.18>
19. Harrison S., Kargel J.S., Huggel C., Reynolds J., Shugar D.H., Betts R.A., Emmer A., Glasser N., Haritashya U.K., Klimeš J., Reinhardt L., Schaub Y., Wiltshire A., Regmi Dh., Vilímek V. Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods // The Cryosphere. 2018. № 12. P. 1195–1209. URL: <https://doi.org/10.5194/tc-12-1195-2018>, 2018.
20. Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Biavati G., Horányi A., Muñoz Sabater J., Nicolas J., Peubey C., Radu R., Rozum I., Schepers D., Simmons A., Soci C., Dee D., Thépaut J.-N. ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). 2023. URL: <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>
21. Irwandi H., Rosid M.S. Mart T. Effects of Climate change on temperature and precipitation in the Lake Toba region, Indonesia, based on ERA5-land data with quantile mapping bias correction // Scientific Reports. 2023. № 13. P. 2542. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29592-y>
22. Kraaijenbrink PDA, Bierkens MFP, Lutz AF and Immerzeel. WW Impact of a global temperature rise of 1.5 degrees Celsius on Asia's glaciers // Nature 549. 2017. № 7671. P. 257–260. URL: <https://doi.org/10.1038/nature23878>
23. Li Zh., Wang N., Chen A., Liang Q., Yang D. Light change of glaciers in the Pamir over the period 2000–2017 // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. 2022. № 1. P. 13–24. URL: <https://doi.org/10.1080/15230430.2022.2028475>
24. Mergili M., Schneider J.F. Regional-scale analysis of lake outburst hazards in the southwestern Pamir, Tajikistan, based on remote sensing and GIS // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2011. № 11. P. 1447–1462.
25. Shugar D.H., Burr A., Haritashya U.K., Kargel J.S., Watson C.S., Kennedy M.C., Bevington A.R., Betts R.A., Harrison S., Strattman K. Rapid worldwide growth of glacial lakes since 1990. // Nature Climate Change. 2020. № 10. P. 939–945. URL: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0855-4>
26. Singh K., Snorrason A. Sensitivity of Outflow Peaks and Flood Stages to the Selection of Dam Breach Parameters and Simulation Models // Journal of Hydrology. 1984. № 68. P. 295–310.
27. Stefanidis K., Varlas G., Vourka A., Papadopoulos A., Dimitriou E. Delineating the relative contribution of climate related variables to chlorophyll-a and phytoplankton biomass in lakes using the ERA5-Land climate reanalysis data // Water Research. 2021. № 196. P. 117053.
28. Walder J.S., Costa J.E. Outburst floods from glacier-dammed lakes: The effect of mode of lake drainage on flood magnitude // Earth Surface Processes and Landforms. 1996. № 21. P. 701–723.
29. Walder J.S., O'Connor J.E. Methods for predicting peak discharge of floods caused by failure of natural and constructed earthen dams // Water Resources Research. 1997. № 33. P. 2337–2348.
30. Wangchuk S., Bolch T. Mapping of glacial lakes using Sentinel-1 and Sentinel-2 data and a random forest classifier: strengths and challenges // Science of Remote Sensing. 2020. № 2. P. 100008.
31. swh Data center – CNES URL: <https://regards.cnes.fr/user/swh/modules/60> (дата обращения: 01.02.023).
32. Sentinel Hub URL: <https://www.sentinel-hub.com/> (дата обращения: 01.02.023).
33. Google Earth URL: <https://earth.google.com/web/@0,-2.8496,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r> (дата обращения: 01.02.023).
34. World Imagery – Overview – ArcGIS Online URL: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9> (дата обращения: 01.02.023)

## References

1. Vinogradov Yu.B. (1977). *Glacial breakthrough floods and mudflows*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 156 p.
2. Vinogradov Yu.B. and Vinogradova T.A. (2020). *Mathematical modeling in hydrology*. Moscow: Akademiia, 304 p.
3. Surface water resources of the USSR. (1967). *Volume 14. Central Asia. Issue 3. Amudaria river basin*. Leningrad: Hydrometeoizdat, 322 p.
4. Kidyayeva V.M., Krylenko, I.V., Chernomorets, S.S., Savernyuk. E.A., Kurovskaia, V.A., Raimbekov, Yu.H., Bobov, R.A., Pirmamadov, U.R., Marodasein, F.O. (2021). The responds of the Western Pamirs alpine lakes to climate chang (Lake Lower Varshedzkul case study, Gorno-Badakhshan Autonomous Region, Tajikistan). *Geomorfologiya*, vol. 52, no. 3, pp. 90–104.
5. Hutchinson D.E. (1969). *Limnology*. Abbr. per. from English. Tsytsarpina, G.V., Shinkar G.G. Ed. and foreword. Rossolimo, L.L. M.: Progress, 592 p.
6. Chernomorets S.S., Savernyuk E.A., Krylenko I.V., Krylenko I.N., Kidyayeva V.M., Rudoi A.N., Viskhadzhieva K.S., Arshinova M.A., and Kurovskaia V.A. (2018). *Bathymetric survey of lakes Oulenkul (Duzakhdara), Varshedzkul, Patkhur (Chapdara), Jizev, Khavrazdara and modelling of potential outbursts*. Moscow: MGU (Publ.), 278 p.
7. Edelstein K.K. (2014). Hydrology of lakes and reservoirs. *Textbook for universities*. M.: Pero, 399 p.
8. Iudina V.A. (2022). Estimation of debris flows and outburst floods characteristics based on the complex of mathematical models. *Abstract of the thesis. dis. cand. geog. sciences: 1.6.16*. M., 28 p.
9. Iudina (Kurovskaia) V.A. (2022). Estimation of glacial debris flow characteristics using a chain of mathematical models. *Geographical Bulletin*, vol. 4, no, 63, pp. 66–79. Available at: <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-4-66-79> [05.02.2023]
10. Iudina (Kurovskaia) V.A., Chernomorets S.S., Krylenko I.N., Vinogradova T.A., Krylenko I.V., Savernyuk E.A., Gulomaydarov A.G., Zikillobekov I.I., Pirmamadov U.R., Raimbekov Yu.Kh. (2022). Assessment of possible consequences of outburst floods by the example of the Bodomdara river valley (Tajikistan). *Kriosfera Zemli*, vol. 26, no. 5, pp. 14–28.

## Гидрология

Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М.

11. Iudina V.A., Chernomorets S.S., Savernyuk E.A., Krylenko I.V., Kidyayeva V.M. (2023) Modeling the glacial lake outburst Proceedings of the IX All-Russian scientific-practical conference with international participation " Modern problems of reservoirs and their catchments", Perm: Universal, pp. 217–222.
12. Iudina V.A., Iudin N.E., Vinogradova T.A. (2022). Program for calculation of outburst flood and debris flows (FLOVI). Certificate of state registration of the computer program no. 2022683748.
13. Cerlini P.B., Saraceni M., Silvestri L., Meniconi S, Brunone B. (2022). Monitoring the water mass balance variability of small shallow lakes by an ERA5-Land reanalysis and water level measurement-based model. An Application to the Trasimeno Lake, Italy. *Atmosphere*, vol. 13, 949 p. Available at: <https://doi.org/10.3390/atmos13060949> [08.02.2023]
14. Clague J.J., and Mathews W.H. (1973). The Magnitude of Jökulhlaups. *Journal of Glaciology*, no. 12, pp. 501–504.
15. Costa J.E., Shuster R.L. (1988). The formation and failure of natural dams. *Geological Society of America Bulletin*, no. 100, pp. 1054–1068.
16. Evans S.F. (1986). The maximum discharge of outburst floods caused by the breaching of man-made and natural dams. *Canadian Geotechnical Journal*, no. 23, pp. 385–387.
17. Chen F., Zhang M., Guo H., Allen S., Kargel J.S., Haritashya U.K., Watson C.S. (2021). Annual 30 m dataset for glacial lakes in High Mountain Asia from 2008 to 2017. *Earth System Science Data*, no. 2, pp. 741–766.
18. Furian W., Loibl D., Schneider C. (2021). Future glacial lakes in High Mountain Asia: an inventory and assessment of hazard potential from surrounding slopes. *Journal of Glaciology*, no. 264, pp. 653–670. Available at: <https://doi.org/10.1017/jog.2021.18> [05.02.2023]
19. Harrison S., Kargel J.S., Huggel C., Reynolds J., Shugar D.H., Betts R.A., Emmer A., Glasser N., Haritashya U.K., Klimeš, J., Reinhardt L., Schaub Y., Wiltshire A., Regmi Dh., Vilimek V. (2018). Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods. *The Cryosphere*, no. 12, pp. 1195–1209. Available at: <https://doi.org/10.5194/tc-12-1195-2018> [08.02.2023]
20. Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Biavati G., Horányi A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N. (2023). ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. *Copernicus Climate Change Service (C3S), Climate Data Store (CDS)*. Available at: <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47> [05.02.2023]
21. Irwandi H., Rosid M.S. Mart T. (2023). Effects of Climate change on temperature and precipitation in the Lake Toba region, Indonesia, based on ERA5-land data with quantile mapping bias correction. *Scientific Reports*, no. 13, 2542 p. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29592-y> [05.02.2023]
22. Kraaijenbrink PDA, Bierkens MFP, Lutz AF and Immerzeel WW. (2017). Impact of a global temperature rise of 1.5 degrees Celsius on Asia's glaciers. *Nature* no. 7671, pp. 257–260 Available at: <https://doi.org/10.1038/nature23878> [05.02.2023]
23. Li Zh., Wang N., Chen A., Liang Q., Yang D. (2022). Slight change of glaciers in the Pamir over the period 2000–2017. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, no. 1, pp. 13-24. Available at: <https://doi.org/10.1080/15230430.2022.2028475> [08.02.2023]
24. Mergili M., Schneider J.F. (2011). Regional-scale analysis of lake outburst hazards in the southwestern Pamir, Tajikistan, based on remote sensing and GIS. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, no. 11, pp. 1447–1462.
25. Shugar D.H., Burr A., Haritashya U.K., Kargel J.S., Watson C.S., Kennedy M.C., Bevington A.R., Betts R.A., Harrison S., Strattman K. (2020). Rapid worldwide growth of glacial lakes since 1990. *Nature Climate Change*, no. 10, pp. 939–945. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0855-4> [08.02.2023]
26. Singh K., Snorrason A. (1984). Sensitivity of Outflow Peaks and Flood Stages to the Selection of Dam Breach Parameters and Simulation Models. *Journal of Hydrology*, no. 68, pp. 295–310.
27. Stefanidis K., Varlas G., Vourka, A., Papadopoulou A., Dimitriou E. (2021). Delineating the relative contribution of climate related variables to chlorophyll-a and phytoplankton biomass in lakes using the ERA5-Land climate reanalysis data. *Water Research*, no. 196, pp. 117053.
28. Walder J.S., Costa J.E. (1996). Outburst floods from glacier-dammed lakes: The effect of mode of lake drainage on flood magnitude. *Earth Surface Processes and Landforms*, no. 21, pp. 701–723.
29. Walder J.S., O'Connor, J.E. (1997). Methods for predicting peak discharge of floods caused by failure of natural and constructed earthen dams. *Water Resources Research*, no. 33, pp. 2337–2348.
30. Wangchuk S., Bolch T. (2020). Mapping of glacial lakes using Sentinel-1 and Sentinel-2 data and a random forest classifier: strengths and challenges. *Science of Remote Sensing*, no. 2, 100008 p.
31. CNES (2023). Available at: <https://regards.cnes.fr/user/swh/modules/60> (Accessed 1 February 2023).
32. Sentinel Hub (2023). Available at: <https://www.sentinel-hub.com/> (Accessed 1 February 2023).
33. Google Earth (2023). Available at: <https://earth.google.com/web/@0,-2.8496,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r> (Accessed 1 February 2023).
34. ArcGIS Online (2023). Available at: <https://www.arcgis.com/h+ome/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9> (Accessed 1 February 2023)

Статья поступила в редакцию: 27.04.2023, одобрена после рецензирования: 21.09.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 27 April 2023; approved after review: 21 September 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

## Гидрология

Юдина В.А., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Кидяева В.М.

## Информация об авторах

## Information about the authors

**Виктория Антоновна Юдина**

кандидат географических наук, б/з, научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей, географического факультета МГУ им. Ломоносова  
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1  
e-mail: viktoriiakurovskaia@gmail.com

**Viktoriia A. Iudina**

Candidate of Geographical Sciences, Researcher, Research Laboratory for Snow Avalanches and Debris Flows, Lomonosov Moscow State University;  
1, Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia

**Сергей Семенович Черноморец**

кандидат географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей географического факультета МГУ им. Ломоносова  
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

**Sergey S. Chernomorets**

Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher, Research Laboratory for Snow Avalanches and Debris Flows, Lomonosov Moscow State University;  
1, Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia

sc@geogr.msu.ru

**Елена Александровна Савернюк**

научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей географического факультета МГУ им. Ломоносова  
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

**Elena A. Savernyuk**

Researcher, Research Laboratory for Snow Avalanches and Debris Flows, Lomonosov Moscow State University  
1, Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia

savernyuk@geogr.msu.ru

**Иван Владимирович Крыленко**

б/с, б/з, научный сотрудник в научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ им. Ломоносова  
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

**Ivan V. Krylenko**

Researcher, Makkaveev Research Laboratory for Soil Erosion and Fluvial Processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;  
1, Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia

i-krylenko@yandex.ru

**Вера Михайловна Кидяева**

кандидат географических наук, б/з, научный сотрудник в Научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей, географического факультета МГУ им. Ломоносова  
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

**Vera M. Kidyeva**

Candidate of Geographical Sciences, Researcher, Research Laboratory for Snow Avalanches and Debris Flows, Lomonosov Moscow State University  
1, Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia

vera.kidyeva@yandex.ru

**Вклад авторов**

Юдина В.А. – идея, написание статьи, обработка данных ERA5, моделирование.  
Черноморец С.С. – сбор данных, обработка материалов, научное редактирование текста.  
Савернюк Е.А. – сбор данных, обработка материалов, написание статьи.  
Крыленко И.В. – сбор данных, обработка материалов, написание статьи.  
Кидяева В.М. – сбор данных, обработка материалов.  
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors**

Viktoriia A. Iudina – the idea; writing of the article; ERA5 data processing; modeling.  
Sergey S. Chernomorets – collection of materials; data processing; scientific editing of the text.  
Elena A. Savernyuk – collection of materials; data processing; writing of the article.  
Ivan V. Krylenko – collection of materials; data processing; writing of the article.  
Vera M. Kidyeva – collection of materials; data processing.  
The authors declare no conflict of interest.

Гидрология

Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.

Научная статья

УДК 556.3

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-71-86

**УРОВНИ ЗАЛЕГАНИЯ, УСЛОВИЯ ПИТАНИЯ И ГИДРОХИМИЯ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ БЕССТОЧНОЙ ОБЛАСТИ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ (НА ПРИМЕРЕ СТЕПНОЙ ЧАСТИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ)****Елена Сергеевна Орлова<sup>1</sup>, Валентина Ивановна Заносова<sup>2</sup>, Ирина Дмитриевна Рыбкина<sup>3</sup>**<sup>1,3</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Барнаул, Россия<sup>2</sup> Алтайское краевое отделение ВОО «Русское географическое общество», г. Барнаул, Россия<sup>1</sup> morana-11@mail.ru, SPIN-код: 3040-2193, Author ID: 231014<sup>2</sup> SPIN-код: 4737-6560, Author ID: 69022<sup>3</sup> irina@iwerp.ru, SPIN-код: 7315-8700, Author ID: 424585

**Аннотация.** Собрана и обобщена информация о подземных водах бессточной области Обь-Иртышского междуречья в границах Алтайского края. Подробно описаны грунтовые воды данной территории, которые приобретают в настоящее время все больший вес в водоснабжении сельских населенных пунктов. В работе использовались литературные, фондовые, картографические источники информации и результаты экспедиционных исследований. В советское время для степной части края были проведены масштабные работы по поиску и разведке подземных вод для целей народнохозяйственного потребления и орошения, велся мониторинг. К бессточной области приурочены Кулундинская низменность и часть Приобского плато. Подземные воды имеют разнообразный химический состав, который зависит от глубины залегания горизонта, литологического состава слагающих пород и других локальных особенностей. Питание грунтовых вод в основном осуществляется за счет зимних осадков: в теплый период осадки выпадают редко и почти все испаряются. В течение года колебание уровня грунтовых вод составляет один-два метра, за многолетний период (с начала наблюдений в 1970–1980 гг.) от двух до трех метров в зависимости от природных особенностей территории. На основе полученных данных составлена карта-схема глубины залегания грунтовых вод в границах выделов ландшафтного районирования (на уровне типов местностей).

**Ключевые слова:** грунтовые воды, Западно-Сибирский артезианский бассейн, бессточная область, питание подземных вод

**Финансирование:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 21-55-75002 (Разработка рекомендаций в целях устойчивого совместного использования почв и грунтовых (подземных) вод: принятие решений при поддержке и участии заинтересованных сторон) и в рамках государственного задания № 0306-2021-0002 (Изучение механизмов природных и антропогенных изменений количества и качества водных ресурсов Сибири с использованием гидрологических моделей и информационных технологий).

**Для цитирования:** Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д. Уровни залегания, условия питания и гидрохимия водоносных горизонтов бессточной области Обь-Иртышского междуречья (на примере степной части Алтайского края) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 71–86. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-71-86

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-71-86

**LEVELS OF DEPOSITION, RECHARGE CONDITIONS AND HYDROCHEMISTRY OF AQUIFERS OF THE OB-IRTYSH INTERFLUVE (A CASE STUDY OF THE STEPPE PART OF THE ALTAI TERRITORY)****Elena S. Orlova<sup>1</sup>, Valentina I. Zanosova<sup>2</sup>, Irina D. Rybkina<sup>3</sup>**<sup>1,3</sup> Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the RAS, Barnaul, Russia<sup>2</sup> Altai Regional Branch of the Russian Geographical Society, Barnaul, Russia<sup>1</sup> morana-11@mail.ru, SPIN-code: 3040-2193, Author ID: 231014

## Гидрология

Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.

<sup>2</sup> SPIN-code: 4737-6560, Author ID: 69022<sup>3</sup> irina@iwep.ru, SPIN-code: 7315-8700; Author ID: 424585

**Abstract.** Information about the groundwater of the drainless region of the Ob-Irtysh interfluvium within the boundaries of the Altai Territory has been collected and summarized. The paper describes in detail ground waters of this area, which are currently gaining increasing importance in the water supply of rural settlements. The study used literary, stock, cartographic sources of information, and the results of expedition research. In Soviet times, large-scale works were performed for the steppe part of the region to search for and explore underground waters for the purposes of national economic consumption and irrigation, and monitoring was carried out. The Kulundinsky lowland and part of the Priobskiy plateau are located in the drainless region. Groundwater has a diverse chemical composition which depends on the depth of the horizon, the lithological composition of the rocks, and other local features. Groundwater is replenished due to winter precipitation: in the warm period, precipitation is rare and almost all evaporate. During the year, the fluctuation of the groundwater level is one to two meters, for a long-term period – from two to three meters, depending on the natural features of the territory. Based on the studied data, a map-diagram of the depth of groundwater occurrence within the boundaries of landscape zoning areas has been compiled.

**Keywords:** groundwater, West Siberian artesian basin, drainless region, groundwater recharge

**Funding:** The research was carried out with the financial support of the RFBR under scientific project No. 21-55-75002 and state assignment No. 0306-2021-0002.

**For citation:** Orlova, E.S., Zanosova, V.I., Rybkina, I. D. (2024). Levels of deposition, recharge conditions and hydrochemistry of aquifers of the Ob-Irtysh interfluvium (a case study of the steppe part of the Altai Territory). *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 71–86. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-71-86

### Введение и актуальность

В гидрогеологическом отношении территория Обь-Иртышского междуречья расположена на юго-восточной окраине Западно-Сибирского артезианского бассейна, являющегося одним из крупнейших бассейнов мира, в котором аккумулируются огромные ресурсы подземных вод. Артезианский бассейн представляет собой сложную водонапорную систему с разнообразными гидродинамическими и гидрохимическими условиями. Отдельные участки рассматриваемой территории существенно различаются между собой глубинами залегания подземных вод, степенью их минерализации, водообильностью водоносных горизонтов, естественными и эксплуатационными ресурсами.

В структуре бассейна выделяются верхнемел-четвертичный и юрско-верхнемеловой гидрогеологические этажи, разделенные мощным (до 400 м) региональным водоупором существенно глинистых отложений верхнего мела-эоцена (славгородская, ганькинская и люлинворская свиты). Практическую ценность представляют водоносные горизонты верхнего этажа, грунтовые и межпластовые воды которого тесно связаны между собой в единую гидравлическую систему со свободным водообменом, а также воды верхней части нижнего этажа меловых отложений ипатовской, леньковской и покурской свит, характеризующиеся затрудненным водообменом [16].

В силу отсутствия ресурсов речного стока, требуемого количества и качества, исследуемые горизонты грунтовых и напорных вод представляют повышенный интерес в целях водоснабжения населения и объектов экономики в пределах степной части Алтайского края. Именно они используются для централизованного водоснабжения населенных пунктов, а также орошения и сельскохозяйственного водоснабжения. При этом химический состав вод существенно варьирует от ультрапресных до фактически рассолов в зависимости от геологического строения территорий, гидролого-климатических условий, положения в рельефе и других природных факторов.

Грунтовые воды являются первым от поверхности постоянно существующим водоносным горизонтом, залегающим на водоупорном пласте. Они, как правило, безнапорные, распространены практически повсеместно, легкодоступны для хозяйственного использования и наиболее подвержены загрязнению с поверхности. Уровень грунтовых вод колеблется от нуля до нескольких десятков метров и определяется действием гидролого-климатических особенностей региона, а также спецификой залегания, типом и мощностью четвертичных отложений,

*Гидрология**Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.*

величиной зоны аэрации. Воды обладают изменчивым режимом, испытывают сезонные и многолетние колебания, связанные с их питанием и разгрузкой, хозяйственным освоением [14]. Между тем грунтовые воды имеют важное народнохозяйственное значение и в последние годы широко используются местным населением в коммунально-бытовых и питьевых целях. В большинстве случаев их использование происходит в небольших сельских населенных пунктах. В крупных поселениях и райцентрах действуют водозаборные скважины, эксплуатирующие напорные водоносные горизонты. В настоящее время остро стоит вопрос о возможности применения грунтовых вод в хозяйственно-питьевых целях, особенностях их пополнения и условий питания, которые также определяют общий режим увлажнения степных территорий.

Целью работы является всесторонний анализ и обобщение существующих материалов по объекту исследования для выявления закономерностей между глубиной залегания грунтовых вод и ландшафтными особенностями территории, а также оценка гидрохимического состояния. Для достижения цели сопоставлены литературные, архивные, мониторинговые и фондовые источники данных. Выполнены натурные обследования ключевых участков и скважин, построена картосхема глубин залегания грунтовых вод с привязкой к ландшафтной структуре территории.

**Материалы и методы**

Систематическое изучение подземных вод степных районов Алтайского края началось с 1930–1940-х гг. В бессточной области края гидрогеологические исследования изначально были ориентированы на поиск и разведку подземных вод для целей водоснабжения населенных пунктов, сельскохозяйственных объектов, орошения земель. Вопросам гидрогеологического строения территории, основным параметрам химического состава водоносных комплексов посвящены работы многих авторов. Среди них известные ученые и исследователи – И.И. Биль, М.И. Кучин, П.И. Белов, Е.В. Лобова, А.В. Шнитников, Ф.С. Бояринцев, П.Ю. Никольская, О.М. Топоров, Д.И. Абрамович, Е.В. Михайлова, С.Г. Бейром, М.А. Кузнецова, О.В. Постникова, К.Ф. Филатов, В.В. Артомохина, Ю.Н. Акуленко, Ю.И. Винокуров, И.М. Земскова и др.

В период с 1949 по 1972 г. проведены геологические и гидрогеологические съёмки масштаба 1:200 000 и поисковые работы на воду для водоснабжения населенных пунктов. По итогам данных работ изданы гидрогеологические карты, охватывающие территорию Бурлинского, Благовещенского, Баевского, Завьяловского, Егорьевского, Волчихинского, Крутихинского, Новичихинского и других районов Алтайского края.

С 1933 г. и по настоящее время ведется кадастр подземных вод, который содержит краткие сведения о буровых скважинах на территории РФ. Данный ресурс является наиболее полным источником исходной информации. На территории бессточной области кадастр начал пополняться с 1969 г. Наибольшее количество записей внесено в 1970–1980-х гг., в настоящее время в нем содержится более 10 000 записей [11, 20].

Кроме того, коллективом авторов обобщены полевые и фактурные материалы в виде опубликованных монографий и научных изданий с подробным описанием всех водоносных комплексов (Гидрогеология СССР, 1969). Выпущен Атлас Алтайского края (1978), где представлены обобщенные карты подземной гидросферы. Активное изучение подземных вод бессточной области связано с оценкой природно-мелиоративных условий территории. В период 1965–1975 гг. проводились детальные площадные гидрогеологические исследования масштаба 1:50 000, в это время были изучены зона аэрации, грунтовые воды и первый от поверхности напорный водоносный горизонт.

В 1980–1983 гг. выполнена перспективная оценка эксплуатационных запасов подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна (Бородавко, Рыжковский, 1980) и проведено гидрогеологическое районирование территории масштаба 1:500 000 по условиям

*Гидрология**Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.*

сельскохозяйственного водоснабжения и орошения земель подземными водами (Курова и др., 1983).

Комплексные региональные исследования бессточной области проводились в связи со строительством Кулундинского канала. Для целей мелиорации Алейской оросительной системы в 1989–1991 гг. проведены гидрогеологические и инженерно-геологические съемки масштаба 1:50 000. Режимные наблюдения за подземными водами были организованы Степной экспедицией Западно-Сибирского геологического управления в 1949–1954 гг. С 1961 г. наблюдения проводила Кулундинская гидрорежимная партия, позже – Алтайская гидрогеологическая экспедиция [2, 12, 13, 19]. В настоящее время гидродинамический и гидрохимический режимы подземных вод на территории края изучаются по государственной опорной наблюдательной сети (ГОНС) и по локальным (объектным) наблюдательным сетям (ЛНС, ОНС), принадлежащим недропользователям. Изучение осуществляет ФГБУ «Гидроспецгеология».

В настоящей работе исследование глубин залегания грунтовых вод основывалось на данных собственных экспедиционных исследований, Атласа Алтайского края, согласно электронному каталогу учетных карточек буровых скважин, информационным бюллетеням Геологических фондов, архивным и опубликованным отчетам, монографиям и материалам, посвященным развитию мелиорации в Алтайском крае [1, 2, 3, 4, 8, 11].

Для получения новой количественной информации и понимания механизмов формирования состава подземных вод и особенностей питания водоносных горизонтов в рамках экспедиционных работ отобраны пробы подземных вод (в том числе грунтовых) для определения их качества и содержания основных компонентов. Всего обследовано 15 водозаборных сооружений подземных вод, расположенных в восьми административных районах Алтайского края. В 14 населенных пунктах изучены уровни грунтовых вод по имеющимся колодцам. Из глубоких артезианских скважин взято 7 проб на гидрохимический анализ. Образцы грунтовых вод отбирались в небольших сельских населенных пунктах с учетом различий геологического строения территории (11 проб).

Качество вод определялось в соответствии с СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» и СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [17, 18]. Учитывались следующие показатели: удельная электропроводность, общая жесткость, массовые концентрации кальция, магния, натрия, калия, хлорид-ионов, сульфат-ионов, гидрокарбонат-ионов, железа, марганца.

Гидрохимический анализ проб воды выполнен в Химико-аналитическом центре ИВЭП СО РАН.

**Результаты и их обсуждение**

Анализ опубликованных материалов показывает, что изучаемая территория имеет разные условия дренированности – от весьма слабо дренированной Кулундинской степи до слабо дренированной в пределах Приобского плато (рис. 1). При этом глубина залегания вод зависит от рельефа местности и гидролого-климатических характеристик. В этой связи различаются и режимы питания подземных горизонтов. Так, в условиях слабой расчлененности рельефа не обеспечивается интенсивный поверхностный сток поступающих атмосферных осадков и может формироваться их повышенная инфильтрация. Однако незначительные количества выпадающих осадков настолько малы, что, как правило, их поступление в грунтовые воды несущественно, а в более глубокие подземные горизонты и вовсе затруднительно. Наряду с этим наблюдаются процессы повышенного испарения. Положение в рельефе формирует разные

## Гидрология

Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.

типы режима питания грунтовых вод: склоновый, речной (гидрологический) и междуречный. Глубины залегания грунтовых вод, как правило, небольшие, что и определяет значительную роль испарения в их формировании и повышенную общую минерализацию. Скорость движения грунтового потока незначительна [9, 10].

В пределах исследуемой области ведущим фактором формирования грунтовых вод становится соотношение количества атмосферных осадков и испарения, то есть степень увлажнения. По этой характеристике территория, приуроченная к Кулундинской низменности, относится к зоне недостаточного увлажнения, а Приобское плато – к зоне умеренного увлажнения [9, 10].

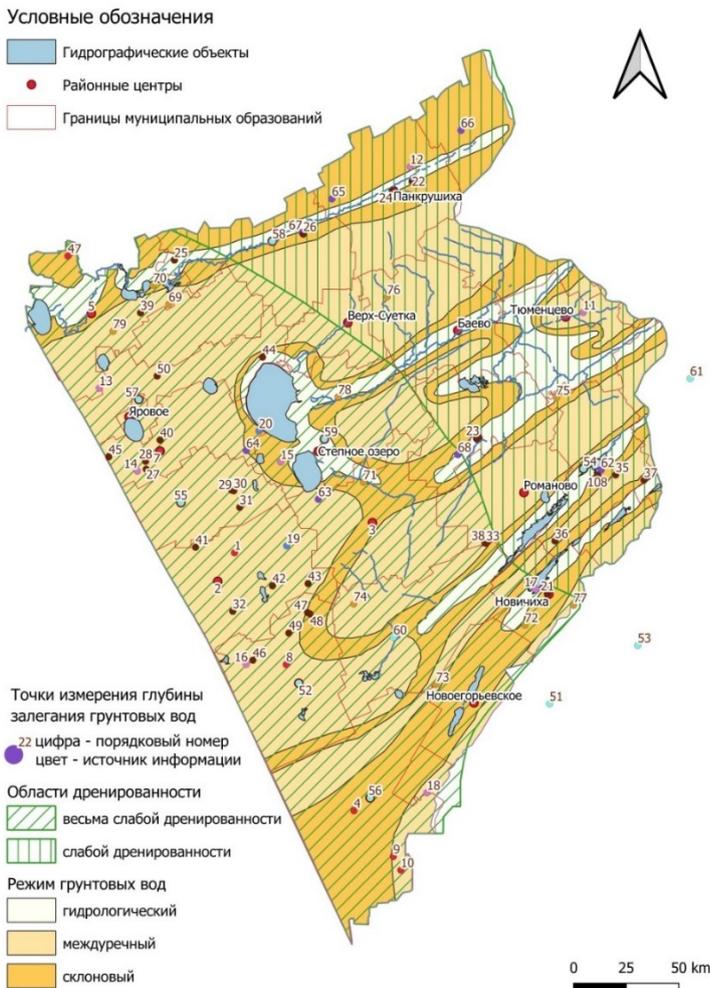


Рис. 1. Схема районирования территории Алтайского края по особенностям режима грунтовых вод (нумерация точек измерения глубин приведена в табл. 2) [9]

Fig. 1. The zoning scheme of the Altai Territory according to the peculiarities of the groundwater regime (numbering of depth measurement points is given in Table 2) [9]

На территории Обь-Иртышского междуречья в границах Алтайского края грунтовые воды приурочены к четвертичным, плиоценовым и неогеновым отложениям (касмалинская, краснодубровская, кулундинская свиты). Более глубокие водоносные горизонты, каптируемые скважинами на изучаемой территории, приурочены к плиоценовым, неогеновым, олигоценым, палеоценовым, меловым отложениям (кочковская, знаменская, новомихайловская, атлымская свиты) [1].

В пределах Кулундинской аллювиальной равнины водоносный горизонт современных отложений имеет ограниченное распространение, он объединяет подземные воды аллювиальных, озерных и эоловых осадков, в которых содержатся безнапорные грунтовые воды. Водовмещающими породами являются суглинки, супеси, иловатые суглинки с редкими и маломощными прослоями тонкозернистых и мелкозернистых песков. Уровень вод находится на глубине 0,5–5 м, увеличивается до 9 м на водораздельных пространствах одновременно с увеличением мощности покровных отложений, которые в большинстве своем безводны, иногда содержат верховодку или представляют собой единую с нижележащими отложениями водовмещающую толщу. Водообильность отложений очень низкая.

Наибольшую водохозяйственную ценность имеют горизонты свит: кулундинской, касмалинской, краснодубровской. Водоносный горизонт кулундинской свиты имеет повсеместное распространение и вскрывается на глубинах от 2 до 18 м. Он сложен разномощными песками с гравием и галькой. Мощность водоносного слоя колеблется от 3–5 на востоке до 25–30 м на западе распространения свиты. Горизонт напорно-безнапорный, статические уровни вод устанавливаются на глубинах 2–

## Гидрология

Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.

10 м, преимущественно 2–5 м. Пески горизонта характеризуются довольно высокой водообильностью, хотя и невыдержанной по площади.

Воды касмалинской свиты приурочены к ложбинам древнего стока. Водовмещающими породами являются пески, от тонко- до крупнозернистых, и супеси, в основании которых иногда встречаются щебень и гравий. Водоносный горизонт выдержан по простиранию. Мощность обводненных отложений касмалинской свиты колеблется от 1,5 до 52 м, составляя чаще 8–20 м. Глубина залегания вод изменяется от 1,2 до 32 м, наибольшая глубина залегания наблюдается в древней долине р. Бурлы. Уровни подземных вод устанавливаются на глубинах 1,5–17 м и часто имеют свободную поверхность.

Краснодубровская свита имеет спорадическое распространение в пределах Приобского плато. Приурочено оно к линзам и горизонтам песков и супесей в толще лесовидных суглинков. Общая мощность отложений свиты на наиболее высоких участках Приобского плато достигает 120 м. Глубина залегания кровли отдельных водоносных линз и прослоев составляет 5–82 м, реже 100–112 м (Мамонтовский, Ребрихинский, Романовский районы). Максимальные глубины залегания приурочены к наиболее высоким гипсометрическим отметкам поверхности. Мощности водоносных песков изменяются от 1,5 до 30 м, преобладают 4–9 м. Уровни в скважинах устанавливаются на глубинах от 0,4 до 36 м [1].

Все горизонты грунтовых вод исследуемой территории представляют собой гидродинамически единый водоносный комплекс, на режим которого преимущественно влияют климатические и гидрологические условия. Грунтовые воды могут существовать только при наличии источников их питания, которые можно разделить на четыре часто тесно связанных между собой вида:

1. Инfiltrация атмосферных осадков, которые или прямо проникают через зону аэрации до грунтовых вод, или увлажняют почвенный слой до появления гравитационных вод. Последние могут попадать на поверхность подвешенных капиллярных вод. Уровень грунтовых вод при этом повышается, особенно в низинных местах, где инfiltrация происходит более интенсивно.

2. Инfiltrация вод рек, озер, и других поверхностных водотоков и водоемов в паводковые периоды. В межень, наоборот, грунтовые воды питают реки и озера.

3. Подпитывание грунтовых вод за счет более глубоко залегающих подземных вод, что может быть установлено путем тщательного анализа гидрогеологических условий.

4. Конденсационные воды формируются в порах и трещинах слагающих пород за счет разности упругости водяных паров, находящихся в различных зонах аэрации, образуются путем конденсации водяных паров воздуха и частичного внутригрунтового испарения в виде тонких, как правило, пресных небольших линз, налегающих на соленые воды нижележащих горизонтов.

В режиме уровня грунтовых вод исследуемой территории отмечается весенний подъем и летне-осенний спад, максимальный уровень достигается от середины мая до конца июня, а минимальный – в декабре-марте. Весной подъем начинается в конце марта, когда средняя суточная температура воздуха становится выше 5 °С и начинается таяние снега. Просачивание талых вод происходит через мерзлые почвы, полное оттаивание которых происходит к середине мая.

Амплитуда колебания составляет 1–2 м в течение года и зависит от литологического состава водовмещающих пород и мощности зоны аэрации, водности года и других факторов (рис. 2–3).

Области питания потоков подземных вод совпадают с площадью их распространения. Для них характерно преобладание площадного питания через верхнюю границу бассейна и вертикальный водообмен.

Следует отметить, что существующая система водоснабжения населенных пунктов главным образом базируется на использовании подземных вод глубоких водоносных горизонтов.

## Гидрология

Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.

Все имеющиеся скважины в центрах административных районов и крупных сельских поселениях поднимают воду с глубин нескольких десятков метров и более, а в отдельных случаях – нескольких сотен метров. Что, собственно, подтверждается анализом литературных источников и открытых интернет-данных по имеющимся скважинам (рис. 4).

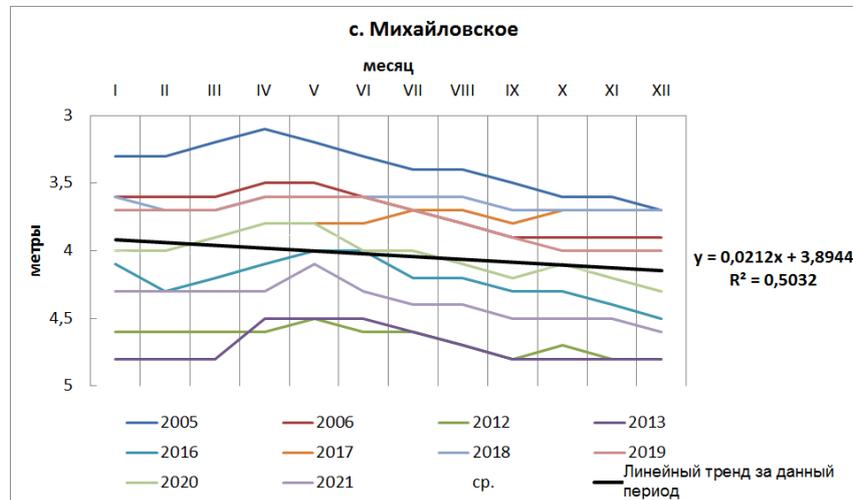


Рис. 2. Годовые графики уровня грунтовых вод в зоне недостаточного увлажнения в области слабой и весьма слабой дренированности [8, 9, 10]

Fig. 2. Annual charts of the groundwater level in the zone of insufficient moisture in the area of weak and very weak drainage [8, 9, 10]

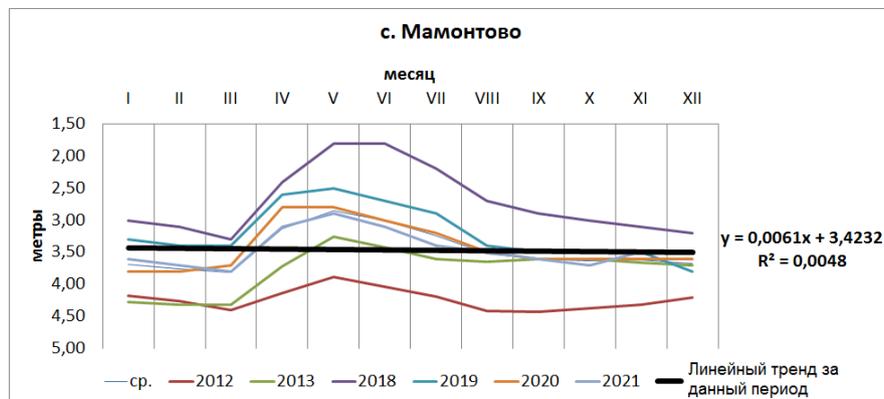


Рис. 3. Годовые графики колебания уровня грунтовых вод в зоне умеренного увлажнения в области слабой и средней дренированности [8, 9, 10]

Fig. 3. Annual charts of ground water level fluctuations in the zone of moderate humidification in the area of weak and medium drainage [8, 9, 10]

По данным экспедиционного выезда 2022 г. установлено, что глубины колодцев и скважин, каптирующих грунтовые воды в хозяйствах населения, в основном не превышают 6 м (табл. 1). В некоторых районах для индивидуальных скважин используются более глубокие горизонты (до 20–30 м и более). Например, в с. Шимолино Благовещенского района население использует третий водоносный горизонт, вскрывающийся на глубине 17 м. Централизованное водоснабжение, как указано выше, организовано из более глубоких водоносных горизонтов – до 800 м [11].

## Гидрология

Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.

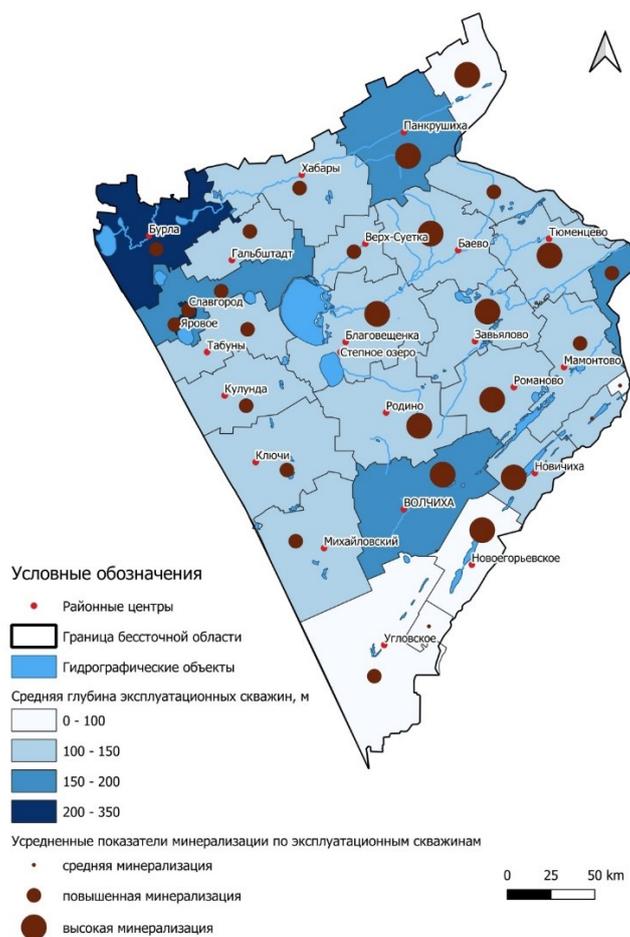


Рис. 4. Средняя глубина эксплуатационных скважин по муниципальным образованиям  
(на основе данных Кадастра буровых скважин [11, 20])

Fig. 4. Average depth of production wells by municipalities (based on data from the Drilling Well Cadaster [11, 20])

Таблица 1

Характеристика колодцев, отобранных для наблюдений за глубиной залегания грунтовых вод  
в степной зоне Алтайского края

Район	Населенный пункт (село, поселок)	Количество населения, человек	Источник	Уровень воды от поверхности, м	Примечания
Новичихинский	Мамонтово	118	колодец	3,4	
	Токарево	653	индивидуальная скважина	18,0	
	Токарево		колодец	3,8	колодец-журавль
Егорьевский	Новосоветский	24	колодец	0,3	вблизи уреза воды реки Кормихи
Волчихинский	Новокормиха	359	колодец	1,8	колодец-журавль
Родинский	Новотроицк	560	колодец	5,2	
Бурлинский	Асямовка	94	колонка	не определена	металлическая колонка во дворе заброшенного дома
	Устьянка	934	колодец	5,2	
	Волчий-Ракит	64	колодец	3,2	
Баевский	Верх-Пайва	612	колодец	5,9	
Мамонтовский	Гришинское	772	колодец	6,1	
Благовещенский	Шимолино	701	индивидуальная скважина	17,0	вода плохого качества, третий горизонт

## Гидрология

Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.

Грунтовые воды, приуроченные к ложбинам древнего стока, являются преимущественно пресными с минерализацией до  $1 \text{ г/дм}^3$ , по составу гидрокарбонатные кальциевые и натриевые, мягкие и умеренно-жесткие. Но вблизи соленых озер и в устьевых частях рек Кулундинской равнины минерализация вод повышается до  $3\text{--}10 \text{ г/дм}^3$ , а состав меняется на хлоридно-, реже сульфатно-натриевый. Связано это, как правило, с поверхностным засолением почвы и выщелачиванием солей.

Грунтовые воды Кулундинской аллювиальной равнины преимущественно пресные с минерализацией до  $1 \text{ г/дм}^3$ , в Табунском, Кулундинском районах их минерализация может достигать  $3 \text{ г/дм}^3$ . По анионному составу воды гидрокарбонатные, по катионному – изменяются от кальциевого и натриево-кальцевого до смешанного состава. Жесткость мягкая и средняя.

Для водораздельных участков характерны воды спорадического распространения (верховодка, родники). Воды чаще пресные с минерализацией до  $1 \text{ г/дм}^3$ , которая в пределах распространения солонцов и солончаков повышается до  $4,7 \text{ г/дм}^3$  (Романовский район). По химическому составу воды гидрокарбонатные, реже сульфатные, среди катионов преобладает кальций, реже натрий. По жесткости воды чаще всего мягкие и умеренные [1].

Гидрохимический анализ подземных вод глубоких водоносных горизонтов показывает, что они имеют разнообразный химический состав, который зависит от глубины залегания горизонта, состава слагающих пород и др. локальных особенностей. Кочковская свита имеет повсеместное распространение в пределах степной части, за исключением Кулундинской аллювиальной равнины. Минерализация вод колеблется в пределах  $1\text{--}3 \text{ г/дм}^3$ . По составу воды в основном пресные гидрокарбонатные кальциевые, но при изменении минерализации – сульфатные натриевые и сульфатные магниевые, при повышении – сульфатно-хлоридные и хлоридно-сульфатные натриевые. Для отдельных районов характерно увеличение минерализации вод до  $4\text{--}6,4 \text{ г/дм}^3$  (Каменский, Угловский районы). Воды неогенового комплекса разнообразны по минерализации. Но на большей части Кулундинской аллювиальной равнины общая минерализация вод не превышает  $1 \text{ г/дм}^3$ . Состав вод также изменяется в широком диапазоне – от гидрокарбонатного кальциевого до хлоридно-сульфатного натриевого. Минерализация подземных вод знаменской свиты изменяется от пресных на Кулундинской равнине до солоноватых на Приобском плато. Воды умеренно жесткие и жесткие, гидрокарбонатно-кальциевые. Воды нижне-среднеолигоценых отложений в основном пресные с общей минерализацией до  $1 \text{ г/дм}^3$ , которая может повышаться до  $2,5 \text{ г/дм}^3$  (в Панкрушихинском, Завьяловском, Алейском и Поспелихинском районах). Пресные воды имеют гидрокарбонатный кальциевый, реже гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый или натриевый состав, при повышении минерализации – сульфатно-хлоридный натриевый. Воды мелового комплекса пресные. Минерализация их не превышает  $1 \text{ г/дм}^3$ , иногда до  $1,7 \text{ г/дм}^3$  (Благовещенский район). Состав вод гидрокарбонатный кальциевый [1, 6, 7].

В ходе экспедиционных работ нами были взяты пробы воды из эксплуатационных скважин, используемых для хозяйственно-питьевых нужд населения (рис. 5).

Проба № 1 отобрана из эксплуатационной скважины в с. Новогорьевское Егорьевского района. Скважина используется для централизованного водоснабжения села, глубина составляет 200 м. Вода солоноватая с минерализацией около  $3 \text{ г/дм}^3$ , по химическому составу хлоридная со смешанным катионным составом, с высоким содержанием ионов марганца. Жесткость воды высокая ( $17 \text{ }^\circ\text{Ж}$  при ПДК  $10 \text{ }^\circ\text{Ж}$ ), наблюдается превышение концентрации ионов марганца ( $0,7 \text{ мг/дм}^3$  при ПДК  $0,1 \text{ мг/дм}^3$ ).

Проба № 2 отобрана из эксплуатационной скважины глубиной около 200 м в с. Ярославцев Лог Родинского района. Вода солоноватая с минерализацией  $1,2 \text{ г/дм}^3$ , средней жесткости ( $4 \text{ }^\circ\text{Ж}$ ), по химическому составу хлоридно-гидрокарбонатная кальциево-натриевая.

## Гидрология

Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.

Проба № 3 отобрана из индивидуальной скважины глубиной 17 м в с. Шимолино Благовещенского района. Каптирует третий водоносный горизонт, а в процессе эксплуатации подмешиваются воды других горизонтов, что ухудшает качество воды. Вода солоноватая с минерализацией 1,3 г/дм<sup>3</sup>, повышенной жесткости (8 °Ж), по химическому составу хлоридно-гидрокарбонатная со смещенным катионном составом.

Проба № 4 отобрана из эксплуатационной скважины глубиной 45 м в с. Самбор Табунского района. Водохозяйственная инфраструктура требует ремонта. Не все население использует для водоснабжения данное водозаборное сооружение, предпочитая индивидуальные скважины. Вода пресная с минерализацией 0,7 г/дм<sup>3</sup>, средней жесткости (4 °Ж), по химическому составу гидрокарбонатная со смещенным катионном составом и повышенным содержанием железа.

Проба № 5 отобрана из самоизливающейся скважины в с. Бурла Бурлинского района. Скважина не оборудована и не обслуживается, зона санитарной охраны отсутствует. Вода пресная с минерализацией 0,9 г/дм<sup>3</sup>, очень мягкая (0,8 °Ж), по химическому составу сульфатно-гидрокарбонатная натриевая.

Проба № 6 отобрана из эксплуатационной скважины глубиной 747 м в с. Михайловка Бурлинского района. Вода пресная с минерализацией 0,9 г/дм<sup>3</sup>, средней жесткости (4 °Ж), по химическому составу хлоридно-гидрокарбонатная магниевно-натриевая.

Проба № 7 отобрана из эксплуатационной скважины в с. Долгово Новичихинского района. Скважина используется для централизованного водоснабжения села, глубина составляет 64 м. Вода пресная, средней жесткости (5 °Ж). По химическому составу гидрокарбонатная магниевно-натриевая, с повышенным содержанием марганца.

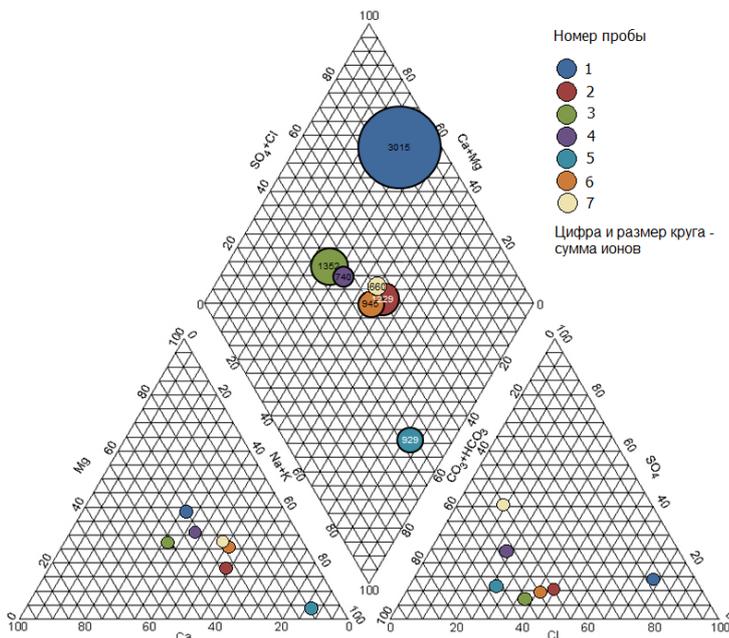


Рис. 5. Гидрохимический состав глубоких скважин по данным экспедиционных исследований

Fig. 5. Hydrochemical composition of deep wells according to expedition research data

Вода из эксплуатационных скважин сел Новогорьевское, Ярославцев Лог не соответствует нормативным требованиям по показателям минерализации и содержанию железа. В воде из индивидуальной скважины в с. Шимолино также наблюдается несоответствие по минерализации. Вода из скважин в селах Самбор, Бурла, Михайловка и Долгово по химическим показателям соответствует нормативам качества воды, используемой для хозяйственно-питьевого водоснабжения. После анализа результатов экспедиционных исследований, а также литературных источников и архивных материалов обследованные уровни залегания грунтовых вод сопоставлены с ландшафтной структурой территории (рис. 6). Для этого подготовлена карта-схема на основе ландшафтного районирования Алтайского края [15], на которой отмечены данные, полученные при оценке природных условий

в целях орошения территорий по источникам информации [2, 5, 13], и имеющиеся мониторинговые данные по единичным скважинам [1, 3, 4, 8, 9, 10]. Описание используемых данных и точек наблюдения приведено в табл. 2.

## Гидрология

Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.

Таблица 2

Характеристика дополнительных точек наблюдений по литературным источникам  
и архивным (фондовым) данным  
Characterization of additional observation points from literature sources and archival (stock) data

<i>Тип местности по ландшафтной карте Алтайского края [15]</i>	<i>Ср. глубина залегания</i>	<i>Муниципальное образование</i>	<i>Номер на карте / глубина залегания</i>	<i>Источник информации*</i>
Высокие древние озерные террасы плоские	20	Благовещенский	59/20	[8]
Высокие древние озерные террасы пониженные плоские и слабоволнистые	4,4	Благовещенский, Ключевской, Михайловский, Славгородский, Табунский	2/3, 15/7, 20/6, 44/4, 47/6, 48/2, 49/3	[1], [2], [3], [4]
Плоская озерно-займищная дельтовая равнина	3	Бурлинский, Хабарский	25/3, 47/3, 69/3	ЭИ 2022 г., [1], [2]
Плоские и слабоволнистые водораздельные поверхности плато	57	Мамонтовский	36/57	[1]
Плоские и слабоволнистые поверхности ложбин древнего стока высокого уровня с озерными понижениями	1	Панкрушихинский	22/1	[1]
Плоские пологоволнистые водораздельные поверхности плато	3	Новичихинский	77/3	ЭИ 2022 г.
Пологие слаборасчлененные склоны плато	7,25	Новичихинский, Романовский, Угловский	9/9, 21/3, 33/3, 38/14	[1], [2]
Пониженные сильно заозеренные равнины дельт ложбин древнего стока	2	Михайловский	46/2	[1]
Склоны озерных котловин пологие, местами слабо выраженные	5,4	Бурлинский, Ключевской, Кулундинский, Родинский, Славгородский, Табунский	1/4, 13/4, 19/4, 29/6, 30/3, 31/4, 42/4, 57/18, 63/3, 64/4	[1], [2], [3], [4], [8], [11]
Слабоволнистые останцы плато	17,5	Михайловский, Угловский	8/20, 10/15	[2]
Днища ложбин древнего стока плоские и плосковолнистые	5	Завьяловский, Мамонтовский, Новичихинский	17/10, 23/2, 54/3, 68/5	[1], [3], [8], [11]
Долины малых рек	3,75	Благовещенский, Бурлинский, Хабарский	5/3, 58/4, 70/5, 78/3	ЭИ 2022 г., [2], [8]
Озерно-аллювиальные равнины	7,5	Бурлинский, Ключевской, Кулундинский, Родинский, Славгородский, Табунский	3/11, 7/8, 14/14, 27/8, 28/2, 32/3, 39/6, 40/14, 41/6, 43/4, 45/5, 50/6, 55/9, 71/5, 79/12	ЭИ 2022 г., [1], [2], [3], [8]
Пологосклонные балочные системы долины и балки с широкими днищами и водотоками	7,4	Баевский, Волчихинский, Мамонтовский, Панкрушихинский, Тюменцевский, Хабарский	11/17, 24/3, 26/5, 35/14, 67/5, 74/2, 76/6	ЭИ 2022 г., [1], [3], [11]
Равнины дельт ложбин древнего стока	8,6	Егорьевский, Михайловский, Угловский	4/16, 16/5, 18/7, 56/14, 73/1	ЭИ 2022 г., [2], [3], [8]
Склоны ложбин древнего стока	7,1	Волчихинский, Крутихинский, Мамонтовский, Михайловский, Новичихинский, Панкрушихинский	12/18, 37/15, 52/4, 60/4, 62/3, 65/5, 66/5, 72/4, 75/6, 108/7	ЭИ 2022 г., [1], [3], [8], [11]

\*ЭИ 2022 – Экспедиционные исследования авторов в 2022 г.

## Гидрология

Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.

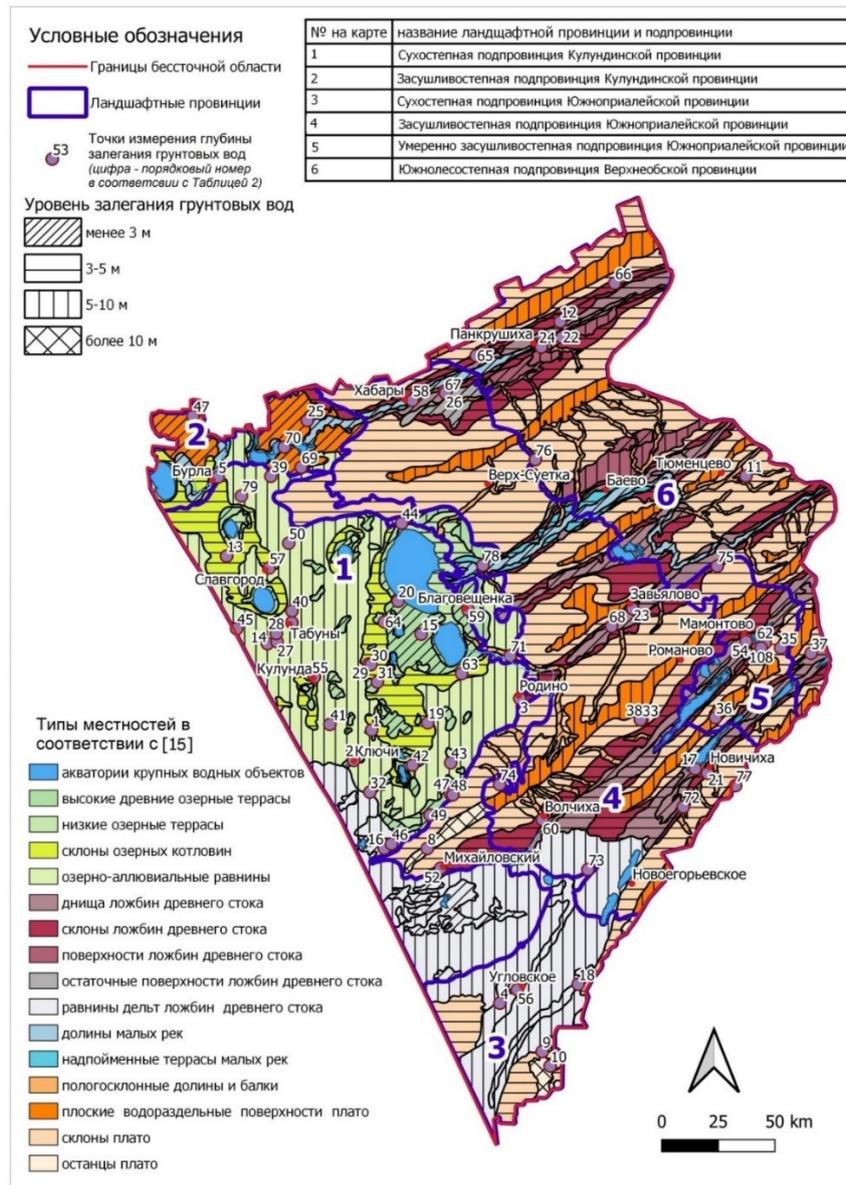


Рис. 6. Глубина залегания грунтовых вод бессточной области Обь-Иртышского междуречья в границах Алтайского края (нумерация точек согласно табл. 2)

Fig. 6. Depth of groundwater occurrence in the drainless region of the Ob-Irtysh interfluve within the boundaries of the Altai Territory (points are numbered according to Table 2)

В соответствии с ландшафтным районированием (рис. 6) наибольшие глубины залегания грунтовых вод приурочены к останцам плато, которые в геологическом отношении являются дочетвертичными образованиями. На равнинах озерно-аллювиальных и дельт ложбин древнего стока залегание грунтовых вод может колебаться от 5 м метров и более. Наименьшие глубины характерны для речных долин и днищ ложбин древнего стока.

Вся территория Алтайского края характеризуется устойчивым сезонным промерзанием зоны аэрации, для которой характерно наличие предвесенней межени, резкий подъем уровня весной, связанный с первым этапом питания, постепенный спад уровня до осени, осложненный отдельными дождями, небольшой второй подъем уровня осенью и затем постепенный, независимый спад уровня до весны [9].

Обширными областями питания, в пределах которых происходит формирование и интенсивная подпитка грунтовых вод, являются плакорные части Приобского плато, надпоймен-

## Гидрология

Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.

ные террасы долины р. Оби и отчасти поверхности озерно-аллювиальных равнин Кулундинской низменности. Подпитывание грунтовых вод напорными незначительно и зависит от гранулометрического состава и мощности водоупоров. Зоной разгрузки для грунтового потока, направленного со склонов плато, являются днища ложбин древнего стока [13].

Следует отметить, что основную роль в питании грунтовых вод играют осадки, выпадающие в осенний период и весной. Величина инфильтрации зависит от характера и интенсивности выпадения осадков, а также водопроницаемости почвы и пород зоны аэрации. Наибольшее значение для питания грунтовых вод имеют неинтенсивные длительные обложные дожди, выпадающие при высокой относительной влажности воздуха. Летние осадки существенного влияния на питание водоносных горизонтов не оказывают, так как они испаряются, не достигнув уровня грунтовых вод.

Осадки, выпадающие в зимнее время, могут служить источником питания подземных вод преимущественно весной, после оттаивания замороженных за зиму пород и перехода твердых осадков в капельножидкое состояние. При оттепелях и положительной температуре почвенного слоя возможна инфильтрация осадков и в зимнее время. Величина инфильтрации зимних твердых осадков зависит от времени оттаивания почвы, рельефа местности, характера растительности, водопроницаемости почвы и некоторых других факторов.

Ложбины древнего стока характеризуются гидрологическим (приречным) режимом, на который оказывают влияние боковой приток со склонов, поверхностный сток, периодическое атмосферное переувлажнение, разгрузка в озера и реки (например, Кулунду), испарение с поверхности грунтовых вод и зеркал озер, транспирация. Питание вод данного типа характеризуется гидравлической связью грунтовых вод с рекой, роль атмосферных осадков здесь незначительна. В годовом цикле характерен четко выраженный весенний подъем, совпадающий по времени с паводком рек, и более плавный осенний, имеющий значительно меньшую амплитуду и обусловленный дополнительным питанием горизонта за счет инфильтрации осенних дождей. Амплитуда сезонных колебаний может составлять 0,6–2 м.

Для грунтовых вод со склоновым видом режима изменения уровней в течение года связаны с притоком со стороны водоразделов и в меньшей степени с атмосферными осадками. Колебания довольно значительны и растянуты во времени, так как подъемы уровней начинаются за счет инфильтрации осадков непосредственно в присклоновых участках, а затем за счет поступления воды со стороны водораздела. Амплитуда колебаний составляет от 0,1 до 2,2 м. В пределах высоких озерных террас существенное значение приобретает испарение, которое преобладает над инфильтрацией осадков и транспирацией и создает условия выпотного режима для грунтовых вод, залегающих от 1,7 до 3,5 м. В результате происходит интенсивное накопление солей в зоне аэрации и увеличивается минерализация грунтовых вод. Для склонов Приобского плато атмосферная инфильтрация невелика, в связи с чем для данной местности характерен транзитный режим питания.

На территориях с междуречным режимом изменения уровней подземных вод в течение года связаны только с атмосферными осадками. Для данного вида режима характерен четкий весенний подъем уровня до 1 м. Амплитуда колебаний уровня, в том числе и скорость спада после максимально высокого положения, зависит от величины и состава зоны аэрации: чем меньше мощность зоны аэрации и более легко проницаемый гранулометрический состав, тем быстрее снеговые талые воды достигают уровня грунтовых вод и вызывают его подъем. Высокие же фильтрационные свойства отложений зоны аэрации способствуют быстрому оттоку подземных вод в сторону областей разгрузки, поэтому подъем уровней обычно невелик и быстро сменяется их интенсивным спадом. На участках с мощной зоной аэрации преимущественно глинистого состава время инфильтрации талых вод до поверхности грунтовых горизонтов больше, весенний подъем уровней выражен менее четко, спад плавный, растянутый во времени [9, 10, 13].

## Гидрология

Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.

## Выводы

Подземные воды имеют важное народнохозяйственное значение в бессточной области Обь-Иртышского междуречья. В последнее время происходит переход от системы централизованного водоснабжения с глубокими скважинами к индивидуальным скважинам, каптирующим первый от поверхности водоносный горизонт.

Питание грунтовых вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, речных и озерных вод, конденсационных вод и вод глубоких горизонтов. Условия и режим питания находятся в непосредственной зависимости от ландшафтной структуры территорий, рельефа местности, характера растительности, водопроницаемости почв, мощности и типа четвертичных отложений и других факторов.

На большей части исследуемой территории глубина залегания грунтовых вод колеблется от 5 до 15 м. Выполненный сопоставительный анализ полученных экспедиционных результатов с литературными и фондовыми данными подтверждает наличие взаимоувязанности глубин залегания грунтовых вод с ландшафтными особенностями территории. Так, наибольшие глубины залегания грунтовых вод соответствуют в ландшафтной структуре останцовым плато и водораздельным участкам, наименьшие – ложбинам древнего стока, приозерным котловинам и поймам рек. Промежуточное положение занимают склоны плато и речных долин, озерные террасы.

Качество вод, формируемое составом вмещающих пород, зачастую не соответствует нормативным требованиям по показателям минерализации, жесткости и содержанию железа и во многом определяет практическое применение водоносных горизонтов.

## Библиографический список

1. Авдеева Ю.П., Соцкова Е.А. Гидрогеологическая карта СССР условий водоснабжения рассредоточенного населения в особый период масштаба 1:500000 Алтайского края. Каталог водопунктов (колодцы и родники). Западно-Сибирское геологическое управление. 1972.
2. Акулёно Ю.Н. Основы мелиоративной гидрогеологии степного Алтая // Природные особенности мелиорации в степном Алтае. Красноярск, 1979. С. 3–101.
3. Алтайский край. Атлас. Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР. Москва-Барнаул, 1978. Т. 1. 235 с.
4. Бейром С.Г., Михайлова Е.В. Грунтовые воды юго-восточной части Западно-Сибирской низменности. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1960. С. 74–86
5. Бейром С.Г., Невечера И.К., Милушина Р.Е. Промежуточный научный отчет по работам за 1960, 1961 гг. «Орошение и обводнение Кулунды». Тема: «Формирование подземных вод Кулундинской степи и оценка их запасов». Новосибирск, 1962. 97 с.
6. Борзилов О.С. Оценка ресурсов подземных вод для целей аграрно-индустриального развития Кулунды: дис. ... канд. с/х наук. Барнаул, 2014. 184 с.
7. Гидрогеология СССР. Том XVII Кемеровская область и Алтайский край. Западно-Сибирское геологическое управление / ред. М.А. Кузнецова, О.В. Постникова. М.: Недра, 1972. 399 с.
8. Ежегодные экологические доклады «Об охране окружающей среды в Алтайском крае» // Министерство природных ресурсов Алтайского края. URL: [https://minprirody.alregn.ru/doklady/eko\\_doklady/](https://minprirody.alregn.ru/doklady/eko_doklady/) (дата обращения 21.01.2023).
9. ОАО «Алтайская гидрогеологическая экспедиция». с. Боровиха, 2007. 225 с.
10. Информация по ведению мониторинга подземных вод на территории Алтайского края. (Ответ по запросу из Управления по недропользованию по Алтайскому краю). 2014.
11. ИС «Недра». URL: [http://altfi.narod.ru/index/kadastr\\_burovykh\\_skvazhin/0-26](http://altfi.narod.ru/index/kadastr_burovykh_skvazhin/0-26) (дата обращения 12.01.2023).
12. Карабицина Л.П., Дым Л.С. Информационный отчет о работах, проведенных на объекте 3.3 «Региональное гидрогеологическое и геоэкологическое изучение территории Алтайского края и Республики Алтай за 2001–2002 гг.» Т. 1–2. АлтФ ФБУ «ТФГИ по СФО». 2002. 139 с.
13. Кулундинский канал. Ландшафтно-индикационная оценка природных условий в зоне влияния и прогноз их изменений / Винокуров Ю.И., Цимбалей Ю.М., Булатов В.И., Пудовкина Т.А. и др. Иркутск, 1985. 198 с.
14. Ланге О.К. Гидрогеология. М.: Высшая школа, 1969. 368 с.
15. Ландшафтная карта Алтайского края. Масштаб 1:500000 / науч. рук. Ю.И. Винокурова. Барнаул. ИВЭП СО РАН. 2016.
16. Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / И.М. Земскова [и др.]. М.: Недра, 1991. 262 с.
17. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 2. М., 2021. 496 с.

## Гидрология

Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.

18. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 3. М., 2021. 75 с.

19. Цифровой каталог Государственных геологических карт РФ м-ба 1:1000000 (третье поколение). URL: [https://vsegei.ru/ru/info/pub\\_ggk1000-3/](https://vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/) (дата обращения 12.01.2023).

20. Электронный каталог учетных карточек буровых на воду скважин/ФГБУ «РОСГЕОЛФОНД». URL: <https://rfgf.ru/bur/> (дата обращения 14.06.2023).

## References

1. Avdeeva Ju.P., Sockova E.A. (1972) *Gidrogeologicheskaja karta SSSR uslovij vodosnabzhenija rassredotochennogo naselenija v osobij period masshtaba 1:500000 Altajskogo kraja. Katalog vodopunktov (kolodcy i rodniki). Zapadno-Sibirskoe geologicheskoe upravlenie.*

2. Akulenko Ju.N. (1979) *Fundamentals of reclamation hydrogeology of the steppe Altai // Prirodnye osobennosti melioracii v stepnom Altae, Krasnojarsk, pp. 3–101.*

3. Altajskij kraj. Atlas (1978) *Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri sovete ministrov SSSR, Moskva-Barnaul, T. 1, 235 p.*

4. Bejrom S.G., Mihajlova E.V. (1960) *Groundwater of the southeastern part of the West Siberian Lowland, Novosibirsk: Izdvo SO. AN SSSR, pp. 74–86.*

5. Bejrom S.G., Nevecherja I.K., Milushina R.E. (1962) *Interim scientific report on the works for 1960, 1961. «Irrigation and watering of Kulunda». Topic: «Formation of underground waters of the Kulunda steppe and assessment of their reserves», Novosibirsk, 97 p.*

6. Borzilov O.S. (2014) *Assessment of groundwater resources for the purposes of agricultural and industrial development of Kulunda, Diss. rabota na soiskanie uch. st. kand. Nauk, Barnaul, 184 p.*

7. *Hydrogeology of the USSR. Volume XVII Kemerovo Region and Altai Territory (1972) Zapadno-Sibirskoe geologicheskoe upravlenie, ed. M.A. Kuznecova, O.V. Postnikova, Nedra, Moscow, 399 p.*

8. Annual environmental reports «On environmental protection in the Altai Territory» // *Ministerstvo prirodnyh resursov Altajskogo kraja, available at: https://minprirody.alreg.ru/doklady/eko\_doklady/ (Accessed 21 January 2023).*

9. *Informacionnyj bjulleten' o sostojanii geologicheskoy sredy na territorii Altajskogo kraja za 2006 god (2007), V. 9. OAO «Altajskaja gidrogeologicheskaja jekspedicija», Boroviha, 225 p.*

10. *Informacija po vedeniju monitoringa podzemnyh vod na territorii Altajskogo kraja (2014) (Otvet po zaprosu iz Upravlenija po nedropol'zovaniju po Altajskomu kraju).*

11. IS «Nedra», available at: [http://alttfi.narod.ru/index/kadastr\\_burovykh\\_skvazhin/0-26](http://alttfi.narod.ru/index/kadastr_burovykh_skvazhin/0-26) (Accessed 12 January 2023).

12. Karabicina L.P., Dym L.S. (2002) *Information report on the works carried out at the object 3.3 «Regional hydrogeological and geocological study of the territory of the Altai Territory and the Altai Republic for 2001-2002», T. 1–2, AltF FBU «TFGI po SFO», Russia, 139 p.*

13. *Kulundinsky Canal. Landscape-indicative assessment of natural conditions in the zone of influence and forecast of their changes (1985) / Vinokurov Ju.L., Cimbalej Ju.M., Bulatov V.I., Pudovkina T.A. (ed.), Irkutsk, 198 p.*

14. Lange O.K. (1969) *Hydrogeology, Vysshaja shkola, Moscow, 368 p.*

15. *Landscape map of the Altai Territory, 1:500 000 (2016), IWEP SB RAS, Barnaul.*

16. *Resources of fresh and low-mineralized groundwater in the southern part of the West Siberian Artesian Basin (1991) / I.M. Zemskova, Ju.K. Smolencev, M.P. Polkanov (ed.), Nedra, Moscow, 262 p.*

17. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (2021), Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 2, Moscow.

18. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (2021) Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 3, Moscow.

19. Цифровой каталог Государственных геологических карт РФ м-ба 1:1000000 (третье поколение), available at: [https://vsegei.ru/ru/info/pub\\_ggk1000-3/](https://vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/) (Accessed 12 January 2023).

20. Электронный каталог учетных карточек буровых на воду скважин/ФГБУ «РОСГЕОЛФОНД», available at: <https://rfgf.ru/bur/> (Accessed 14 June 2023).

Статья поступила в редакцию: 17.07.2023, одобрена после рецензирования: 30.10.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 17 July 2023; approved after review: 30 October 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

*Гидрология**Орлова Е.С., Заносова В.И., Рыбкина И.Д.*

## Информация об авторах

## Information about the authors

**Елена Сергеевна Орлова**

младший научный сотрудник лаборатории водных ресурсов и водопользования, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук;

656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

e-mail: morana-11@mail.ru

**Elena S. Orlova**

Junior Researcher, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;

1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038, Russia

**Валентина Ивановна Заносова**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Алтайское отделение ВОО «Русское географическое общество»;

656038, Россия, г. Барнаул, просп. Ленина, 54

**Valentina I. Zanosova**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Altai Regional Branch of the Russian Geographical Society,

54, prospekt Lenina, Barnaul, 656038, Russia

**Ирина Дмитриевна Рыбкина**

доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории водных ресурсов и водопользования,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук;

656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

e-mail: irina@iwep.ru

**Irina D. Rybkina**

Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;

1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038, Russia

**Вклад авторов**

Орлова Е.С. – сбор материала, обработка материала, написание статьи, работа с ГИС, создание иллюстраций.

Заносова В.И. – сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста.

Рыбкина И.Д. – идея, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors**

Elena S. Orlova – collection of materials; data processing; writing of the article; work with GIS; creation of illustrations.

Valentina I. Zanosova – collection of materials; data processing; writing of the article; scientific editing of the text.

Irina D. Rybkina – the idea; data processing; writing of the article; scientific editing of the text.

The authors declare no conflict of interest.

Гидрология

Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-87-102

**DETECTION OF THE CHANGE POINT IN ICE FORMATION DATES****Vitaliy G. Kalinin<sup>1</sup>, Ksenia D. Mikova<sup>2</sup>, Vladimir V. Chichagov<sup>3</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> Perm State University, Perm, Russia<sup>1</sup> vgakalinin@gmail.com, Scopus Author ID: 7201527612, ResearcherID: ABC-7662-2021, SPIN-code: 9507-2306, Author ID: 70059<sup>2</sup> mikovak@yandex.ru, Scopus Author ID: 57211207914, ResearcherID: JLL-9653-2023, SPIN-code: 3765-0488, Author ID: 153280<sup>3</sup> chichagov@psu.ru, Scopus Author ID: 16451824700, ResearcherID: IUQ-7507-2023, SPIN-code: 3861-4476, Author ID: 12574

**Abstract.** In recent years, there has been an increasing interest in studies related to the impact of climatic changes on the ice regime of water bodies. This paper aims to detect the change point in the ice formation dates for Kamskoe Reservoir. This is done with the use of an improved methodological approach. The results revealed that the greatest deviations are observed when comparing time intervals after 1995. The last decade of the observation period (2008–2018) was characterized by significant changes in late dates. According to the Data Series Smoothing method, the change point for the observation series falls on 1996. Differential Integral Curves of the ice dates show that the beginning of the significant climatic changes is noted in 1995–1997. The rejection of the randomness hypothesis indicates the presence of significant changes in the ice dates for 1956–2018 for all gauges, except Berezniki. The deviation of the homogeneity hypothesis for the ice dates in 1956–1995 and 1996–2018 shows the presence of statistically significant changes at the turn of 1996. Thus, the impact of modern climatic changes on the ice dates has been observed over the last 25 years, with the change point falling on 1996.

**Keywords:** ice dates, dates variability, climatic changes, ice dates variability, change point, statistical hypothesis testing

**For citation:** Kalinin, V.G., Mikova, K.D., Chichagov, V.V. (2024). Detection of the change point in ice formation dates. *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 87–102. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-87-102

Научная статья

УДК 556.535.5

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-87-102

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОДА НАЧАЛА ВЛИЯНИЯ ВЫРАЖЕННЫХ  
КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА СРОКИ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ****Виталий Германович Калинин<sup>1</sup>, Микова Ксения Дмитриевна<sup>2</sup>, Чичагов Владимир Витальевич<sup>3</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия<sup>1</sup> vgakalinin@gmail.com, Scopus Author ID: 7201527612, ResearcherID: ABC-7662-2021, SPIN-код: 9507-2306, Author ID: 70059<sup>2</sup> mikovak@yandex.ru, Scopus Author ID: 57211207914, ResearcherID: JLL-9653-2023, SPIN-код: 3765-0488, Author ID: 153280<sup>3</sup> chichagov@psu.ru, Scopus Author ID: 16451824700, ResearcherID: IUQ-7507-2023, SPIN-код: 3861-4476, Author ID: 12574

**Аннотация.** В последние годы возрастает интерес к исследованиям, связанным с влиянием климатических изменений на ледовый режим водных объектов. Целью данной работы является определение начала выраженных изменений (момента разладки) в рядах наблюдений сроков ледообразования на гидрологических постах Камского водохранилища. Момент разладки был определен с помощью усовершенствованного методологического подхода, представляющего собой последовательную проверку рядов наблюдений и их частей на случайность и однородность с использованием статистических методов. Результаты показали, что наибольшие отклонения наблюдаются при сравнении временных интервалов после 1995 г. Последнее десятилетие (2008–2018 гг.)



*Гидрология**Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.*

оказало существенное влияние на изменение поздних дат. По методу скользящих средних значений начало выраженных изменений сроков ледообразования приходится на 1996 г. На разностно-интегральных кривых видно, что начало периода значительных климатических изменений по разным гидрологическим постам также приходится на 1995–1997 гг. Отклонение гипотезы случайности для всех постов, кроме Березников, за 1956–2018 гг. свидетельствует о наличии существенных изменений в сроках ледообразования. Отклонение гипотезы однородности сроков ледообразования для периодов 1956–1995 и 1996–2018 гг. показывает наличие статистически значимых изменений после 1996 г. Таким образом, влияние современных климатических изменений на сроки ледообразования наиболее ярко выражено в последние 25 лет.

**Ключевые слова:** сроки ледообразования, изменчивость дат, климатические изменения, точка перегиба, проверка статистической гипотезы

**Для цитирования:** Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В. Определение года начала влияния выраженных климатических изменений на сроки ледообразования // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 87–102. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-87-102

**Introduction**

Climate change can determine the features of the hydrological regime of water bodies. Ice phenomena are sensitive to incremental changes in air temperature and can be used as indicators of systematic changes in climate. The study of the pronounced changes in the ice regime is important and relevant, and it can be performed using ice dates.

There are numerous publications devoted to studies into the long-term fluctuations of the ice regime. The first studies dealt with the fluctuations in ice dates due to climate change. For example, G.P. Williams [50] considered the break-up dates of lakes and rivers as an indicator of climate change. Later, similar issues were investigated in M. Tanaka and M.M. Yoshino [44] for Lake Suva in Japan and in J.A. Maslanik and R.G. Barry [30] for lakes in Finland and Canada.

In 1990, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) published the Scientific Assessment [18]. After its publication, the number of articles devoted to climate change and related changes in the ice regime has significantly increased. As to specifically Russian research, century-long changes in the ice regime of rivers were analyzed in few studies [14, 15, 40, 41]; there was conducted research aiming to assess the climate change impact on the ice regime of lakes in a temperate climate [42] and also numerical modeling of the ice regime changes due to climatic conditions [16, 43, 46]. In the 1990s, the number of studies increased 7 times compared to the previous decade.

The majority of the authors compared average characteristics and their trends for two periods – before (stationary climate) and after (nonstationary climate) pronounced climatic changes. As to the comparison periods, the authors used different time intervals, which were selected depending on the availability of data and the year of publication. Some studies were focused on 1961–1990 because this period was recommended by the World Meteorological Organization (WMO) for data averaging in the current climate [1, 2, 11, 13, 41]. At the same time, I.I. Soldatova [41] used data for this period as being up-to-date with respect to 1893–1960. Other researchers considered 1961–1990 as basic and compared it with data for the modern period. For example, B.M. Ginzburg [13] explored 1997–2003, S.A. Agafonova and N.L. Frolova [1] examined 1991–2007, S.A. Agafonova et al. [2] and N.L. Frolova et al. [11] focused on 1991–2014. Some scientists [34, 49] took the early 1980s as the time of a noticeable increase in the average global air temperature based on research [4]. V.K. Smakhtin [39] used data for 1975–2012 due to the Second Assessment Report of Roshydromet on Climate Changes and Their Consequences [45]. According to this report, the most intense warming was observed since the mid-1970s. Other scientists did not compare the two observation periods (periods of stationary and non-stationary climate); their studies were based on the analysis of the examined characteristics averaged with different steps: 12 years [9], 20 and 50 years [12], or 30 years [10], and identified the period where the examined characteristics showed the greatest deviations.

Some investigations applied different statistical methods for the detection of the change point and analysis of long-term changes in the ice regime. D.M. Livingstone [26, 27] determined the time series change-point in the study of the break-up dates of lakes.

*Гидрология**Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.*

Several studies examined long-term changes in the ice regime characteristics and looked for the statistical significance of particular trends. Trends were tested in different ways: using the nonparametric Mann-Kendall trend test [8, 10, 12, 21, 22, 23, 24], linear least-squares regression and nonparametric methods [7]. Some studies checked the trend's significance in the ice regime data using the one-sample t-test [33, 37, 39, 48, 49], the Wilcoxon signed-rank test [7, 32, 49].

Data homogeneity was assessed only in a few studies [41, 34, 48, 49]. Several works examined data for spatial autocorrelation which was found to be present and could result in underestimated confidence intervals [7, 12, 17, 23, 24].

The overview of recently published research shows the absence of unified methodology for determining the change point in the ice regime time series. Studies on the climate change impact on the ice regime of water bodies apply different statistical techniques. Thus, the primary objective of our study is to determine the change point in the ice formation dates using the methodological approach proposed in V.G. Kalinin and V.V. Chichagov [20].

More specifically, this paper addresses the following questions:

1. How are the ice dates in time intervals different from the dates in 1956–2018?
2. When is the change point in ice formation dates observed?
3. Do the observation series before and after identification of the change point are characterized by homogeneity disturbance?

**Study area**

Kamskoe Reservoir catchment is located in Perm Krai (region) in the western part of the Urals. It was constructed on the Kama River. The reservoir is a cascade regulator because it is the first in the Kama cascade and has a water head of 22 m. The filling of the reservoir began in 1954 and ended in 1956. At a retention water level (RWL), the water surface area is 1719 km<sup>2</sup>, the total volume is 10.7 km<sup>3</sup>, the active storage is 8.36 km<sup>3</sup>, the average depth is 6.2 m, the maximum depth is 28.1 m. The reservoir is fed by river runoff and has crenelated shoreline and large bays. Kamskoe Reservoir provides seasonal, weekly, and daily storage of flow.

Heat is unevenly distributed in the study area from north to south. During the year, the northern part receives 15% less solar heat than the southern part. Even greater changes in the values of total solar radiation are observed over the seasons. In the summer, the catchment area receives 80% of the annual amount of heat, and in the winter – about 20% [38]. The northern location of the area contributes to the frequent invasion of cold Arctic air masses, which determine the climate severity. Cyclones determine a sharp change in the weather – from warm to cold. The sharp drop in air temperatures is especially pronounced when the average daily air temperatures are close to 0°C. During such periods, the first ice forms on rivers and reservoirs in the autumn. The average air temperature from September to October drops by 7–8°C. In October, the air temperature falls below 0°C. The 0°C isotherm dates are observed within 1–1.5 months (September 26–November 13).

**Data and methods***1. Data sources*

Data were extracted from different sources: for 1956–1985 – from the Hydrological Yearbooks [6]; for 1986–2007 – from the archives in the Perm Center for Hydrometeorology and Environmental Protection; for 2008–2018 – from an open access database in the Automated Information System for Water Bodies' State Monitoring [5]. The collected data contain *in situ* observations for 63 years from 11 gauges on Kamskoe Reservoir. The ice formation dates were selected uniformly from daily water level tables for all gauges according to the method given in 3.2.1.

*2. Analysis methods**2.1. Identification of the stable ice dates*

The stable ice formation dates (ice dates) in the autumn were selected as an ice regime parameter for the study. The ice dates were determined as follows: if the period with ice was longer than

## Гидрология

Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.

the subsequent period without ice, then the first date with ice was taken as the stable date of ice formation; if the period with ice was shorter, then the first date after period without ice was taken as the stable date of ice formation. To enable the comparability and averaging, the ice dates were represented by natural numbers as the number of days from September 1st.

### 2.2. Analysis of long-term fluctuations

Since the primary objective of this study is to detect the change point in the ice formation dates for Kamskoe Reservoir, a decision was taken to examine it through long-term fluctuations in the stable ice dates. The long-term average, early and late ice dates for a representative 40-year period (1956–1995) were previously calculated and analyzed by V.G. Kalinin [19]. In our study, the observation period was increased by 1.5 times, covering 63 years (1956–2018). First, changes in the average long-term ice dates were analyzed for both subperiods (1956–1995 and 1956–2018), because we needed to check if the average dates had changed over the last subperiods. It was also checked whether the extreme (early and late) ice dates had changed. The average ice dates were also calculated for different time intervals (with a 5-year step) and compared with average dates for the whole period (1956–2018). That was made in order to control in which period the greatest deviations in the average ice dates were observed.

### 2.3. Detection of the change point

An analysis of the ice dates long-term fluctuations cannot properly determine the trends and the change point for the time series (the beginning of intraseries changes). Therefore, the studied dates were smoothed with the Moving Average method [47] to level out interannual fluctuations. Smoothing was done over the odd periods: 3, 5, 7, 9, 11, etc. up to 31, with a one-year step.

The Differential Integral Curve method was used to assess the cyclic fluctuations of many hydrological parameters [3]. In the context of ice dates analysis, this method determines cyclical fluctuations and identifies periods of earlier and later ice dates. This includes identification of the change point, where the influence of climatic changes on the ice regime is noticeable. According to the method, first the modular coefficient  $K = \frac{x}{\bar{x}}$  was calculated (where  $x$  is the dates of the series,  $\bar{x}$  is the average date of the series), then the values  $K-I$  were determined. After that, an integral curve was plotted by consecutive summing of those values.

### 2.4. Justification of the change point with statistical methods

The observation series were analyzed with the methodological approach outlined in V.G. Kalinin and V.V. Chichagov [20] using statistical methods. Since long-term fluctuations are random, these methods can be used. The methodological approach is as follows:

1). Available series and their parts were tested for randomness with the Mann Reverse Arrangements Test [29]. There are nonparametric tests for trend. This procedure is easy to apply and useful for detecting underlying trends in random data records.

The reverse arrangements test is applied to determine the number of inversions. It consists in calculating the number of pairs of elements in the series under study for which the sequence is violated. A violation of the sequence is understood as the presence of a pair of lower rank for a larger element. The number of inversions should not be too small or large if the dataset behaves like an independent random sample. Time series are independent if the zero hypothesis passes the test at  $p$ -level  $>0.05$ . It is checked whether the data are independent and whether the results can be obtained during observations of the same random variable.

2). The first 15 values of the autocorrelations and the  $p$ -values with the Ljung–Box test were calculated to identify a relationship between the data in the time series. For  $p$ -level  $>0.05$ , the zero hypothesis is accepted. This evidences the absence of autocorrelations.

3). The normality hypothesis of the ice dates was tested with three different criteria: Kolmogorov–Smirnov One-Sample test, Lilliefors and Shapiro–Wilk tests [25, 36]. N.M. Razali and Y.B. Wah [35] shows that the Shapiro–Wilk test is the most powerful of these three criteria when testing for normality.

## Гидрология

Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.

4). Applying the homogeneity criteria to the analysis of two parts of the data series without prior checking their randomness using the reverse arrangements test can lead to erroneous results. That is why testing with the homogeneity criteria: t- and F-tests and Mann–Whitney, Kolmogorov–Smirnov, and Wald–Wolfowitz Runs tests [31] is possible in case of accepting the randomness hypothesis for the parts of the data series under comparison. The studied parts of the series are considered homogeneous if the zero hypothesis of  $p$ -level is  $>0.05$ .

It should be noted that when testing the randomness and homogeneity hypotheses in a data series, the values of  $p$ -level can be close to 0.05 (0.03 or 0.07). Therefore, in the analysis, the values of  $p$ -level were separated: the zero hypothesis works at  $p$ -level  $>0.075$ ; it does not work at  $p$ -level  $<0.025$ ; the values are boundary at  $0.025 < p$ -level  $< 0.075$ .

## Results and discussion

### 1. Analysis of long-term fluctuations

The spatial distribution of average long-term ice dates on Kamskoe Reservoir for 1956–2018 is shown in Fig. 1. Ice phenomena begin in the shallow bay and gradually reach waters of the reservoir where cooling occurs most rapidly. The formation of ice starts in the reservoir's upper reaches in Chusovskoy (Nizhnie Chalygi) and In'vinskii (Maikor) bays, then from north to south— from Berezniki to Chermoz (Fig. 1).

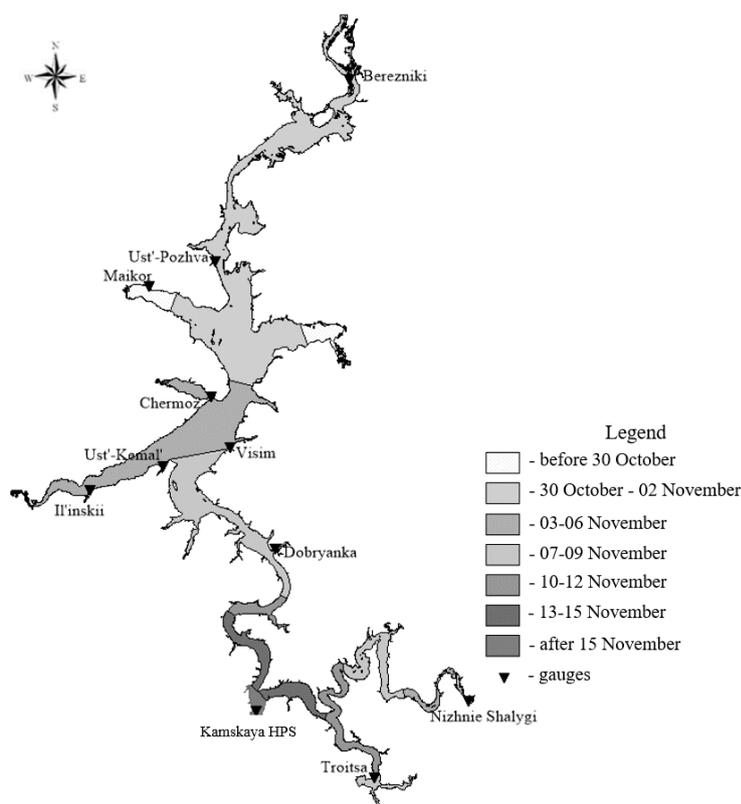


Fig. 1. Average (1956–2018) ice dates at the gauges on Kamskoe Reservoir  
Рис. 1. Средние (1956–2018 гг.) даты появления льда на г/п Камского водохранилища

At the same time, ice formation processes are observed in Obvinskii (Il'inskii) and other small bays in the central part of the reservoir. Further, ice formation spreads to the reservoir's central part (Visim, Sludka, Dobryanka gauges) and is simultaneously observed in the Chusovskoy (Vetlyany) and Sylvinsky (Troitsa) reaches. Ice formation ends in the near-dam deep-water part of Kamskoe Reservoir (Fig. 1). Thus, the general pattern of ice formation is from north to south and from the reaches to the central part. According to the long-term average data for 1956–2018, ice phenomena form from October 30th to November 3rd. It should be noted that ice dates significantly fluctuate on an annual basis, different gauges show synchronous fluctuations, while ice dates tend to shift to the later side in recent decades (Fig. 2).

## Гидрология

Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.

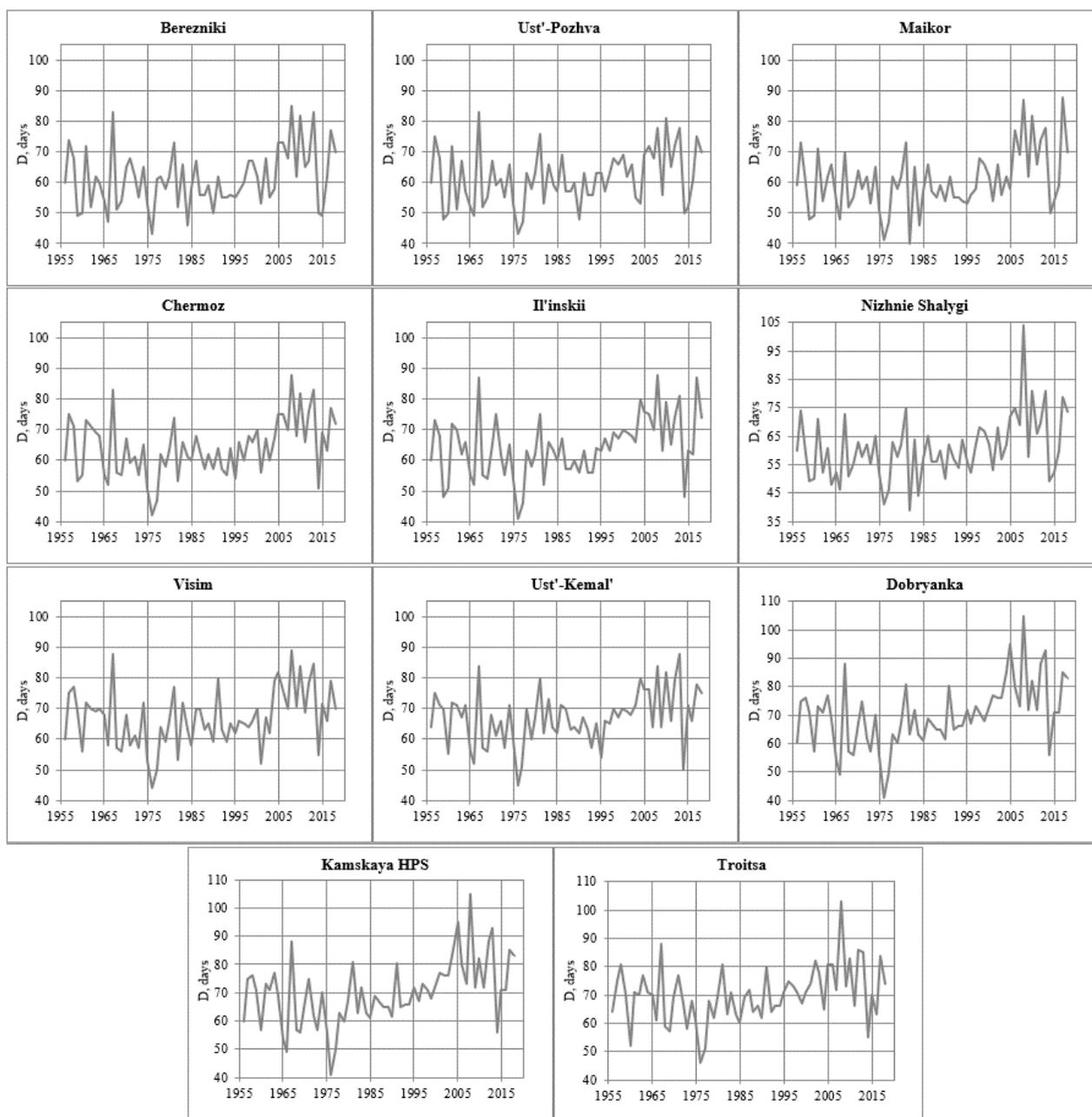


Fig. 2. Long-term fluctuations of the ice dates ( $D$ , days) (in the numbers of days from September 1st) for 1956–2018  
 Рис. 2. Многолетние изменения дат появления льда ( $D$ , дни) (в числах от 1 сентября) за 1956–2018 гг.

The average long-term ice dates for 1956–1995 and 1956–2018 are presented in Table 1. Analysis of this table shows that the average dates for all gauges shifted to the late side by 2–4 days. The change by  $\pm 2$  days is within the accuracy of determining these dates. At the Maikor, Chermoz, Ust'-Kamal', Il'yinski, Dobryanka, Nizhnie Shalygi, and Troitsa gauges, the average ice dates changed by 3–4 days. At Dobryanka, the shift to the late side by 4 days can be explained by an increase in warm water discharge from the Permskaya Hydro-Recirculating Power Plant (Permskaya HRPP). This shift in days is associated with the commissioning of new power units in 1987, 1990, and 2017.

## Гидрология

Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.

Table 1

Long-term average, early and late ice dates for 1956–1995 and 1956–2018  
 Среднемноголетние, ранние и поздние даты появления льда за 1956–1995 и 1956–2018 гг.

Gauge	Average date*	Early date*		Late date*	
		Date	Year	Date	Year
Berezniki	$\frac{29 \text{ Oct}}{31 \text{ Oct}}$ (+2)	$\frac{13 \text{ Oct}}{13 \text{ Oct}}$ (-)	$\frac{1976}{1976}$ (-)	$\frac{22 \text{ Nov}}{24 \text{ Nov}}$ (+2)	$\frac{1967}{2008}$ (+)
Ust'-Pozhva	$\frac{29 \text{ Oct}}{31 \text{ Oct}}$ (+2)	$\frac{13 \text{ Oct}}{13 \text{ Oct}}$ (-)	$\frac{1976}{1976}$ (-)	$\frac{22 \text{ Nov}}{22 \text{ Nov}}$ (0)	$\frac{1967}{1967}$ (-)
Maikor	$\frac{27 \text{ Oct}}{30 \text{ Oct}}$ (+3)	$\frac{10 \text{ Oct}}{10 \text{ Oct}}$ (-)	$\frac{1982}{1982}$ (-)	$\frac{12 \text{ Nov}}{27 \text{ Nov}}$ (+15)	$\frac{1957,1981}{2017}$ (+)
Chermoz	$\frac{31 \text{ Oct}}{03 \text{ Nov}}$ (+3)	$\frac{12 \text{ Oct}}{12 \text{ Oct}}$ (-)	$\frac{1976}{1976}$ (-)	$\frac{22 \text{ Nov}}{27 \text{ Nov}}$ (+5)	$\frac{1967}{2008}$ (+)
Visim	$\frac{03 \text{ Nov}}{05 \text{ Nov}}$ (+2)	$\frac{14 \text{ Oct}}{14 \text{ Oct}}$ (-)	$\frac{1976}{1976}$ (-)	$\frac{27 \text{ Nov}}{28 \text{ Nov}}$ (+1)	$\frac{1967,1995}{2008}$ (+)
Ust'-Kemal'	$\frac{03 \text{ Nov}}{06 \text{ Nov}}$ (+3)	$\frac{15 \text{ Oct}}{15 \text{ Oct}}$ (-)	$\frac{1976}{1976}$ (-)	$\frac{23 \text{ Nov}}{27 \text{ Nov}}$ (+4)	$\frac{1967,1995}{2013}$ (+)
Il'inskii	$\frac{31 \text{ Oct}}{03 \text{ Nov}}$ (+3)	$\frac{11 \text{ Oct}}{11 \text{ Oct}}$ (-)	$\frac{1976}{1976}$ (-)	$\frac{26 \text{ Nov}}{27 \text{ Nov}}$ (+1)	$\frac{1967,1995}{2008}$ (+)
Dobryanka	$\frac{04 \text{ Nov}}{08 \text{ Nov}}$ (+4)	$\frac{11 \text{ Oct}}{11 \text{ Oct}}$ (-)	$\frac{1976}{1976}$ (-)	$\frac{27 \text{ Nov}}{14 \text{ Dec}}$ (+17)	$\frac{1967}{2008}$ (+)
Kamskaya HPS	$\frac{13 \text{ Nov}}{15 \text{ Nov}}$ (+2)	$\frac{29 \text{ Oct}}{29 \text{ Oct}}$ (-)	$\frac{1966}{1966}$ (-)	$\frac{01 \text{ Dec}}{15 \text{ Dec}}$ (+14)	$\frac{1991}{2008}$ (+)
Nizhnie Shalygi	$\frac{27 \text{ Oct}}{31 \text{ Oct}}$ (+4)	$\frac{09 \text{ Oct}}{09 \text{ Oct}}$ (-)	$\frac{1982}{1982}$ (-)	$\frac{14 \text{ Nov}}{13 \text{ Dec}}$ (+29)	$\frac{1981}{2008}$ (+)
Troitsa	$\frac{06 \text{ Nov}}{09 \text{ Nov}}$ (+3)	$\frac{16 \text{ Oct}}{16 \text{ Oct}}$ (-)	$\frac{1976}{1976}$ (-)	$\frac{27 \text{ Nov}}{12 \text{ Dec}}$ (+15)	$\frac{1967}{2008}$ (+)

\* Date format is  $\frac{X_1}{X_2}(X_2-X_1)$ , where  $X_1$  and  $X_2$  are the ice dates for 1956–1995 and 1956–2018, respectively; (-) – date/year did not change; (+) – date/year changed.

\* Формат дат  $\frac{X_1}{X_2}(X_2-X_1)$ , где  $X_1$  и  $X_2$  – даты появления льда за 1956–1995 гг. и 1956–2018 гг. соответственно; (-) – дата/год не изменились; (+) – дата/год изменились.

It is worth noting that trends toward late ice dates (warmer climate) persist at all gauges. The late ice dates at Maikor and Troitsa shifted by 15 days, and at Nizhniye Shalygi ice started to appear 29 days later. The last decade (2008–2018) had a significant impact on the change in late dates. The warmest years were 2008, 2013, and 2017. A significant change in the late ice dates also occurred at the Dobryanka (+17 days) and the Kamskaya HPS (+14 days) gauges due to the heated waters from the Permskaya HRPP. Overall, spatial correlation between the later dates of ice formation and years was observed at all gauges except Ust'-Pozhva. While the early ice dates and the years when early dates were observed did not change.

A similar pattern is observed in trends toward later freeze-up dates which are consistent with changes found by other researchers [10, 22, 26, 27, 28]. M.N. Shimaraev et al. [37] and N.L. Frolova et al. [11] noted that climatic changes had been observed since the mid-1970s, which was associated with the restructuring of the atmosphere and confirmed by an increase in air and ocean temperatures.

The results, as shown in Table 2, indicate that for the first part of the time intervals the deviations of the ice dates have a "-" sign. That means the average dates for particular time intervals fall on earlier dates (cold climate) compared to the dates for the whole period (1956–2018). For the second

## Гидрология

Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.

part of the time intervals, these deviations have a "+" sign. That means the average dates fall on later dates (warm climate).

The least deviations (up to 2 days) in the average long-term ice dates are observed for the 1–4th time intervals. For the 5–7th time intervals, these deviations increase to 3–4 days, and for 8–11th time intervals – up to 5–7 days for the second part of the time intervals. This indicates that in the last two decades ice dates were determined by the climatic conditions. The largest deviations (up to 10 days) are shown by Maikor and Nizhnie Shalygi in the 10th time interval. These gauges are located in shallow bays, where water masses cool very quickly.

Table 2

Deviation (in days) of the average ice dates from the average dates for the whole period (1956–2018)  
Отклонение (в днях) средних дат появления льда от средних за весь период (1956–2018 гг.)

#	Time intervals	Number of years	Berezniki	Ust'-Pozhva	Maikor	Chermoz	Visim	Ust'-Kemal'	Il'inskiy	Nizhnie Shalygi	Troitsa	Kamskaya HPS	Average
1	1956–1960	5	-1	-1	-3	-1	0	0	-4	-2	-2	-3	-2
	1961–2018	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1956–1965	10	-1	-2	-1	+1	2	0	-2	-3	0	+1	-1
	1966–2018	53	0	0	0	0	0	0	0	+1	0	0	0
3	1956–1970	15	-1	-1	-2	0	+1	-1	-2	-3	-1	-1	-1
	1971–2018	48	0	0	0	0	0	0	+1	+1	0	0	0
4	1956–1975	20	-1	-2	-2	-1	-1	-2	-2	-3	-2	-1	-2
	1976–2018	43	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
5	1956–1980	25	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-3	-3
	1981–2018	38	+1	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2
6	1956–1985	30	-2	-2	-3	-3	-3	-2	-3	-4	-3	-3	-3
	1986–2018	33	+2	+2	+3	+2	+3	+2	+3	+3	+3	+2	+3
7	1956–1990	35	-2	-2	-3	-3	-3	-2	-3	-4	-3	-3	-3
	1991–2018	28	+3	+3	+4	+3	+3	+3	+4	+5	+4	+3	+4
8	1956–1995	40	-3	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-4	-3	-2	-3
	1996–2018	23	+4	+4	+6	+5	+4	+5	+6	+6	+5	+4	+5
9	1956–2000	45	-2	-2	-3	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-2	-2
	2001–2018	18	+5	+4	+7	+6	+6	+6	+7	+7	+6	+6	+6
10	1956–2005	50	-2	-2	-3	-2	-2	-1	-2	-3	-2	-1	-2
	2006–2018	13	+7	+6	+10	+8	+7	+6	+7	+10	+7	+6	+7
11	1956–2010	55	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1
	2011–2018	8	+4	+4	+7	+6	+5	+5	+4	+5	+3	+4	+5

## 2. Detection of the change point

Smoothing of the ice dates over 3, 5, and 17–31-year periods did not allow us to reveal the change point (the beginning of intraseries changes) due to too short and too long averaging periods, respectively. At the same time, for the 7, 9, 11, 13 and 15-year periods the change point is clear (Fig. 3). For three smoothing periods (11, 13, and 15-year), the year of the change point does not change and is likely to fall on 1996.

Гидрология

Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.

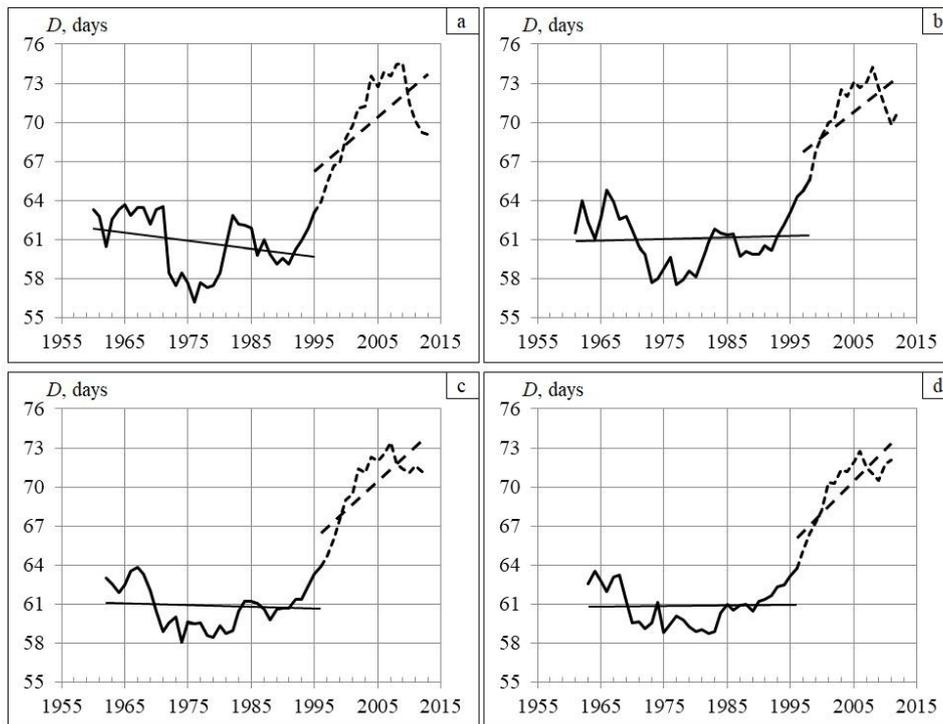


Fig. 3. Smoothed ice dates curves ( $D$ , days) for 9-year (a), 11-year (b), 13-year (c), and 15-year periods at Il'inskii (solid line – stationary climate; dashed line – nonstationary climate)

Рис. 3. Сглаженные кривые дат появления льда ( $D$ , дни) для 9-летнего (а), 11-летнего (б), 13-летнего (в) и 15-летнего (г) на г/п Ильинский (сплошная линия – стационарный климат; пунктирная линия – нестационарный климат)

Fig. 4 apparently shows that ice was formed at earlier dates and later dates before and after 1997, respectively. Therefore, there is a split into two oppositely directed periods. This confirms the results of the change point detection obtained above. Thus, under the conditions of Kamskoe Reservoir, the period of significant climatic changes starts in 1995–1997 in the autumn.

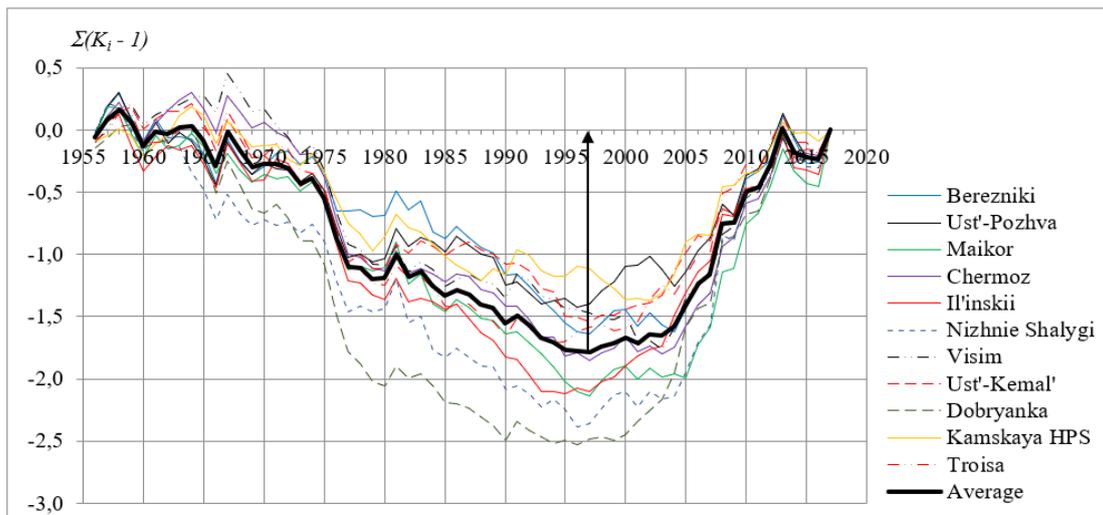


Fig. 4. Differential integral curves of the ice dates for 1956–2018

Рис. 4. Разностно-интегральные кривые дат появления льда за 1956–2018 гг.

There are no similar studies devoted to the change point detection. Only papers related to trend detection in ice dates show that trends with freeze-up dates for a group of lakes were most significant in 1971–2000 [10]. X. Zhang et al. [51] showed widespread trends toward earlier freeze-up over

## Гидрология

Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.

1967-1996. Thus, the influence of modern climatic changes on the ice dates is likely to be most pronounced in the last 25 years.

### 3. Justification of the change point with statistical methods

Application of the reverse arrangements test (Table 3) showed that the randomness hypothesis for the observation series for 1956–2018 is rejected (the significance level is no more than 0.046) for all gauges except Berezniki. This indicates significant changes in these data.

In addition, the randomness hypothesis is accepted for all gauges with a high level of significance, with rare exceptions for the 1956–1975, 1956–1995, and 1996–2018 observation series. However, for 1976–2018 the randomness hypothesis is usually rejected. This means that statistically significant changes in the observation series began to occur from the mid-90s. Therefore, in Table 3 we compare the observation series for 1956–1995 and 1996–2018.

Table 3

Values of the significance level of the reverse arrangements test  
Значения уровня значимости критерия инверсий

Gauge	1956–1975	1976–2018	1956–1995	1996–2018	1956–2018
Berezniki	0.823	<b>0.027</b>	0.270	0.319	0.090
Ust'-Pozhva	0.823	<i>0.011</i>	0.790	0.432	<b>0.035</b>
Maikor	0.631	<i>0.008</i>	0.189	0.207	<b>0.046</b>
Chermoz	<b>0.064</b>	<i>0.000</i>	0.153	0.114	<i>0.017</i>
Visim	<i>0.024</i>	<i>0.001</i>	0.260	<b>0.057</b>	<b>0.041</b>
Ust'-Kemal'	0.165	<i>0.003</i>	0.174	0.207	<b>0.042</b>
Il'inskii	0.501	<i>0.000</i>	0.438	0.754	<i>0.004</i>
Dobryanka	0.113	<i>0.000</i>	0.862	0.464	<i>0.000</i>
Kamskaya HPS	0.386	<i>0.001</i>	0.826	0.227	<b>0.028</b>
Nizhnie Shalygi	0.974	<i>0.004</i>	0.917	0.248	<i>0.006</i>
Troitsa	0.098	<i>0.001</i>	0.336	0.754	<i>0.022</i>

Note: the observation series with the accepted randomness hypothesis with significance levels less than 0.025 are italicized; the observation series with the accepted randomness hypothesis with significance levels in the range from 0.025 to 0.075 are bolded; the observation series with the accepted randomness hypothesis with significance levels greater than 0.075 are given in roman type.

Примечание: курсивом выделены ряды наблюдений с принятой гипотезой случайности с уровнем значимости менее 0,025; жирным шрифтом выделены ряды наблюдений с принятой гипотезой случайности с уровнями значимости в диапазоне от 0,025 до 0,075; ряды наблюдений с принятой гипотезой случайности с уровнями значимости выше 0,075 воспроизведены прямым шрифтом.

The hypothesis about the absence of the first 15 autocorrelations was checked with the Ljung Box test, which gave the following results (only the smallest p-values are indicated below). For 1956–1995, the zero hypothesis is accepted for all gauges (the minimum value of the real significance level was found to be 0.07 for the Ust-Pozhva gauge, the real significance level was more than 0.1). In 1996–2018, the zero hypothesis was accepted for all gauges (the minimum value of the real significance level was found to be 0.08 for the Ust-Kemal gauge, the real significance level was more than 0.25 for the rest of the gauges). Thus, for the observation series for all gauges for 1956–1995 and 1996–2018, it is justifiable to test the hypothesis of homogeneity.

To test the homogeneity hypothesis using t- and F-tests, we verified that the observation series can be described in terms of normal distribution law. The results of testing the normality hypothesis of the ice dates with three different criteria are presented in Table 4. It shows that the hypothesis of homogeneity can be tested for all gauges using t- and F-tests.

## Гидрология

Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.

Table 4

Significance level of acceptance of the normality hypothesis for ice formation dates according to the Lilliefors and Shapiro-Wilk tests

Уровень значимости принятия гипотезы нормальности дат появления льда по тестам Лиллиефорса и Шапиро-Уилка

Gauge	Lilliefors		Shapiro-Wilk	
	1956–1995	1996–2018	1956–1995	1996–2018
Berezniki	<i>p</i> > 0.20	<i>p</i> > 0.20	0.48611	0.67761
Ust'-Pozhva	<i>p</i> > 0.20	<i>p</i> > 0.20	0.76538	0.68079
Maikor	<i>p</i> > 0.20	<i>p</i> > 0.20	0.77412	0.22098
Chermoz	<i>p</i> > 0.20	<i>p</i> > 0.20	0.85040	0.91905
Visim	<i>p</i> > 0.20	<i>p</i> > 0.20	0.89905	0.86134
Ust'-Kemal'	<i>p</i> > 0.20	<i>p</i> > 0.20	0.91307	0.41866
Il'inskii	<i>p</i> > 0.20	<i>p</i> < 0.10	0.61162	0.31576
Dobryanka	<i>p</i> > 0.20	<i>p</i> < 0.10	0.99631	0.13099
Kamskaya HPS	<i>p</i> < 0.05	<i>p</i> < 0.10	0.12755	<b>0.05411</b>
Nizhnie Shalygi	<i>p</i> > 0.20	<i>p</i> > 0.20	0.83244	<b>0.07161</b>
Troitsa	<i>p</i> < 0.20	<i>p</i> > 0.20	0.80580	0.38671

Note: the significance levels are italicized, bold and roman fonts correspond to the Note to Table 3.

Примечание: уровни значимости выделены курсивом, полужирным и прямым шрифтом соответствуют примечанию в табл. 3.

The results of testing the homogeneity hypothesis for observation series using the homogeneity criteria of two-sample t-, two-sample F-, Mann-Whitney and Kolmogorov-Smirnov One-Sample and Two-Sample tests are presented in Table 5.

Table 5

Statistical characteristics of ice dates for 1956–1995 and 1996–2018

Статистические характеристики дат появления льда за 1956–1995 и 1996–2018 гг.

Gauge	Mean-1	Mean-2	<i>pS</i>	SD-1	SD-2	<i>pF</i>	<i>pMU</i>	<i>pKS</i>	
Berezniki	58.9	65.8	<i>0.005</i>	8.38	10.03	0.318	0.006	<i>0.022</i>	<b>0.043</b>
Ust'-Pozhva	58.6	65.5	<i>0.007</i>	9.70	8.72	0.607	0.007	<i>0.015</i>	<b>0.030</b>
Maikor	57.4	66.2	<i>0.000</i>	7.99	10.68	0.112	0.002	<i>0.012</i>	<b>0.025</b>
Chermoz	61.0	69.3	<i>0.000</i>	8.23	8.65	0.765	0.000	<i>0.000</i>	<i>0.001</i>
Visim	64.4	71.3	<i>0.005</i>	8.75	9.28	0.729	0.006	<i>0.014</i>	<b>0.027</b>
Ust'-Kemal'	64.4	71.5	<i>0.001</i>	8.01	8.29	0.831	0.002	<i>0.005</i>	<i>0.011</i>
Il'inskii	60.9	70.4	<i>0.000</i>	8.75	8.91	0.897	0.000	<i>0.000</i>	<i>0.001</i>
Dobryanka	65.4	77.6	<i>0.000</i>	9.35	10.60	0.483	0.000	<i>0.000</i>	<i>0.000</i>
Kamskaya HPS	74.1	80.6	<i>0.007</i>	8.51	9.25	0.632	0.008	<i>0.005</i>	<i>0.010</i>
Nizhnie Shalygi	57.1	66.8	<i>0.000</i>	8.54	12.24	<b>0.048</b>	0.001	<i>0.001</i>	<i>0.002</i>
Troitsa	67.0	75.3	<i>0.001</i>	8.47	9.87	0.395	0.000	<i>0.001</i>	<i>0.003</i>

Note. Mean-1, SD-1 are the mean and standard deviations of ice dates in 1956–1995, respectively; Mean-2, SD-2 are the average and standard deviations of these dates in 1996–2018; *pS*, *pF*, *pMU*, *pKS* are the significance levels of the two-sample t-, two-sample F-, Mann-Whitney, and Kolmogorov-Smirnov One-Sample and Two-Sample tests. The significance levels are italicized, bold and roman fonts correspond to the Note to Table 3.

Примечание. Mean-1, SD-1 – среднее и стандартное отклонение дат появления льда за 1956–1995 гг. соответственно; Mean-2, SD-2 – среднее и стандартное отклонение этих дат за 1996–2018 гг.; *pS*, *pF*, *pMU*, *pKS* – уровни значимости двухвыборочного t-, двухвыборочного F-, одновыборочного и двухвыборочного критериев Манна – Уитни и Колмогорова – Смирнова. Уровни значимости выделены курсивом, полужирным и прямым шрифтом в соответствии с примечанием к табл. 3.

## Гидрология

Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.

The results, as shown in Table 5, indicate that the homogeneity hypothesis for 1956–1995 and 1996–2018 should be rejected for all gauges. This confirms the stated assumption that significant climatic changes at Kamskoe Reservoir are likely to have started in 1995–1997 in the autumn.

## Conclusions

1. The average long-term, early, and late ice dates analysis for Kamskoe Reservoir for 1956–1995 and 1956–2018 showed that the average dates for 1956–2018 were shifted at all gauges to the late side by 2–4 days. The last decade (2008–2018) had a significant impact on the change in the late dates. The warmest years were 2008, 2013, and 2017. The early ice dates and the years when they were observed did not change.

2. Comparison of the average dates for different time intervals with the average for the whole observation period revealed that ice dates were observed earlier for the first part of the time intervals. The average dates fall on later dates for the second part of the time intervals. The greatest deviations are noted when comparing time intervals after 1995.

3. The change point is clearly detected on the smoothed curves with a one-year step over a 7–15-year period. When considering only 11–15-year smoothing, the first signs of change are observed in 1996.

4. The beginning of the significant climatic changes in ice dates is noted in 1995–1997 on differential integral curves.

5. The rejection of the randomness hypothesis for 1956–2018 for all gauges, with the exception of Berezniki, indicates the presence of significant changes in these data. Moreover, for 1956–1995 and 1996–2018 for all gauges the randomness hypothesis is accepted with a high level of significance. Hence, no statistically significant changes were detected in the observation series.

6. Rejection of the homogeneity hypothesis for the observation series in 1956–1995 and 1996–2018 shows the presence of statistically significant changes at the turn of 1996.

Thus, the influence of modern climatic changes on the dates of ice formation in Kamskoe Reservoir is likely to have started within the period of the last 25 years.

## References

1. Agafonova S.A., Frolova N.L. (2009), *Vliyaniye ledovogo rezhima rek severa yevropeyskoy territorii Rossii na gidroekologicheskuyu bezopasnost' v usloviyakh izmeneniya klimata* [Influence of the rivers' ice regime in the north of the European territory of Russia on hydroecological safety in the context of climate change], *Moscow University Bulletin. Series 5. Geography*, (4), pp. 55–61.
2. Agafonova S.A., Frolova N.L., Surkova G.V. (2017), Modern characteristics of the ice regime of the Arctic rivers of Russia and their possible changes in the XXI century, *Hydrometeorology and ecology: scientific and educational achievements and prospects*. pp. 17–21.
3. Andreyanov V.G. (1959), Cyclical fluctuations of annual runoff and their account at hydrological calculations, *Proceedings of Russian State Hydrological Institute*, no 68, pp. 3–49.
4. Anthropogenic climate change (1986), Eds. Budyko M.I. and Israel Y.A. Leningrad. Gidrometeoizdat. P. 405.
5. 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]
6. Basin of the Caspian Sea (without the Caucasus and Central Asia). River basin Kama. *Hydrological Yearbook*. 1956–1985. Vol. 4, no. 5–7.
7. Benson B.J., Magnuson J.J., Jensen O.P., Card V.M., Hodgkins G., Korhonen J. et al. (2012), Extreme events, trends, and variability in Northern Hemisphere lake-ice phenology (1855–2005). *Climatic Change*, no 112(2), pp. 299–323. https://doi.org/10.1007/s10584-011-0212-8.
8. Chen Y., She Y. (2020), Long-term variations of river ice breakup timing across Canada and its response to climate change. *Cold Regions Science and Technology*, 176, 103091. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2020.103091
9. Choiński A., Kolendowicz L., Pociask-Karteczka J., Sobkowiak L. (2010), Changes in lake ice cover on the Morskie Oko Lake in Poland (1971–2007). *Advances in Climate Change Research*, 1(2), pp. 71–75. https://doi.org/10.3724/SP.J.1248.2010.00071.
10. Duguay C.R., Prowse T.D., Bonsal B.R., Brown R.D., Lacroix M.P., Ménard P. (2006), Recent trends in Canadian lake ice cover. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(4), pp. 781–801. https://doi.org/10.1002/hyp.6131.
11. Frolova N.L., Magritsky D.V., Kireeva M.B., Agafonova S.A., Povalishnikova E.S. (2018), Anthropogenic and climatically conditioned changes in water runoff and ice phenomena in the rivers of the Russian Arctic. *Questions of Geography*, (145), pp. 233–251.
12. Futter M.N. (2003), Patterns and trends in Southern Ontario Lake ice phenology. *Environmental Monitoring and Assessment*, 88(1), pp. 431–444. https://doi.org/10.1023/A:1025549913965.

## Гидрология

Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.

13. Ginzburg B.M. (2005), Freezing and break-up dates of rivers at the end of the XX century and their possible changes in the XXI century. *Meteorology and Hydrology*, no. 12, pp. 88–97.
14. Ginzburg B.M., Soldatova I.I. (1996), Long-term fluctuations in the freezing and break-up dates of rivers in different geographic zones. *Meteorology and Hydrology*. no. 6. pp. 101–108.
15. Ginzburg B.M., Soldatova I.I. (1994), Century changes in the rivers' ice dates and their relationship with climate change. *Materialy konferentsii i soveshchaniy po gidrotekhnike: Ledotermicheskie aspekty ekologii v gidroenergetike*. SPb. pp. 20–26.
16. Heinz G.S., Xing F. (1997), Simulated climate change effects on ice and snow covers on lakes in a temperate region. *Cold Regions Science and Technology*. 25(2), pp. 137–152. [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(96\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(96)00023-7).
17. Helama S., Jiang J., Korhonen J., Holopainen J., Timonen M. (2013), Quantifying temporal changes in Tornionjoki river ice breakup dates and spring temperatures in Lapland since 1802. *Journal of Geographical Sciences*, 23(6), pp. 1069–1079. <https://doi.org/10.1007/s11442-013-1063-1>.
18. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1990), Climate Change. The IPCC Scientific Assessment Report Prepared for IPCC by Working Group I. / Eds. J.T. Houghton, G.J. Jenkins, and J.J. Ephraums / P. 414.
19. Kalinin V.G. (2008), *Ledovyi rezhim rek i vodokhranilishch basseina Verkhnei i Srednei Kamy* [Ice regime of rivers and reservoirs in the Upper and Middle Kama basin]. Perm. state un-t. Perm. P. 252.
20. Kalinin V.G., Chichagov V.V. (2014), Long-term variability of ice formation dates on the rivers of the Votkinsk Reservoir catchment. *Russian Meteorology and Hydrology*. no. 39(7), pp. 491–497. <https://doi.org/10.3103/S1068373914070085>.
21. Klavins M., Briede A., Rodinov V. (2009), Long term changes in ice and discharge regime of rivers in the Baltic region in relation to climatic variability. *Climatic Change*, no. 95(3), pp. 485–498. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9567-5>.
22. Korhonen J. (2006), Long-term changes in lake ice cover in Finland. *Hydrology research*, 37(4–5), pp. 347–363. <https://doi.org/10.2166/nh.2006.019>.
23. Korhonen J. (2019), Long-term changes and variability of the winter and spring season hydrological regime in Finland. Doctoral dissertation. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-51-2800-3>.
24. Latifovic R., Pouliot D. (2007), Analysis of climate change impacts on lake ice phenology in Canada using the historical satellite data record. *Remote Sensing of Environment*, 106(4), pp. 492–507. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.015>.
25. Lilliefors H.W. (1967), On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American statistical Association*, 62(318), pp. 399–402.
26. Livingstone D.M. (1997), Break-up dates of alpine lakes as proxy data for local and regional mean surface air temperatures. *Climatic Change*, 37(2), pp. 407–439. <https://doi.org/10.1023/A:1005371925924>
27. Livingstone D.M. (1999), Ice break-up on southern Lake Baikal and its relationship to local and regional air temperatures in Siberia and to the North Atlantic Oscillation. *Limnology and Oceanography*, 44(6), pp. 1486–1497. <https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.6.1486>
28. Magnuson J.J., Robertson D.M., Benson B.J., Wynne R.H., Livingstone D.M., Arai T., Assel R.A., Roger G.B., Card V., Kuusisto E., Granin N.G., Prowse T.D., Stewart K.M., Vuglinski V.S. (2000). Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere. *Science*, 289(5485), pp. 1743–1746. doi: 10.1126/science.289.5485.1743.
29. Mann H.B. (1945), Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, pp. 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>.
30. Maslanik J.A., Barry R.G. (1987), Lake ice formation and breakup as an indicator of climate change: potential for monitoring using remote sensing techniques. *The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources (Proceedings of the Vancouver Symposium)*. 168, pp. 153–161.
31. McCuen R.H. (2003), Modeling hydrologic change: statistical methods CRC Press LLC. P. 157.
32. Mudryk L.R., Derksen C., Howell S., Laliberté F., Thackeray C., Sospedra-Alfonso R., Vionnet V., Kushner P.J., Brown R. (2018), Canadian snow and sea ice: historical trends and projections. *The Cryosphere*, 12(4), pp. 1157–1176. <https://doi.org/10.5194/tc-12-1157-2018>.
33. Obyazov V.A., Smakhtin V.K. (2014) Ice regime of the rivers of Transbaikalia in a changing climate. *Water resources*. 41(3). pp. 227–234. <https://doi.org/10.1134/S0097807814030130>.
34. Paromov V.V., Shantykhova L.N. (2010), Changes in the ice regime characteristics of the Upper Yenisei rivers basin. *Ice and Snow*, (2), pp. 51–55.
35. Razali N.M., Wah Y.B. (2011), Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *Journal of statistical modeling and analytics*, 2(1), pp. 21–33.
36. Shapiro S.S., Wilk M.B. (1965), An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4), pp. 591–611. <https://doi.org/10.2307/2333709>.
37. Shimaraev M.N., Kuimova L.N., Sinyukovich V.N., Tsekhanovsky V.V. (2002), Climate and hydrological processes in the basin of the Baikal Lake in the XX century. *Meteorology and Hydrology*, (3), pp. 71–78. eLIBRARY ID: 21456616.
38. Shklyayev A.S., Balkov V.A. (1963), The climate of the Perm Region. Perm, P. 190.
39. Smakhtin, V.K. (2019), Long-term changes in the ice regime characteristics of the lakes of Transbaikalia. *In Lakes of Eurasia: problems and solutions*. pp. 322–326.
40. Soldatova I.I. (1993), Century changes in the rivers break-up dates and their relationship with climate change. *Meteorology and hydrology*. no. 9. pp. 89–96.
41. Soldatova I.I. (1996), On the rivers break-up dates in the current climate. *Meteorology and Hydrology*, no. 4, pp. 87–94.
42. Stefan H.G., Fang X. (1995), A methodology to estimate year-round effects of climate change on water temperature, ice and dissolved oxygen characteristics of temperate zone lakes with application to Minnesota.
43. Stefan H.G., Fang X. (1997), Simulated climate change effects on ice and snow covers on lakes in a temperate region. *Cold Regions Science and Technology*. Vol. 25. no. 2. pp. 137–152. [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(96\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(96)00023-7).
44. Tanaka M., Yoshino M.M. (1982), Re-examination of the climatic change in central Japan based on freezing dates of Lake Suwa. *Weather*. 37. pp 252–259. <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1982.tb03626.x>.

## Гидрология

Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.

45. The Second Assessment Report of Roshydromet on Climate Changes and Their Consequences on the Territory of the Russian Federation (2014), Roshydromet. Moscow. P. 1009.
46. Vavrus S.J., Wynne R.H., Foley J.A. (1996), Measuring the sensitivity of southern Wisconsin lake ice to climate variations and lake depth using a numerical model. *Limnology and Oceanography*. 41(5). pp. 822–831. <https://doi.org/10.4319/lo.1996.41.5.0822>.
47. Vladimirov A.M. (1990), *Gidrologicheskie raschety* [Hydrological calculations]. Leningrad. Gidrometeoizdat, p. 368.
48. Vuglinskiy V.S. (2014), Assessment of change in water bodies ice regime characteristics for different regions of the country in modern climate conditions. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya*, pp. 32–45.
49. Vuglinsky V., Valatin D. (2018), Changes in ice cover duration and maximum ice thickness for Rivers and lakes in the Asian part of Russia. *Natural Resources*, 9(03), p. 73. <https://doi.org/10.4236/nr.2018.93006>.
50. Williams G.P. (1970), A note on the break-up of lakes and rivers as indicators of climate change, *Atmosphere*, pp. 23–24, doi: 10.1080/00046973.1970.9676580.
- 51 Zhang X., Harvey K.D., Hogg W.D., Yuzyk T.R. (2001), Trends in Canadian stream flow. *Water Resources Research*, 37(4), pp. 987–998. <https://doi.org/10.1029/2000WR900357>.

## Библиографический список

1. Агафонова С.А., Фролова Н.Л. Влияние ледового режима рек севера европейской территории России на гидроэкологическую безопасность в условиях изменения климата // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2009. № 4. С. 55–61.
2. Агафонова С.А., Фролова Н.Л., Суркова Г.В. Современные характеристики ледового режима арктических рек России и их возможные изменения в XXI веке // Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы. 2017. С. 17–21.
3. Андреев В.Г. Циклические колебания годового стока и их учет при гидрологических расчетах // Труды ГГИ. Вопросы расчетов стока. 1959. № 68. С. 3–50.
4. Антропогенные изменения климата // под ред. М.И. Будыко и Ю.А. Израэля. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 405 с.
5. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 01.09.2022).
6. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии). Бассейн р. Камы // Гидрологический ежегодник. 1956–1985. Т. 4, вып. 5–7.
7. Benson B.J., Magnuson J.J., Jensen O.P., Card V.M., Hodgkins G., Korhonen J. et al. Extreme events, trends, and variability in Northern Hemisphere lake-ice phenology (1855–2005). *Climatic Change*. 2012. 112(2). pp. 299–323. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0212-8>.
8. Chen Y., She Y. Long-term variations of river ice breakup timing across Canada and its response to climate change. *Cold Regions Science and Technology*. 2020. 176, 103091. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2020.103091>.
9. Choiński A., Kolendowicz L., Pociask-Karteczka J., Sobkowiak L. Changes in lake ice cover on the Morskie Oko Lake in Poland (1971–2007). *Advances in Climate Change Research*. 2010. 1(2), pp. 71–75. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1248.2010.00071>.
10. Duguay C.R., Prowse T.D., Bonsal B.R., Brown R.D., Lacroix M.P., Ménard P. Recent trends in Canadian lake ice cover. *Hydrological Processes: An International Journal*. 2006. 20(4), pp. 781–801. <https://doi.org/10.1002/hyp.6131>.
11. Frolova N.L., Magritsky D.V., Kireeva M.B., Agafonova S.A., Povalishnikova E.S. Anthropogenic and climatically conditioned changes in water runoff and ice phenomena in the rivers of the Russian Arctic. *Questions of Geography*. 2018. (145), pp. 233–251.
12. Futter M.N. Patterns and trends in Southern Ontario Lake ice phenology. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2003. 88(1), pp. 431–444. <https://doi.org/10.1023/A:1025549913965>
13. Гинзбург Б.М. Сроки замерзания и вскрытия рек в конце XX века и возможные их изменения в XXI веке // Метеорология и гидрология. 2005. № 12. С. 88–97.
14. Гинзбург Б.М., Солдатова И.И. Многолетние колебания сроков замерзания и вскрытия рек в различных географических зонах // Метеорология и гидрология. 1996. Т. 6. С. 101–108.
15. Гинзбург Б.М., Солдатова И.И. Вековые изменения сроков ледовых явлений на реках и их связь с изменениями климата // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике: Ледотермические аспекты экологии в гидроэнергетике. 1994. С. 20.
16. Heinz G.S., Xing F. Simulated climate change effects on ice and snow covers on lakes in a temperate region. *Cold Regions Science and Technology*. 1997. 25(2), pp. 137–152. [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(96\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(96)00023-7).
17. Helama S., Jiang J., Korhonen J., Holopainen J., Timonen M. Quantifying temporal changes in Tornionjoki river ice breakup dates and spring temperatures in Lapland since 1802. *Journal of Geographical Sciences*. 2013. 23(6), pp. 1069–1079. <https://doi.org/10.1007/s11442-013-1063-1>.
18. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change. The IPCC Scientific Assessment Report Prepared for IPCC by Working Group 1. / Eds. J.T. Houghton, G.J. Jenkins, J.J. Ephraums. 1990. P. 414.
19. Калинин В.Г. Ледовый режим рек и водохранилищ бассейна Верхней и Средней Камы: монография / В.Г. Калинин; Пермский гос. ун-т. 2008. 252 с.
20. Kalinin V.G., Chichagov V.V. Long-term variability of ice formation dates on the rivers of the Votkinsk Reservoir catchment. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2014. № 39(7), pp. 491–497. <https://doi.org/10.3103/S1068373914070085>.
21. Klavins M., Briede A., Rodinov V. Long term changes in ice and discharge regime of rivers in the Baltic region in relation to climatic variability. *Climatic Change*. 2009. № 95(3), pp. 485–498. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9567-5>.
22. Korhonen J. Long-term changes in lake ice cover in Finland. *Hydrology research*. 2006. 37(4–5), pp. 347–363. <https://doi.org/10.2166/nh.2006.019>.
23. Korhonen J. Long-term changes and variability of the winter and spring season hydrological regime in Finland. Doctoral dissertation. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-51-2800-3>. 2019. P. 85.

## Гидрология

Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.

24. Latifovic R., Pouliot D. Analysis of climate change impacts on lake ice phenology in Canada using the historical satellite data record. *Remote Sensing of Environment*. 2007. 106(4). pp. 492–507. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.015>.
25. Lilliefors H.W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American statistical Association*. 1967. 62(318). pp. 399–402.
26. Livingstone D.M. Break-up dates of alpine lakes as proxy data for local and regional mean surface air temperatures. *Climatic Change*. 1997. 37(2). pp. 407–439. <https://doi.org/10.1023/A:1005371925924>.
27. Livingstone D.M. Ice break-up on southern Lake Baikal and its relationship to local and regional air temperatures in Siberia and to the North Atlantic Oscillation. *Limnology and Oceanography*. 1999. 44(6). pp. 1486–1497. <https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.6.1486>.
28. Magnuson J.J., Robertson D.M., Benson B.J., Wynne R.H., Livingstone D.M., Arai T., Assel R.A., Roger G.B., Card V., Kuusisto E., Granin N.G., Prowse T.D., Stewart K.M., Vuglinski V.S. Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere. *Science*. 2000. 289(5485). pp. 1743–1746. doi: 10.1126/science.289.5485.1743.
29. Mann H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*. 1945. pp. 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>.
30. Maslanik J.A., Barry R.G. Lake ice formation and breakup as an indicator of climate change: potential for monitoring using remote sensing techniques. *The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources (Proceedings of the Vancouver Symposium)*. 1987. 168. pp. 153–161.
31. McCuen R.H. Modeling hydrologic change: statistical methods CRC Press LLC. 2003. P. 157.
32. Mudryk L.R., Derksen C., Howell S., Laliberté F., Thackeray C., Sospedra-Alfonso R., Vionnet V., Kushner P.J., Brown R. Canadian snow and sea ice: historical trends and projections. *The Cryosphere*. 2018. 12(4). pp. 1157–1176. <https://doi.org/10.5194/tc-12-1157-2018>.
33. Обязов В.А., Смахтин В.К. Ледовый режим рек Забайкалья в условиях изменяющегося климата // Водные ресурсы. 2014. Т. 41, № 3. С. 227–227. <https://doi.org/10.1134/S0097807814030130>.
34. Паромов В.В., Шантыкова Л.Н. Изменение характеристик ледового режима рек бассейна Верхнего Енисея // Лёд и снег. 2010. № 2. С. 51–55.
35. Razali N.M., Wah Y.B. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *Journal of statistical modeling and analytics*. 2011. 2(1). pp. 21–33.
36. Shapiro S.S., Wilk M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*. 1965. 52(3/4). pp. 591–611. <https://doi.org/10.2307/2333709>.
37. Шимараев М.Н., Куимова Л.Н., Синюкович В.Н., Цехановский В.В. Климат и гидрологические процессы в бассейне оз. Байкал в XX столетии // Метеорология и гидрология. 2002. № 3. С. 71–78. eLIBRARY ID: 21456616.
38. Шкляев А.С., Балков В.А. Климат Пермской области. Пермь, 1963. С. 190.
39. Смахтин В.К. Многолетние изменения характеристик ледового режима озер Забайкалья // Озера Евразии: проблемы и пути их решения. 2019. С. 322–326.
40. Солдатова И.И. Вековые изменения дат вскрытия рек и их связь с изменением климата. Метеорология и гидрология. 1993. № 9. С. 89–96.
41. Солдатова И.И. О датах вскрытия рек в современном климате. Метеорология и гидрология. 1996. № 4. С. 87–94.
42. Stefan H.G., Fang X. A methodology to estimate year-round effects of climate change on water temperature, ice and dissolved oxygen characteristics of temperate zone lakes with application to Minnesota. Project Report 377. 1995. P. 137.
43. Stefan H.G., Fang X. Simulated climate change effects on ice and snow covers on lakes in a temperate region. *Cold Regions Science and Technology*. 1997. Vol. 25, no. 2. pp. 137–152. [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(96\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(96)00023-7).
44. Tanaka M., Yoshino M.M. Re-examination of the climatic change in central Japan based on freezing dates of Lake Suwa. *Weather*. 1982. 37. pp. 252–259. <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1982.tb03626.x>.
45. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Москва: Росгидромет. 2014. 1009 с.
46. Vavrus S.J., Wynne R.H., Foley J.A. Measuring the sensitivity of southern Wisconsin lake ice to climate variations and lake depth using a numerical model. *Limnology and Oceanography*. 1996. 41(5). pp. 822–831. <https://doi.org/10.4319/lo.1996.41.5.0822>.
47. Владимиров А.М. Гидрологические расчёты. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 366 с.
48. Вуглинский В.С. Оценка изменений характеристик ледового режима водных объектов для различных регионов страны в современных климатических условиях // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2014. № 3. С. 32–45.
49. Vuglinsky V., Valatin D. Changes in ice cover duration and maximum ice thickness for Rivers and lakes in the Asian part of Russia. *Natural Resources*. 2018. 9(03). p. 73. <https://doi.org/10.4236/nr.2018.93006>.
50. Williams G.P. A note on the break-up of lakes and rivers as indicators of climate change, *Atmosphere*. 1970. pp. 23–24, doi: 10.1080/00046973.1970.9676580.
51. Zhang X., Harvey K.D., Hogg W.D., Yuzyk T.R. Trends in Canadian stream flow. *Water Resources Research*. 2001. 37(4). pp. 987–998. <https://doi.org/10.1029/2000WR900357>.

Статья поступила в редакцию: 30.10.2023, одобрена после рецензирования: 22.12.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 30 October 2023; approved after review: 22 December 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

*Гидрология**Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.*

## Информация об авторах

## Information about the authors

**Виталий Германович Калинин**

доктор географических наук, заведующий кафедрой гидрологии и охраны водных ресурсов, Пермский государственный национальный исследовательский университет;  
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: [vgkalinin@gmail.com](mailto:vgkalinin@gmail.com)**Vitaliy G. Kalinin**

Doctor of Geographical Sciences, Head of the Department of Hydrology and Water Resources Protection, Perm State University;  
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

**Микова Ксения Дмитриевна**

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](mailto:mikovak@yandex.ru)**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

**Чичагов Владимир Витальевич**

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики, Пермский государственный национальный исследовательский университет;  
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: [chichagov@psu.ru](mailto:chichagov@psu.ru)**Vladimir V. Chichagov**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Higher Mathematics, Perm State University;  
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

**Вклад авторов**

Калинин В.Г. – идея статьи, научное редактирование текста, написание отдельных частей статьи.

Микова К.Д. – обработка данных, выполнение расчетов, написание отдельных частей статьи, подготовка иллюстраций.

Чичагов В.В. – выполнение расчетов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors**

Kalinin V.G. – the idea of the article; scientific editing; writing parts of the article.

Mikova K.D. – data processing; calculations; writing parts of the article; preparation of illustrations.

Chichagov V.V. – numerical experiments.

The authors declare no conflict of interest.

## Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

## МЕТЕОРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.583.1

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-103-112

## ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Юрий Петрович Переведенцев<sup>1</sup>, Константин Михайлович Шанталинский<sup>2</sup>,Надежда Александровна Мирсаева<sup>3</sup>, Александр Анатольевич Николаев<sup>4</sup><sup>1, 2, 3, 4</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия<sup>1</sup> yperaved@kpfu.ru, Scopus Author ID: 6603045210, Author ID: 58828<sup>2</sup> kshantal@kpfu.ru, Scopus Author ID: 7801506829, Author ID: 61808<sup>3</sup> NAMirsaeva@kpfu.ru, Scopus Author ID: 56165230500, Author ID: 741357<sup>4</sup> Aleksandr.Nikolaev@kpfu.ru, Scopus Author ID: 36747501000, Author ID: 61806

**Аннотация.** Рассмотрена динамика изменения температуры воздуха в Казани в XIX–XXI вв. на фоне климатических процессов, происходящих в Северном полушарии. В работе использовались апробированные статистические методы обработки временных рядов, корреляционный и тренд-анализ, фильтр Поттера для выделения низкочастотной компоненты. Установлено, что наиболее быстрыми темпами потепление в регионе происходит в зимне-весенний период. При этом последнее тридцатилетие (1991–2021 гг.) оказалось теплее в каждом месяце, чем 5 предыдущих тридцатилетий. Получена оценка вклада в колебания температуры воздуха в Казани со стороны всего Северного полушария (42 % зимой и 27 % летом). Установлено, что среднегодовые температуры в Казани и всем Северном полушарии до 1970 г. изменялись в противофазе. В зимний период с 1870 г. в Казани температура повысилась на 4,7 °С. В летний период на низкочастотной кривой температуры в Казани в период 1920–1960 гг. обнаружен «горб» (потепление), что можно объяснить тем, что в этот период атмосфера в Северном полушарии была более прозрачной (на 2 %), чем в остальные периоды. Последствия изменения климата последних десятилетий в регионе отразились на динамике агроклиматических ресурсов Татарстана. С этой целью рассчитан ряд агрометеорологических показателей, в том числе индекс сухости Будыко, гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) и коэффициент увлажнения Сапожниковой. Согласно сделанным оценкам, произошло увеличение продолжительности вегетационного периода, суммы эффективных температур и наметилась слабая тенденция роста засушливости в летний период. С использованием ансамблевых расчетов по 40 климатическим моделям из проекта CMIP6 дана оценка будущих изменений климата в регионе, согласно которым ожидается увеличение годовой температуры в Казани к концу XXI в. на 2,4 °С, учитывая сценарий ssp245. При самом «жестком» сценарии ssp585 этот прирост составит 5,5 °С.

**Ключевые слова:** температура воздуха, низкочастотные колебания, линейные тренды, корреляция, агроклиматические показатели.

**Финансирование:** работа выполнена при финансовой поддержке РНФ и Кабинета Министров Республики Татарстан в рамках научного проекта № 22-27-20080.

**Для цитирования:** Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А. Изменения климата на территории Республики Татарстан // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 103–112. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-103-112

## METEOROLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-103-112

## CLIMATE CHANGE ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Yuri P. Perevedentsev<sup>1</sup>, Konstantin M. Shantalinsky<sup>2</sup>, Nadezhda A. Mirsaeva<sup>3</sup>, Alexander A. Nikolaev<sup>4</sup><sup>1, 2, 3, 4</sup> Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia<sup>1</sup> yperaved@kpfu.ru, Scopus Author ID: 6603045210, Author ID: 58828<sup>2</sup> kshantal@kpfu.ru, Scopus Author ID: 7801506829, Author ID: 61808<sup>3</sup> NAMirsaeva@kpfu.ru, Scopus Author ID: 56165230500, Author ID: 741357<sup>4</sup> Aleksandr.Nikolaev@kpfu.ru, Scopus Author ID: 36747501000, Author ID: 61806

## Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

**Abstract.** The paper looks at the dynamics of air temperature changes in Kazan in the 19th–21st centuries against the background of climatic processes occurring in the Northern hemisphere. The study used proven statistical methods of time series processing, correlation and trend analysis, and a Potter filter to isolate the low-frequency component. The fastest rate of warming in the region was established to occur in the winter-spring period. At the same time, the three decades between 1991 and 2021 turned out to be warmer in each month than the 5 previous three-decade periods. The contribution of the entire Northern Hemisphere to the fluctuations in the air temperature in Kazan was estimated (42% in winter and 27% in summer). It has been established that the average annual temperatures in Kazan and the entire Northern Hemisphere changed in the opposite phase until 1970. Since 1870, the winter temperature in Kazan has increased by 4.7°C. During the summer period, a ‘hump’ (warming) was detected on the low-frequency temperature curve in Kazan in the period 1920–1960, which can be explained by the fact that during this period the atmosphere in the Northern Hemisphere was more transparent (by 2%) than in the other periods. The consequences of climate change in the region in recent decades have had an effect on the dynamics of agro-climatic resources of Tatarstan. Several agrometeorological indicators were calculated, including the M.I. Budyko dryness index, the Selyaninov hydrothermal coefficient (HTC), and the Sapozhnikova moisture coefficient. According to the estimates made, there has been an increase in the duration of the growing season and the sum of effective temperatures, and also a weak trend toward increasing aridity in the summer period has emerged. Using ensemble calculations based on 40 climate models from the CMIP6 project, the paper provides an assessment of future climate changes in the region: the annual temperature in Kazan is expected to increase by 2.4°C by the end of the 21st century according to the ssp245 scenario. Under the ‘toughest’ ssp585 scenario, this increase will be 5.5°C.

**Keywords:** air temperature, low-frequency fluctuations, linear trends, correlation, agro-climatic indicators

**Funding:** The study was financially supported by the Russian Science Foundation and the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan as part of scientific project No. 22-27-20080.

**For citation:** Perevedentsev, Yu.P., Shantalinsky, K.M., Mirsaeva, N.A., Nikolaev, A.A. (2024). Climate change on the territory of the Republic of Tatarstan. *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 103–112. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-103-112

## Введение

В последние годы опубликован ряд обобщающих докладов, в которых нашли свое отражение происходящие изменения климата как на территории Земного шара [19], так и в России [17]. Актуальные проблемы по недопущению глобального превышения приповерхностной температуры воздуха порогового значения в 1,5 °С относительно «доиндустриального» периода 1850–1900 гг. обсуждены недавно на Всемирной конференции по климату (Шарм-Эль-Шейх, Египет, октябрь 2022 г.).

В этих документах дан комплексный анализ по взаимодействию всех компонент климатической системы, включающей в себя атмосферу, гидросферу, сушу, криосферу и биосферу. Особое внимание уделено настоящим и будущим проявлениям экстремальных явлений. Подчеркивается роль антропогенного фактора в происходящих природных процессах. В настоящей статье рассматриваются долговременные климатические изменения, происходящие на территории Республики Татарстан (РТ), начиная с 1828 г. по настоящее время, что оказалось возможным благодаря образованию в 1812 г. Метеорологической обсерватории при Казанском университете – первой метеостанции на Востоке России [16]. Следует отметить, что первую научную статью о климате Казани – «Следствия из метеорологических наблюдений в Казани 1814 г.» – опубликовал профессор Ф.К. Броннер [2]. Многолетняя история развития метеорологических и климатических исследований в Казанском университете представлена в [13].

Первой обобщающей работой по климату региона явилась монография Н.В. Колобова [6], в которой с использованием 25 метеостанций дано комплексное описание температурно-влажностного режима в период 1901–1962 гг. При этом полученные результаты не относятся к периоду активной фазы потепления климата, начавшейся с середины 1970-х гг. В этой работе не давалась оценка вклада глобального фактора в региональные процессы, а также макромасштабных циркуляционных мод. В более современной монографии – «Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа» (2013 г.) [15] – на основании данных 186 метеостанций представлено описание климатических процессов в более поздний период (1966–2009 гг.), что позволило учесть влияние глобального потепления на динамику температуры и атмосферных осадков в регионе. Однако не была сделана оценка будущих изменений климата. В настоящей статье впервые дан анализ процессов за наиболее длительный период (с 1828 по

*Метеорология**Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.*

2021 г.) в регионе на фоне происходящих процессов в Северном полушарии, что позволило оценить вклад макромасштабных факторов в региональные изменения, а также выделить долгопериодные колебания температуры. Кроме того, с использованием проекта CMIP6 оценены изменения температуры до конца XXI в.

Важное внимание в последние годы уделяется также исследованию экстремальных климатических проявлений на территории России, в частности природе летней засухи в Европейской части 2010 г., возникшей из-за блокинга, которая привела к значительной потере урожая [1]. Так, в июле 2010 г. на территории Татарстана значение ГТК снизилось до 0,16, что свидетельствует об очень сильной засухе, а урожайность – до 37 % от предыдущего года. Влияние погодно-климатических условий на урожайность яровой пшеницы на территории Татарстана в последние десятилетия рассмотрено в [9].

В настоящем исследовании решаются 2 главные проблемы. Первая – это выявление долгопериодных колебаний температуры воздуха в Казани, что является продолжением ранее выполненных исследований по климату региона, и вторая – проблема оценки динамики агроклиматических показателей с использованием методов, изложенных в [7, 14].

Многолетний метеорологический ряд в Казани позволяет получить представление о происходящих климатических изменениях в целом и по Среднему Поволжью, так как между изменениями температуры воздуха (ТВ) в Казани и на других метеостанциях Приволжского федерального округа (ПФО) существует высокая корреляционная связь ( $r > 0,9$ ), как следует из работы [21].

Привлечение к анализу архива данных о температуре воздуха в узлах регулярной географической сетки на всем земном шаре (с 1850 г.) позволяет анализировать изменения регионального климата на фоне глобальных процессов и оценивать вклад глобальных процессов в региональные.

Кроме того, будет дана оценка вклада глобального фактора в региональные изменения ТВ, а также макромасштабных циркуляционных процессов в температурный режим РТ.

Данная статья является развитием более ранних публикаций авторов по проблеме изучения климата региона [5, 11–12], в которых дана оценка регионального потепления в конце XX и начале XXI в. на фоне процессов, происходящих в тропостратосфере Северного полушария.

**Методика исследования**

Цель статьи: рассмотреть долгопериодные изменения температуры воздуха в Казани на фоне меняющегося температурного режима Северного полушария в период 1828–2021 гг. и оценить динамику агроклиматических ресурсов на территории Республики Татарстан в период 1950–2021 гг.

Задачами исследования являются: оценка вклада глобального и циркуляционного фактора в изменения термического режима в Казани, оценка сезонных изменений температуры до конца XXI в. с использованием результатов ансамблевых расчетов по 40 климатическим моделям проекта CMIP6, а также степени увлажненности и засушливости территории Татарстана с использованием индексов сухости Будыко, гидротермического коэффициента Селянинова и коэффициента увлажнения Сапожниковой.

В качестве исходных данных в работе использовались результаты наблюдений метеостанции Казань, университет (1828–2021 гг.) – одной из старейших в России, а также результаты ежедневных наблюдений на 13 метеостанциях РТ. Для оценки долговременных изменений ТВ в Северном полушарии использовались данные приземной температуры воздуха по Северному полушарию (1850–2021 гг.) Университета Восточной Англии (CRU) [18, 20].

Многолетние данные подвергались статистической обработке. Находились средние значения, средние квадратические отклонения, коэффициенты наклона линейного тренда, коэффициенты корреляции между ТВ и индексами атмосферной циркуляции [8].

## Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

Для характеристики увлажненности региона рассчитывались индекс сухости Будыко (ИС), гидрометрический коэффициент Селянинова (ГТК) и коэффициент увлажнения Сапожниковой (КУ) по формулам:

$$ИС = \frac{0,18 \sum T_{>10^{\circ}C}}{R_{I-XII}}, \quad (1)$$

$$ГТК = \frac{R_{VI-VIII}}{0,1 \sum T_{VI-VIII}}, \quad (2)$$

$$КУ = \frac{0,5R_{X-III} + R_{IV-IX}}{0,18 \sum T_{IV-IX}}, \quad (3)$$

где  $T$  – среднесуточная температура,  $^{\circ}C$ ,  $R$  – сумма осадков, мм.

Биологическая эффективность климата оценивалась с помощью индекса биологической эффективности климата (БЭК) [8]:

$$БЭК = (0,01 \sum T_{>10^{\circ}C}) \cdot КУ, \quad (4)$$

где КУ – коэффициент увлажнения, который находится как отношение годового количества осадков ( $R$ , мм) к годовой испаряемости ( $E$ , мм).

Выбранные подходы апробированы в российской климатологии и агрометеорологии и позволяют получать адекватные результаты.

## Результаты исследований

Рассматривались долгопериодные колебания ТВ в Казани в период 1850–2021 гг. (172-летний период) на фоне изменения температуры на суше Северного полушария (СП) и СП в целом. С этой целью среди аномалий среднегодовых, зимних и летних температур, осредненных для территории суши СП, всего полушария и Казани, рассчитанных относительно норм за 1961–1990 гг., выделялись низкочастотные колебания с периодом более 25 лет. Результаты представлены на рис. 1, из которого видно, что среднегодовые температуры (СГТВ) всего СП и Казани до 1970 г. изменялись в противофазе (рис. 1А). Так, в 1942 г. аномалия СГТВ для СП достигла максимума и составила  $+0,1^{\circ}C$ , а в Казани, наоборот, отмечен минимум  $-0,6^{\circ}C$ , т.е. в регионе наблюдалось похолодание. С 1970-х гг. по 2021 г. СГТВ в Казани повысилась на  $2,2^{\circ}C$ , а на всем СП – на  $1,7^{\circ}C$ , потепление в регионе происходило более интенсивно, чем в СП.

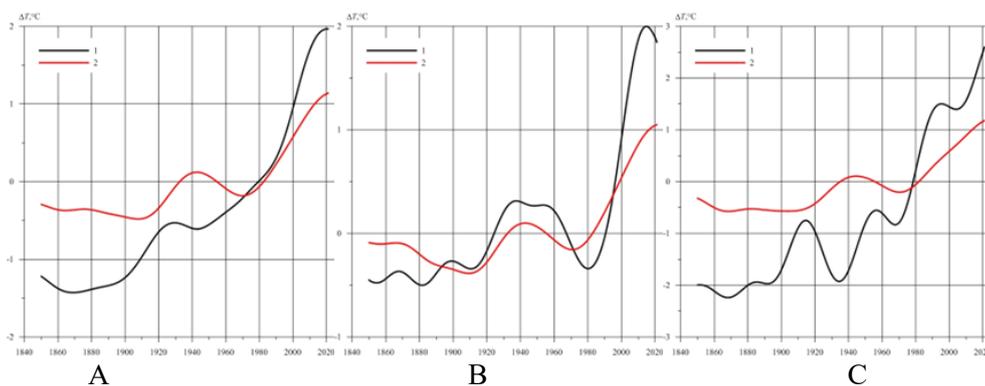


Рис. 1. Низкочастотная компонента аномалий (1961–1990 гг.) температуры воздуха на ст. Казань, университет (1) и приповерхностной температуры Северного полушария [20] (2) 1850–2021 гг. за год (А), лето (В), зиму (С)  
Fig. 1. The low-frequency component of the anomalies (1961–1990) of air temperature at the station Kazan (University) (1) and surface temperature of the Northern Hemisphere [20] (2) 1850–2021 for the year (A), summer (B), winter (C)

В зимний период картина заметно отличается от среднегодовой (рис. 1С). На фоне достаточно плавного повышения ТВ в СП, температура в Казани испытывает значительные колебания. В целом с 1870 г. зимняя ТВ в Казани повысилась на  $4,7^{\circ}C$ , при этом наибольший

## Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

прирост (3,3 °С) пришелся на фазу активного потепления климата (с 1970 г.). В СП зимняя температура повысилась за весь период лишь на 1,6 °С. В летний период (рис. 1В) отмечаются значительные квазисинхронные колебания ТВ в Казани и в СП. Так, в 1910 г. отмечается минимум ТВ, в 1940 г. – максимум, затем в 1970–1980 гг. вновь минимум ТВ и, начиная с середины 1970-х гг., в СП, а в Казани лишь с 1980 г. отмечается ее интенсивный подъем (потепление). Этот прирост для СП составил 1,2 °С, а для Казани 2,3 °С. Обнаруженный «горб» на низкочастотной кривой температуры воздуха в период 1920–1960 гг. можно объяснить с позиций учета двух факторов. В период 1918–1947 гг. прямая радиация в условиях повышенной прозрачности атмосферы в СП была на 2 % больше, чем в более ранний период 1888–1917 гг., что привело к возрастанию температуры в Казани примерно на 0,7 °С. Кроме того, не исключается влияние квазистесятилетнего цикла, отмеченного в колебаниях температуры [3–4].

В табл. 1 представлены осредненные по 30-летним периодам температуры воздуха по месяцам, основным сезонам и годам для ст. Казань, университет. Как и следовало ожидать, последнее тридцатилетие (1991–2020 гг.) оказалось теплее предыдущих во всех месяцах года. Следует отметить, что данные табл. 1, относящиеся к сезонам и году, хорошо коррелируют с данными рис. 1. Они также позволяют выделять периоды колебаний температуры (потеплений и похолоданий).

Таблица 1

Тридцатилетние нормы температуры воздуха (°С) на метеорологической станции Казань, университет за период 1841–2020 гг.

Thirty-year norms of air temperature (°C) at the meteorological station Kazan (University) for the period 1841–2020

Месяцы	Периоды					
	1841–1870	1871–1900	1901–1930	1931–1960	1961–1990	1991–2020
I	–13,73	–14,26	–12,26	–12,42	–12,25	–9,46
II	–11,97	–12,54	–12,01	–12,17	–10,64	–9,15
III	–7,07	–6,58	–5,93	–5,81	–4,19	–2,69
IV	2,89	2,91	4,29	4,51	5,42	6,41
V	12,12	12,94	12,66	12,79	13,81	14,63
VI	17,48	17,05	17,96	18,48	17,89	18,89
VII	20,15	19,80	19,73	20,17	20,15	21,23
VIII	17,57	17,44	17,50	18,18	17,75	18,90
IX	11,26	10,81	11,26	12,17	11,82	12,92
X	3,80	3,94	3,47	4,23	4,47	5,84
XI	–3,60	–4,15	–3,38	–3,04	–2,68	–1,94
XII	–11,35	–10,65	–10,33	–9,59	–8,34	–7,49
Год	3,13	3,06	3,58	3,96	4,44	5,68
Лето	18,40	18,10	18,40	18,94	18,60	19,70
Зима	–12,32	–12,58	–11,47	–11,52	–10,38	–8,65

Рассчитанные за весь период (1828–2021 гг.) коэффициенты наклона линейного тренда (КНЛТ) показали, что в зимний период температура воздуха повышалась со скоростью 0,24 °С/10 лет, летом потепление было выражено заметно слабее (КНЛТ = 0,10 °С/10 лет). В целом наибольшие значения КНЛТ приходятся на зимне-весенние месяцы (в декабре КНЛТ = 0,28, в марте 0,25 °С/10 лет), которые и обусловили основной вклад в годовое потепление климата региона. Следует отметить, что колебания ТВ в Казани тесно связаны с колебаниями ТВ в целом всего СП. Коэффициенты корреляции ( $r$ ), рассчитанные между ТВ Казани и СП для периода 1850–2021 гг., оказались значимыми для всех месяцев года и изменялись в пределах: от 0,40 (июнь, июль) до 0,68 (январь, март). Величины  $r$  для года, лета и зимы оказались равными 0,79; 0,52; 0,66, что соответствует глобальному вкладу в региональный на уровне 63 % (для года), 27 % (лета), 43 % (зимы). Весомый вклад в изменения ТВ вносят и

## Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

циркуляционные моды. Зимой коэффициенты корреляции между ТВ в Казани и индексом Северо-Атлантического колебания достигает 0,60 (отепляющее воздействие), Скандинавское колебание приводит к понижению зимой ТВ ( $r = -0,49$ ), в летний период главная роль в охлаждении региона принадлежит колебанию Восточная Атлантика – Западная Россия ( $r = -0,71$ ).

Для оценки будущих изменений ТВ в Казани были привлечены результаты ансамблевых расчетов по 40 климатическим моделям проекта СМIP6. Были выбраны 2 сценария: наиболее вероятный (умеренный) сценарий ssp245, согласно которому к концу XXI в. радиационное воздействие увеличится на 4,5 Вт/м<sup>2</sup> по сравнению с периодом до 1750 г., а концентрация CO<sub>2</sub> возрастет до 600 млн<sup>-1</sup> (в настоящее время она порядка 420 млн<sup>-1</sup>); при жестком сценарии ssp585 радиационное воздействие возрастет на 8,5 Вт/м<sup>2</sup> и концентрация CO<sub>2</sub> увеличится в 4 раза. Результаты расчетов по 20-летним периодам представлены в табл. 2.

Согласно данным табл. 2, по наиболее вероятному сценарию ТВ в Казани между 2021–2040 и 2081–2100 гг. зимой возрастет на 2,9 °С, весной на 2,37 °С, летом на 2,12 °С, осенью на 2,18 °С и за год на 2,4 °С, т.е. потепление будет происходить в основном в холодное время года. Согласно жесткому сценарию, в конце столетия годовая температура возрастет на 5,5 °С, а зимой на 6,6 °С.

Таблица 2

Прогнозные средние сезонные и годовые величины температуры воздуха (°С)  
в Казани в XXI столетии при различных климатических сценариях  
Forecast average seasonal and annual values of air temperature (°C)  
in Kazan in the 21st century under various climatic scenarios

Сценарий	Период (годы)	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	$\Delta T_p$ , °С
ssp245	2021–2100	-7,43	6,68	20,91	7,35	6,9	2,4
	2021–2040	-8,95	5,40	19,75	6,19	5,6	
	2041–2060	-7,83	6,43	20,67	7,10	6,6	
	2061–2080	-6,79	7,17	21,39	7,80	7,4	
	2081–2100	-6,07	7,77	21,87	8,37	8,0	
ssp585	2021–2100	-5,92	8,18	23,16	9,00	8,6	5,5
	2021–2040	-9,07	5,68	20,73	6,64	6,0	
	2041–2060	-7,16	7,24	22,16	8,07	7,6	
	2061–2080	-4,82	9,04	23,93	9,74	9,5	
	2081–2100	-2,50	10,88	25,93	11,65	11,5	

Примечание:  $\Delta T_p$  – разница в среднегодовой температуре воздуха между 2081–2100 и 2021–2040 гг.

Note:  $\Delta T_p$  is the difference in the average annual air temperature between 2081–2100 and 2021–2040.

В качестве последствий климатических изменений рассмотрим динамику агроклиматических ресурсов РТ в период 1966–2021 гг. Вначале обратимся к основным параметрам вегетационного периода, связанным с переходом средней суточной температуры воздуха через определенные пределы. Анализ полученных результатов определения дат перехода ССТ через значение 10 °С весной и осенью по методике Педя [10] продолжительности периода с ССТ > 10 °С, сумм температур и осадков показал, что между станциями нет больших различий (табл. 3).

## Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

Таблица 3

Характеристики периода со среднесуточными температурами более 10 °С  
 Characteristics of the period with average daily temperatures above 10°C

Станция	Начало периода	Конец периода	Продолжительность периода, сутки	Сумма температур, °С	Сумма осадков, мм
Арск	126	268	142	2319	239
Елабуга	123	271	148	2440	260
Вязовые	124	270	147	2424	240
Казань	123	270	148	2476	261
Мензелинск	126	269	144	2358	234
Кайбицы	123	269	147	2398	227
Муслюмово	123	271	149	2441	235
Акташ	122	270	149	2429	234
Азнакаево	124	268	145	2342	245
Тетюши	124	270	148	2421	238
Дрожжаное	124	268	144	2365	244
Бугульма	124	268	145	2315	262
Чулпаново	122	270	148	2434	235

Примечание: Начало и конец периода вычисляются в днях от начала года.

Note: The beginning and end of the period are calculated in days from the start of the year.

Следует отметить, что весной начало рассматриваемого периода смещается на более ранние сроки со скоростью 0,2 дня/10 лет, а осенью переход наступает позднее со скоростью 1,4 дня/10 лет.

Для характеристики увлажненности территории по данным 13 метеостанций РТ рассчитывались индексы сухости Будыко, ГТК Селянинова и коэффициент увлажнения (КУ) Сапожниковой по формулам (1)–(3). Результаты расчетов за период с ССТ>10 °С представлены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристики увлажненности территории РТ  
 Characteristics of moisture content on the territory of the Republic of Tatarstan

Станция	Индекс сухости (лето)		ГТК		КУ	
	Среднее значение	КНЛТ, ед./10 лет	Среднее значение	КНЛТ, ед./10 лет	Среднее значение	КНЛТ, ед./10 лет
Арск	2,72	0,10	1,05	-0,2	0,91	-0,2
Елабуга	2,94	0,23	1,09	-0,2	0,92	-0,3
Вязовые	3,00	0,04	1,01	0,0	0,83	0,0
Казань	2,70	0,16	1,07	-0,4	0,92	-0,2
Мензелинск	2,86	0,15	1,00	-0,3	0,83	-0,3
Кайбицы	3,16	0,15	0,96	-0,4	0,81	-0,2
Муслюмово	3,13	0,21	0,98	-0,3	0,77	-0,2
Акташ	3,26	0,17	0,98	-0,2	0,83	-0,1
Азнакаево	3,05	0,37	1,06	-0,3	0,88	-0,2
Тетюши	2,93	0,09	1,00	-0,2	0,84	-0,1
Дрожжаное	2,81	0,11	1,05	-0,1	0,86	-0,2
Бугульма	2,87	0,38	1,16	-0,4	0,94	-0,3
Чулпаново	3,12	0,19	0,98	-0,3	0,81	-0,2

Как видно из табл. 4, индекс сухости в летний период меняется по территории от 2,70 (ст. Казань) до 3,16 (ст. Кайбицы), индекс ГТК от 0,96 (ст. Кайбицы) до 1,16 (ст. Бугульма), величина КУ от 0,84 (ст. Муслюмово) до 1,03 (ст. Бугульма), что свидетельствует в целом о сбалансированности прихода и расхода влаги. При этом значения КНЛТ имеют положительный знак для индекса сухости и отрицательный для ГТК и КУ, что указывает на слабую тенденцию роста засушливости в регионе.

## Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

## Заключение

В результате выполненного исследования получены новые данные об изменчивости основных климатических показателей в регионе за длительный период. В 1828–2021 гг. в Казани во всех месяцах выявлена неравномерная тенденция роста ТВ: максимальная скорость потепления в декабре (КНЛТ = 0,28 °C/10 лет) и в марте (КНЛТ = 0,25 °C/10 лет), минимальная в июле (КНЛТ = 0,09 °C/10 лет). Вклад глобального фактора потепления в региональный составляет для года 63 %, для лета 27 % и 43 % для зимы. В зимний период температура в Казани имеет достаточно высокую зависимость от Северо-Атлантического колебания (коэффициент корреляции равен 0,60) и от Скандинавского колебания ( $r = -0,49$ ). В летний период тесная связь устанавливается между ТВ Казани и колебанием Восточная Атлантика – Западная Россия ( $r = -0,71$ ). Зимой Северная Атлантика способствует нагреву региона, а летом охлаждению.

Наблюдается динамика агроклиматических ресурсов. Так, переход SST через 10 °C весной на территории РТ происходит на 122–126 сутки от начала года, а осенью заканчивается на 268–271 сутки. Продолжительность активной фазы вегетационного периода растет со скоростью от 0,57 до 3,38 суток/10 лет за счет ее более раннего наступления весной и более позднего завершения осенью. Сумма активных температур в РТ растет со скоростью 51–77 °C/10 лет, в поле атмосферных осадков, наоборот, проявляется неоднородность: по данным одних станций, суммы осадков уменьшаются, а по другим – растут. Анализ показателей увлажненности и засушливости (индексов Будыко, ГТК, Сапожниковой) выявил, что в целом на территории Татарстана выполняется примерное равенство между приходом и расходом влаги. Вместе с тем тренды этих показателей говорят о слабой тенденции роста засушливости в летний период.

Оценка показателя биологической эффективности климата (БЭК) демонстрирует, что в целом по РТ он близок к своему оптимальному значению (БЭК  $\approx$  22).

## Библиографический список

1. Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 г. Сборник докладов / под ред. Н.П. Шакиной. ГУ «Гидрометцентр России». М.: Триада, Лтд, 2011. 72 с.
2. Броннер Ф.К. Следствия из метеорологических наблюдений в Казани 1814 года // Казанские известия. 1815. № 35. С. 200–202.
3. Будыко М.И. Климат и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 472 с.
4. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2012. 194 с.
5. Климат Казани и его изменения в современный период / под ред. Ю.П. Переведенцева, Э.П. Наумова. Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2006. 216 с.
6. Колобов Н.В. Климат Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1968. 252 с.
7. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / под ред. С.М. Семенова. М.: Росгидромет, 2012. 508 с.
8. Отнес Р.К. Прикладной анализ временных рядов. М.: Мир, 1982. 428 с.
9. Павлова В.Н., Переведенцев Ю.П., Караченкова А.А., Тагиров М.Ш., Мирсаева Н.А. Оценка агроклиматических ресурсов и урожайности яровой пшеницы в Республике Татарстан // Метеорология и гидрология. 2023. № 1. С. 90–102.
10. Педь Д.А. Определение дат устойчивого перехода температуры воздуха через определенные значения // Метеорология и гидрология. 1951. № 10. С. 38–39.
11. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Николаев А.А. Региональные проявления современного потепления климата в тропостратосфере Северного полушария // Изв. Российской академии наук. Сер. геогр. 2005. № 6. С. 6–16.
12. Переведенцев Ю.П., Гоголь Ф.В., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Динамика полей температуры воздуха Северного полушария в современный период // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4, № 1. С. 73–80.
13. Переведенцев Ю.П., Мирсаева Н.А. Становление и развитие метеорологических наблюдений и климатических исследований в Казанском университете // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 7, № 4. С. 5–25.
14. Переведенцев Ю.П., Павлова В.Н., Парубова Е.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А., Шанталинский К.М. Современные тенденции изменения агроклиматических ресурсов на территории Приволжского федерального округа // Фундаментальная и прикладная климатология. 2022. Т. 8, № 4. С. 477–501.
15. Переведенцев Ю.П., Соколов В.В., Наумов Э.П. Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа. Казань: Казанский ун-т, 2013. 272 с.
16. Смоляков П.Т. К 125-летию Метеорологической обсерватории Казанского государственного университета им. В.И. Ульянова-Ленина // Уч. записки Казанск. ун-та. 1936. Т. 96, кн. 1. С. 9–14.
17. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. СПб.: Научно-технологические, 2022. 124 с.

## Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

18. Университет Восточной Англии. URL: <https://www.uea.ac.uk/groups-and-centres/climatic-research-unit/data> (дата обращения: 28.12.2022).
19. Шестой оценочный доклад МГЭИК. Изменение климата 2022: последствия, адаптация и уязвимость. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (дата обращения: 28.12.2022).
20. Osborn T.J., Jones P.D., Lister D.H., Morice C.P., Simpson I.R., Winn J.P., Hogan E., Harris I.C. 2021. Land surface air temperature variations across the globe updated to 2019: the CRUTEM5 dataset. *Journal of Geophys. Res.: Atmospheres*, 126, e2019JD032352, doi: 10.1029/2019JD032352.
21. Perevedentsev Y., Gusarov A., Mirsaeva N., Sherstyukov B., Shantalinsky K., Guryanov V., Aukhadееv T. 2022. Contemporary Climate Change and Its Hydrological Consequence in the Volga Federal District, European Russia. *Climate*, 10, 198, doi.org/10.3390/cli10120198.

## References

1. Shakina N.P. (ed.) (2011) *Analiz uslovij anomal'noj pogody na territorii Rossii letom 2010* [Analysis of abnormal weather conditions on the territory of Russia in the summer of 2010]. GA «Hydrometeorological Center of Russia». Triada, Ltd, Moscow, Russia.
2. Bronner F.K. (1815) Consequences from meteorological observations in Kazan in 1814. *Kazanskie izvestija*, no. 35, pp. 200–202.
3. Budyko M.I. (1971) *Klimat i zhizn'* [Climate and life], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia.
4. Gruza G.V., Rankova E.Ya. (2012) *Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozduha* [Observed and expected climate changes in Russia: air temperature], RIHMI-WDC, Obninsk, Russia.
5. Perevedentsev Yu.P., Naumov E.P. (2006) *Klimat Kazani i ego izmeneniya v sovremennyj period* [The climate of Kazan and its changes in the modern period], Publishing house of Kazan State University, Kazan, Russia.
6. Kolobov N.V. (1968) *Klimat Srednego Povolzh'ja* [Climate of the Middle Volga region], Publishing house of Kazan State University, Kazan, Russia.
7. Semenov S.M. (2012) *Metody ocenki posledstvij izmeneniya klimata dlja fizicheskikh i biologicheskikh system* [Methods for assessing the effects of climate change on physical and biological systems], Rosgidromet, Moscow, Russia.
8. Otnes R.K. (1982) *Prikladnoj analiz vremennyh rjadov* [Applied Time Series Analysis], Mir, Moscow, Russia.
9. Pavlova V.N., Perevedentsev Yu.P., Karachenkova A.A., Tagirov M.Sh., Mirsaeva N.A. (2023) Assessment of agro-climatic resources and productivity of spring wheat in the Republic of Tatarstan // *Meteorologija i gidrologija*, no. 1, pp. 90–102.
10. Ped' D.A. (1951) Determination of dates of stable transition of air temperature through certain values // *Meteorologija i gidrologija*, no. 10, pp. 38–39.
11. Perevedentsev Yu.P., Vereshhagin M.A., Naumov E.P., Shantalinsky K.M., Nikolaev A.A. (2005) Regional manifestations of modern climate warming in the tropo-stratosphere of the Northern Hemisphere // *Izv. Rossijskoj akademii nauk. Ser. geogr.*, no. 6, pp. 6–16.
12. Perevedentsev Yu.P., Gogol' F.V., Naumov E.P., Shantalinsky K.M. (2007) Dynamics of air temperature fields in the Northern Hemisphere in the modern period, *Problemy analiza riska*, vol. 4, no. 1, pp. 73–80.
13. Perevedentsev Yu.P., Mirsaeva N.A. (2021) Formation and development of meteorological observations and climate research at Kazan University // *Fundamental'naja i prikladnaja klimatologija*, vol. 7, no. 4, pp. 5–25.
14. Perevedentsev Yu.P., Pavlova V.N., Parubova E.M., Mirsaeva N.A., Nikolaev A.A., Shantalinsky K.M. (2022) Modern trends in changes in agro-climatic resources in the Volga Federal District // *Fundamental'naja i prikladnaja klimatologija*, vol. 8, no. 4, pp. 477–501.
15. Perevedentsev Yu.P., Sokolov V.V., Naumov E.P. (2013) *Klimat i okruzhajushhaja sreda Privolzhskogo federal'nogo okruga* [Climate and environment of the Volga Federal District], Publishing house of Kazan State University, Kazan, Russia.
16. Smoljakov P.T. (1936) To the 125th anniversary of the Meteorological Observatory of Kazan State University named after V.I. Ulyanov-Lenin // *Uch. zapiski Kazansk. un-ta*, vol. 96, book. 1, pp. 9–14.
17. Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary (2022) Science-intensive technologies, St. Petersburg, Russia.
18. University of East Anglia, available at: <https://www.uea.ac.uk/groups-and-centres/climatic-research-unit/data> (Access: 28 December 2022).
19. Sixth Assessment Report of the IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability, available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (Access: 28 December 2022).
20. Osborn T.J., Jones P.D., Lister D.H., Morice C.P., Simpson I.R., Winn J.P., Hogan E., Harris I.C. (2021) Land surface air temperature variations across the globe updated to 2019: the CRUTEM5 dataset, *Journal of Geophys. Res.: Atmospheres*, 126, e2019JD032352, doi: 10.1029/2019JD032352.
21. Perevedentsev Yu.P., Gusarov A., Mirsaeva N., Sherstyukov B., Shantalinsky K., Guryanov V., Aukhadееv T. (2022) Contemporary Climate Change and Its Hydrological Consequence in the Volga Federal District, European Russia. *Climate*, no. 10, 198, doi.org/10.3390/cli10120198.

Статья поступила в редакцию: 25.04.23, одобрена после рецензирования: 22.05.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 25 April 2023; approved after review: 22 May 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

*Метеорология**Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.*

## Информация об авторах

## Information about the authors

**Юрий Петрович Переведенцев**

доктор географических наук, профессор кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета;  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18  
e-mail: yperaved@kpfu.ru

**Yuri P. Perevedentsev**

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Institute of Environmental Sciences and Nature Management of Kazan (Volga Region) Federal University;  
18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia

**Константин Михайлович Шанталинский**

кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета;  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18  
e-mail: kshantal@kpfu.ru

**Konstantin M. Shantalinsky**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Institute of Environmental Sciences and Nature Management of Kazan (Volga Region) Federal University;  
18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia

**Надежда Александровна Мирсаева**

кандидат географических наук, заведующий кафедрой метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета;  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

**Nadezhda A. Mirsaeva**

Candidate of Geographical Sciences, Head of the Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Institute of Environmental Sciences and Nature Management of Kazan (Volga Region) Federal University;  
18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia

e-mail: NAMirsaeva@kpfu.ru

**Александр Анатольевич Николаев**

кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета;  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18  
e-mail: Aleksandr.Nikolaev@kpfu.ru

**Alexander A. Nikolaev**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Institute of Environmental Sciences and Nature Management of Kazan (Volga Region) Federal University;  
18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia

**Вклад авторов**

Переведенцев Ю.П. – идея статьи, организация работ, анализ данных, написание статьи.  
Шанталинский К.М. – проведение расчетов, сбор и обработка данных, подготовка графического материала.  
Мирсаева Н.А. – анализ данных, редактирование статьи.  
Николаев А.А. – проведение расчетов, подготовка графического материала.  
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors**

Yuri P. Perevedentsev – idea of the article; organization of work; data analysis; writing the article.  
Konstantin M. Shantalinsky – numerical simulations; data collection and processing; preparation of graphic material.  
Nadezhda A. Mirsaeva – data analysis; editing of the article.  
Alexander A. Nikolaev – numerical simulations; preparation of graphic material.  
The authors declare no conflict of interest.

## Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Научная статья

УДК 551.58

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-113-123

**ИЗМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА ЗА ПЕРИОД 1961–2022 гг.****Людмила Михайловна Федченко<sup>1</sup>, Алла Амарбиевна Ташилова<sup>2</sup>, Лара Асировна Кешева<sup>3</sup>,  
Наталья Вячеславовна Теунова<sup>4</sup>**<sup>1, 2, 3, 4</sup> Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик, Россия<sup>1</sup> fedchenkolm@mail.ru, Scopus ID: 6602297635, ResearcherID: AAB-3697-2019, eLibrary: 00059651<sup>2</sup> tashilovaa@mail.ru, Scopus ID: 57191577384, ResearcherID: K-4321-2015, eLibrary: 00048834<sup>3</sup> kesheva.lara@yandex.ru, Scopus ID: 57191577471, ResearcherID: K-4261-2015, eLibrary: 00048827<sup>4</sup> nata0770@yandex.ru, Scopus ID: 57191571952, ResearcherID: K-4312-2015, eLibrary: 00048831

**Аннотация.** Объектом исследования является Северо-Кавказский регион, богатый разнообразными природными ландшафтами и отличающийся климатическим многообразием. Цель исследования состоит в анализе изменения температурного режима и режима осадков в предгорной зоне Северо-Кавказского региона. По данным 6-ти метеостанций – Буйнакск, Владикавказ, Кисловодск, Нальчик, Ставрополь, Черкесск – был проведен анализ температурного режима за период 1961–2022 гг., который показал, что среднегодовые температуры в предгорной зоне Северного Кавказа в период 1961–2022 гг. положительные и колеблются от 8,3 °С на метеостанции Кисловодск до 10,6 °С на метеостанции Буйнакск. В начале XXI столетия (2001–2022 гг.) среднегодовая температура воздуха повысилась и составила 9,2 °С на метеостанции Кисловодск и 11,6 °С на метеостанции Буйнакск, что статистически значимо выше, чем в период 1961–2000 гг., когда среднегодовая температура была 7,8 и 10,0 °С соответственно.

Рассчитаны среднегодовые аномалии температуры за весь период наблюдения. Наибольшее отклонение от нормы зафиксировано в 2010 г. за счет высокой аномалии летом (+3,7 °С). Для оценки тенденции изменения температурного режима были построены линейные тренды за весь период 1961–2022 гг. и два подпериода. Анализ показал, что в период 1961–2022 гг. наблюдаются исключительно положительные тенденции, тогда как в другие подпериоды наблюдаются и отрицательные тенденции изменения температуры, где особенно выделяется март, с отрицательными значениями линейного тренда на всех станциях предгорной зоны в начале этого столетия.

Анализ сезонных и годовых сумм осадков за период 1961–2022 гг. показал, что в среднем по предгорной зоне Северо-Кавказского региона многолетняя годовая сумма осадков составила 637 мм. Расчет линейных трендов годовых сумм осадков показал, что изменение режима осадков не равномерно, имеются как положительные, так и отрицательные тенденции, в основном статистически незначимые.

**Ключевые слова:** температурный режим, режим осадков, предгорная зона, Северо-Кавказский регион, линейный тренд, аномалии

**Для цитирования:** Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Изменение основных климатических показателей в предгорной зоне северного Кавказа за период 1961–2022 гг. // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 113–123. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-113-123

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-113-123

**CHANGES IN THE MAIN CLIMATIC INDICATORS IN THE FOOTHILL ZONE  
OF THE NORTH CAUCASUS OVER THE PERIOD 1961–2022****Lyudmila M. Fedchenko<sup>1</sup>, Alla A. Tashilova<sup>2</sup>, Lara A. Kesheva<sup>3</sup>, Nataliya V. Teunova<sup>4</sup>**<sup>1, 2, 3, 4</sup> High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia<sup>1</sup> fedchenkolm@mail.ru, Scopus ID: 6602297635, ResearcherID: AAB-3697-2019, eLibrary: 00059651<sup>2</sup> tashilovaa@mail.ru, Scopus ID: 57191577384, ResearcherID: K-4321-2015, eLibrary: 00048834<sup>3</sup> kesheva.lara@yandex.ru, Scopus ID: 57191577471, ResearcherID: K-4261-2015, eLibrary: 00048827<sup>4</sup> nata0770@yandex.ru, Scopus ID: 57191571952, ResearcherID: K-4312-2015, eLibrary: 00048831

## Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

**Abstract.** The object of the study is the North Caucasus region, rich in varied natural landscapes and characterized by climatic diversity. The study aims to analyze changes in the temperature and precipitation regimes in the foothill zone of the region. According to the data of 6 weather stations: Buynaksk, Vladikavkaz, Kislovodsk, Nalchik, Stavropol, and Cherkessk, we carried out an analysis of the temperature regime for the period 1961–2022, which showed that the average annual temperatures in the foothill zone of the North Caucasus in this period were positive and fluctuated from 8.3°C at the Kislovodsk weather station to 10.6°C at the Buynaksk weather station. At the beginning of the 21st century (2001–2022), the average annual air temperature increased and amounted to 9.2°C at the Kislovodsk weather station and 11.6°C at the Buynaksk weather station, which is statistically significantly higher than in the period 1961–2000, when the average annual temperature was 7.8°C and 10.0°C, respectively.

Average annual temperature anomalies were calculated for the entire observation period. The largest deviation from the norm was recorded in 2010, due to the high anomaly in summer (+3.7°C). To assess the trend in the temperature regime changes, linear trends were constructed for the entire period of 1961–2022 and two sub-periods. The analysis showed that in the period 1961–2022, exclusively positive trends were observed, while in the sub-periods, negative trends in temperature change were also evident, where March was especially prominent, with negative values of the linear trend at all the stations in the foothill zone at the beginning of the present century.

An analysis of seasonal and annual precipitation for the period 1961–2022 showed that, on average, in the foothill zone of the North Caucasus region, the long-term annual precipitation amounted to 637 mm. The calculation of linear trends in annual precipitation totals showed that the change in the precipitation regime was not uniform, there were both positive and negative trends, mostly statistically insignificant.

**Keywords:** temperature regime, precipitation regime, foothill zone, North Caucasus region, linear trend, anomalies

**For citation:** Fedchenko, L.M., Tashilova, A.A., Kesheva, L.A., Teunova, N.V. (2024). Changes in the main climatic indicators in the foothill zone of the North Caucasus over the period 1961–2022. *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 113–123. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-113-123

## Введение

Растущее число стихийных погодных и экстремальных климатических явлений в последние годы вызывает всеобщую обеспокоенность.

По данным ВМО, период 2015–2020 гг. был самым теплым шестилетием, а 2011–2020 гг. – самым теплым десятилетием за всю историю наблюдений. Начиная с 1980-х гг., каждое последующее десятилетие было теплее, чем любое предыдущее после 1850 г. [20].

В ежегодном докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 г. отмечается, что в период с 1976 по 2021 г. на всей территории России потепление наблюдается во все сезоны, скорость роста осредненной среднегодовой температуры составила +0,49 °C/10 лет ( $D = 56\%$ ). Наиболее быстрый рост наблюдается для весенних температур (0,64 °C/10 лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом (0,40 °C/10 лет: описывает 68 % суммарной дисперсии) [6].

Изучение глобальных и региональных изменений климата является одним из приоритетных направлений современной климатологии и метеорологии. Изменение климата оказывает существенное влияние на атмосферные процессы и природно-климатические характеристики всех регионов планеты. Определение возможных последствий изменения климата стало в настоящее время научной проблемой и привлекает внимание ученых всего мира [1, 3, 4, 5, 9, 11, 18, 19].

Как показывают многочисленные исследования, потепление наблюдается по всей территории России во все сезоны, где есть засушливые регионы с экстремально высокими температурами, а также районы, где наблюдается слишком большое количество осадков. Из-за протяженности территории Российской Федерации и разнообразия ее природно-климатических особенностей последствия климатических изменений проявляются по-разному в каждом регионе [6, 7, 8, 13, 17].

На территории Северо-Кавказского (СК) региона можно выделить четыре основные климатические зоны: равнинная (степная), предгорная, горная и высокогорная. Для каждой из этих зон характерен свой температурный режим и режим осадков. На климат Северного Кавказа влияет его географическое положение, а также зональная и высотная поясность [15].

Предгорная зона Северного Кавказа представляет собой полосу шириной около 300 км, тянущуюся с северо-запада на юго-восток более чем на 900 км. Средние высоты – 500–1000 м

## Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

над уровнем моря. Предгорье постепенно переходит в систему горных отрогов Кавказа (горная зона).

## Материалы и методы

В настоящей статье рассматриваются изменения основных климатических показателей – приземной температуры атмосферного воздуха и атмосферных осадков в предгорной зоне Северного Кавказа за период с 1961 по 2022 г. и короткие периоды, отнесенные к концу прошлого (1961–2000 гг.) и к началу нового столетия (2001–2022 гг.).

Наиболее достоверно изменения климата могут быть оценены по данным инструментальных наблюдений на сети гидрометеорологических станций.

Для исследования были использованы данные наблюдений шести метеостанций (МС) предгорной зоны: Буйнакск, Владикавказ, Кисловодск, Нальчик, Ставрополь, Черкесск, предоставленные Северо-Кавказским УГМС, а также данные с использованием электронного ресурса [рп 5](#).

Физико-географические характеристики метеостанций приведены на рис. 1 и в табл. 1.



Рис. 1. Физико-географическое положение метеостанций  
Fig. 1. Physicogeographical position of weather stations

Таблица 1

Физико-географические характеристики метеостанций  
Physicogeographical characteristics of weather stations

№ n/n	Метеостанция	Географические координаты	Высота над уровнем моря (н. у. м.), м
1	Буйнакск (Дагестан)	42.49° N; 47.07° E	560
2	Владикавказ (РСО-Алания)	43.21° N; 44.40° E	680
3	Нальчик (Кабардино-Балкария)	43.22° N; 43.24° E	500
4	Кисловодск (Ставропольский край)	43.54° N; 42.43° E	819
5	Черкесск (Карачаево-Черкесия)	44.17° N; 42.04° E	526
6	Ставрополь (Ставропольский край)	45.03° N; 41.58° E	540

По данным первичных наблюдений были рассчитаны среднемесячные, среднесезонные и среднегодовые температуры, а также суммы осадков на отдельных метеостанциях и в целом по предгорной зоне. Кроме того, проведена оценка изменений метеопараметров регрессионным методом.

## Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Коэффициенты линейных трендов выражены в градусах за десятилетие, °С/10 лет, или в мм/месяц/10 лет (далее по тексту – мм/10 лет).

Сила тренда, его статистическая значимость оценивалась величиной  $D$  (%), вкладом тренда в объясненную дисперсию

$$D = (R^2) 100 \%. \quad (1)$$

Рассчитаны средние годовые аномалии температуры и осадков, осредненные по территории предгорной зоны за период 1961–2022 гг. Аномалии определялись как отклонения от климатической нормы. Для расчета климатических норм Всемирная метеорологическая организация определила базовые 30-летние периоды. Ранее использовались значения для периода с 1961 по 1990 г. Новые климатические нормы охватывают период с 1991 по 2020 г. Они являются основой для оценки того, насколько ежедневные, месячные и годовые климатические условия соотносятся с тем, что является нормальным для конкретного места в сегодняшнем климате.

## Результаты и обсуждения

Проведенные исследования температурного режима в предгорной зоне Северного Кавказа показали, что среднегодовые температуры в период 1961–2022 гг. на всей территории положительные и изменяются от 8,3 °С на МС Кисловодск до 10,6 °С на МС Буйнакск, самой южной из всех рассматриваемых станций. При анализе более коротких периодов повторяется та же тенденция, но наблюдается статистически значимое увеличение средних годовых температур в период 2001–2022 гг. – от 9,2 °С на МС Кисловодск до 11,6 °С на МС Буйнакск по сравнению с периодом 1961–2000 гг., когда среднегодовая температура была 7,8 и 10,0 °С соответственно.

В среднем в предгорной зоне Северного Кавказа в период 1961–2022 гг. температура меняется от -2,8 в зимний сезон до 22,7 °С в летний, а в начале XXI столетия – от -2,0 до 23,6 °С, что также говорит о повышении средней температуры.

На рис. 2 показаны среднегодовые аномалии температуры, осредненные по территории предгорной зоны за период 1961–2022 гг., относительно новой климатической нормы 1991–2020 гг. (рис. 2а) и используемой ранее с 1961 по 1990 г. (рис. 2б).

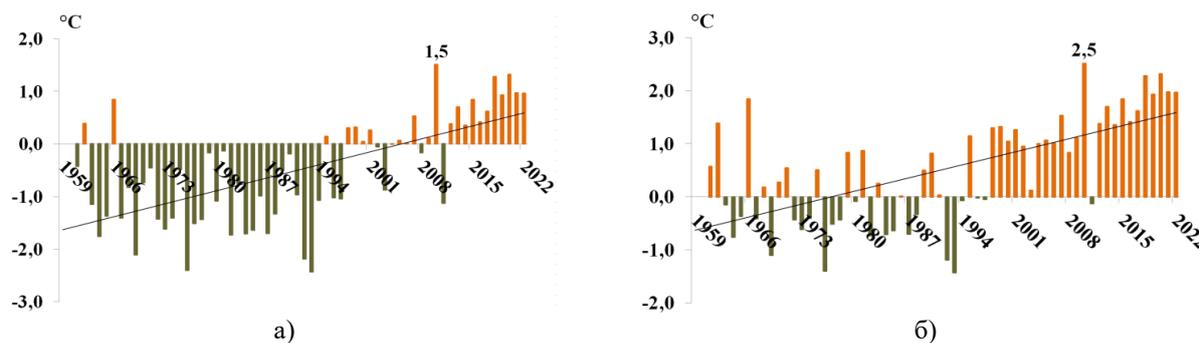


Рис. 2. Средние годовые аномалии температуры в предгорной зоне Северо-Кавказского региона за период 1961–2022 гг.

Fig. 2. Average annual temperature anomalies in the foothill zone of the North Caucasus region for the period 1961–2022

Как видно из рис. 2а, число положительных аномалий (22) почти в два раза меньше числа отрицательных аномалий (40). За последние 10 лет – с 2012 по 2022 г. – наблюдались исключительно положительные аномалии средней годовой температуры в рассматриваемом регионе.

На рис. 2б представлены отклонения от нормы 1961–1990 гг., которая использовалась до настоящего времени. Из рисунка видно, что в этом случае число положительных аномалий (39) больше числа отрицательных аномалий (23).

## Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Самое большое значение годовой аномалии – 2,5 °С (в сравнении с климатической нормой 1961–1990 гг.) – зафиксировано в 2010 г. за счет высокой аномалии в летний сезон, которая составила в предгорной зоне Северного Кавказа 3,7 °С. По результатам исследований других авторов, по России в целом лето этого года было самым теплым за период наблюдений с 1939 г., аномалия составила 1,8 °С [2].

В качестве примера можно привести аномалии среднесезонной и годовой температур по данным МС Нальчик за 2010–2022 гг. (табл. 2).

Для оценки межгодовой изменчивости температуры рассчитывалось  $\sigma$  – стандартное отклонение и  $\nu T$  – отклонение от нормы (средних за 1961–1990 гг.)

Во всех сезонах наблюдались положительные аномалии средних температур с превышением межгодовой изменчивости от  $1\sigma$  до  $3\sigma$ . Оранжевым цветом выделены значения межгодовой изменчивости более  $1\sigma$ , розовым – более  $1,69\sigma$  (5 и 95 %-ные экстремумы при Гауссовом распределении), красным – более  $3\sigma$ .

Аномальные значения температур, превышающих межгодовую изменчивость более чем на  $3\sigma$  (красные ячейки), наблюдались только в летний сезон 2010 г. В период с 2011 по 2017 г. (за исключением 2013 г.) межгодовая изменчивость не превышала  $1,69\sigma$ . С 2018 по 2022 г. межгодовая изменчивость как в летний сезон, так и в году в целом находилась в пределах от  $1,69$  до  $3,0$ . Лето 2010 г. на МС Нальчик остается самым жарким за всю историю наблюдений, когда межгодовая изменчивость превысила  $3\sigma$ .

Таблица 2

Сезонные аномалии температур для м/станции Нальчик в 2010–2022 гг.  
Seasonal temperature anomalies for the Nalchik weather station in 2010–2022

Годы	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\nu T$ , °C	$\sigma$ , °C	$\nu T$ , °C	$\sigma$ , °C	$\nu T$ , °C	$\sigma$ , °C	$\nu T$ , °C	$\sigma$ , °C	$\nu T$ , °C	$\sigma$ , °C
2010	2,1	0,95	1,0	1,77	1,0	1,14	3,6	1,19	2,6	1,14
2011	0,6	0,94	2,1	1,77	-0,5	1,13	1,6	1,18	-0,8	1,15
2012	1,5	0,94	-1,7	1,78	2,5	1,16	1,8	1,18	3,3	1,21
2013	1,7	0,95	2,8	1,79	2,6	1,20	1,1	1,17	0,4	1,20
2014	0,7	0,95	-0,1	1,78	2,0	1,20	1,8	1,18	-0,7	1,29
2015	1,6	0,95	2,2	1,78	0,6	1,2	1,9	1,18	1,9	1,2
2016	1,4	0,95	3,5	1,81	2,0	1,21	1,9	1,18	-0,2	1,19
2017	1,5	0,95	0,2	1,80	1,1	1,20	2,0	1,2	0,4	1,2
2018	2,1	0,96	3,5	1,80	2,0	1,21	2,3	1,19	1,6	1,19
2019	1,8	0,97	3,0	1,80	0,5	1,2	2,4	1,2	0,9	1,18
2020	2,4	0,99	3,5	1,90	1,7	1,2	2,6	1,2	2,7	1,2
2021	1,9	1,0	2,0	1,85	1,9	1,20	3,0	1,24	0,1	1,19
2022	1,7	1,0	3,9	1,85	0,6	1,19	2,5	1,25	0,6	1,19

Самыми холодными годами за период 1961–2022 гг., когда температура воздуха опускалась существенно ниже климатической нормы, были 1976 и 1993 гг., когда аномалия составила -1,4 °С (в сравнении с климатической нормой 1961–1990 гг.). Аномально низкая температура 1993 г. была следствием выбросов сульфатного аэрозоля в стратосферу после извержения вулкана Пинатубо (Филиппины, 1991 г.) [1, 14, 16].

Для оценки тенденции изменения температурного режима в предгорной зоне Северного Кавказа строились линейные тренды за период 1961–2022 гг. Анализ многолетних изменений среднегодовой температуры воздуха показал, что во всем периоде наблюдаются положительные однонаправленные тренды с интенсивным ростом в последние годы. Такая тенденция характерна не только для предгорной зоны Северного Кавказа, но и для других районов РФ [10, 11, 12].

Результаты расчетов приведены в табл. 3.

## Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Таблица 3

Коэффициенты наклона линейного тренда средней месячной температуры воздуха  
в предгорной зоне Северного Кавказа  
Slope coefficients of the linear trend of the mean monthly air temperature  
in the foothill zone of the North Caucasus

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
1961–2022 гг., °C/10 лет													
Буйнакск	<b>0,7</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	0,2	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	0,0	0,2	<b>0,4</b>
Владикавказ	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,5</b>	0,2	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	0,1	0,3	<b>0,4</b>
Кисловодск	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	0,0	0,06	<b>0,3</b>
Нальчик	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	0,1	0,2	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	0,05	0,2	<b>0,4</b>
Ставрополь	0,1	0,4	0,3	0,1	0,1	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,3</b>	0,3	0,0	0,1	<b>0,3</b>
Черкесск	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	0,1	0,1	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	0,0	0,2	<b>0,3</b>
1961–2000 гг., °C/10 лет													
Буйнакск	0,5	0,02	0,2	0,5	-0,3	0,2	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	0,2	0,4	-0,4	-0,1	0,2
Владикавказ	0,7	0,3	0,2	0,4	-0,2	0,2	<b>0,4</b>	0,1	0,1	0,4	-0,5	0,1	0,2
Кисловодск	0,1	-0,2	-0,2	0,08	<b>-0,4</b>	-0,03	0,2	0,04	-0,1	0,04	<b>-0,7</b>	-0,3	-0,1
Нальчик	0,8	0,2	0,2	0,4	-0,2	0,2	<b>0,4</b>	0,4	0,1	0,4	-0,5	-0,06	0,2
Ставрополь	0,4	-0,05	0,0	0,2	0,1	<b>0,4</b>	0,3	0,6	0,3	0,3	<b>-0,9</b>	0,1	0,0
Черкесск	0,5	-0,1	0,01	0,2	0,1	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	0,3	0,0	0,2	0,0
2001–2022 гг., °C/10 лет													
Буйнакск	1,7	0,7	-0,3	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,6</b>	<b>0,7</b>	0,6	0,1	-0,1	-0,9	1,1	<b>0,8</b>
Владикавказ	0,6	0,9	-0,4	<b>1,2</b>	0,8	<b>1,4</b>	<b>0,7</b>	0,5	0,2	0,1	-0,1	<b>1,3</b>	<b>0,6</b>
Кисловодск	0,4	1,2	-0,1	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>1,9</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	0,8	0,5	0,2	<b>1,4</b>	<b>0,9</b>
Нальчик	0,6	0,6	-0,3	0,7	0,5	<b>1,1</b>	0,5	0,3	-0,8	-0,2	-0,3	0,9	<b>0,3</b>
Ставрополь	0,4	1,0	-0,4	0,8	0,4	<b>1,5</b>	0,3	0,4	-0,1	0,1	-0,3	1,3	<b>0,6</b>
Черкесск	0,5	1,4	-0,2	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>	<b>1,9</b>	0,4	0,5	0,2	0,2	0,1	0,7	0,6

Примечание: статистически значимые тренды на 5 % уровне выделены жирным шрифтом.

Note: Statistically significant trends at the 5% level are in bold.

Как видно из табл. 3, скорость роста температуры за многолетний период (1961–2022 гг.) во все месяцы имела положительную направленность. Статистически значимые тренды наблюдались на всех рассматриваемых станциях с июня по сентябрь и в целом в течение года, а также на МС Буйнакск, Владикавказ, Нальчик и Черкесск с января по март и на всех станциях, кроме Ставрополя в октябре.

При рассмотрении коротких периодов, относящихся к концу прошлого столетия (1961–2000 гг.) и началу нового (2001–2022 гг.), наблюдаются как положительные, так и отрицательные тенденции изменения температуры. Особенно выделяется март в период 2001–2022 гг., где на всех станциях предгорной зоны угловой коэффициент линейного тренда имеет отрицательное значение и достигает  $-0,4$  °C/10 лет на станциях Владикавказ и Ставрополь. Отрицательный тренд также наблюдался на станции Нальчик во все осенние месяцы, на станции Буйнакск в октябре и ноябре, на станции Ставрополь в сентябре и ноябре и во Владикавказе в ноябре. Такие показатели линейного тренда говорят о снижении темпов потепления в осенние месяцы и в марте. Статистически значимые тренды на всех станциях в этот период отмечаются в июне.

В летний сезон значение углового коэффициента в начале XXI в. значительно выше, чем за весь исследованный период, что говорит о продолжающемся потеплении.

Наибольшая скорость роста средней годовой температуры наблюдалась на метеостанции Кисловодск в период 2001–2022 гг. ( $b = 0,9$  °C/10 лет,  $D = 34$  %) за счет усиления скорости роста в летний сезон, хотя угловой коэффициент линейного тренда в период 1961–2022 гг. составлял  $0,3$  °C/10 лет и не выделялся по сравнению с другими станциями.

В период 1961–2000 гг. угловой коэффициент линейного тренда имел отрицательное значение  $b = -0,1$  °C/10 лет и был статистически незначимый  $D = 3,6$  % (рис. 3а).

## Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Наименьшая годовая скорость потепления в период 2001–2022 гг. наблюдалась на МС Нальчик, где угловой коэффициент линейного тренда  $b = 0,3$  °C/10 лет при  $D = 16$  %. За весь период наблюдения скорость роста составила  $0,4$  °C/10 лет при  $D = 44$  %, а в конце прошлого столетия –  $b = 0,2$  °C/10 лет при  $D = 5,8$  % (рис. 3б).

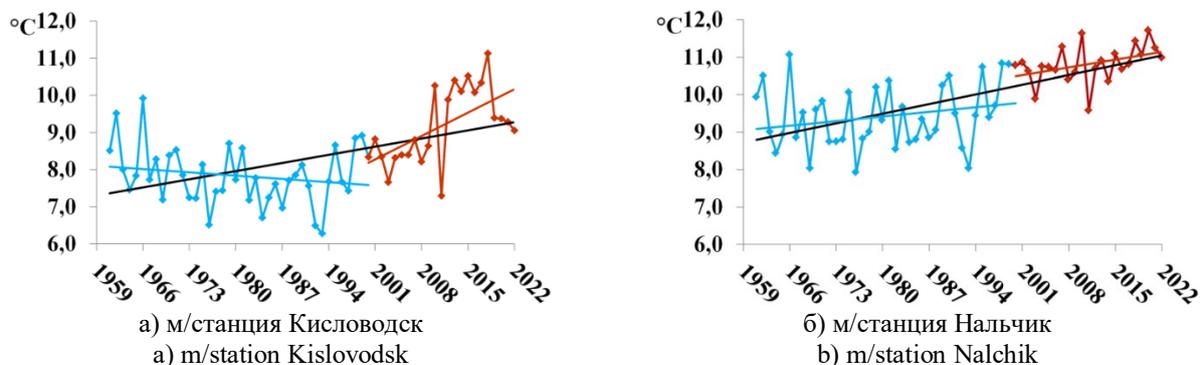


Рис. 3. Ход средних годовых температур за периоды 1961–2022, 1961–2000, 2001–2022 гг.  
Fig. 3. Variation of average annual temperatures for the periods 1961–2022, 1961–2000, 2001–2022

Рассмотрим распределение атмосферных осадков в предгорной зоне Северного Кавказа в период 1961–2022 гг. Осадки, наряду с температурой воздуха, являются одной из основных характеристик климата любой территории.

Как отмечается в ежегодном докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации, на территории России преобладает тенденция к увеличению годовых сумм осадков: тренд составляет  $1,8$  % нормы/10 лет, вклад в дисперсию –  $35$  % (тренд статистически значим на уровне  $1$  %) [6].

Для предгорной зоны Северного Кавказа были определены средние многолетние значения количества осадков на рассматриваемых МС как за весь исследуемый период, так и за периоды 1961–2000 и 2001–2022 гг.

Наименьшая сумма осадков в период 1961–2022 гг. наблюдалась в октябре и имела минимальное значение  $3$  мм в 1974 г., что ниже нормы (1961–1990 гг.) в  $15,7$  раза. Наибольшая сумма осадков отмечается в июне, и их максимум зафиксирован в 2002 г. ( $219$  мм), что превышает норму более чем в  $2,1$  раза.

За 22 года нового века отмечен 31 случай месячной суммы осадков более  $100$  мм, из них по 10 случаев в мае, 11 в июне и 1 случай с месячной суммой осадков более  $200$  мм в июне. За этот период было зафиксировано также 6 случаев, когда месячная сумма осадков не превышала  $10$  мм, из них 4 случая приходится на зиму, 2 на осень.

Средняя годовая сумма осадков имеет наибольшее значение на МС Владикавказ и составляет в период 1961–2022 гг.  $930$  мм, достигая  $958$  мм в период 2001–2022 гг. Угловой коэффициент линейного тренда в период 1961–2022 гг. составил  $b = 1,08$  мм/месяц/10 лет и был статистически незначимый  $D = 0,01$  %, в период 1961–2000 гг. тренд также незначим и имеет отрицательное значение ( $b = -14,3$  мм/месяц/10 лет,  $D = 0,9$  %). В начале нового столетия (2001–2022 гг.) наблюдается статистически значимое уменьшение количества осадков ( $b = -99,9$  мм/месяц/10 лет,  $D = 15,3$  %) (рис. 4а).

Наименьшее значение годовой суммы осадков наблюдалось в Буйнакске и составило  $465$ – $466$  мм во всех рассматриваемых периодах. В период 2001–2022 гг., также как и на МС Владикавказ, угловой коэффициент линейного тренда статистически значимый и имеет отрицательное значение ( $b = -50,3$  мм/месяц/10 лет,  $D = 15,9$  %) (рис. 4б).

## Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

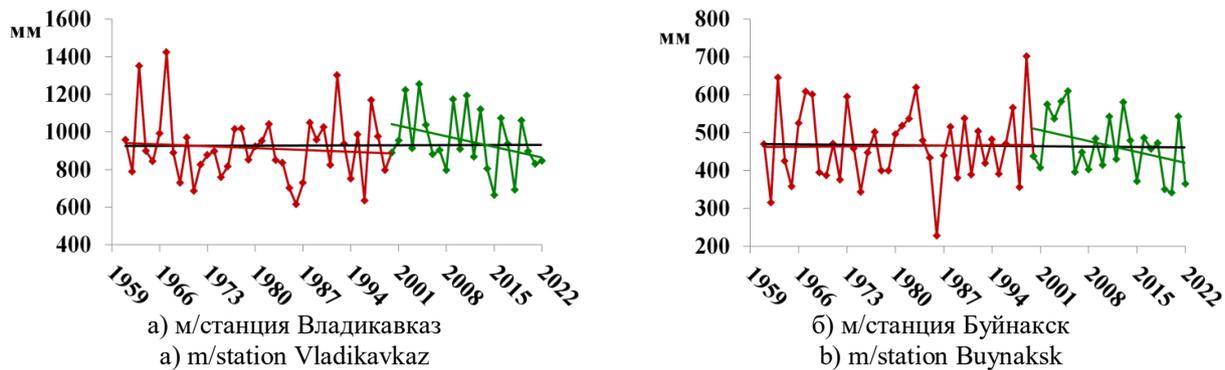


Рис. 4. Ход годовых сумм осадков за периоды 1961–2022, 1961–2000, 2001–2022 гг.

Fig. 4. Variation of annual precipitation amounts for the periods 1961–2022, 1961–2000, 2001–2022

Отмечен хорошо выраженный годовой ход атмосферных осадков с максимумом в мае-июне от 60 мм на станции Буйнакск до 169 мм на станции Владикавказ и минимумом в зимние месяцы от 16 до 36 мм на тех же станциях в период 1961–2022 гг. В среднем по предгорной зоне Северо-Кавказского региона за весь рассматриваемый период многолетия годовая сумма осадков составила 637 мм, в периоды 1961–2000 и 2001–2022 гг. – 634 мм и 640 мм соответственно, при этом рассчитанные величины значительно не отличаются.

Как для температурного режима, так и для сумм осадков были построены линейные тренды за весь исследуемый период 1961–2022 гг., а также периоды 1961–2000 и 2001–2022 гг. (табл. 4).

Таблица 4

Коэффициенты наклона линейного тренда годовых и месячных сумм осадков  
в предгорной зоне Северного Кавказа  
Slope coefficients of the linear trend of annual and monthly precipitation totals  
in the piedmont zone of the North Caucasus

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
1961–2022 гг., мм/месяц/10 лет													
Буйнакск	0,57	0,3	<b>2,56</b>	-1,99	1,13	-1,8	0,03	-2,76	-0,72	0,03	1,12	0,08	-1,46
Владикавказ	1,4	1,52	2,93	1,17	2,12	3,71	-2,98	-3,3	-3,47	1,38	-1,2	-2,18	1,08
Кисловодск	1,99	-0,03	4,25	-0,97	0,27	-4,28	-3,54	-6,54	-6,07	0,81	1,85	0,53	-3,92
Нальчик	-0,21	-0,68	0,43	<b>-4,45</b>	0,03	0,69	-1,91	-0,79	1,86	1,04	0,3	-1,15	-4,85
Ставрополь	-0,25	0,84	2,5	-2,15	3,81	-2,83	1,76	<b>-5,9</b>	1,27	1,37	-0,77	-2,64	-2,99
Черкесск	0,22	0,48	<b>2,7</b>	-1,05	0,28	-1,02	-4,32	-0,25	2,07	<b>4,0</b>	-0,6	-0,99	1,51
1961–2000 гг., мм/месяц/10 лет													
Буйнакск	0,6	1,2	0,29	<b>-5,59</b>	1,81	-2,96	1,19	-5,22	6,81	-0,95	4,88	-0,49	1,55
Владикавказ	<b>3,57</b>	<b>4,4</b>	-1,98	-4,85	-3,16	6,35	-11,8	-1,12	-5,4	-0,15	2,21	-2,34	-14,3
Кисловодск	1,19	1,29	0,39	2,96	-1,71	-4,39	0,64	-0,81	1,22	1,23	2,43	0,21	4,65
Нальчик	-1,15	0,67	-3,48	-2,75	<b>-8,19</b>	4,89	-0,14	3,91	5,55	1,96	3,04	-2,29	2,04
Ставрополь	-2,27	-1,74	-1,32	2,86	-1,6	2,29	-1,51	-7,32	-3,41	4,46	1,96	-1,93	-9,52
Черкесск	-1,41	2,36	-2,65	2,26	-1,45	1,39	-1,55	5,19	3,12	<b>5,45</b>	2,71	-0,56	13,6
2001–2022 гг., мм/месяц/10 лет													
Буйнакск	-0,42	-2,63	1,86	<b>-17,6</b>	-1,58	-11,17	18,9	-17,9	1,75	-3,23	0,94	1,64	-50,3
Владикавказ	1,0	4,28	2,86	<b>-15,4</b>	9,1	-28,4	11,8	-9,26	-10,5	<b>-21,8</b>	<b>-17,6</b>	<b>-9,35</b>	<b>-99,9</b>
Кисловодск	<b>6,62</b>	<b>-5,36</b>	-1,47	<b>-12,9</b>	7,31	<b>-31,1</b>	-6,92	-19,7	-16,5	-6,0	-8,1	0,29	<b>-93,9</b>
Нальчик	4,61	-4,92	-0,68	<b>-21,6</b>	13,6	-23,0	-16,3	7,76	-4,43	-5,14	<b>-10,6</b>	<b>-7,83</b>	<b>-68,5</b>
Ставрополь	5,37	-0,12	2,49	-4,03	<b>19,9</b>	-9,9	11,1	-7,82	1,1	<b>-18,0</b>	-7,12	3,23	-3,76
Черкесск	<b>9,0</b>	<b>-7,47</b>	4,69	<b>-10,7</b>	17,8	-11,9	12,3	-20,2	-1,67	-11,9	<b>-15,5</b>	-3,43	-39,0

Примечание: статистически значимые тренды на 5 % уровне выделены жирным шрифтом.

Note: Statistically significant trends at the 5% level are in bold.

## Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Расчет линейных трендов годовых сумм осадков для 62-летнего периода показал, что изменение режима осадков не равномерно, имеются как положительные, так и отрицательные тенденции, в основном статистически незначимые. Во всем рассматриваемом периоде выделяется август, когда на всех станциях значение углового коэффициента отрицательное. При анализе короткого периода (2001–2022 гг.) видно, что отрицательные тенденции на всех станциях наблюдаются в апреле (все тренды статистически значимы, кроме Ставрополя), в июне со статистически значимым трендом в Кисловодске и в октябре, где тренд значимый на станциях Владикавказ и Ставрополь, а также в году в целом (тренд статистически значим во Владикавказе, Кисловодске и Нальчике).

## Заключение

Исследования температурного режима в предгорной зоне Северного Кавказа показали, что среднегодовая температура воздуха в период 1961–2022 гг. меняется от  $-2,8$  в зимний сезон до  $22,7$  °С в летний. При анализе периода 2001–2022 гг. получено, что среднегодовая температура воздуха повысилась и меняется от  $-2,0$  в зимний до  $23,6$  °С в летний сезон.

Расчитаны среднегодовые аномалии температуры за весь рассматриваемый период и получено, что самое большое значение годовой аномалии  $-2,5$  °С (в сравнении с климатической нормой 1961–1990 гг.) – зафиксировано в 2010 г., когда аномальные значения температур превышали межгодовую изменчивость более чем на 3σ. Аномально низкая температура наблюдалась в 1993 г, когда аномалия составила  $-1,4$  °С.

Анализ многолетних изменений среднегодовой температуры воздуха (1961–2022 гг.) показал, что во всем периоде наблюдаются положительные однонаправленные тренды с интенсивным ростом в последние годы. При рассмотрении коротких периодов, относящихся к концу прошлого столетия (1961–2000 гг.) и к началу нового (2001–2022 гг.), наблюдаются как положительные, так и отрицательные тенденции изменения температуры.

При исследовании распределения атмосферных осадков в предгорной зоне Северного Кавказа получены данные о том, что среднегодовая сумма осадков имеет наибольшее значение на МС Владикавказ и составляет 930 мм, а наименьшее на МС Буйнакск (465 мм). Годовой ход атмосферных осадков хорошо выражен с максимумом в мае-июне от 60 мм на станции Буйнакск до 169 мм на станции Владикавказ и минимумом в зимние месяцы от 16 до 36 мм на тех же станциях.

Расчет линейных трендов годовых сумм осадков показал, что изменение режима осадков не равномерно, имеются как положительные, так и отрицательные тенденции, в основном статистически незначимые.

## Библиографический список

1. 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. Нальчик: ООО «Фрегат», 2020. 476 с.
2. Булыгина О.Н., Кориунова Н.Н., Разуваев В.Н. Температурный режим на территории России летом 2010 года // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Анализ изменений климата и их последствий. Обнинск, 2012. Вып. 176. С. 13–22.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.В. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата Российской Федерации: температура воздуха // Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 2012. 194 с.
4. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Смирнов В.Д. Географические и сезонные особенности современного глобального потепления // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. Т. 2. С. 41–62.
5. Гусакова М.А., Карлин Л.Н. Оценка вклада парниковых газов, водяного пара и облачности в изменение глобальной приповерхностной температуры воздуха // Метеорология и гидрология. 2014. № 3. С. 19–26.
6. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. Москва: Росгидромет, 2023. 104 с. ISBN 978-5-906099-58-7
7. Жук В.О., Ергина Е.И. Анализ современной метеорологической ситуации в Предгорном Крыму // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2018. Т. 4(70), № 2. С. 227–241.
8. Ковриго П.А. Изменение локального климата в условиях глобального потепления // Вестник БГУ. 2010. Сер. 2, № 2. С. 86–91.
9. Корчагина Е.А. Исследование динамики сумм атмосферных осадков в горной части Карачаево-Черкесской республики с 1961 по 2015 г. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2017. № 3 (77). С. 26–32.

## Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

10. Мустафина А.Б. Изменения основных климатических показателей на территории Республики Татарстан за период 1966–2013 г. // Географический вестник. 2017. № 2(41). С. 99–108. doi: 10.17072/2079-7877-2017-2-99-108
11. Носкова Е.В., Вахнина И.Л. Анализ современных пространственно-временных изменений температуры воздуха в Забайкальском крае // Географический вестник. 2023. № 1(64). С. 116–126. doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-116-126
12. Переведенцев Ю.П., Парубова Е.М., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М., Мягков М.А. Изменчивость основных климатических показателей на территории Приволжского федерального округа в период 1966–2018 гг. // Вестник Удмуртского университета. 2021. Т. 31, вып. 1. С. 65–75.
13. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. Изменения приземной температуры воздуха Северного полушария за период 1850–2014 гг. // Ученые записки Казанского университета. 2015. Т. 157, кн. 3. С. 8–19.
14. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. Мониторинг современных изменений климата Земли // Устойчивое развитие регионов: опыт, проблемы, перспективы: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 101–114.
15. Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В., Таубекова З.А. Анализ изменчивости температуры на горной территории Северного Кавказа за 1961–2013 гг. // Метеорология и гидрология. 2016. № 9. С. 16–26.
16. Ташилова А.А. Алгоритм исследования эффекта вулканического охлаждения на фоне глобального потепления // Модели мышления и интеграция информационно-управляющих систем (ММИУС-2018). Материалы второй Международной научной конференции, посвящённой 25-летию юбилею Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук. 2018. С. 288–294.
17. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научное издание технологий, 2022. 124 с.
18. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменения современного климата. Обнинск: Изд. ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. 246 с.
19. Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K. 2010. Global surface temperature change. Rev. Geophys., 48, RG4004, doi: 10.1029/2010RG000345.
20. WMO, 2021: State of the Global Climate 2020 – WMO, № 1264, 56 p. URL: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10618](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10618) (дата обращения 20.03.2022).

## References

1. Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V. Prostranstvenno-vremennoye izmeneniye klimata yuga yevropeyskoy territorii Rossii, otsenka yego posledstviy, metody i modeli adaptatsii APK. Nal'chik: OOO «Fregat», 2020, 476 p.
2. Bulygina O.N., Korshunova N.N., Razuvayev V.N. Temperaturnyy rezhim na territorii Rossii letom 2010 goda. Trudy VNIIGMI-MTSD // Analiz izmeneniy klimata i ikh posledstviy. Obninsk, 2012, vyp.176, pp.13–22.
3. Gruza G.V., Ran'kova E.V. Nablyudayemye i ozhidayemye izmeneniya klimata Rossiyskoy Federatsii: temperatura vozdukha // Obninsk, VNIIGMI-MTSD, 2012, 194 p.
4. Gruza G.V., Ran'kova E.Ya., Rocheva E.V., Smirnov V.D. Geograficheskiye i sezonnyye osobennosti sovremennogo global'nogo potepeniya // Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya. 2015, vol. 2, pp. 41–62
5. Gusakova M.A., Karlin L.N. Otsenka vkladov parnikovyykh gazov, vodyanogo para i oblachnosti v izmeneniye global'noy pripoverkhnostnoy temperatury vozdukha // Meteorologiya i gidrologiya. 2014, no. 3, pp. 19–26.
6. Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2022 god. Moskva: Rosgidromet, 2023, 104 p. ISBN 978-5-906099-58-7
7. Zhuk V.O., Yergina Ye.I. Analiz sovremennoy meteorologicheskoy situatsii v Predgornom Krymu // Uchonyye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2018, vol. 4(70), no. 2, pp. 227–241.
8. Kovrigo P.A. Izmeneniye lokal'nogo klimata v usloviyakh global'nogo potepeniya // Vestnik BGU. 2010, Ser. 2, no. 2, pp. 86–91.
9. Korchagina Ye.A. Issledovaniye dinamiki summ atmosferykh osadkov v gornoy chasti Karachayevo-Cherkesskoy respubliky s 1961 po 2015 gg. // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2017, no. 3(77), pp. 26–32.
10. Mustafina A.B. Изменения основных климатических показателей на территории Республики Татарстан за период 1966–2013 гг. // Географический вестник. 2017, no. 2(41), pp. 99–108. doi: 10.17072/2079-7877-2017-2-99-108
11. Носкова Е.В., Вахнина И.Л. Анализ современных пространственно-временных изменений температуры воздуха в Забайкальском крае // Географический вестник. 2023, no. 1(64), pp. 116–126. doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-116-126
12. Perevedentsev Yu.P., Parubova Ye.M., Sherstyukov B.G., Shantalinskiy K.M., Myagkov M.A. Izmenchivost' osnovnykh klimaticheskikh pokazateley na territorii Privolzhskogo federal'nogo okruga v period 1966–2018 gg. // Vestnik Udmurtskogo universiteta. 2021, vol. 31, vyp.1, pp. 65–75.
13. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskiy K.M. Изменения приземной температуры воздуха Северного полушария за период 1850–2014 гг. // Ученые записки Казанского университета. 2015, vol. 157. Кн. 3, pp. 8–19.
14. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskiy K.M. Monitoring sovremennykh izmeneniy klimata Zemli // Ustoychivoye razvitiye regionov: opyt, problemy, perspektivy. Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2017, pp. 101–114.
15. Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V., Taubekova Z.A. Analiz izmenchivosti temperatury na gornoy territorii Severnogo Kavkaza za 1961–2013 gg. // Meteorologiya i gidrologiya. 2016, no. 9, pp. 16–26.
16. Tashilova A.A. Algoritm issledovaniya effekta vulkanicheskogo okhlazhdeniya na fone global'nogo potepeniya // Modeli myshleniya i integratsiya informatsionno-upravlyayushchikh sistem (MMIUS-2018). Materialy vtoroy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchonnoy 25-letnemu yubileyu Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. 2018, pp. 288–294.
17. Tretiy otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Obshcheye rezюме. СПб.: Nauchnoye izdaniye tekhnologii. 2022, 124 p.

## Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

18. Sherstyukov B.G. Regional'nyye i sezonnyye zakonomernosti izmeneniya sovremennogo klimata // Izd. GU «VNIIGMI-MTSD». Obninsk. 2008, 246 p.

19. Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K., 2010. Global surface temperature change. Rev. Geophys., 48, RG4004, doi: 10.1029/2010RG000345.

20. WMO, 2021: State of the Global Climate 2020 - WMO, no. 1264, 56 p. URL: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10618](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10618) (Accessed 03/20/2022).

Статья поступила в редакцию: 25.04.2023, одобрена после рецензирования: 10.09.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 25 April 2023; approved after review: 10 September 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

## Информация об авторах

## Information about the authors

**Людмила Михайловна Федченко**

доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник Высокогорного геофизического института;

360001, Россия, г. Нальчик, просп. Ленина, 2

e-mail: fedchenkolm@mail.ru

**Lyudmila M. Fedchenko**

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Chief Researcher, High-Mountain Geophysical Institute;

2, prospekt Lenina, Nalchik, 360001, Russia

**Алла Амарбиевна Ташилова**

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Высокогорного геофизического института;

360001, Россия, г. Нальчик, просп. Ленина, 2

e-mail: tashilovaa@mail.ru

**Alla A. Tashilova**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, High-Mountain Geophysical Institute;

2, prospekt Lenina, Nalchik, 360001, Russia

**Лара Асировна Кешева**

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Высокогорного геофизического института;

360001, Россия, г. Нальчик, просп. Ленина, 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, 360001, Russia

**Наталья Вячеславовна Теунова**

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Высокогорного геофизического института;

360001, Россия, г. Нальчик, просп. Ленина, 2

e-mail: nata0770@yandex.ru

**Nanaliya V. Teunova**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, High-Mountain Geophysical Institute;

2, prospekt Lenina, Nalchik, 360001, Russia

**Вклад авторов**

Федченко Л.М. – 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.

**Contribution of the authors**

Lyudmila M. Fedchenko – the idea; writing of the article; scientific editing of the text.

Alla A. Tashilova – the idea; writing of the article; scientific editing of the text.

Lara A. Kesheva – collection and processing of the material; writing of the article; plotting.

Nanaliya V. Teunova – collection and processing of the material; writing of the article, plotting.

The authors declare no conflict of interest.

Научная статья

УДК 502.3 551.58

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-124-137

## ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В Г. МАГНИТОГОРСКЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЕГО МОНИТОРИНГА

**Ирина Павловна Опупина<sup>1</sup>, Владимир Александрович Шкляев<sup>2</sup>, Наталья Валерьевна Костылева<sup>3</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> ФГБУ УралНИИ «Экология», г. Пермь, Россия<sup>1, 2, 3</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия<sup>1</sup> oputinaip@ecologyperm.ru, Author ID: 1129432<sup>2</sup> shklyaeavl@yandex.ru, Author ID: 148009<sup>3</sup> nkost@ecologyperm.ru, Author ID: 132383

**Аннотация.** В 2016 г. в г. Магнитогорске специалистами ФГБУ УралНИИ «Экология» был проведен научный эксперимент по оценке влияния загрязнения атмосферного воздуха на растительность в разных районах города. Цель исследования – оценка состояния растительности в разных районах методом измерения показателей флуоресценции хлорофилла и содержания каротиноидов в листьях клена ясенелистного для разработки предложений по модернизации системы мониторинга атмосферного воздуха г. Магнитогорска. На основании результатов расчетов рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе определены 13 точек на территории г. Магнитогорска, в которых производился отбор опытных образцов клена ясенелистного для дальнейшего исследования в лаборатории (пять точек, непосредственно граничащие с основной площадкой градообразующего предприятия и территориями расположения крупных дочерних предприятий; пять точек, расположенные на селитебной территории в левобережном промышленном узле; две точки, расположенные на селитебной территории в правобережной части города; одна точка в селитебной территории города, наиболее удаленная от градообразующего предприятия, характеризующая «фоновое» значение загрязнения атмосферного воздуха). В процессе исследования в листьях клена ясенелистного определялись относительный показатель замедленной флуоресценции хлорофилла (ОПЗФ) и содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов). В результате проведенных исследований на территории г. Магнитогорска определены районы, в которых загрязнение атмосферного воздуха в наибольшей и наименьшей степени оказывает влияние на растительность. Цель проведенного исследования достигнута. Полученные результаты исследований использованы в дальнейшем при разработке предложений по модернизации системы мониторинга атмосферного воздуха г. Магнитогорска. Сделан вывод о возможности использования результатов исследования растительности, а именно значений ОПЗФ и содержания каротиноидов, в качестве косвенного метода оценки эффективности существующей сети ПНЗ.

**Ключевые слова:** загрязнение атмосферного воздуха, антропогенная нагрузка, расчеты рассеивания выбросов загрязняющих веществ, флуоресценция хлорофилла, содержание каротиноидов

**Для цитирования:** Опупина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В. Индикация состояния растительности в г. Магнитогорске для оценки качества атмосферного воздуха и совершенствования его мониторинга // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 124–137. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-124-137

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-124-137

## INDICATION OF THE CONDITION OF VEGETATION IN MAGNITOGORSK FOR ASSESSING THE QUALITY OF ATMOSPHERIC AIR AND IMPROVING ITS MONITORING SYSTEM

**Irina P. Oputina<sup>1</sup>, Vladimir A. Shklyayev<sup>2</sup>, Natalya V. Kostyleva<sup>3</sup>**<sup>1, 2, 3</sup> UralNII Ecology, Perm, Russia<sup>1, 2, 3</sup> Perm State University, Perm, Russia<sup>1</sup> oputinaip@ecologyperm.ru, Author ID: 1129432<sup>2</sup> shklyaeavl@yandex.ru, Author ID: 148009<sup>3</sup> nkost@ecologyperm.ru, Author ID: 132383

## Метеорология

Опутина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

**Abstract.** In 2016, specialists from the research institute UralNII Ecology conducted a scientific experiment in Magnitogorsk to assess the impact of atmospheric air pollution on vegetation in different parts of the city. The purpose of the study was to assess the condition of vegetation in different areas by measuring chlorophyll fluorescence and carotenoid content in ash maple leaves in order to develop proposals for modernizing the atmospheric air monitoring system in Magnitogorsk. Based on the modeling of pollutant dispersion in the atmospheric air, 13 points were identified in the territory of Magnitogorsk, where experimental samples of ash-leaved maple were collected for further research in the laboratory (five points directly bordering the main site of the city-forming enterprise and the territories of its large subsidiaries; five points located in the residential area in the left-bank industrial hub; two points located in the residential area in the right-bank part of the city; one point in the residential area of the city, most remote from the city-forming enterprise and characterizing the 'background' value of atmospheric air pollution). During the research, the relative index of delayed chlorophyll fluorescence (DCF) and the content of photosynthetic pigments (carotenoids) were determined in the leaves of the ash-leaved maple. As a result of the studies, the areas of the city of Magnitogorsk were identified where atmospheric air pollution had the greatest and the least impact on vegetation. The purpose of the study was achieved. The results of the studies were subsequently used in the development of proposals for the modernization of the atmospheric air monitoring system in Magnitogorsk. It is concluded that it is possible to use the results of the study of vegetation, namely the DCF values and the content of carotenoids, as an indirect method for assessing the effectiveness of the existing network of POPs.

**Keywords:** atmospheric air pollution, anthropogenic load, pollutant emission dispersion calculations, chlorophyll fluorescence, carotenoid content

**For citation:** Oputina I.P., Shklyaev V.A., Kostyleva N.V. (2024). Indication of the condition of vegetation in Magnitogorsk for assessing the quality of atmospheric air and improving its monitoring system. *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 124–137. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-124-137

## Введение

Благоприятная окружающая среда, в том числе безопасный уровень качества атмосферного воздуха, в Российской Федерации является ценностью, охраняемой законом [5].

Для принятий решений, направленных на достижение безопасного уровня качества атмосферного воздуха, необходимо в первую очередь оценить его текущее состояние. Для этого в Российской Федерации на постоянной основе осуществляется мониторинг загрязнения атмосферного воздуха с использованием прямых (инструментальных) и косвенных (расчетный мониторинг, оценка воздействия загрязнения атмосферы на различные объекты окружающей среды и другие) методов [8–12].

Инструментальные методы оценки состояния атмосферного воздуха являются более весомыми с точки зрения репрезентативности результатов. При этом для организации эффективной и репрезентативной системы инструментального мониторинга желательное предварительное проведение научных исследований для уточнения особенностей организации мониторинга.

Одним из направлений исследований качества атмосферного воздуха могут являться биологические методы оценки физиологического состояния живых организмов [7, 21], в частности оценка изменения клеточного метаболизма.

Клеточным метаболизмом называют все биохимические превращения в живой клетке.

При разработке и использовании методов оценки физиологического состояния живых организмов важно получить информацию об изменении клеточного метаболизма под влиянием внешних факторов. Эти изменения можно зафиксировать задолго до того, как результат таких воздействий проявится у организмов в видимых признаках [1].

Одним из методов, получивших широкое распространение в экологических исследованиях, является регистрация у растительных объектов различных параметров флуоресценции хлорофилла [3, 6]. Метод заключается в определении относительного показателя замедленной флуоресценции хлорофилла (ОПЗФ) и исследовании содержания фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в листьях растения.

*Метеорология**Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.*

Важным предварительным элементом исследования параметров флуоресценции хлорофилла является правильный выбор растительности, которая, с одной стороны, может обеспечить явный результат исследований, с другой стороны, распространена на территории Российской Федерации.

В настоящей работе в качестве объекта исследования для оценки физиологического состояния был выбран клен ясенелистный. Прежде всего, данный вид растительности является очень распространенным в городах Российской Федерации, следовательно, отбор проб возможно провести в любых районах и территориях населенных пунктов. Кроме того, согласно проведенным исследованиям [2], в листьях клена ясенелистного выявлена зависимость содержания каротиноидов от антропогенной, в том числе от техногенной, нагрузки на территории произрастания.

С целью разработки подходов к созданию эффективной системы мониторинга атмосферного воздуха для г. Магнитогорска в 2016 г. специалистами ФГБУ УралНИИ «Экология» был проведен научный эксперимент по оценке влияния загрязнения атмосферного воздуха на растительность в разных районах города.

Основной целью исследования стала оценка состояния растительности в разных районах методом измерения показателей флуоресценции хлорофилла и содержания каротиноидов в листьях клена ясенелистного для разработки предложений по модернизации системы мониторинга атмосферного воздуха г. Магнитогорска.

**Материалы и методы исследования**

В соответствии с научными исследованиями [2, 3, 6] установлено, что при использовании методов измерения параметров фотосинтетического аппарата растений, в частности метода регистрации ОПЗФ, возможно обнаружить изменение клеточного метаболизма растений, которое зависит от внешних факторов.

Суть явления замедленной флуоресценции заключается в наличии слабого, длительно затухающего свечения, испускаемого хлорофиллом после светового возбуждения в фотосинтезирующих клетках [18].

В качестве объекта исследования в г. Магнитогорске были выбраны листья клена ясенелистного (лат. *Ácer negúndo*) как наиболее распространенного вида растительности на городских территориях. Предметом исследования являлось содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в листьях клена ясенелистного, произрастающего в различных районах г. Магнитогорска.

В августе 2016 г. специалистами ФГБУ УралНИИ «Экология», в соответствии с положениями «Методики» [4], был произведен отбор образцов исследуемого растения. Для проведения исследования авторами «Методики» [4] положения указанной методики были доработаны в части возможности применения для листьев клена ясенелистного.

Отобранные в точках исследования образцы представляли собой срезанные ветки клена ясенелистного. Для отбора образцов выбирались деревья приблизительно одного возраста и размера. После отбора образцов срезанные ветки (образцы) были погружены нижними частями в емкость с водой для транспортировки в г. Пермь. Отбор образцов производился в течение приблизительно трех часов. Образцы были отобраны в схожих микроклиматических условиях, в один вегетационный период. Вышеуказанные особенности выбора опытного материала для исследования позволяют производить сравнение таких образцов.

В течение одних суток отобранные образцы были доставлены в лабораторию Естественно-научного института ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (ЕНИ ПГНИУ). В лаборатории ЕНИ ПГНИУ силами специалистов кафедры БОП ПГНИУ при помощи флуориметра «Фотон-10» в пробах, полученных из отобранных образцов, проводилось измерение относительного показателя замедленной флуоресценции.

*Метеорология**Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.*

Для всесторонней оценки условий произрастания опытных образцов, а также условий, наблюдающихся непосредственно в период отбора, были зафиксированы и проанализированы наблюдаемые при отборе образцов метеорологические условия.

В период отбора (август 2016 г.), по данным Челябинского ЦГМС – филиала ФГБУ «Уральское УГМС» [20], а также сайта «Расписание погоды» [13], отмечалась аномально жаркая погода: средняя месячная температура воздуха на 5–7 градусов выше нормы. Преобладающее направление ветра в августе и в среднем за летний сезон – северо-северо-восточное. Преобладающая скорость ветра в среднем за летний сезон составляла 2–4 м/с. Наблюдаемые направление и скорость ветра являются типичными для летнего периода в г. Магнитогорске.

Поскольку основной источник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в городе – ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» – располагается на северо-востоке относительно центральной части города (селитебной территории), при наблюдаемом (преимущественном) северо-северо-восточном направлении ветра загрязнению атмосферного воздуха выбросами загрязняющих веществ в наибольшей степени подвергалась именно центральная часть города.

Предварительно, до проведения отбора образцов, на основании данных проекта нормативов предельно допустимых выбросов ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК») и проекта единой санитарно-защитной зоны, специалистами ФГБУ УралНИИ «Экология» при помощи УПРЗА «Эколог» (вер. 3.1), в которой реализованы положения действующей на момент проведения исследования «Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86)» [19], был произведен расчет рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Для 76 загрязняющих веществ были рассчитаны координаты (в узлах регулярной сетки с шагом 500 м) точек максимальных концентраций (точек максимума) на селитебной территории г. Магнитогорска и значения концентраций в этих точках. Для дальнейшего рассмотрения были отобраны только те точки максимума, в которых рассчитанные концентрации превышали ПДК м.р. Далее отобранные точки максимума наносились на карту местности.

Исходя из мест расположения точек максимума и физической возможности подъезда на автотранспорте на территории г. Магнитогорска, было определено 13 пробных площадок для отбора образцов.

Важно отметить, что точки, в которых в конкретный момент времени наблюдаются максимальные концентрации, могут не совпадать с точками максимальных концентраций, полученных теоретическим путем по результатам расчетов рассеивания, поскольку реализованный в программном продукте подход подразумевает перебор метеопараметров для выявления наиболее неблагоприятных метеоусловий для рассеивания и соответствующие им наибольшие концентрации загрязняющих веществ. В результате длительных наблюдений установлено, что при неизменных качественном и количественном составе выбросов уровень загрязнения атмосферного воздуха может различаться в несколько раз в дни с разными метеорологическими условиями [17]. Для того чтобы точнее определить точки максимальных концентраций, необходимо для каждого конкретного периода времени привлекать фактические данные о погодных условиях.

В период проведения исследования отмечался штиль или очень слабый ветер (1 м/с), поэтому направления и скорости ветра, соответствующие максимальным концентрациям загрязняющих веществ по результатам расчета рассеивания, не могли соответствовать фактически наблюдаемым в день проведения исследования метеорологическим условиям.

Места расположения точек отбора образцов и точек максимума концентраций на территории г. Магнитогорска по результатам расчета рассеивания отражены на рис. 1.

Все выбранные точки были условно поделены на несколько категорий:

## Метеорология

Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

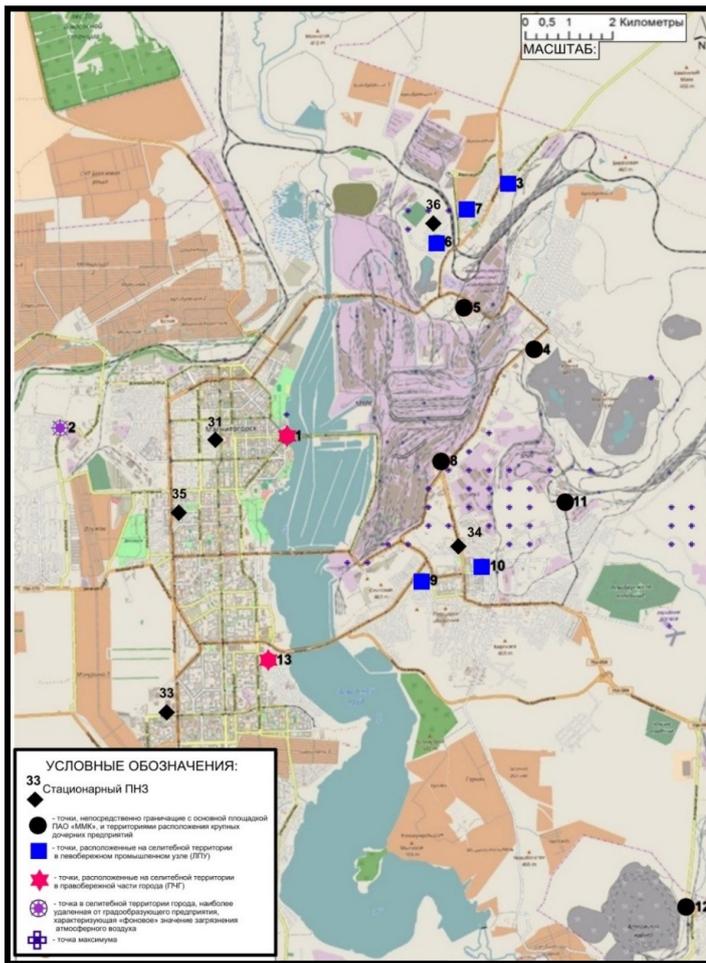


Рис. 1. Расположение точек отбора образцов, точек максимума концентраций на территории г. Магнитогорска

Fig. 1 Location of sampling points and points of maximum concentration on the territory of Magnitogorsk

фиксировались фактические значения температуры и влажности воздуха с использованием многофункционального тестера окружающей среды MS6300, также отмечались фактические скорость и направление ветра (табл. 1). Суммарно было отобрано 260 проб, по которым выполнено 390 измерений.

– точки, непосредственно граничащие с основной площадкой градообразующего предприятия – ПАО «ММК» и территориями расположения крупных дочерних предприятий: № 4, 5, 8, 11, 12 (черный круг на рис. 1);

– точки, расположенные на селитебной территории в левобережном промышленном узле (ЛПУ): № 3, 6, 7, 9, 10 (синий квадрат на рис. 1);

– точки, расположенные на селитебной территории в правобережной части города (ПЧГ): № 1, 13 (розовая шестиконечная звезда на рис. 1);

– точка в селитебной территории города, наиболее удаленная от градообразующего предприятия, характеризующая «фоновое» значение загрязнения атмосферного воздуха: № 2 (фиолетовый круг с восьмью лучами по окружности на рис. 1).

На рис. 1 также приведена информация о масштабе карты (правый верхний угол), местах расположения стационарных постов наблюдения сети Росгидромет (черный ромб с номером поста), точках максимума концентраций по результатам расчета рассеивания (маленький фиолетовый крестик с закрашенным в центре квадратом).

На каждой площадке отбирались по две ветки 45–50 см длиной с наличием не менее пяти зеленых листьев среднего размера типичной формы, от которых в последующем отбиралось 10 проб. При отборе образцов

Таблица 1

Метеорологические параметры на пробных площадках в г. Магнитогорске  
Meteorological parameters at sample plots in Magnitogorsk

№ точки отбора проб	Температура воздуха, °C	Влажность, %	Ветер, направление и скорость (м/с)	Время отбора (местное)
1	23,7	48	штиль	5:19
2	22,1	49	штиль	5:35
3	21,0	52	штиль	5:50
4	20,7	58	штиль	6:05
5	19,8	57	штиль	6:15
6	19,2	59	штиль	6:27
7	18,5	60	штиль	6:36
8	20,1	60	штиль	6:57

## Метеорология

Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

Окончание табл. 1

№ точки отбора проб	Температура воздуха, °С	Влажность, %	Ветер, направление и скорость (м/с)	Время отбора (местное)
9	20,1	64	штиль	7:10
10	21,4	63	штиль	7:22
11	22,2	57	штиль	7:34
12	23,7	56	штиль	7:50
13	24,0	53	ССЗ, 1 м/с	8:17

## Результаты

По результатам проведенных лабораторных исследований были получены значения относительного показателя замедленной флуоресценции хлорофилла (ОПЗФ) ассимиляционных органов клена ясенелистного и содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в исследуемых образцах.

Диаграмма средних значений относительного показателя замедленной флуоресценции хлорофилла (ОПЗФ) ассимиляционных органов клена ясенелистного приведена на рис. 2.

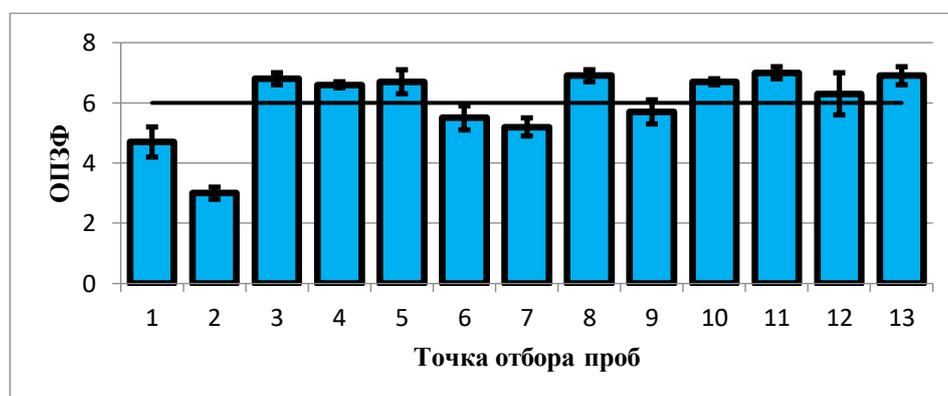


Рис. 2. Значения относительного показателя замедленной флуоресценции хлорофилла (ОПЗФ) (на ось абсцисс нанесены номера площадок, на ось ординат – уровень ОПЗФ)

Fig. 2. Values of the relative index of delayed chlorophyll fluorescence

По рис. 2 можно сделать вывод о том, что среднее значение ОПЗФ по всем пробным площадкам составляет «6», соответствующее высокой синтетической активности (средняя синтетическая активность – 3), что свидетельствует о том, что в среднем на исследуемой территории растительность подвергается значимому воздействию внешних факторов. Повышение синтетической активности свидетельствует о включении дополнительных защитных функций у представителей данной растительности для лучшей адаптации к условиям окружающей среды. Следует понимать, что включение дополнительных защитных функций растительности не может продолжаться бесконечно. При превышении определенных пределов жизненные функции растения будут угнетены.

На основании полученных показателей ОПЗФ можно сделать вывод о том, что в точках № 1, 6, 7, 9 (удаленность от металлургического комбината 100–200 м) состояние растительности можно оценить как хорошее. В пробах, отобранных в точках № 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 13, отмечена повышенная фотосинтетическая активность на фоне некоторого ухудшения состояния растительности.

Повышенная фотосинтетическая активность, как правило, в условиях города свидетельствует о включении дополнительных защитных функций для повышения устойчивости при непрерывном воздействии внешних факторов среды. При этом состояние растительности в этих точках (№ 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 13) характеризуется как удовлетворительное.

## Метеорология

Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

Часть указанных точек (№ 3, 10, 11, 12, 13) удалены от территории Магнитогорского металлургического комбината дальше, чем точки № 1, 6, 7, 9, поэтому ухудшение состояния растительности в этих точках требует отдельного пояснения.

В соответствии с [17] концентрация примеси из-за наличия эффекта переноса газовой струи, исходящей из высокого нагретого источника выбросов, мала вблизи источника выбросов и возрастает с увеличением расстояния от трубы за счет остывания струи и опускания к поверхности земли, достигая максимума в приземном слое на некотором расстоянии от источника выброса (эффект «переброса струи»). Максимальные концентрации в этом случае отмечаются обычно на расстоянии 10–40 высот труб, что объясняет дополнительную экологическую нагрузку на растения в указанных точках.

Наименьшее значение ОПЗФ отмечено в точке № 2 (ОПЗФ=3), что указывает на низкий уровень устойчивости растений к стрессовому воздействию, которое обычно отмечается у растений, произрастающих на менее загрязненных территориях. При этом точка № 2 была выбрана в наименее загрязненном районе в качестве эталона «фоновое» загрязнения.

Диаграмма результатов проведенных анализов на содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в отобранных пробах (средние значения) приведена на рис. 3.

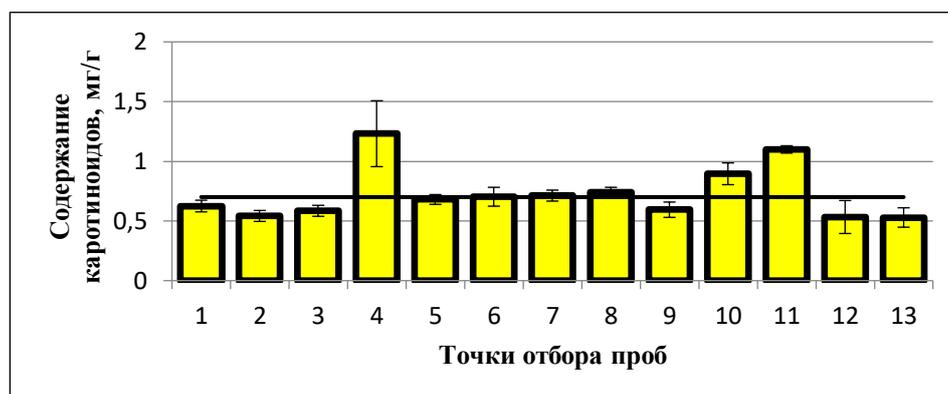


Рис. 3. Содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в листьях, мг/г (на ось абсцисс нанесены номера площадок, на ось ординат – содержание каротиноидов)

Fig. 3. Content of photosynthetic pigments (carotenoids) in leaves, mg/g

По рис. 2 можно сделать вывод о том, что растительность в 10 точках (№ 1–3, 5–9, 12–13) из 13 находится примерно в одинаковых условиях, несмотря на удаленность от металлургического комбината. У растительности в точках № 4 ( $1,231 \pm 0,276$  мг/г), № 10 ( $0,895 \pm 0,091$  мг/г) и № 11 ( $1,099 \pm 0,031$  мг/г) (удаленность от металлургического комбината 0–250 м) выявлена повышенная активность каротиноидов, что говорит о значимой антропогенной, в том числе техногенной, нагрузке на эти растения. Содержание каротиноидов в листьях клена ясенелистного в опытных образцах с территорий с повышенной антропогенной, в том числе техногенной, нагрузкой выше по сравнению с опытными образцами с территорий условного контроля [2], что подтверждается результатами анализов проб из образцов, отобранных в точке № 2, выбранной в наименее загрязненном районе в качестве эталона «фоновое» загрязнения.

На основании полученных значений содержания фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в листьях для территории г. Магнитогорска пониженное содержание каротиноидов (0,529–0,625 мг/г) отмечается в точках № 1–3, 9, 12–13, среднее (0,680–0,741 мг/г) – в точках № 5–8, повышенное (0,895–1,231 мг/г) – в точках № 4, 10–11.

Показатель отклонения уровня фотосинтетической активности от средних по городу значений и содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов) приведены на рис. 4.

Показатель отклонения уровня фотосинтетической активности от средних по городу значений приведены на рис. 4 в виде пуансонов различной окраски:

## Метеорология

Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

- белым цветом отмечена точка, в которой уровень фотосинтетической активности растений ниже среднего на 25 % и более (точка № 2);
- темно-зеленым цветом отмечены точки, в которых уровень фотосинтетической активности растений ниже среднего на 10–25 % (две точки: № 1, 7);
- светло-зеленым цветом отмечены точки, в которых уровень фотосинтетической активности растений ниже среднего на 10 % и менее (две точки: № 6, 9);

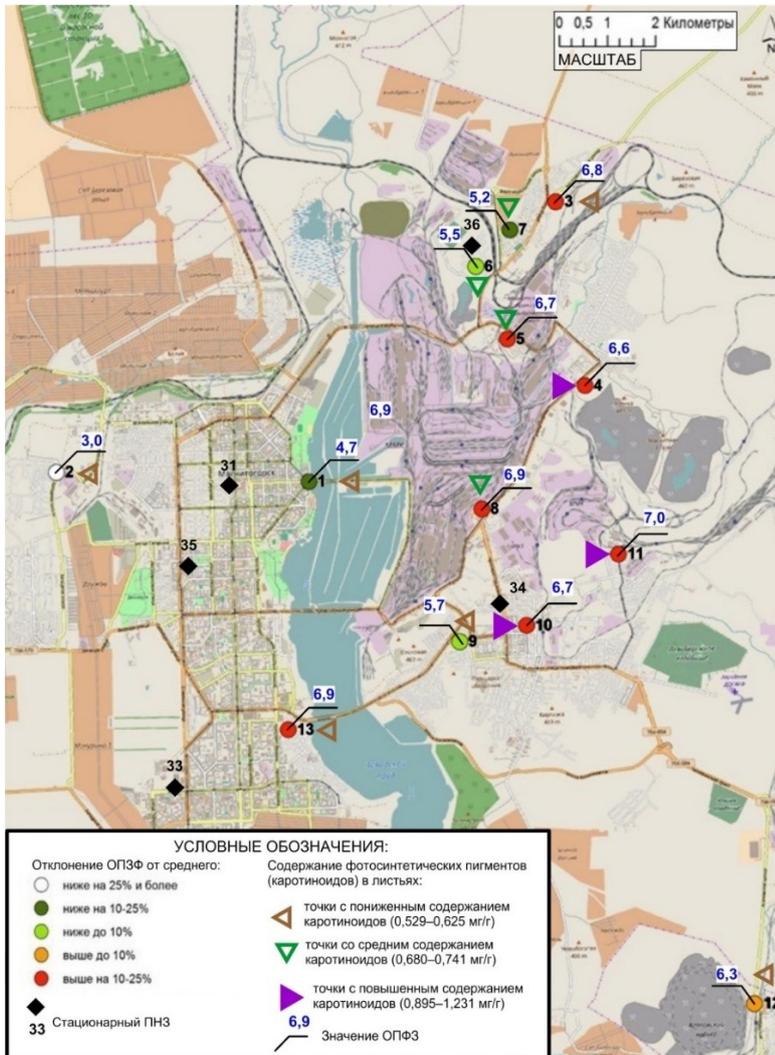


Рис. 4. Значение ОПЗФ и содержания каротиноидов в точках отбора образцов на территории г. Магнитогорска  
 Fig. 4 The values of delayed chlorophyll fluorescence and the content of carotenoids at sampling points in the territory of Magnitogorsk

- оранжевым цветом отмечена точка, в которой уровень фотосинтетической активности растений выше среднего на 10 % и менее (точка № 12);

- красным цветом отмечены точки, в которых уровень фотосинтетической активности растений выше среднего на 10–25 % (7 точек: № 3, 4, 5, 6, 10, 11, 13).

В точках, отмеченных белым, темно-зеленым и светло-зеленым цветом, растительность в меньшей степени задействует адаптационные к загрязнению окружающей среды механизмы, и, следовательно, можно сказать, что в данных точках в течение длительного времени отмечается более низкий уровень антропогенной, в том числе техногенной, нагрузки, в сравнении с точками, отмеченными оранжевым и красным цветом.

Точки, в которых отмечено повышенное содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в растениях (№ 4, 10, 11), свидетельствующее о большем антропогенном, в том числе техногенном, воздействии, отмечены на рис. 4 фиолетовыми стрелками.

## Обсуждения

Результаты исследования показали повышенные уровни (в сравнении со средним по городу) относительного показателя замедленной флуоресценции хлорофилла различной степени, свидетельствующие о повышенном уровне стресса для растительности, в семи точках отбора образцов: точки № 3–5, 8, 10, 11, 13.

Повышенное содержание (в сравнении со средним по городу) фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в листьях, свидетельствующее о значимой антропогенной, в том числе техногенной, нагрузке на растительность, отмечено в трех точках отбора образцов: № 4, 10, 11.

Таким образом, из всех 13 точек отбора образцов в трех точках (№ 4, 10, 11) результаты исследований по двум показателям одновременно указали на усиленную антропогенную, в

## Метеорология

Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

том числе техногенную, нагрузку, оказываемую на растительность. При этом, поскольку состояние растительности характеризует длительный период загрязнения, можно предположить, что именно в этих точках в атмосферном воздухе преимущественно отмечаются повышенные уровни загрязнения постоянно.

Результаты проведенных исследований могут дать дополнительную информацию для расстановки постов наблюдения за состоянием атмосферного воздуха.

На рис. 1 и 3 отмечены места расположения стационарных постов наблюдения (ПНЗ) Росгидромета за загрязнением атмосферного воздуха. Всего на территории г. Магнитогорска размещены пять ПНЗ: три (№ 31, 33, 35) в левобережной и два (№ 34, 36) в правобережной части города.

Важной частью процесса разработки предложений для модернизации существующей системы мониторинга является оценка эффективности действующей системы.

Самым очевидным методом оценки эффективности наблюдений мог бы стать метод, при котором одновременно с измерениями на ПНЗ на протяжении длительного времени осуществлялись бы инструментальные исследования содержания одних и тех же загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в дополнительных точках в различных частях города по аналогичной программе (полная, неполная программы). Однако такой метод является крайне затратным и не всегда оправданным. В данном случае альтернативой многочисленным измерениям могут служить исследования состояния растений.

Поскольку состояние растений характеризует длительное воздействие загрязнения атмосферного воздуха (для лиственных – один сезон), то проведенные в результате эксперимента исследования, показанные в настоящей статье, можно использовать в качестве косвенного метода одновременной оценки эффективности существующей сети наблюдений и состояния атмосферного воздуха.

Как уже было указано ранее, для определения местоположения точек отбора образцов для проведения оценки состояния растительности предварительно был проведен расчет рассеивания загрязняющих веществ при помощи УПРЗА «Эколог». В результате анализа расчета рассеивания, а также проведенных ранее исследований в г. Магнитогорске [14–16] были определены точки на территории города, в которых ожидался высокий, средний или низкий уровень длительного загрязнения атмосферного воздуха. Результаты ожидаемого и фактического уровня антропогенной, в том числе техногенной, нагрузки на растительность, а также расстояние от точек отбора образцов до ближайшего ПНЗ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Ожидаемый и фактический уровень антропогенной нагрузки на растительность в г. Магнитогорске  
Expected and actual level of anthropogenic pressure on vegetation in Magnitogorsk

№ точки отбора образцов	Характеристика	Ожидаемый уровень загрязнения	Фактический уровень загрязнения	Ближайший ПНЗ (№, расстояние)
1	Селитебная территория в ПЧГ	Низкий	ОПЗФ выше на 10–25 %, средняя активность каротиноидов	№ 31 на запад 1,5 км
2	Фоновое значение уровня загрязнения	Минимальный	ОПЗФ ниже на 25 % и более, средняя активность каротиноидов	№ 31 на восток 3,6 км
3	Селитебная территория в ЛПУ	Средний	ОПЗФ выше на 10–25 %, средняя активность каротиноидов	№ 36 на юго-запад 2,1 км
4	Граница основной площадки градообразующего предприятия	Высокий	ОПЗФ выше на 10–25 %, повышенная активность каротиноидов	№ 36 на северо-запад 3,2 км
5	Граница основной площадки градообразующего предприятия	Высокий	ОПЗФ выше на 10–25 %, средняя активность каротиноидов	№ 36 на север 1,7 км

## Метеорология

Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

Окончание табл. 2

№ точки отбора образцов	Характеристика	Ожидаемый уровень загрязнения	Фактический уровень загрязнения	Ближайший ПНЗ (№, расстояние)
6	Селитебная территория в ЛПУ	Средний	ОПЗФ ниже 10 % и менее, средняя активность каротиноидов	№ 36 менее 0,3 км на север
7	Селитебная территория в ЛПУ	Средний	ОПЗФ ниже на 10–25 %, средняя активность каротиноидов	№ 36 менее 0,3 км на юго-запад
8	Граница основной площадки градообразующего предприятия	Высокий	ОПЗФ выше на 10–25 %, средняя активность каротиноидов	№ 34 на юго-восток 1,7 км
9	Селитебная территория в ЛПУ	Средний	ОПЗФ ниже на 10 % и менее, средняя активность каротиноидов	№ 34 на северо-восток 1,1 км
10	Селитебная территория в ЛПУ	Средний	ОПЗФ выше на 10–25 %, повышенная активность каротиноидов	№ 34 на северо-запад 0,8 км
11	Граница крупных дочерних объектов градообразующего предприятия	Высокий	ОПЗФ выше на 10–25 %, повышенная активность каротиноидов	№ 34 на юго-запад 2,5 км
12	Граница крупных дочерних объектов градообразующего предприятия	Высокий	ОПЗФ выше на 10 % и менее, средняя активность каротиноидов	–
13	Селитебная территория в ПЧГ	Низкий	ОПЗФ выше на 10–25 %, средняя активность каротиноидов	№ 33 на юго-запад 2,6 км

В результате анализа данных из табл. 2 можно сделать вывод, что из 13 точек отбора образцов только в трех точках результаты исследований по двум показателям одновременно указали на усиленную антропогенную, в том числе техногенную, нагрузку, оказываемую на растительность (№ 4, 10, 11 – выделены в таблице серым цветом). При этом точки № 4 и 11 расположены на границах производственных площадок, и в данных точках ожидался высокий уровень длительного загрязнения атмосферы. А точка № 10 расположена на селитебной территории в левобережной части города (левобережный промузел), и в данной точке ожидался средний уровень длительного загрязнения атмосферного воздуха.

Отдаленность ПНЗ от места отбора образцов в точках с максимальной антропогенной, в том числе техногенной, нагрузкой на растительность составляет: точка № 4 – ПНЗ № 36 на северо-запад 3,2 км; точка № 10 – ПНЗ № 34 на северо-запад 0,8 км; точка № 11 – ПНЗ № 34 на юго-запад 2,5 км.

Наименьшее расстояние от точек отбора образцов имеет ПНЗ № 36: менее 0,3 км на север от точки № 6 и менее 0,3 км на юго-запад от точки № 7. При этом в точках № 6–7 отмечена средняя активность каротиноидов и ОПЗФ ниже среднего – не менее чем на 10 %, что говорит о слабом влиянии загрязнения атмосферного воздуха на растительность в этих точках и, следовательно, о низком длительном уровне загрязнения атмосферного воздуха.

Таким образом, местоположение ПНЗ № 36, с точки зрения непрерывного и продолжительного влияния загрязнения атмосферного воздуха на растительность, не может в полной мере характеризовать загрязнение на территории г. Магнитогорска.

Результаты исследования в точках № 3, 6, 7 показывают, насколько разным может быть влияние длительного загрязнения атмосферного воздуха на растительность на относительно небольшом отрезке местности (расстояние между точками № 6 и 3 составляет порядка 2000 м). При этом расстояние между ПНЗ города существенно больше, чем расстояние между точками

*Метеорология**Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.*

№ 3, 6, 7. При наличии такой разряженной сети ПНЗ невозможно уверенно заявлять о репрезентативности данных о качестве атмосферного воздуха в городе, полученных на основе результатов измерений на ПНЗ. Следовательно, для развития и повышения эффективности системы наблюдений за состоянием атмосферного воздуха в г. Магнитогорске необходимо не только увеличить количество ПНЗ, но и установить их в точках максимального ожидаемого загрязнения атмосферного воздуха.

**Заключение**

В результате проведенных в 2016 г. исследований растительности в разных районах г. Магнитогорска были получены значения ОПЗФ ассимиляционных органов клена ясенелистного и содержание фотосинтетических пигментов (каротиноидов) в исследуемых образцах (рис. 2–3). Цель проведенного исследования достигнута, а полученные результаты исследований были использованы при разработке предложений по модернизации системы мониторинга атмосферного воздуха г. Магнитогорска.

Результаты исследований показали, что среднее значение ОПЗФ по всем пробным площадкам составляет 6 (высокая синтетическая активность), что свидетельствует о том, что в среднем на исследуемой территории растительность подвергается значимому воздействию внешних факторов. В точках № 1, 6, 7, 9 состояние растительности можно оценить как хорошее. В пробах, отобранных в точках № 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 13, отмечена повышенная фотосинтетическая активность, свидетельствующая о наличии негативного воздействия. Наименьшее значение ОПЗФ отмечено в фоновой точке № 2, расположенной в удалении от ПАО «ММК» в жилой зоне.

В результате исследования содержания каротиноидов в листьях получен результат, свидетельствующий, что растительность в 10 точках (№ 1–3, 5–9, 12–13) из 13 находится примерно в одинаковых условиях. У растительности в точках № 4, 10, 11 выявлена повышенная активность каротиноидов, что говорит о значимой антропогенной, в том числе техногенной, нагрузке на эти деревья.

Из всех 13 точек отбора образцов только в трех точках (№ 4, 10, 11) результаты двух проведенных исследований одновременно свидетельствуют об усиленной антропогенной, в том числе техногенной, нагрузке на растительность. Таким образом, полученный результат исследования растительности частично подтвердил результаты расчета рассеивания загрязняющих веществ (табл. 2).

По результатам исследования сделан вывод о том, что в г. Магнитогорске при наличии разряженной сети ПНЗ и проведенных на них измерениях невозможно уверенно судить о репрезентативности данных о качестве атмосферного воздуха в городе. Следовательно, для наиболее объективной оценки состояния загрязнения атмосферного воздуха необходимо привлечение дополнительных источников информации.

Наиболее правильным вариантом улучшения наблюдений за состоянием атмосферного воздуха в г. Магнитогорске было бы увеличение количества ПНЗ на территории города с установкой их вблизи точек № 4 (п. Новогорняцкий, ул. Л. Чайкиной, 20а), № 10 (ул. Рубинштейна, 4) и № 11 (п. Горнорудный).

В качестве одного из возможных путей для восполнения недостатков существующей стационарной сети проблемы разреженности сети ПНЗ можно рекомендовать внедрение маршрутных наблюдений при помощи передвижных лабораторий по полной или неполной программе.

## Метеорология

Опущина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

## Библиографический список

1. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Сарапулцевой. 3-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 288 с.
2. Бухарина И.Н., Кузьмин П.А., Гибадулина И.И. Анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений в условиях городской среды (на примере г. Набережные Челны) // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2013. № 1. С. 20–25.
3. Григорьев Ю.С. Флуоресценция хлорофилла в биоиндикации загрязнения воздушной среды // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ). 2005, Т. 10, № 4. С. 77–91.
4. Григорьев Ю.С., Андреев Д.Н. К вопросу о методике регистрации замедленной флуоресценции хлорофилла при биоиндикации загрязнения воздушной среды на хвойных // Естественные науки. 2012, № 2 (39). С. 36–39.
5. Конституция Российской Федерации: принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020. Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
6. Лукаткин А.С., Регин В.В., Баймаков Д.И., Кренделева Т.Е., Антал Т.К., Рубин А.Б. Экологическая оценка состояния древесных растений г. Саранска по флуоресценции хлорофилла // Поволжский экологический журнал. 2011, № 1. С. 87–92.
7. Ляшенко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды: учеб. пособие. СПб.: СПб ГТУРП, 2012. 67 с.
8. О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха: Федеральный закон от 26.07.2019 № 195-ФЗ: ред. от 26.03.2022. Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
9. Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды: Постановление Правительства Российской Федерации от 06.06.2013 № 477: ред. от 03.08.2020. Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
10. Об охране атмосферного воздуха: Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ: ред. от 11.06.2021. Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
11. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ: ред. от 14.07.2022. Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
12. Об утверждении правил проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию: приказ Минприроды России от 29.11.2019 № 813. Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
13. ООО «Расписание погоды»: официальный сайт. URL: <https://rp5.ru/>, (дата обращения 12.05.2023).
14. Опущина И.П., Сорокина Т.В. Характеристика состояния атмосферного воздуха в городе Магнитогорске для усовершенствования системы мониторинга // Проблемы антропогенной трансформации природной среды: материалы международной конференции, 14–15 ноября 2019 г. / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: ПГНИУ, 2019. С. 198–200.
15. Опущина И.П., Шкляев В.А. Оптимизация системы наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха в г. Магнитогорске // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: сборник материалов всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка (21–22 апреля 2022 г.) / под ред. С.А. Бузмакова; ПГНИУ. Пермь, 2022. С. 316–321.
16. Опущина И.П. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в городе Магнитогорске и его связь с метеорологическими условиями // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады XXVI международной научно-практической конференции, Тула, 15 декабря 2019 года / Под общей редакцией В.М. Панарина. Тула: Издательство «Инновационные технологии», 2019. С. 54–57.
17. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы: утвержден Госкомгидрометом СССР; Главным государственным санитарным врачом СССР от 01.06.1989. Режим доступа: справочно-правовая система «Техэксперт». URL: <https://cndt.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
18. Рубин А.Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соросовский образовательный журнал. 2000, № 4. С. 7–13.
19. Унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы «Эколог» Версия 3.0. Руководство пользователя. «Интеграл». URL: <https://integral.ru/Integral/userguides/uprza.pdf>, (дата обращения 02.05.2023).
20. Челябинский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Уральского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (Челябинский ЦГМС – филиал ФГБУ «Уральское УГМС»). URL: <http://www.chelpogoda.ru/>, (дата обращения 12.05.2023).
21. Чеснокова С.М. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды: учеб. пособие в 2 ч. Ч. 1. Методы биоиндикации. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. 84 с.

## References

1. Biologicheskij kontrol' okruzhayushchey sredy: bioindikatsiya i biotestirovaniye [Biological control of the environment: bioindication and biotesting]: textbook for students of higher educational institutions / ed. O.P. Melekhova and E.I. Sarapultseva. 3rd ed., stereotypical. M.: Publishing Center «Academy», 2010. 288 p.
2. Bukharina I.N. Analiz soderzhaniya fotosinteticheskikh pigmentov v list'yakh drevesnykh rasteniy v usloviyakh gorodskoy sredy (na primere g. Naberezhnyye Chelny) [Analysis of the content of photosynthetic pigments in the leaves of woody plants in an urban environment (on the example of Naberezhnyye Chelny)] / I.N. Bukharina, P.A. Kuzmin, I.I. Gibadulina // Bulletin of the Udmurt University. Series «Biology. Earth Sciences». 2013, no. 1.

## Метеорология

Опутина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.

3. *Grigoriev Yu.S.* Fluorestsentsiya khlorofilla v bioindikatsii zagryazneniya vozduшной среды [Chlorophyll fluorescence in bioindication of air pollution] // Bulletin of the International Academy of Sciences of Ecology and Life Safety (IASSES). 2005, vol. 10, no. 4, pp. 77–91.
4. *Grigoriev Yu.S.* К вопросу о методике регистрации задержанной флуоресценции хлорофилла при биоиндикации загрязнения воздуха в хвойных [To the question of the method of registration of delayed chlorophyll fluorescence during bioindication of air pollution in conifers] / Yu.S. Grigoriev, D.N. Andreev // Natural sciences. 2012, no. 2 (39), pp. 36–39.
5. Конституция Российской Федерации [The Constitution of the Russian Federation]: adopted by popular vote on 12.12.1993 with amendments approved during the nationwide vote on 07.01.2020. Access mode: reference and legal system «ConsultantPlus».
6. *Lukatkin A.S.* Экологическая оценка состояния древесных растений г. Саранска по флуоресценции хлорофилла [Ecological assessment of the state of woody plants in the city of Saransk by chlorophyll fluorescence] / A.S. Lukatkin, V.V. Revin, D.I. Bashmakov, T.E. Krendeleva, T.K. Antal, A.B. Rubin // Povolzhsky ecological journal. 2011, no. 1, pp. 87–92.
7. *Lyashenko O.A.* Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды [Bioindication and biotesting in environmental protection]: tutorial. St. Petersburg: St. Petersburg SUITD, 2012, 67 p.
8. О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха [On conducting an experiment on quotas for pollutant emissions and amending certain legislative acts of the Russian Federation in terms of reducing air pollution]: Federal Law No. 195-FZ of 26.07.2019: red. dated 26.03.2022. Access mode: reference and legal system «ConsultantPlus».
9. Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды [On the implementation of state monitoring of the state and pollution of the environment]: Decree of the Government of the Russian Federation of 06.06.2013 No. 477: red. dated 03.08.2020. Access mode: reference and legal system «ConsultantPlus».
10. Об охране атмосферного воздуха [On the protection of atmospheric air]: Federal Law of 04.05.1999 No. 96-FZ: red. dated 06.11.2021. Access mode: reference and legal system «ConsultantPlus».
11. Об охране окружающей среды [On environmental protection]: Federal Law of 10.01.2002 No. 7-FZ: red. dated 14.07.2022. – Access mode: reference and legal system «ConsultantPlus».
12. Об утверждении правил проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая их обновление: order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 29.11.2019 No. 813. Access mode: legal reference system «ConsultantPlus».
13. ООО «Расписания погоды»: official website. URL: <https://rp5.ru/>, (accessed 12.05.2023).
14. *Oputina I.P.* Характеристика состояния атмосферного воздуха в городе Магнитогорске для усовершенствования системы мониторинга [Characteristics of the state of atmospheric air in the city of Magnitogorsk to improve the monitoring system] / I.P. Oputina, T.V. Sorokina // Problems of anthropogenic transformation of the natural environment: proceedings of the international conference, November 14–15, 2019 / ed. S.A. Buzmakov. Perm: PSU, 2019, pp. 198–200.
15. *Oputina I.P.* Оптимизация системы наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха в г. Магнитогорске [Optimization of the monitoring system for atmospheric air pollution in Magnitogorsk] I.P. Oputina, V.A. Shklyayev // Ecological safety in the conditions of anthropogenic transformation of the natural environment: a collection of materials from the All-Russian school-seminar dedicated to the memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmark (April 21–22, 2022) / ed. S.A. Buzmakova; PSNIU. Electronic data. Perm, 2022, pp. 316–321.
16. *Oputina I.P.* Уровень загрязнения атмосферного воздуха в городе Магнитогорске и его связь с метеорологическими условиями [The level of atmospheric air pollution in the city of Magnitogorsk and its connection with meteorological conditions] / I.P. Oputina // Priority directions for the development of science and technology: reports of the XXVI international scientific and practical conference, Tula, 15.12.2019 / Under the general editorship of V.M. Panarina. Tula: Publishing house «Innovative technologies», 2019, pp. 54–57.
17. RD 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы [Guidelines for air pollution control]: approved by the USSR State Committee for Hydrometeorology; Chief State Sanitary Doctor of the USSR dated 06.01.1989. – Access mode: legal reference system «Techexpert».
18. *Rubin A.B.* Биофизические методы в экологическом мониторинге [Biophysical methods in environmental monitoring] // Soros Educational Journal. 2000, no. 4, pp. 7–13.
19. Unified program for calculating air pollution «Ecolog» Version 3.0. User manual // Firm «Integral»: site. URL: <https://integral.ru/Integral/userguides/uprza.pdf>, (accessed 02.05.2023).
20. Chelyabinsk Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring – branch of the Federal State Budgetary Institution «Ural Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring» (Chelyabinsk CHEM – branch of the Federal State Budgetary Institution «Ural CHEM»): website. URL: <http://www.chelpogoda.ru/>, (accessed 12.05.2023).
21. *Chesnokova S.M.* Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды [Biological methods for assessing the quality of environmental objects]: study guide in two parts – Part 1. Methods of bioindication. – Vladimir: Publishing house Vladimir state university, 2007, 84 p.

Статья поступила в редакцию: 24.08.23, одобрена после рецензирования: 10.10.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 24 August 2023; approved after review: 10 October 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

*Метеорология**Опутина И.П., Шкляев В.А., Костылева Н.В.*

## Информация об авторах

## Information about the authors

**Ирина Павловна Опутина**

научный сотрудник отдела прикладной экологии  
ФГБУ УралНИИ «Экология»;  
614039, Россия, г. Пермь, Комсомольский просп., 61а  
e-mail: [oputinaip@ecologyperm.ru](mailto:oputinaip@ecologyperm.ru)

**Irina P. Oputina**

Researcher, Department of Applied Ecology,  
Research Institute UralNII Ecology;  
61a, Komsomolsky prospekt, Perm, 614039, Russia  
e-mail: [oputinaip@ecologyperm.ru](mailto:oputinaip@ecologyperm.ru)

**Владимир Александрович Шкляев**

кандидат географических наук, доцент, профессор  
кафедры метеорологии и охраны атмосферы,  
Пермский государственный национальный  
исследовательский университет;  
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15;  
научный сотрудник отдела прикладной экологии  
ФГБУ «УралНИИ «Экология»;  
614039, Россия, г. Пермь, Комсомольский просп., 61а  
e-mail: [shklyaeavl@yandex.ru](mailto:shklyaeavl@yandex.ru)

**Vladimir A. Shklyayev**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,  
Professor, Department of Meteorology and Atmospheric  
Protection, Perm State University;  
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia;  
Researcher, Department of Applied Ecology, Research  
Institute UralNII Ecology;  
61a, Komsomolsky prospekt, Perm, 614039, Russia

**Наталья Валерьевна Костылева**

кандидат технических наук, начальник отдела  
прикладной экологии ФГБУ «УралНИИ «Экология»;  
614039, Россия, г. Пермь, Комсомольский просп., 61а;  
доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы  
Пермский государственный национальный  
исследовательский университет;  
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15  
e-mail: [nkost@ecologyperm.ru](mailto:nkost@ecologyperm.ru)

**Natalya V. Kostyleva**

Candidate of Engineering Sciences, Head of the  
Department of Applied Ecology, Research Institute  
UralNII Ecology;  
61a, Komsomolsky prospekt, Perm, 614039, Russia;  
Associate Professor, Department of Biogeocenology  
and Nature Protection, Perm State University;  
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

**Вклад авторов**

Опутина И.П. – проведение отбора опытных образцов, обработка результатов, написание разделов: «Материалы и методы исследования», «Результаты», «Обсуждения».

Шкляев В.А. – написание разделов: «Введение», «Заключение», «Обсуждения».

Костылева Н.В. – идея, организация и руководство исследованием, проведение отбора опытных образцов, написание разделов: «Введение», «Заключение».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors**

Irina P. Oputina – selection of the samples; processing of the results; writing of the sections: Research Materials and Methods, Results, Discussion.

Vladimir A. Shklyayev – writing of the sections: Introduction, Conclusion, Discussion.

Natalya V. Kostyleva – the idea; organization and management of the experiment; selection of the samples, writing of the sections: Introduction, Conclusion.

The authors declare no conflict of interest.

Метеорология  
Подрезова Ю.А.

Научная статья

УДК 630\*431; 551\*582

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-138-150

## ОЦЕНКА КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ РИСКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЛЕСА НА ИССЛЕДУЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ВОРОНЕЖСКОЙ И КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТЕЙ В СЕЗОН 2022 Г.

Юлия Андреевна Подрезова

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия  
umbassador@mail.ru

**Аннотация.** Лесные пожары являются элементом глобального развития биосферы, фактором, который необходимо учитывать при анализе изменения климата и выборе действий для ослабления его отрицательных последствий. Рассматривается оценка рисков климатической пожароопасности в сезон 2022 г. на исследуемых территориях Воронежской и Калужской областей. Исходным материалом послужили средние суточные и срочные наблюдения показательных для этих площадей метеостанций Воронеж и Сухиничи за пожароопасный сезон с апреля по октябрь 2022 г., а также их многолетние средние месячные данные, полученные за 56-летний период 1966–2021 гг. В качестве методического подхода использован расчет по этим метеорологическим параметрам значений месячных нормированных аномалий для пяти факторов (температура воздуха, сумма осадков, относительная влажность воздуха, скорость ветра и количество гроз) и последующий сравнительный климатический анализ их с данными 2022 г. Результаты анализа позволили дать наглядное количественное описание структуры формирования климатических рисков пожароопасности для каждого месяца сезона 2022 г. по этим метеорологическим параметрам относительно многолетних климатических условий. Дополнительный переход от нормированных аномалий к бальной характеристике рисков позволил получить приближенные интегральные оценки климатических рисков по комплексу из всех пяти факторов одновременно для каждого месяца и пожароопасного сезона в целом по обеим территориям. Материалы статьи представляют интерес для специалистов по лесному хозяйству, прикладной климатологии, для студентов лесных и лесотехнических специальностей, а также могут быть полезны широкому кругу специалистов географического, биологического, экологического и природоохранного профилей.

**Ключевые слова:** Воронежская и Калужская области, пожарная опасность лесов, климатические факторы риска, анализ и численная оценка рисков

**Для цитирования:** Подрезова Ю.А. Оценка климатических факторов риска пожарной опасности леса на исследуемых территориях Воронежской и Калужской областей в сезон 2022 года // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 138–150. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-138-150

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-138-150

## ASSESSMENT OF CLIMATIC FACTORS OF FOREST FIRE HAZARD RISKS FOR STUDY AREAS IN THE VORONEZH AND KALUGA REGIONS IN THE 2022 FIRE SEASON

Yuliia A. Podrezova

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia  
umbassador@mail.ru

**Abstract.** Forest fires are considered to be an element of the global development of the biosphere, a factor that should be taken into account when analyzing climate change and choosing actions to mitigate its negative consequences. The paper provides an assessment of climate-associated fire hazard risks in the 2022 season for the study areas located in the Voronezh and Kaluga regions. The source material for the study were average daily and specific-term observations



Метеорология  
Подрезова Ю.А.

of the Voronezh and Sukhinichi weather stations, representative for these areas, for the fire season from April to October 2022 as well as their long-term average monthly data obtained for the 56-year period 1966–2021.

The methodological approach is based on calculations of the values of monthly normalized anomalies for five factors (air temperature, amount of precipitation, relative air humidity, wind speed, and the number of thunderstorms) and their subsequent comparative climatic analysis with the data from 2022. The results of the analysis made it possible to provide a clear quantitative description of the structure of the climate-associated fire hazard risks development for each month of the 2022 season according to these meteorological parameters relative to long-term climatic conditions. An additional transition from normalized anomalies to a score-based risk assessment provided the possibility to obtain approximate integral estimates of climate-associated risks for a complex of all the five factors simultaneously, for each month and the entire fire season for both study areas. The findings presented in the article are likely to be of interest to specialists in forestry, applied climatology, students majoring in disciplines related to the study of forests, forestry, and forest industry, and may also benefit a wide range of specialists in geographical, biological, ecological, and environmental fields.

**Keywords:** Voronezh and Kaluga regions, forest fire hazard, climate-associated risk factors, risk analysis and numerical assessment

**For citation:** Podrezova, Yu. A. (2024). Assessment of climatic factors of forest fire hazard risks for study areas in the Voronezh and Kaluga regions in the 2022 season. *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 138–150. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-138-150

### Введение

На фоне глобальных изменений климата, в результате которых на обширных территориях Восточной Европы в ближайшие десятилетия ожидается снижение коэффициента увлажнения и прогрессивное развитие термоаридного биоклиматического тренда, негативные антропогенные воздействия на лесные экосистемы следует рассматривать как критические явления, способные усилить деструктивные процессы и вызвать тотальную деградацию лесных сообществ [8, 9, 10]. Крупные лесные пожары сопровождаются пиковыми эмиссиями CO<sub>2</sub> в атмосферу, а также уменьшают стоки атмосферного CO<sub>2</sub>, что приводит к увеличению содержания его в атмосфере и к усилению парникового эффекта [26].

Условия, возникающие в лесах и лесостепях, при которых в случае наличия источника высокой температуры и/или огня может возникнуть пожар, называют пожарной опасностью. Она обуславливается как типом лесорастительной формации, так и погодными условиями. В большинстве случаев возникновение пожаров в лесах носит антропогенный характер (неосторожное обращение с огнем), но пожары могут возникать и от других факторов, например от гроз, особенно в малонаселенных северных районах. Площадь распространения лесных пожаров во многом зависит от сочетаний погодных и климатических факторов [22].

При оценке пожарной опасности растительности необходимо учитывать сумму постоянных и переменных факторов [4, 27, 28], способных спровоцировать начало горения и распространение пожара. Выделяют факторы, влияющие на вероятность возникновения пожаров, а также на распространение пожаров. К первым можно отнести [4]:

– климатические факторы, определяющие динамику фенологического состояния растительности вследствие типичного сезонного хода погоды, сезонные изменения засушливости под действием погодных флуктуаций [21], вызванных изменениями температуры поверхности океанов и параметров циркуляции атмосферы [3, 21];

– погодные условия, которые определяют пожарное созревание лесных горючих материалов [5, 12, 13], их влияние осуществляется по трем основным направлениям: уровень засухи, представляющий баланс факторов увлажнения и высыхания; суточная динамика погодных условий (ветер, дневная температура воздуха и точки росы, дневные осадки); грозовая активность в виде сухих гроз, являющихся источником природных возгораний [6, 7, 16, 20, 24, 23];

– пирологические характеристики растительности, которые зависят от степени горения лесных участков различных типов [17, 18]. Выделяют пять классов пирологической пожарной опасности;

– антропогенные факторы [1, 2, 14, 15], тенденция действия которых проявляется в увеличении количества пожаров по мере роста населения и хозяйственного освоения территорий.

К факторам, влияющим на распространение пожаров, относят [4]:

*Метеорология*  
*Подрезова Ю.А.*

– рельеф, который влияет на скорость распространения пожара по склону [12, 17, 21];  
– гидрологический режим (речной сток), который рассматривается как интенсивность спада стока и показывает емкость водоносных горизонтов и их способность подпитывать верхние слои почвы за счет капиллярного поднятия. В случае, если внешние резервы истощаются, увеличивается уровень засухи, следовательно, возрастает пожарная опасность территории [11, 25].

Как известно [4, 19], одним из главных метеорологических факторов, влияющих на возможность возникновения и развития лесных пожаров, является высокая температура воздуха при одновременном отсутствии или малых суммах осадков, что предопределяет установление режима засушливых погод с низкой относительной влажностью воздуха. Относительная влажность является фактором, определяющим вид пожара: при влажности 40–50 % и выше преобладающими являются низовые пожары, при ее снижении до 30 % пожароопасность существенно возрастает, а при 20 % низовые пожары могут переходить в верховые. Ветровой режим оказывает значительное воздействие на процессы высыхания горючего материала лесов, а также может способствовать распространению уже возникших пожаров. Наконец, грозы опасны, прежде всего, тем, что молниевые разряды на землю могут приводить к возгоранию леса.

В Воронежской и Калужской областях большинство природных пожаров происходит вследствие антропогенной деятельности человека. Этот общеизвестный факт также подтверждается МЧС России [31]. По данным официальных новостных сайтов, всего за 2022 г. в Воронежской области было 14 лесных пожаров [33], а в Калужской – 4 пожара [30].

Целью настоящего исследования было: 1) проведение сравнительного анализа пожароопасности сезона 2022 г. на исследуемых территориях Воронежской и Калужской областей относительно характерных для них многолетних климатических условий (климатических норм) по комплексу из пяти метеорологических факторов, включающих температуру воздуха, осадки, относительную влажность воздуха, скорость ветра и количество гроз; 2) количественное описание структуры формирования пожароопасности для каждой из территорий в месячном разрезе и по сезону в целом; 3) получение приближенной бальной оценки совместного влияния комплекса всех пяти факторов для каждой из площадей.

Необходимо отметить, что приводимые данные о лесных пожарах и пожароопасных ситуациях за сезон 2022 г. на исследуемых территориях в данной работе даются впервые. В задачи этого исследования не входил анализ синоптических ситуаций и барических образований, наблюдавшихся в регионах в пожароопасный период, а статистически обобщенные и многолетние сведения такого рода в свободном доступе, к сожалению, отсутствуют как по пожарам, так и по синоптическим ситуациям.

### **Объекты и методика исследований, исходные данные**

Объектами настоящего исследования являются климатические факторы риска развития пожарной опасности для исследуемых территорий, располагающихся в Воронежской и Калужской областях. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ ФЗУР2022–0009) «Разработка превентивной технологии контроля лесной пожарной опасности с использованием дистанционного зондирования с помощью БПЛА», поэтому исследуемые территории в вышеописанных областях были выбраны как лесные и лесостепные пробные площади, подходящие для реализации вышеуказанного государственного задания, а показательные метеорологические станции – как наиболее близкие, длинно-рядные и с открытым доступом к данным. В Воронежской области использованы многолетние наблюдения (56-летний период 1966–2021 гг.) метеостанции Воронеж, а в Калужской – Сухиничи за температурой воздуха, количеством выпадающих осадков, относительной влажностью воздуха, средней скоростью ветра и количеством гроз, а также

*Метеорология*  
*Подрезова Ю.А.*

данные их 8-срочных наблюдений за 2022 г. Все исходные данные находятся в свободном доступе на сайте ВНИИГМИ-МЦД [29], а также на сайте «Погода и климат» [32].

Климатические расчеты сводились к следующему:

1. Для каждого месяца по каждой метеорологической величине (температура, осадки и др.) вычислялись их многолетние климатические месячные значения  $x_n$  (климатические нормы за 1966–2021 гг.).

2. По значениям норм  $x_n$  рассчитывались месячные аномалии  $\Delta x_m$  для пожароопасного сезона 2022 г. (с апреля по октябрь) как  $\Delta x_m = x_m - x_n$ , где  $x_m$  – среднее (суммарное для осадков) месячное значение за 2022 г. с учетом их знака, имеющие размерности метеорологических величин.

3. Затем вычислялись безразмерные нормированные месячные аномалии  $\delta_m = \Delta x_m / x_n * 100$  %, выражаемые в %, что позволило оперировать ими в дальнейшем для нахождения средних значений по каждому климатическому параметру (эти аномалии явились основным исходным материалом для сравнительного климатического анализа).

4. Каждое нормированное значение аномалии  $\delta_m$  относилось по модулю по предложенной нами шкале аномалий, показанных в первой строке табл. 1, к одной из 14 градаций, заданных с шагом в 20 % и имеющих границы: 0–20, 20–40, 40–60...260–280 %; при этом сохранялся полученный в п. 2 знак аномалии.

Каждой градации шкалы нормированных аномалий табл. 1 приписывался рейтинговый балл риска климатической пожароопасности 1, 2, 3...14; при этом знак балла определялся как знаком нормированной аномалии  $\delta_m$ , так и характером воздействия климатической характеристики на пожароопасность. Так, для температуры воздуха, скорости ветра и количества гроз, для которых положительные значения аномалий увеличивают пожароопасность, соответствующему им баллу приписывался знак плюс (отрицательным приписывался знак минус). Напротив, для осадков и относительной влажности воздуха, для которых положительные значения аномалий уменьшают пожароопасность, соответствующему им баллу приписывался знак минус (отрицательным приписывался знак плюс). Таким образом, положительным значениям баллов соответствовало увеличение пожароопасности, а отрицательным – уменьшение пожароопасности.

Таблица 1

Рейтинговая шкала баллов для оценки климатических рисков пожароопасности,  
соответствующая шкале нормированных аномалий

Rating scale of scores for assessing climatic risks of fire hazard, corresponding to the scale of normalized anomalies

Шкала нормированных аномалий, %	0–20	20–40	40–60	...	260–280
Шкала баллов рисков	1	2	3	...	14

Полученные таким образом нормированные аномалии и соответствующие им рейтинговые баллы с учетом их знаков явились основным фактическим материалом сравнительного климатического анализа, используемого в настоящей работе. При этом «сравнительность» (или относительность) результатов анализа означает, что все качественные и количественные выводы о степени пожароопасности носят не абсолютный характер, так как получены в плане их относительного сравнения со средними климатическими условиями или нормами.

### Результаты и их обсуждение

**Основные особенности климата Воронежской и Калужской областей.** Климат обеих исследуемых областей умеренно континентальный с хорошо выраженными сезонами года: умеренно жарким и влажным летом и умеренно холодной зимой. Для его численной характеристики и сопоставления многолетних данных с метеорологическими условиями пожароопасного сезона 2022 г. по метеостанциям Воронеж и Сухиничи были вычислены месячные нормы

*Метеорология*  
*Подрезова Ю.А.*

основных климатических характеристик за 1966–2021 гг. и их наблюдаемые среднемесячные значения с апреля по октябрь 2022 г., которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

Многолетние нормы за 1966–2021 гг. (числитель) и среднемесячные значения за пожароопасный сезон 2022 г. (знаменатель) исследуемых климатических параметров по данным метеорологических станций Воронеж и Сухиничи  
Multi-year norms for 1966–2021 (numerator) and average monthly values for the 2022 fire season (denominator) of the studied climatic parameters according to the data of the Voronezh and Sukhinichi weather stations

Параметр	Месяц и год												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Станция Воронеж (Воронежская область)													
Температура воздуха, °С	-7,2	-6,8	-1,1	$\frac{8,4}{10,2}$	$\frac{15,3}{11,8}$	$\frac{18,7}{20,5}$	$\frac{20,5}{20,9}$	$\frac{19,3}{23,4}$	$\frac{13,4}{11,9}$	$\frac{6,7}{8,7}$	0,2	-4,7	6,9
Осадки, мм	44	36	34	$\frac{41}{55}$	$\frac{45}{37}$	$\frac{68}{50}$	$\frac{64}{122}$	$\frac{54}{31}$	$\frac{53}{135}$	$\frac{46}{95}$	47	49	580
Относительная влаж. воздуха, %	83	80	76	$\frac{64}{68}$	$\frac{60}{58}$	$\frac{66}{64}$	$\frac{67}{67}$	$\frac{65}{56}$	$\frac{71}{78}$	$\frac{77}{81}$	84	85	73
Сред. скорость ветра, м/с	3,3	3,3	3,2	$\frac{3,0}{2,8}$	$\frac{2,6}{2,9}$	$\frac{2,4}{2,1}$	$\frac{2,2}{2,2}$	$\frac{2,2}{1,8}$	$\frac{2,4}{2,2}$	$\frac{2,8}{2,4}$	3,1	3,4	3,3
Частота гроз, ед.	0	2	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{2}$	$\frac{15}{14}$	$\frac{13}{24}$	$\frac{8}{11}$	$\frac{3}{0}$	$\frac{2}{3}$	0	2	56
Станция Сухиничи (Калужская область)													
Температура воздуха, °С	-7,9	-7,3	-1,9	$\frac{6,3}{5,0}$	$\frac{13,0}{10,4}$	$\frac{16,4}{17,9}$	$\frac{18,1}{18,2}$	$\frac{16,7}{19,8}$	$\frac{11,2}{9,0}$	$\frac{5,2}{6,8}$	-0,9	-5,4	5,3
Осадки, мм	39	33	33	$\frac{38}{144}$	$\frac{56}{57}$	$\frac{76}{107}$	$\frac{83}{157}$	$\frac{66}{20}$	$\frac{56}{115}$	$\frac{56}{81}$	47	44	626
Относительная влаж. воздуха, %	86	83	77	$\frac{69}{78}$	$\frac{67}{59}$	$\frac{73}{70}$	$\frac{76}{75}$	$\frac{76}{69}$	$\frac{80}{83}$	$\frac{83}{82}$	88	88	79
Сред. скорость ветра, м/с	3,5	3,4	3,2	$\frac{3,0}{2,5}$	$\frac{2,7}{2,2}$	$\frac{2,4}{1,6}$	$\frac{2,2}{1,5}$	$\frac{2,2}{2,0}$	$\frac{2,6}{1,9}$	$\frac{3,1}{1,8}$	3,3	3,5	2,9
Частота гроз, ед.	0	2	1	$\frac{4}{0}$	$\frac{8}{1}$	$\frac{14}{19}$	$\frac{14}{30}$	$\frac{8}{4}$	$\frac{3}{0}$	$\frac{2}{1}$	1	1	56

Из данных этой таблицы следует, что средняя многолетняя годовая температура воздуха на станции Воронеж составляет 6,9 °С, а на станции Сухиничи, в соответствии с ее более северным положением, она равна 5,3 °С. Для всего периода пожароопасного сезона, с апреля по октябрь, для обеих территорий характерны положительные среднемесячные температуры с их максимумом в июле, составляющим для станции Воронеж 20,5 °С, а для Сухиничи 18,1 °С. В распределении осадков по обеим станциям проявляются следующие закономерности: минимальное количество наблюдается в феврале и марте (около 35 мм в месяц), затем оно увеличивается, достигая максимума в июне-июле (64–83 мм в месяц), и постепенно снижается к зиме (39–44 мм в месяц). При этом осенью осадков выпадает несколько больше, чем весной. Их средняя многолетняя годовая сумма за 56 лет составила по Воронежу 580 мм и по Сухи-

*Метеорология*  
*Подрезова Ю.А.*

ничи 626 мм. На территории обеих областей отмечается высокая и близкая по величине относительная влажность воздуха, средняя годовая величина которой по 56-летним наблюдениям равна для Воронежа 73 % и для Сухиничи 79 %. Следуя в противофазе годовому ходу температуры воздуха, относительная влажность имеет более низкие значения с апреля по август (60–76 %), увеличиваясь в холодное время года (80–88 %). При этом годовой ход влажности в Сухиничи выражен более слабо, чем в Воронеже. По многолетним данным, среднее годовое число гроз по обоим станциям весьма велико (56 случаев). Максимальное количество гроз отмечается в июне и июле (13–15 случаев), совпадая с максимумом осадков в эти же месяцы. Для исследуемых территорий в течение всего года характерны низкие средние месячные скорости ветра, которые меняются в пределах 2,2–3,5 м/с (при этом они несколько выше в холодное время года).

В отличие от мало меняющегося поля скоростей ветра, поле приземных направлений ветра в течение года существенно изменяется (табл. 3). Причиной является то, что оно определяется сильно меняющейся по сезонам общей циркуляцией атмосферы и сильно зависит от местных условий. При этом заметим, что при полностью равномерной повторяемости направлений по всем 8 румбам значение повторяемости каждого из румбов составляло бы 12,5 %. Поэтому при анализе значения повторяемостей, превышающие 12,5 %, можно условно рассматривать как повышенные или преобладающие по отношению к этой условной средней. По данным табл. 3, для станций Воронеж и Сухиничи в пожароопасный сезон 2022 г. имела место следующая картина изменения поля направлений ветра: относительно равномерная повторяемость направлений ветра по всем румбам в апреле сменяется преобладанием З, ЮЗ и СЗ румбов в мае, потом в июне и июле к этим направлениям добавляются С, СВ и В (ЮВ для Сухиничи) румбы. В августе уже преобладают только В и СВ направления, к октябрю происходит перестройка поля направления ветра к осенне-зимнему типу с преобладанием ветров З, СЗ (ЮЗ) и Ю направлений. Повторяемость штилей для обеих территорий по месяцам в целом мала, меняется в диапазоне 0–9 %.

Таблица 3

Повторяемость (в %) направлений ветра по 8 румбам и штилей по метеостанциям  
Воронеж/Сухиничи за пожароопасный сезон 2022 г.  
Frequency (%) of wind directions at 8 points and calm at the Voronezh/Sukhinichi weather stations  
for the 2022 fire season

Румб	Месяцы						
	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
С	14/20	10/13	23/10	19/10	10/7	7/4	11/9
СВ	14/16	6/6	15/16	9/11	30/21	6/9	4/2
В	6/17	5/6	2/12	5/7	33/44	10/17	6/6
ЮВ	13/6	8/4	7/3	11/8	13/10	13/14	11/4
Ю	15/16	9/9	4/4	6/2	2/4	10/5	15/11
ЮЗ	11/8	10/19	5/16	3/10	2/5	13/13	10/29
З	9/10	29/30	15/23	20/27	6/3	18/22	15/25
СЗ	14/4	17/13	23/11	23/16	3/1	19/10	20/8
Штили	4/3	6/0	7/5	5/9	2/4	4/6	9/4

**Характеристика климатических рисков пожароопасного сезона 2022 г. по данным о нормированных аномалиях.** Согласно приведенной выше методике, была составлена итоговая табл. 4, в которой для станций Воронеж (Воронежская область) и Сухиничи (Калужская область) в период пожароопасного сезона с апреля по октябрь 2022 г. даны месячные значения нормированных климатических аномалий (верхняя часть таблицы) и соответствующих им рейтинговых баллов пожароопасности (нижняя часть таблицы). Напомним, что нулевым значениям аномалий соответствует равенство климатических условий текущего месяца или сезона 2022 г. в целом их многолетним средним (климатическим) нормам. Значениям аномалий,

*Метеорология*  
*Подрезова Ю.А.*

равным 100 %, соответствует отклонение этих условий от норм на величину самих норм метеорологических величин.

Таблица 4

Значения нормированных аномалий климатических факторов, рассчитанных относительно их норм за 1966–2021 гг. (в %), и соответствующие им баллы рейтинговых рисков по станциям Воронеж и Сухиничи в пожароопасный сезон 2022 г.

Normalized anomalies of climatic factors calculated relative to their norms for 1966–2021 (%), and the corresponding rating risk scores for the Voronezh and Sukhinichi weather stations in the 2022 fire season

Параметр	Месяцы пожароопасного сезона 2022 г.							Сезон	
	4	5	6	7	8	9	10	Сумма	Сред.
Значения (%) и знак нормированных аномалий по станциям Воронеж (первая строка) и Сухиничи (вторая строка)									
Температура воздуха	21	-23	10	2	21	-11	29	49	7,0
	-20	-21	9	0,5	19	-20	-32	-0,5	-0,1
Осадки	34	-18	-26	91	-42	157	107	303	43,3
	281	1	40	88	-69	105	46	492	70,3
Относительная влажность	7	-3	-2	-1	-13	9	6	3	0,4
	13	-13	-4	-2	-9	4	-0,3	-11	-1,6
Скорость ветра	-8	9	-13	1	-16	-8	-16	-51	-7,3
	-19	-15	-31	-29	-8	-25	-43	-170	-24,3
Частота гроз	52	-72	-5	82	39	-100	50	46	6,6
	-100	-87	39	122	-47	-100	-38	-211	-30,1
Значения и знак рейтинговых баллов климатических рисков по станциям Воронеж (первая строка) и Сухиничи (вторая строка)									
Температура воздуха	2	-2	1	1	2	-1	2	5	0,7
	-2	-2	1	1	1	-1	2	0	0,0
Осадки	-2	1	2	-5	3	-8	-6	-15	-2,1
	-14	-1	-3	-5	4	-6	-3	-28	-4,0
Относительная влажность	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	0,1
	-1	1	1	1	1	-1	1	3	0,4
Скорость ветра	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-3	-0,4
	-1	-1	-2	-2	-1	-2	-3	-12	-1,7
Частота гроз	3	-4	-1	5	2	-6	3	2	0,3
	-6	-5	2	7	-3	-6	-5	-16	-2,3
Σ Воронеж	1	-3	2	3	7	-17	-3	-10	-1,4
Ср.зн. Воронеж	0,2	-0,6	0,4	0,6	1,4	-3,4	-0,6	-2	-0,3
Σ Сухиничи	-24	-8	-1	2	2	-16	-8	-53	-7,6
Ср.зн. Сухиничи	-4,8	-1,6	-0,2	0,4	0,4	-3,2	-1,6	-10,6	-1,5

Аномалии и баллы представлены в таблице по каждому климатическому параметру в двух строчках: первая соответствует станции Воронеж, вторая – станции Сухиничи. В двух последних столбцах таблицы приведены суммы аномалий по каждому параметру за сезон и их средние по сезону значения (суммирование и осреднение выполнено по строкам). Дополнительно в последних 4 строчках в нижней части таблицы для каждого месяца приведены суммы аномалий и рейтинговых баллов по всем 5 факторам и их средние значения по этим факторам (суммирование и осреднение выполнено по столбцам).

Выполним сначала анализ полученных данных о рисках пожароопасности сезона 2022 г. по каждому из 5 климатических факторов на исследуемых территориях Воронежской и Калужской областей по полученным значениям нормированных аномалий, помещенных в верхней части табл. 4, следуя традиционному климатическому подходу.

*Температура воздуха.* На обеих станциях, несмотря на сравнительно близкое их расположение, нормированные аномалии температуры менялись по месяцам сезона 2022 г. случайным образом, не совпадая ни по величине, ни по знаку. Их близкие значения наблюдались лишь в отдельных случаях, например в июле, когда аномалия по Воронежу равнялась 21 %, а

Метеорология  
Подрезова Ю.А.

по Сухиничи 19 %. В результате среднее по сезону значение для Воронежа было положительным и составило 7,0 %, а для Сухиничи было отрицательным, равным -0,1 %. В целом колебания аномалий по месяцам сезона соответствовали для Воронежа диапазону -23...+29 %, а для Сухиничи -32...+19 %. При этом, как и следовало ожидать, наибольшие отклонения наблюдались для граничных месяцев пожароопасного сезона. Практически совпадал с климатической нормой по температуре только июль с аномалиями, равными 0,5 % для Сухиничи и 2 % для Воронежа. В результате можно сказать, что по колебаниям температуры воздуха сезон 2022 г. был типичным и не носил какого-то исключительного характера.

*Осадки.* Осадки являются одной из самых изменчивых во времени и пространстве метеорологических величин. Поэтому в сезон 2022 г. диапазон месячных нормированных аномалий осадков оказался много шире, чем для температуры: для Воронежа он составил -42...+157 %, а для Сухиничи -69...281 %. При этом средние сезонные значения аномалий на обеих станциях были положительны, составляя для Воронежа 43 %, а для Сухиничи 70 %. Таким образом, в пожароопасный сезон 2022 г. осадки на станции Воронеж превышали норму сезона (равна 371 мм) на 41 %, а на станции Сухиничи (равна 431 мм) на 58 %. В сентябре 2022 г. на станции Воронеж осадки превышали норму, равную 53 мм, в 1,57 раза, а на станции Сухиничи в апреле превышали норму, равную 41 мм, даже в 2,81 раза. В результате по режиму осадков эти месяцы на соответствующих территориях были наименее пожароопасными, превышая характерные многолетние условия в 1,5 и 2,8 раза. В сезон 2022 г. наиболее пожароопасными по режиму осадков на обеих станциях был август, когда на станции Воронеж нормированная аномалия равнялась -42 %, а на станции Сухиничи -69 %. Наиболее близким к многолетним условиям влияния на пожароопасность на обеих станциях был май, когда по Воронежу нормированные аномалии составили -18 %, а по станции Сухиничи всего +1 %.

*Относительная влажность воздуха.* Относительная влажность воздуха имеет шкалу измерений от 0 до 100 %, и поэтому физические пределы ее временной и пространственной изменчивости значительно сужены по сравнению со всеми остальными метеорологическими характеристиками табл. 4 (следует также постоянно помнить, что единицы измерений относительной влажности выражаются в %, чтобы при анализе не допустить путаницы самих значений влажности и нормированных аномалий). Малым размером шкалы относительной влажности, а не климатическими особенностями пожароопасного сезона 2022 г., прежде всего, объясняются небольшие абсолютные значения нормированных уклонений, полученных в табл. 4. Так, для сезона в целом по станции Воронеж (норма влажности сезона 67 %) нормированная аномалия была положительна, но составила всего 0,3 %. По станции Сухиничи (норма влажности сезона 75 %) сезонная нормированная аномалия была отрицательной и равной -1,2 %. Пределы изменений месячных нормированных аномалий влажности в сезон 2022 г. были по обеим станциям примерно одинаковы: Воронеж - -13...9 %, Сухиничи - -13...+13 %. Все это говорит о том, что вклад относительной влажности в колебания месячных рисков пожароопасности в сезон 2022 г. был малым и примерно соответствовал многолетним нормам.

*Скорость ветра.* Напомним, что пространственная и временная изменчивость модуля скорости ветра на исследуемых территориях сравнительно мала. Малы и сами скорости ветра, месячные нормы которых составляют в пожароопасный сезон 1,8–3 м/с (табл. 2). Сезонные значения нормированных аномалий скоростей в 2022 г. оказались по обеим станциям отрицательными и заметно различными: для Воронежа аномалия равна -7,3 %, а для Сухиничи -24,3 %. Диапазон месячных значений аномалий по станции Воронеж был разно знаковым и составил -16...+9 %, а по станции Сухиничи он был значительно шире и одновременно соответствовал только отрицательным значениям -43...-8 %. При этом для Воронежа июль практически совпадал с климатической нормой (нормированная аномалия равна 1 %), а для Сухиничи таких месяцев в сезоне не было. Таким образом, для территории Воронежской области в сезон 2022 г. вклад колебаний средних месячных скоростей ветра в степень пожароопасности

Метеорология  
Подрезова Ю.А.

был сравнительно мал и изменялся по знаку. Напротив, для исследуемой территории Калужской области, где скорости ветра в сезон 2022 г. были значительно ниже норм, их вклад в пожароопасность был отрицательным (снижал ее) и более существенным.

*Частота гроз.* Многолетнее годовое число случаев с грозой (примем для краткости как частота гроз) в исследуемых районах велико и по обеим станциям равно 56. При этом количество гроз пожароопасного периода 2022 г. для Воронежа – 58, а для Сухиничи – 55. Одновременно временная и пространственная изменчивость частоты гроз здесь также значительна. Поэтому диапазоны колебаний нормированных месячных аномалий частоты гроз в сезон 2022 г. по обеим станциям оказались по размаху аналогичными осадкам: по станции Воронеж диапазон составил -100...82 %, а по станции Сухиничи был еще шире – -100...122 %. При этом средние по сезону значения аномалий равнялись по Воронежу 6,6 %, а по Сухиничи -30,1 %. Такое различие средних значений по станциям (при достаточной близости ширины диапазонов) объясняется тем, что по Воронежу знакопеременные слагаемые при суммировании в значительной мере компенсировались, тогда как для Сухиничи этого не произошло. Можно сделать главный вывод, что в сезон 2022 г. для исследуемой территории Воронежской области вклад повышенной частоты гроз в пожароопасность в апреле, июле, августе и октябре был положительным и существенным, когда аномалии составляли от 39 до 82 %. Напротив, в мае и сентябре, когда аномалии составляли -72 и -100 %, он был также значительным, но отрицательным. Только в июне влияние частоты грозы было близко к многолетней норме (аномалия -5 %). Для исследуемой территории Калужской области вклад гроз в изменение рисков пожароопасности по месяцам во все месяцы был существенным. В апреле, мае, августе, сентябре и октябре, пожароопасность снижалась, когда аномалии были отрицательными и колебались от -38 до -100 %, а в июне и июле она повышалась, когда аномалии были положительными и изменялись в пределах от 39 до 122 %.

*Характеристика климатических рисков пожароопасного сезона 2022 г. по рейтинговой шкале баллов.* Анализ рисков пожароопасности сезона 2022 г. по исследуемым территориям Воронежской и Калужской областей, выполненный по каждому климатическому фактору по бальным данным о рисках (расчеты которых приведены в нижней части табл. 4), приводит к результатам, совпадающим с анализом, полученным по величинам аномалий. В этом случае, по существу, меняется только численная шкала оценок. По этой причине этот анализ здесь не повторяется. Заметим только, что такой анализ в баллах риска мог быть выполнен изначально как самодостаточный вместо анализа аномалий.

Представляется весьма важным попытаться получить интегральные по всем 5 факторам оценки рисков пожароопасности сезона 2022 г. по обеим исследуемым территориям, исходя из шкалы бальных оценок. К сожалению, пока нет каких-либо надежно установленных весовых оценок вклада отдельного климатического фактора в общий риск пожароопасности. Поэтому в самом первом приближении можно задать влияние различных факторов «равновеликими», и тогда для этой цели становится возможным использовать предложенную выше линейную шкалу баллов. Используем это допущение и будем оперировать с баллами как с рейтинговыми оценками. В результате можно рассчитать интегральные суммы и средние значения баллов-рисков по столбцам-факторам, как это сделано в последних четырех строках табл. 4, и получить следующие приближенные оценки рисков пожароопасности в сезон 2022 г. для каждой из площадей, выраженные в баллах:

1. Значения месячных интегральных рисков как средних по всем пяти факторам.
2. Значения средних для сезона интегральных рисков по всем месяцам и факторам.
3. Значение различий интегральных месячных и сезонных рисков для 2022 г.

4. Разумеется, полученные выводы, как и выводы, вытекающие из анализа аномалий, будут носить характер оценок, сделанных относительно многолетней средней картины, т.е. климатической нормы. При этом положительный знак риска всегда соответствует повышению

Метеорология  
Подрезова Ю.А.

уровня пожароопасности в сезон 2022 г. по сравнению с климатической нормой, а отрицательный знак соответствует аналогичному снижению такого уровня.

По данным станции Воронеж получено, что месячные значения интегральных рисков в сезон 2022 г. менялись от -3,4 балла в сентябре, когда риск пожаров был минимальным, до 1,4 балла в августе, когда риск пожаров был максимальным. При этом минимальная пожароопасность в сентябре обеспечивалась в основном повышенными суммами осадков, давших индивидуальный вклад в -8 баллов, и пониженной частотой гроз, давших индивидуальный вклад в -6 баллов. Максимальная пожароопасность в августе обеспечивалась положительным вкладом повышенной температуры воздуха (+2 балла), суммой осадков (+3 балла) и частотой гроз (+2 балла). В результате среднее значение интегрального по всем пяти факторам и семи месяцам сезонного риска по станции Воронеж составило всего -0,3 балла. Это означает, что в целом сезон 2022 г. на исследуемой территории Воронежской области был лишь немного менее пожароопасен по сравнению с климатической нормой.

По данным станции Сухиничи имеем, что месячные значения интегральных рисков в сезон 2022 г. менялись от -4,8 балла в апреле, когда риск пожаров был минимальным, до 0,4 балла в июле и августе, когда риск пожаров был максимальным. Сравнение этих данных с полученными по станции Воронеж уже говорит о том, что на исследуемой территории Калужской области сезон 2022 г. был менее пожароопасным, чем в Воронежской. При этом минимальная пожароопасность в апреле обеспечивалась в основном повышенными суммами осадков (давших вклад в -14 баллов) и пониженной частотой гроз (-6 баллов). Максимальная пожароопасность в июле обеспечивалась в основном повышенной частотой гроз (+7 баллов), а в августе пониженными суммами осадков (+4 балла). В результате среднее значение интегрального риска по всем 5 факторам и 7 месяцам сезонного риска по станции Сухиничи составило -1,5 балла. Таким образом, сезон 2022 г. на исследуемой территории Калужской области, как и в Воронежской области, также был менее пожароопасен по сравнению с многолетней картиной.

Теперь можно сравнить интегральные средние по сезону 2022 г. риски пожароопасности в баллах по данным станций Воронеж и Сухиничи: для станции Воронеж риск равен -0,3, а для станции Сухиничи он равен -1,5. Следовательно, на обеих станциях пожароопасность в сезон 2022 г. была пониженной по сравнению с многолетней картиной, но по станции Сухиничи это понижение было выражено гораздо резче.

### Заключение

Исследуемые территории, выбранные для изучения пожароопасности в Воронежской и Калужской областях, располагаются в условиях типичного умеренно континентального климата средних широт с хорошо выраженными сезонами года – умеренно жарким и влажным летом и умеренно холодной зимой. Приводится краткая характеристика их климатических условий по многолетним данным показательных метеостанций Воронеж и Сухиничи за 1966–2021 гг. Для оценок климатических рисков пожароопасности исследуемых территорий в сезон 2022 г. с их многолетними средними условиями были рассчитаны нормированные месячные аномалии (относительно многолетних норм за 1966–2021 гг.) по обеим станциям для пяти метеорологических факторов: температура воздуха, сумма осадков, относительная влажность воздуха, скорость ветра и число случаев с грозой. Это позволило получить для обеих площадок численные оценки влияния каждого из этих факторов на риски пожароопасности в каждый из 7 месяцев (с апреля по октябрь) пожароопасного сезона 2022 г. Оказалось, что, несмотря на относительную близость их расположения и общих климатических условий, структуры рисков пожароопасности для каждой из площадей в тот или иной из семи месяцев пожароопасного сезона 2022 г. и для сезона в целом в значительной мере носили индивидуальный характер, зависящий от их местоположения и местных климатических особенностей. Общим для обеих

Метеорология  
Подрезова Ю.А.

площадок оказалось то, что сезон 2022 г. не имел особо аномального климатического характера для их пожароопасности, а вписывался в типичные средние многолетние колебания. Однако для обеих площадок установлен факт существенных случайных не синхронных для них колебаний в отдельные месяцы режимов температуры воздуха, осадков и частоты гроз, которые вносят основной вклад во временную и пространственную изменчивость пожароопасности. При этом вклад скорости ветра и влажности воздуха, хотя и был меньшим, но все же оставался заметным. Это говорит о целесообразности подхода с обязательным одновременным учетом целого спектра климатических факторов. Используемая рейтинговая шкала баллов позволила установить, что пожароопасность исследуемой территории Калужской области в сезон 2022 г. была заметно ниже, чем Воронежской области, для которой она была близка к многолетней норме. С помощью этой шкалы получена также месячная картина рисков пожароопасности по каждой из площадок по всем пяти использованным факторам одновременно.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ ФЗУР2022–0009) «Разработка превентивной технологии контроля лесной пожарной опасности с использованием дистанционного зондирования с помощью БПЛА».

**Библиографический список**

1. Андреев Ю.А. Влияние антропогенных и природных факторов на возникновение пожаров в лесах и населенных пунктах: автореф. дис. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук. М., 2003. 45 с.
2. Андреев Ю.А., Ларченко Г.Ф. Социально-психологические аспекты рекреационных посещений леса и возникновение пожаров // Лесные пожары и борьба с ними. М.: ВНИИ ПО, 1987. С. 251–263.
3. Гинзбург Б.М., Соколова Г.В. Влияние температуры поверхности океанов и алеутской депрессии на лесопожарную обстановку в районах Дальнего Востока // Метеорология и гидрология. 2014. № 7. С. 52–62.
4. Глаголев В.А. Оценка и прогноз возникновения пожаров растительности на территории Еврейской Автономной области: дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. М.: ИКАРП ДВО РАН, 2015. 147 с.
5. Гриценко М.В., Гаврилова В.М. Возникновение лесных пожаров в связи с условиями погоды // Лесное хозяйство. 1952. № 4. С. 64–65.
6. Иванов В.А., Москальченко С.А., Пономарев Е.И. Влияние нарушенных лесных территорий на частоту пожаров в Нижнем Приангарье // Хвойные бореальной зоны. 2009. Т. 26, № 2. С. 249–254.
7. Иванов В.А., Матвеев П.М. Оценка территории Красноярского края по условиям возникновения лесных пожаров от гроз // Вестник Сибирского государственного технологического университета. 1999. № 2. С. 3–10.
8. Исаев А.С., Суходольский В.Г., Хлебопрос Р.Г. Метамоделные подходы к описанию критических явлений в лесных экосистемах // Лесоведение. 2010. № 2. С. 3–13.
9. Коба В.П., Жигалова Т.П. Климатические факторы и динамика пожаров в лесах горного Крыма // Лесоведение. 2014. № 2. С. 52–58.
10. Коломыйц Э.Г. Прогноз влияния глобальных изменений климата на зональные экосистемы Волжского бассейна // Экология. 2006. № 6. С. 429–439.
11. Кулик В.В., Лобанов С.А. Гидрологический прогноз лесных пожаров и их предотвращение // Экологический вестник Приморья. 2002. № 6. URL: <http://bookre.org/reader?file=76707> (дата обращения 30.11.2022).
12. Курбатский Н.П. Методические указания для опытной разработки местных шкал пожарной опасности в лесах. Л., 1954. 31 с.
13. Курбатский Н.П. Пожарная опасность в лесу и ее измерение по местным шкалам // Лесные пожары и борьба с ними. М.: АН СССР, 1963. С. 5–30.
14. Курбатский Н.П. Прогнозирование лесных пожаров с помощью ЭВМ // Лесное хозяйство. 1976. № 7. С. 51–55.
15. Курбатский Н.П., Доррер Г.А., Доргов Б.И. Расчет распределения источников пожара в лесу // Лесное хозяйство. 1978. № 7. С. 76–78.
16. Матвеев С.М., Чеботарев В.В. Дендроклиматическое исследование сосняков Усманского бора и моделирование пожароопасных сезонов // Лесной журнал. 2002. № 2. С. 36–42.
17. Мелехов И.С. Борьба с лесными пожарами. М.: Гослестехиздат, 1938. 68 с.
18. Мелехов И.С. Лесные пожары и борьба с ними. Архангельск: Севкрайгиз, 1934. 46 с.
19. Ожогин И.М. Связь между влажностью воздуха и лесными пожарами // Лесное хозяйство. 1939. № 8. С. 20–24.
20. Пономарев Е.И., Сухинин А.И. Методика картирования и среднесрочного прогнозирования пожарной опасности лесов по условиям погоды // География и природные ресурсы. 2002. № 4. С. 112–114.
21. Софронов М.А. Влияние рельефа на лесные пожары в Западном Саяне // Лесные пожары и борьба с ними. М.: АН СССР, 1964. С. 127–138.
22. Тарко А.М., Курбатова А.И., Григорец Е.А. Применение методов системного анализа в исследовании лесных пожаров на территории Российской Федерации // Географическая среда и живые системы. 2021. № 1. С. 17–41. doi: 10.18384/2712-7621-2021-1-17-41
23. Шевцов Е.Г. Вероятностный метод спутникового обнаружения и контроля энергетических параметров пожаров в лесах Восточной Сибири: автореф. дис. канд. тех. наук. Красноярск, 2012. 20 с.

*Метеорология*  
*Подрезова Ю.А.*

24. Шевцов Е.Г., Сухинин А.И., Пономарев Е.И. Исследование влияния погодных условий на возникновение пожаров от гроз // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 1, 2. С. 47–50.
25. Широкова М.Р. Лесистость бассейнов – один из основных факторов формирования экстремальных расходов воды в зоне муссонного климата // Гидрологические расчеты, комплексное использование и охрана водных ресурсов Приморского края. Владивосток: ДВНИГМИ. 1978. С. 96–98.
26. Шерстюков Б. Г. Лесные пожары. Глава 7 в монографии Росгидромета «Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем»: науч. ред. С.М. Семенов. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2012. С. 299–300.
27. Davis K.P. Forest fire: control and use McGraw Hill. New York, 1959. 584 p.
28. Hayes G.L. Where and when to measure forest fire danger // Journal of Forestry. 1944. Vol. 42, № 10. P. 744–751.
29. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/data> (дата обращения 12.11.2022).
30. Информационное агентство ТАСС [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/obschestvo/16137617> (дата обращения 10.11.2022).
31. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий [Электронный ресурс]. URL: [https://mchs.gov.ru/deyatelnost/bezopasnost-grazhdan/prirodnyepozhary\\_6](https://mchs.gov.ru/deyatelnost/bezopasnost-grazhdan/prirodnyepozhary_6) (дата обращения 10.11.2022).
32. Погода и климат [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения 13.11.2022).
33. Сетевое издание «МОЁ! Online» [Электронный ресурс]. URL: <https://moe-online.ru/news/society/1138741> (дата обращения 10.11.2022).

**References**

1. Andreev Ju.A. (2003), Influence of anthropogenic and natural factors on the occurrence of fires in forests and settlements, Extended abstract of Doctor's thesis, Moscow, Russian.
2. Andreev Ju.A., Larchenko G.F. (1987), Socio-Psychological Aspects of Recreational Forest Settlements and Features of Fires, *Lesnye pozhary i bor'ba s nimi*, Moscow, pp. 251–263.
3. Ginzburg B.M., Sokolova G.V. (2014), The influence of ocean surface temperature and the Aleutian depression on the forest fire situation in the regions of the Far East, *Meteorologija i gidrologija*, no. 7, pp. 52–62.
4. Glagolev V.A. (2015), Ocenka i prognoz voznikovenija pozharov rastitel'nosti na territorii Evrejskoj Avtonomnoj oblasti, Candidate's thesis, IKARP DVO RAN, Moscow, Russian.
5. Gricenko M.V., Gavrilova V.M. (1952), The occurrence of forest fires due to weather conditions, *Lesnoe hozjajstvo*, no. 4, pp. 64–65.
6. Ivanov V.A., Moskal'chenko S.A., Ponomarev, E.I. (2009), The impact of disturbed forest areas on the frequency of fires in the Lower Angara region, *Hvojnye boreal'noj zony*, vol. 26, no. 2, pp. 249–254.
7. Ivanov V.A., Matveev P.M. (1999), Assessment of the territory of the Krasnoyarsk Territory according to the conditions for the occurrence of forest fires from thunderstorms, *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta*, no. 2, pp. 3–10.
8. Isaev A.S., Suhodol'skij V.G., Hlebopros R.G. (2010), Metamodel approaches to the description of critical phenomena in forest ecosystems, *Lesovedenie*, no. 2, pp. 3–13.
9. Koba V.P., Zhigalova T.P. (2014), Climatic factors and dynamics of fires in the forests of the Crimean Mountains, *Lesovedenie*, no. 2, pp. 52–58.
10. Kolomyc Je.G. (2006), Forecast of the impact of global climate change on the zonal ecosystems of the Volga basin, *Ekologija*, no. 6, pp. 429–439.
11. Kulik V.V., Lobanov S.A. (2002), Hydrological forecast of forest fires and their prevention, *Ekologicheskij vestnik Primor'ja*, no. 6, available at: <http://bookre.org/reader?file=76707> (Accessed 30.11.2022).
12. Kurbatskij N.P. (1954), Metodicheskie ukazaniya dlja opytnoj razrabotki mestnyh shkal pozharnoj opasnosti v lesah, [Guidelines for the Pilot Development of Local Forest Fire Hazard Scales], Leningrad, Russia.
13. Kurbatskij N.P. (1963), Fire danger in the forest and its measurement according to local scales, *Lesnye pozhary i bor'ba s nimi*, AN SSSR, Moscow, Russia, pp. 5–30.
14. Kurbatskij N.P. (1976), Forecasting forest fires using a computer, *Lesnoe hozjajstvo*, no. 7, pp. 51–55.
15. Kurbatskij, N.P., Dorrer, G.A., Dorogov, B.I. (1978), Calculation of the distribution of fire sources in the forest, *Lesnoe hozjajstvo*, no. 7, pp. 76–78.
16. Matveev S.M., Chebotarev, V.V. (2002), Dendroclimatic study of pine forests in Usmansky pine forest and modeling of fire seasons, *Lesnoj zhurnal*, no. 2, pp. 36–42.
17. Melehov I.S. (1938), Bor'ba s lesnymi pozharami, [Fighting forest fires], Moscow, Russia.
18. Melehov I.S. (1934), Lesnye pozhary i bor'ba s nimi, [Forest fires and fighting them], Arhangel'sk, Russia.
19. Ozhogin I. M. (1939) Relationship between air humidity and forest fires, *Lesnoe hozjajstvo*, no. 8, pp. 20–24.
20. Ponomarev E.I., Suhinin, A.I. (2002), Methodology for mapping and medium-term forecasting of forest fire hazard according to weather conditions, *Geografija i prirodnye resursy*, no. 4, pp. 112–114.
21. Sofronov M.A. (1964), Influence of relief on forest fires in the Western Sayan, *Lesnye pozhary i bor'ba s nimi*. Moscow, pp. 127–138.
22. Tarko A. M., Kurbatova A. I. Grigorec, E. A. (2021), Application of system analysis methods in the study of forest fires in the territory of the Russian Federation, *Geograficheskaja sreda i zhivye sistemy*, no. 1, pp. 17–41. doi: 10.18384/2712-7621-2021-1-17-41.
23. Shevcov E.G. (2012), Probabilistic method of satellite detection and control of fire parameters in the forests of Eastern Siberia, Extended abstract of candidate's thesis, Krasnojarsk, Russia.

Метеорология  
Подрезова Ю.А.

24. Shevcov E.G., Suhinin A.I., Ponomarev E.I. (2008), Investigation of the influence of weather conditions on the occurrence of fires from thunderstorms, *Hvojnye boreal'noj zony*, vol. 25, no. 1–2, pp. 47–50.
25. Shirokova M.R. (1978), The forest cover of basins is one of the main factors in the formation of extreme water discharges in the monsoon climate zone, *Gidrologicheskie raschety, kompleksnoe ispol'zovanie i ohrana vodnyh resursov Primorskogo kraja*, Vladivostok, pp. 96–98.
26. Sherstjukov B. G., Semenov S.M. (2012), “*Lesnye pozhary. Glava 7 v monografii Rosgidrometa Metody ocenki posledstvij izmenenija klimata dlja fizicheskikh i biologicheskikh sistem*”, [Forest fires. Chapter 7 in the monograph of Russian hydromet “Methods for assessing the consequences of climate change for physical and biological systems], *Federal'naja sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhajushhej sredy*, Moscow, Russia pp. 299–300.
27. Davis K.P. (1959), *Forest fire: control and use* McGraw Hill, New York, 584 p.
28. Hayes G.L. (1944), Where and when to measure forest fire danger, *Journal of Forestry*, vol. 42, no. 10, pp. 744–751.
29. Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center, available at: <http://meteo.ru/data> (Accessed 12.11.2022).
30. TASS News Agency, available at: <https://tass.ru/obschestvo/16137617> (Accessed 10.11.2022).
31. The Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, available at: [https://mchs.gov.ru/deyatelnost/bezopasnost-grazhdan/prirodnye-pozhary\\_6](https://mchs.gov.ru/deyatelnost/bezopasnost-grazhdan/prirodnye-pozhary_6) (Accessed 10.11.2022).
32. Weather and climate, available at: <http://www.pogodaiklimat.ru> (Accessed 13.11.2022).
33. Online publication «МОЁ! Online», available at: <https://moe-online.ru/news/society/1138741> (Accessed 10.11.2022).

Статья поступила в редакцию: 13.09.23, одобрена после рецензирования: 22.10.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 13 September 2023; approved after review: 22 October 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

Информация об авторе

**Юлия Андреевна Подрезова**

кандидат географических наук, старший научный сотрудник, научно-исследовательский отдел, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова; 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева 8

e-mail: [umbassador@mail.ru](mailto:umbassador@mail.ru)

Information about the author

**Yuliia A. Podrezova**

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov; 8, Timiryazeva st., Voronezh, 394087, Russia

Экология и природопользование  
Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.

## ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Научная статья

УДК 551.583; 632.35А/З

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-151-165

### ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ВОДЯНКИ БЕРЕЗЫ

Екатерина Александровна Богдан<sup>1</sup>, Рита Галимьяновна Камалова<sup>2</sup>, Лариса Николаевна Белан<sup>3</sup>,  
Ирэн Ольвертовна Туктарова<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

<sup>1</sup> eavolkova@bk.ru, Scopus Author ID: 57807449000, WOS Research ID: ACM-8732-2022, ID РИНЦ: 852130

<sup>2</sup> galim-rita@yandex.ru, Scopus Author ID: 57226748324, WOS Research ID: AAD-2923-2022, ID РИНЦ: 730901

<sup>3</sup> Belan77767@mail.ru, Scopus Author ID: 56671294600, WOS Research ID: AAD-2968-2022

<sup>4</sup> umrko@mail.ru, Scopus Author ID: 6701446968, WOS Research ID: H-6747-2017, ID РИНЦ: 455079

**Аннотация.** Актуальной проблемой для России и сопредельных государств, которую многие связывают с изменением климата, является распространение инфекционных заболеваний древостоя, в частности бактериальной водянки березы. На древесную растительность оказывает значительное влияние температура почвы. Эффективность применения дистанционных методов для построения карт температурного режима доказана многими исследованиями.

В статье представлен подход к построению карт температурного режима поверхностного слоя почв на основании данных наземных исследований и результатов дешифрирования тепловых каналов спутниковых снимков программы Landsat. По данным наблюдений 2020–2022 гг. определены коэффициенты пересчета температуры поверхности Земли и температуры почвы. На основании снимков Landsat 5 и Landsat 8–9 за период 2009–2022 гг. построены карты распределения температуры поверхностного слоя почвы в глобальном геопарке ЮНЕСКО «Янган-Тау» в бесснежный период.

По данным метеостанции Дуван, для территории геопарка «Янган-Тау» характерен тренд к аридизации климата.

40 % территории лесного фонда геопарка «Янган-Тау» занимают березовые леса, потеря которых приведет к снижению эстетичности территории геопарка и целостности лесных и лесостепных экосистем. В этой связи изучение особенностей распространения бактериальной водянки березы крайне актуально.

Наземными исследованиями, а также путем визуального дешифрирования были выделены 12 очагов бактериальной водянки березы на территории геопарка.

Сопоставление мест расположения очагов бактериальной водянки березы с картой распределения температурного режима поверхностного слоя почв в бесснежный сезон показало преимущественное расположение зараженных деревьев в зоне со средней температурой 9,6 °С, в то время как здоровые березовые леса больше произрастают в зонах со средней температурой 7,6 °С.

Соотнесение участков распространения зараженного березового древостоя с уклоном поверхности и NDWI особенностей не выявило.

Оценка экспозиции показала частое расположение очагов бактериальной водянки березы на юго-восточных склонах.

**Ключевые слова:** бактериальная водянка березы, температура почвы, дистанционные методы, изменение климата, глобальный геопарк ЮНЕСКО «Янган-Тау»

**Финансирование:** исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Программа создания и функционирования карбонового полигона на территории Республики Башкортостан «Евразийский карбоновый полигон» на 2022–2023 гг. (Номер для публикаций: FEUR-2022-0001).

**Для цитирования:** Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О. Влияние климатических изменений на распространение бактериальной водянки березы // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 151–165. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-151-165



Экология и природопользование  
Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.

## ECOLOGY AND NATURE USE

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-151-165

### THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE SPREAD OF BACTERIAL WETWOOD OF BIRCH

Ekaterina A. Bogdan<sup>1</sup>, Rita G. Kamalova<sup>2</sup>, Larisa N. Belan<sup>3</sup>, Iren O. Tuktarova<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

<sup>1</sup> eavolkova@bk.ru, Scopus Author ID: 57807449000, WOS Research ID: ACM-8732-2022, ID РИНЦ: 852130

<sup>2</sup> galim-rita@yandex.ru, Scopus Author ID: 57226748324, WOS Research ID: AAD-2923-2022, ID РИНЦ: 730901

<sup>3</sup> Belan77767@mail.ru, Scopus Author ID: 56671294600, WOS Research ID: AAD-2968-2022

<sup>4</sup> umrko@mail.ru, Scopus Author ID: 6701446968, WOS Research ID: H-6747-2017, ID РИНЦ: 455079

**Abstract.** An urgent problem for Russia and neighboring countries, which many associate with climate change, is the spread of infectious diseases of the stand, in particular bacterial wetwood of birch. Woody vegetation is also significantly affected by soil temperature. The effectiveness of using remote methods for constructing temperature maps has been proven by many studies.

The article presents an approach to the construction of the surface soil temperature regime maps on the basis of ground-based research data and decryption of thermal channels of Landsat satellite images. Based on the observation data of 2020-2022, the conversion coefficients of the Earth's surface temperature into soil temperatures were determined. Landsat 5 and Landsat 8-9 images for the period 2009-2022 were used to construct maps of temperature distribution in the surface soil layer in the Yangan-Tau UNESCO Global Geopark during the snowless period (from May to October).

According to the data of the Duван weather station, the trend toward climate aridification is characteristic of the territory of the Yangan-Tau Geopark.

40% of forests in the territory of the Yangan-Tau Geopark is occupied by birch, the loss of which will lead to a decrease in the territory's aesthetics and will reduce the integrity of the forest and forest-steppe ecosystems. Thus, the study on bacterial wetwood spread in birch appears to be extremely relevant.

In field studies, as well as by visual interpretation, 12 foci of bacterial wetwood of birch were identified on the territory of the geopark.

Comparison of the birch bacterial wetwood foci locations with the surface soil temperature regime distribution map in the snowless season showed the predominant location of infected trees in an area with an average temperature of 9.6 °C, while sound birch forests mainly grow in areas with an average temperature of 7.6 °C.

Comparison of the infected birch stand distribution sites with the surface slope and NDWI did not reveal any specific features.

The exposure assessment showed a frequent location of birch bacterial wetwood foci on the southeastern slopes.

**Keywords:** bacterial wetwood of birch, soil temperature, remote methods, climate change, Yangan-Tau UNESCO Global Geopark

**Funding:** The study was carried out as part of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation 'Program for the creation and operation of a carbon test site in the territory of the Republic of Bashkortostan 'Eurasian carbon test site' for 2022-2023' (No. FEUR-2022-0001).

**For citation:** Bogdan, E.A., Kamalova, R.G., Belan, L.N., Tuktarova, I.O. (2024). The impact of climate change on the spread of bacterial wetwood of birch. *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 151–165. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-151-165

### Введение

Для многих стран существует проблема ухудшения санитарного состояния лесов, вызванная бактериальной заболеваемостью древостоя. Так, в Иране массовая заболеваемость бактериальной водянойкой вязовых лесов приняла характер эпифитотии [20, 21]. В России, в Восточной Сибири, отмечается усыхание кедров, которое также имеет бактериальную природу [5]. В Татарстане имеется значительное распространение бактериальной заболеваемости осины [15].

Одним из наиболее агрессивных бактериальных заболеваний деревьев является бактериальная водянка березы (БВБ), вызванная бактерией *Erwinia multivora* Sch.-Parf. С проблемой интенсивного распространения этой болезни березы сталкиваются не только в России, но в других сопредельных государствах [2, 17, 27].

*Экология и природопользование**Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.*

Заболевание проявляется в усыхании верхушек деревьев, ветвей, появлении водяных побегов желто-коричневого цвета, мокнущих вздутий на стволах, изреживании крон. В результате заболевания дерево гибнет, превращаясь в остов из коры, наполненный трухой.

Для Республики Башкортостан данная проблема весьма актуальна. По данным Центра защиты леса Республики Башкортостан, площадь поражения лесных экосистем республики БВБ с 2010 по 2014 г. возросла в 5,3 раза. Это южное заболевание берез, впервые описанное в 1963 г. на Северном Кавказе, к настоящему времени распространено по всем районам Республики Башкортостан [3, 4].

Многие авторы связывают распространение данного заболевания с изменением климата [1, 4, 19]. Среди факторов, оказывающих влияние на распространение БВБ, также выделяют почвенные условия. При этом авторы демонстрируют разные выводы. Так, в работе Gouchuk A. и др. (2020) для Украины [27] отмечена приуроченность данного заболевания к сухим и бедным почвам. Тем временем для Средней Сибири исследования Татаринцева А.И. [16, 17] свидетельствуют об обратном – БВБ широко распространена на богатых и увлажненных почвах.

Помимо увлажненности, важным фактором, влияющим на состояние древесной растительности, является температура почвы.

Например, воздействие экстремальных явлений температур почвы может отразиться на уровнях биологической организации [29, 31] и взаимодействовать с другими движущими климатическими переменными, изменяя ареал и устойчивость многих экосистем [33]. Отмечается влияние температуры на микробиологическую активность, минерализацию питательных веществ и дыхание почвы [28, 35], в том числе кратковременные (12 ч) приповерхностные экстремумы температуры почвы  $-30\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$  [35], а также потепление почвы с  $15$  до  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  [30] значительно снижают микробную активность и почвенное дыхание в экосистемах.

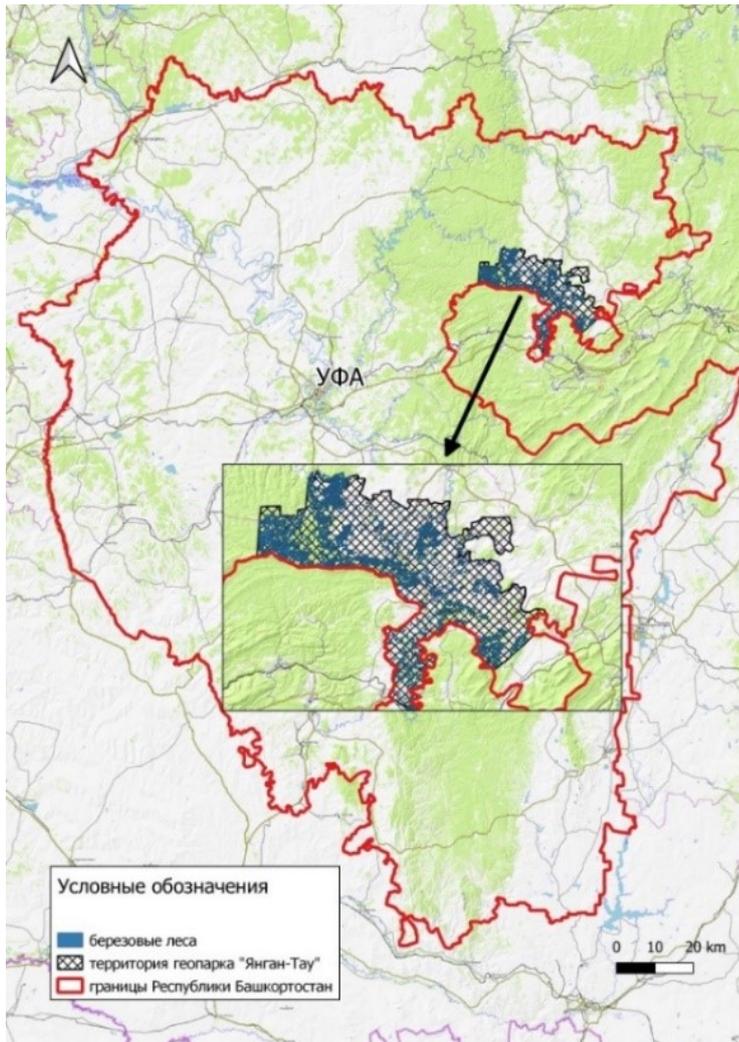
Удобство и эффективность демонстрируют дистанционные методы оценки температуры поверхности Земли с использованием спутниковых данных Landsat. El Garouani M. и др. [25] показали, что температура поверхности имеет высокую корреляцию с температурой воздуха и отличается только на несколько градусов. В работе [12] для города Новосибирска проводилось сравнение данных, полученных на метеорологических станциях и со спутников Landsat. Среднеквадратичное отклонение между значениями температуры варьировалось от  $0,5$  до  $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для Республики Тыва, по данным спутника Landsat 8, в зимний период 2014–2017 гг. значение поверхностной температуры отличается от температуры воздуха в среднем на  $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  [10].

Таким образом, целью исследования является оценка взаимосвязи развития бактериальной водянки березы и температуры почвы с использованием дистанционных методов. В качестве исследуемой территории выбран геопарк «Янган-Тау», который с 2020 г. входит в сеть глобальных геопарков ЮНЕСКО.

**Объект исследования**

Исследования проводятся на территории глобального геопарка ЮНЕСКО «Янган-Тау». Геопарк расположен на северо-востоке Республики Башкортостан (Салаватский муниципальный район) (рис. 1.). Площадь –  $1774\text{ км}^2$ . Одна из ключевых позиций в деятельности геопарка – реализация цели устойчивого развития № 13 «Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями». В 2021 г. геопарк «Янган-Тау» вошел в программу карбонового полигона Республики Башкортостан как один из участков.

Экология и природопользование  
Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.



Для понимания условий произрастания березовых лесов в геопарке необходимо дать краткую климатическую характеристику. В целом, климат территории умеренно континентальный с теплым летом и холодной зимой. Средняя годовая температура воздуха данного региона составляет 2,2 °С для периода 1961–2020 гг. (по данным метеостанции Дуван). Наибольшая температура воздуха наблюдается в июле (17,7 °С), наименьшая – в январе (-14,2 °С) (табл. 1).

Рис. 1. Месторасположение глобального геопарка ЮНЕСКО «Янган-Тау»  
Fig. 1. Location of the Yangan-Tau UNESCO Global Geopark

Таблица 1

Среднемесячные, среднегодовые температуры воздуха и суммы атмосферных осадков и показатели их изменчивости  
Average monthly and average annual air temperatures, precipitation amounts, and indicators of their variability

Период	Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1961–1990	t, °С	-15,0	-13,2	-6,4	2,9	10,9	15,4	17,6	14,7	9,3	1,3	-5,9	-11,4	1,7
	КНЛТ t	0,50	0,48	0,38	-0,08	-0,33	<b>1,08</b>	0,16	0,28	0,03	0,06	-0,75	0,37	0,18
1981–2010	t, °С	-13,1	-12,5	-5,6	3,4	11,0	16,4	18,0	15,3	9,6	3,0	-6,0	-11,5	2,3
	КНЛТ t	-0,34	-0,17	<b>1,01</b>	-0,06	0,83	-0,25	0,13	0,52	0,50	0,64	1,09	-0,49	0,28
1991–2020	t, °С	-13,0	-12,0	-5,2	3,7	11,7	16,1	18,0	15,7	9,9	3,4	-5,6	-11,3	2,6
	КНЛТ t	-0,09	0,64	0,84	-0,07	0,43	-0,37	0,51	<b>0,96</b>	0,33	-0,28	0,78	0,71	<b>0,37</b>
1966–1990	R, мм	22,6	17,9	18,4	30,9	40,7	58,1	81,7	62,4	58,7	48,5	35,3	26,6	502,2
	КНЛТ R	2,26	0,91	-3,50	<b>12,3</b>	2,75	-4,49	2,63	-0,91	<b>23,3</b>	2,16	<b>6,95</b>	3,94	<b>59,19</b>
1981–2010	R, мм	27,2	23,1	21,4	29,9	51,2	64,5	71,2	68,2	58,9	49,2	38,4	30,1	533,3
	КНЛТ R	1,72	2,67	4,35	-3,33	8,84	1,44	-10,38	-5,32	<b>-13,37</b>	-5,17	1,95	1,40	-15,21
1991–2020	R, мм	25,9	22,5	24,5	29,6	54,9	64,4	74,5	71,9	49,6	51,8	35,8	30,3	535,7
	КНЛТ R	-4,29	0,23	1,73	5,11	3,36	-5,44	12,74	-1,32	0,26	0,65	-1,72	-2,87	8,47

Примечание. КНЛТ t (°С/10 лет), КНЛТ R (мм/10 лет). Цветом выделены статистически значимые тренды.

Note. The slope coefficient of the linear trend КНЛТ t (°С/10 years), КНЛТ R (mm/10 years). Statistically significant trends are highlighted in color

## Экология и природопользование

Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.

Многолетняя динамика индекса Педя демонстрирует тенденцию к увеличению (0,26 ед./10 лет). Таким образом, летние условия смещаются в сторону большей засушливости [26].

При сравнении климатических норм в разные базовые периоды видно, что среднегодовые температуры воздуха имеют тенденцию к увеличению (табл. 1), что наглядно демонстрирует коэффициент наклона линейного тренда (КНЛТ). При этом, согласно [9], наибольший значимый рост средней годовой температуры наблюдается в последний тридцатилетний период (0,37 °С за десятилетие).

40 % территории лесного фонда геопарка занимают березовые леса, которые являются важной составляющей ландшафтов геопарка. Многие ключевые объекты геопарка включают березовые насаждения.

2010 г. в Республике Башкортостан отмечен как экстремально сухой и жаркий. Это привело к стремительному распространению инфекционного заболевания: бактериальной водянки березы. В результате были потеряны некоторые участки леса, что привело к снижению эстетичности территории геопарка (рис. 2). Кроме того, обостряется и вопрос безопасности туристских маршрутов, поскольку заболевшие деревья могут перегородить тропы или даже привести к травмам в случае падения.



Рис. 2. Березовый лес в районе с. Ахуново на космическом снимке программы World View 3: а – до заболевания бактериальной водянкой березы (2004 г.); б – после заболевания бактериальной водянкой березы (2014 г.)

Fig. 2. Birch forest near the village of Akhunovo in a World View 3 satellite image: а – before being infected with bacterial wetwood (2004); б – after being infected (2014)

Таким образом, для геопарка «Янган-Тау» крайне актуально оценить причины и факторы распространения бактериальной водянки березы.

### Материалы и методы

Наземные исследования проводились с использованием даталоггеров температуры и влажности воздуха СЕМ-DT-171, Testo и VerigoPod.

Упакованный в контейнер даталоггер помещался в почву на глубину 15–20 см. Выбрано 10 участков на территории геопарка, где были размещены даталоггеры. На каждом участке размещалось 2 даталоггера разной марки для корректировки результатов. Исследования не показали значительных расхождений в результатах измерений даталоггеров разных производителей. Исследование началось в ноябре 2020 г. Раз в полгода проводится считывание данных с даталоггеров и замена батареек [23].

Основой для дистанционного анализа служили снимки Landsat 8–9 (OLI/TIRS C2 L1), включающие тепловые каналы – В10: 10,60–11,19 мкм; В11: 11,50–12,51 мкм.

Значения температуры, определённые по каналам 10 и 11 (они различаются охватываемыми интервалами теплового диапазона) Landsat 8–9, отличаются друг от друга на 1,5–3 °С. В ряде публикаций их предлагают усреднить [14].

*Экология и природопользование**Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.*

Ряд исследований демонстрирует эффективность использования дистанционных методов, таких как визуальное дешифрирование и классификация поверхности, для выявления очагов бактериальной заболеваемости древостоя [3, 5]. Всего выявлено 12 наиболее выраженных очагов бактериальной водянки березы. Полученные результаты занесены в геоинформационный проект.

Для оценки взаимосвязи распространения бактериальной водянки березы и температурного режима верхнего слоя почвы было подобрано 36 безоблачных снимков Landsat 8–9 (OLI/TIRS C2 L1) и Landsat 4–5 (TM C2 L1) за период 2009–2022 гг. Для построения схемы градиента температуры почвы использовались снимки бесснежного периода (с мая по октябрь).

Поскольку температура не является единственным фактором окружающей среды, оказывающим влияние на состояние растительности и распространение инфекционных заболеваний, в работе учтены следующие показатели: увлажненность территории оценивалась по значению нормализованного дифференцированного водного индекса (Normalized Difference Water Index (NDWI)), влияние условий рельефа оценивалось через значения экспозиции и уклона.

NDWI является относительным и определяет количество влагозапаса в растительном покрове [13, 24]; рассчитывался с использованием тех же снимков Landsat, что и для температуры почвы по формуле (1) [24]:

$$NDWI = (NIR - SWIR2)/(NIR + SWIR). \quad (1)$$

Для группировки Landsat 8–9 NIR соответствует каналу 5 (0,85–0,88 мкм), SWIR 2 – каналу 7 (2,11–2,29 мкм).

Значения этого индекса колеблются в диапазоне от -1 до 1. Обычный диапазон для зеленой растительности составляет от -0,1 до 0,4. Считается, что водные объекты принимают значения от 0,2 до 1, объекты, не содержащие влагу, принимают значения меньше 0 [13].

Влияние условий рельефа оценивалось на основании экспозиции и значений показателей уклона. Соответствующие карты строились на основании данных SRTM в программе Q-GIS 3.14 (модуль «Морфометрический анализ»).

Описательная статистика проведена для всех указанных выше факторов по показателям пикселей, соответствующих местоположению здоровых и зараженных березовых насаждений. Растровая статистика получена с помощью встроенного в программу Q-GIS модуля SAGA GIS (инструмент «raster values to points»). Этот модуль сохраняет значения сетки в виде точек или многоугольников (мультиполигоны, где каждый отдельный полигон соответствует определенному пикселю).

**Результаты исследования**

Исследования научной группы Zhang и др. [36, 37] демонстрируют, что снежный покров обладает низкой теплопроводимостью и высоким альбедо и оказывает большое влияние на тепловой режим почвы [37]. Изоляция почвенного слоя снегом может вызывать значительные различия между температурой воздуха и температурой почвы. Для регионов с умеренным климатом отмечается значимое смещение между температурой почвы и температуры воздуха [36]. В этой связи в анализе использовались данные только для бесснежного периода.

По полученным данным со снимков и даталоггеров проведен регрессионный анализ. Проанализированы как весь ряд годовых результатов, так и результаты по сезонам. Как видно в табл. 2, в течение года наблюдается корреляция между результатами, полученными наземными измерениями, и данными со снимков Landsat 8–9 (OLI/TIRS C2 L1).

Наибольшая корреляция отмечена в осенний период (табл. 2).

*Экология и природопользование*  
*Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.*

Таблица 2

Взаимосвязи между результатами наземных исследований и спутниковыми данными  
 The relationship between the results of ground-based research and satellite data

Период	Показатель		
	R	R <sup>2</sup>	Стандартная ошибка
Весь год			
B10	0,84	0,71	3,80
B11	0,84	0,70	3,82
Среднее значение	0,84	0,71	3,80
Бесснежный период (май-октябрь)			
B10	0,84	0,71	2,35
B11	0,84	0,71	2,35
Среднее значение	0,84	0,71	2,35
Весна			
B10	0,76	0,58	4,10
B11	0,77	0,59	4,00
Среднее значение	0,77	0,59	4,00
Лето			
B10	0,55	0,31	1,75
B11	0,57	0,33	1,76
Среднее значение	0,57	0,32	1,75
Осень			
B10	0,96	0,93	1,15
B11	0,96	0,92	1,18
Среднее значение	0,96	0,93	1,16

Как видно из табл. 2, особых различий в корреляционных взаимосвязях между результатами наземных измерений и данных каналов B10, B11 и их среднего значения нет. В дальнейших исследованиях мы использовали среднее значение данных каналов B10 и B11.

Исходя из полученных данных, сформировано линейное уравнение (1):

$$T_{\text{почв}} = 3,06 + 0,28T_{\text{снимок}}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{почв}}$  – температура почвы;  $T_{\text{снимок}}$  – значение термодинамической температуры, полученной со снимков Landsat 8.

Более точные данные можно получить в осенний период, используя иные значения поправочных коэффициентов (2):

$$T_{\text{почв}} = 3,60 + 0,35T_{\text{снимок}}. \quad (2)$$

Для построения схемы температурного режима использовалась линейная зависимость температуры почвы от температуры поверхности по снимкам Landsat 8–9 и результатов измерений даталоггерами температуры почвы для бесснежного периода (рис. 3) (3):

$$T_{\text{почв}} = 3,40 + 0,30T_{\text{снимок}}. \quad (3)$$

## Экология и природопользование

Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.

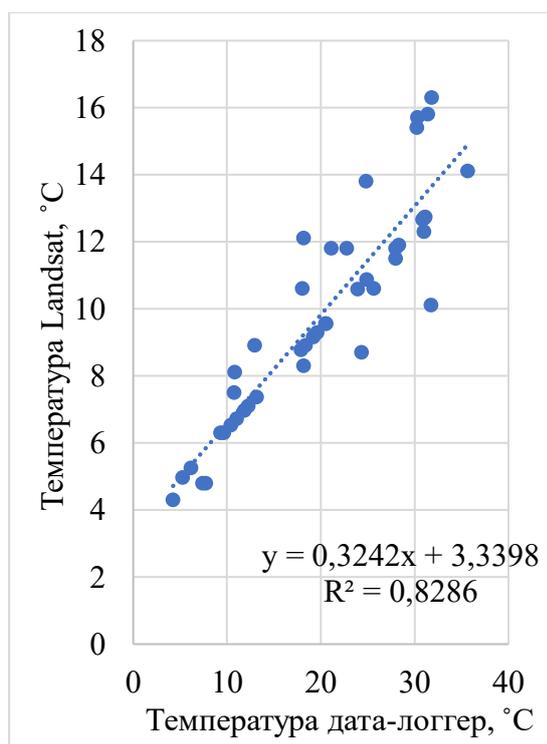


Рис. 3. Значения температур с данных даталоггеров и снимков Landsat 8–9 в бесснежный период (май-октябрь) 2020–2022 гг.

Fig. 3. Temperature values from data loggers and Landsat 8-9 images in the snowless period (May-October) 2020–2022

Сформирована схема распределения температурного режима поверхностного слоя почвы на основании усредненных значений температуры поверхности Земли, полученных со снимков Landsat 8–9 (OLI/TIRS C2 L1) и Landsat 4–5 (TM C2 L1) за период 2009–2022 гг., на которые наложены месторасположения очагов бактериальной водянки березы (рис. 4).

Далее, имея значения пикселей для здоровых и зараженных насаждений, оценены показатели описательной статистики для каждого из факторов.

Как видно из табл. 3 и рис. 4, зараженные насаждения больше располагаются на участках, средняя температура почвы которых составляет 9,6 °C, здоровые насаждения на менее прогреваемой территории – 7,8 °C. При этом, если обратить внимание на моду, то различия становятся еще больше – здоровые березовые насаждения – 7,6 °C, зараженные 10,2 °C. Отличаются и минимальные, и максимальные значения. Для зараженных насаждений они также выше – примерно на 1 °C.

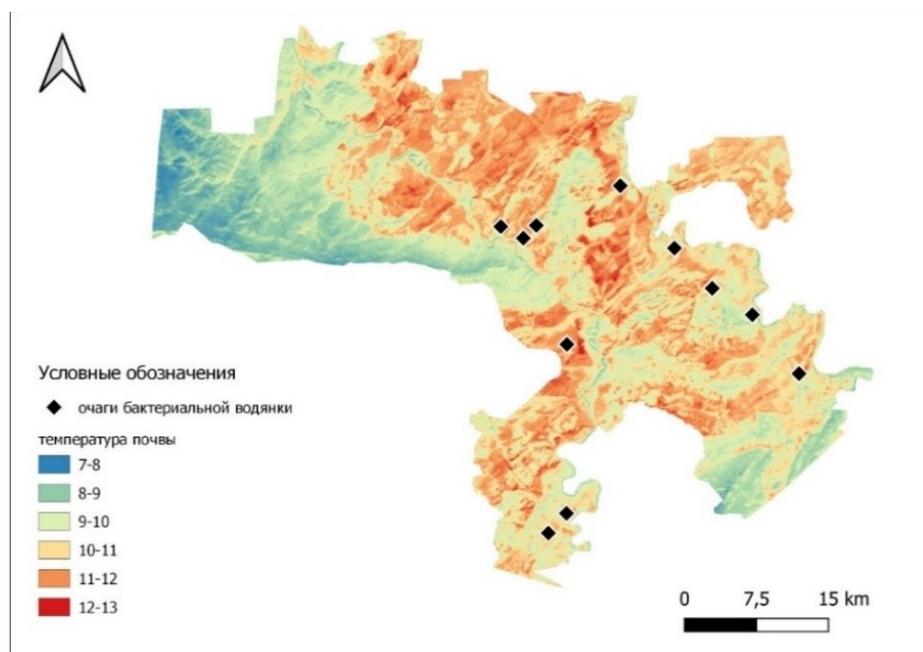
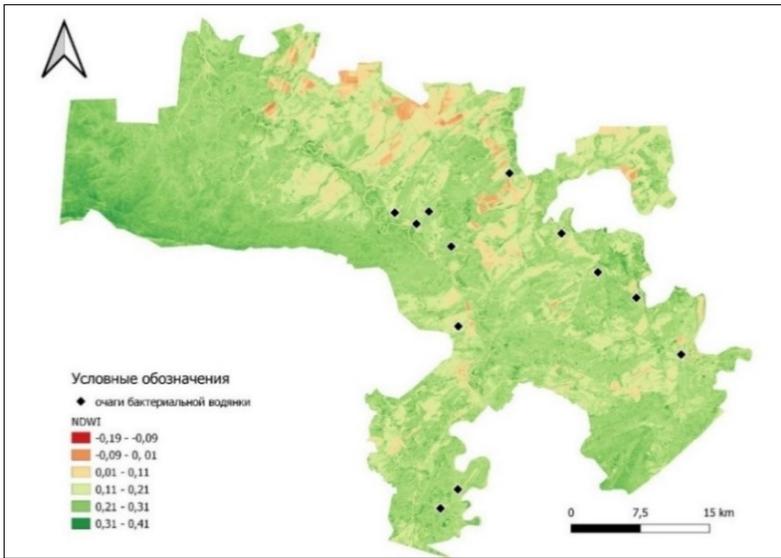


Рис. 4. Распределение температурного режима верхнего слоя почвы в глобальном геопарке ЮНЕСКО «Янган-Тау» и очаги бактериальной водянки березы

Fig. 4. Distribution of the topsoil temperature regime in the Yangan-Tau UNESCO Global Geopark and the foci of bacterial wetwood of birch

Экология и природопользование  
 Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.



Увлажненность растительности оценена по данным NDWI (рис. 5). Среднее значение и мода NDWI для обоих типов березовых насаждений не имеют больших различий, вместе с тем здоровые березовые леса растут в более влажных условиях. Однако минимальные значения ниже у здоровых насаждений, нежели у зараженных.

Средние значения по экспозиции для обоих типов насаждений практически не отличаются, а вот исходя из значений моды следует, что зараженные березовые насаждения чаще расположены на юго-восточных склонах, здоровые – на северо-западных. Минимальные и максимальные значения больших отличий не имеют.

Рис. 5. Распределение NDWI в глобальном геопарке ЮНЕСКО «Янган-Тау» и очаги бактериальной водянки березы  
 Fig. 5. Distribution of NDWI in the Yangan-Tau UNESCO Global Geopark and the foci of bacterial wetwood of birch

Средние значения уклона также не имеют значительных различий. Таким образом, можно предположить, что чаще распространение бактериальной водянки березы отмечается в более прогреваемых участках.

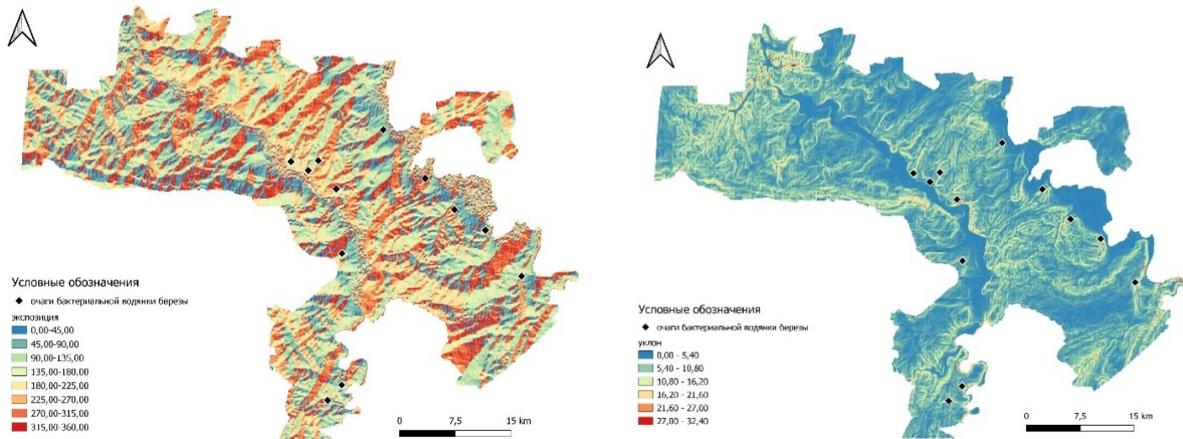


Рис. 6. Экспозиция и уклон поверхности в глобальном геопарке ЮНЕСКО «Янган-Тау»  
 Fig. 6. Exposure and slope of the surface in the Yangan-Tau UNESCO Global Geopark

Таблица 3

Описательная статистика для здоровых насаждений и зараженных бактериальной водянкой березы  
 Descriptive statistics for healthy stands and birch infected with bacterial wetwood

Анализируемый фактор	Показатель	Здоровые насаждения	Зараженные насаждения
Температура почвы	n	455528	5374
	Среднее	7,795	9,608
	Стандартная ошибка	0,002	0,006
	Медиана	7,697	9,578
	Мода	7,643	10,185
	Стандартное отклонение	0,396	0,403
	Минимум	6,998	8,769
	Максимум	10,351	11,010

Экология и природопользование  
Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.

Окончание табл. 3

Анализируемый фактор	Показатель	Здоровые насаждения	Зараженные насаждения
NDWI	n	455528	5374
	Среднее	0,263	0,229
	Стандартная ошибка	0,000	0,000
	Медиана	0,259	0,230
	Мода	0,243	0,213
	Стандартное отклонение	0,040	0,025
	Минимум	-0,063	0,060
	Максимум	0,410	0,332
Рельеф-экспозиция	n	145697	1827
	Среднее	176,395	173,032
	Стандартная ошибка	0,259	2,248
	Медиана	161,765	160,969
	Мода	313,247	134,735
	Стандартное отклонение	98,825	96,106
	Минимум	2,908	2,798
	Максимум	359,223	351,750
Рельеф-уклон	n	145697	1827
	Среднее	6,152	6,511
	Стандартная ошибка	0,015	0,077
	Медиана	5,437	5,872
	Мода	11,049	6,042
	Стандартное отклонение	3,727	3,275
	Минимум	0,203	0,788
	Максимум	34,030	17,899

### Обсуждение

Общемировые тенденции, демонстрирующие увеличение среднегодовых температур, характерны для территории Республики Башкортостан и геопарка «Янган-Тау». Осредненный КНЛТ среднегодовых температур воздуха для Республики Башкортостан положительный и составляет 0,43 °С/10 лет [8], что несколько больше, чем для территории геопарка «Янган-Тау» (0,37 °С/10 лет). Также для геопарка, как и для Предуралья (западная часть Республики Башкортостан), характерно увеличение засушливости.

Влияние средней дневной температуры на вегетационную активность растительности доказано многими исследованиями на примере сопоставления вегетационных индексов (например, NDVI) и среднегодовых температур воздуха [22, 11] или температуры поверхности Земли [32]. Данный показатель напрямую коррелирует с продуктивностью растительности. Исследования, проведенные для природного парка «Кандры-Куль» (Республика Башкортостан), демонстрируют снижение продуктивности березовых древостоев на 60 % в результате распространения бактериальной водянки березы [34]. Таким образом, данная связь тоже может проявляться с вегетационным индексом, и зараженный древостой будет иметь низкие значения NDVI.

Вместе с тем возможен и обратный эффект, когда структура растительности влияет на температуры почвы. В исследованиях Н. Воропай и др. [6, 7] на примере Тункинской долины показано, что на участках с нарушенной растительностью почвенный покров больше прогревается и наблюдается таяние вечной мерзлоты. Рассматривая результаты нашего исследования, можно также констатировать, что большему прогреванию подвержены антропогенно-измененные территории: населенные пункты и пашни. Также чаще проявления бактериальной водянки березы были зафиксированы на территориях, измененных в результате человеческой деятельности – вблизи населённых пунктов, по маршрутам выпаса скота и пр.

*Экология и природопользование**Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.*

Увлажненность территории также оказывает влияние на продуктивность растительности, которая в свою очередь определяется санитарным состоянием древостоев. Для территории Республики Беларусь выявлено, что более значимым фактором, влияющим на значение NDVI, является количество осадков в вегетационный период [11]. Однако на долгопериодные изменения вегетационного индекса влияет потепление воздуха при практически неизменном количестве осадков. Наше исследование охватило период в 13 лет и также продемонстрировало влияние температурного режима на древостой березы.

Для Республики Башкортостан Н.И. Федоровым и др. (2022) [18] проведено исследование влияния климата и рельефа на распространение лесных сообществ. Территория геопарка «Янган-Тау» относится к Уфимскому плато, для которого выявлено, что крутизна и экспозиция оказывают большее влияние на структуру растительности, чем для горно-лесной зоны. Тем не менее показано, что температура и осадки оказывают более значимое влияние на лесные растительные сообщества как на территории Уфимского плато, так и в горно-лесной зоне. Наши результаты также согласуются с данным исследованием. Температура поверхностного слоя почвы месторасположения здоровых древостоев отличается от температуры зараженных более чем на 1 °С. Влияние рельефа проявляется в преимущественном расположении зараженных древостоев на юго-восточных склонах.

**Заключение**

Распространение заболеваний древостая в условиях глобального изменения климата является серьезной проблемой для многих регионов планеты.

В России и Республике Башкортостан после аномально жаркого и сухого лета 2010 г. получило распространение инфекционное заболевание березовых лесов – бактериальная водянка. Особенно актуальна данная проблема для глобального геопарка ЮНЕСКО «Янган-Тау», в котором березовые леса являются одной из основных составляющих его ландшафта.

Общий анализ изменения температурно-влажностного режима территории геопарка «Янган-Тау», по данным метеостанции Дуван, показал тренды к аридизации климата.

Многие исследования показывают большее влияние температуры почвы на продуктивность растительности, чем температуры воздуха. Использование даталоггеров температуры для корректировки данных спутниковых снимков Landsat 4–5 и 8–9 позволило картировать среднее распределение температур поверхностного слоя почвы для бесснежного периода на территории геопарка «Янган-Тау».

Соотнесение карты температур поверхностного слоя почвы с очагами бактериальной водянки березы наглядно показало связь распространения данного заболевания с прогреваемостью почвы. Таким образом, выявлены участки, где риск распространения бактериальной водянки березы намного выше. Данная информация может быть использована для формирования стратегии адаптации к глобальному изменению климата геопарка «Янган-Тау» и обеспечению устойчивого лесопользования на территории Салаватского лесничества.

**Библиографический список**

1. Байтурина Р.Р., Габделхаков А.К., Халикова О.В., Рахматуллин З.З., Тимерьянов А.Ш. Влияние изменений климата на лесные ресурсы Республики Башкортостан // Лесотехнический журнал. 2020. № 4. С. 99–109. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/8
2. Бондаренко-Борисова И.В. Бактериальная водянка – опасное заболевание березы в Донецком регионе // Промышленная ботаника. 2020. Вып. 20, № 2. С. 62–65.
3. Волков А.М., Гарипова С.Р., Данилов Д.О. Изучение распространения бактериальной водянки березы в природном парке «Аслы-Куль» методом визуального дешифрирования космических снимков // Экологические проблемы промышленных городов: сб. науч. трудов по матер. 7-й Всерос. науч.-практ. конф. с межд. участием, Саратов, 8–10 апреля 2015 года. Саратов: Саратовский государственный университет им. Гагарина Ю.А., 2015. С. 316–318.
4. Волков А.М., Яруллина И.Н., Сагитов Ш.З. Изменение климата на территории Республики Башкортостан: тенденции и последствия для биоты // Башкирский экологический вестник. 2013. № 3–4. С. 46–48.
5. Воронин В.В., Софронов А.П., Морозова Т.И., Осолков В.А., Суховольский В.Г., Ковалёв А.В. Ландшафтная приуроченность бактериальных болезней темнохвойных лесов хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // География и природные ресурсы. 2019. № 4. С. 56–65. doi: 10.21782/gipr0206-1619-2019-4(56-65)

## Экология и природопользование

Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.

6. Воронай Н.Н., Атутова Ж.В., Шуклина Е.С. Многолетняя динамика температуры почвы пирогенно трансформированных геосистем Тункинской котловины (Юго-Западное Прибайкалье) // География и природные ресурсы. 2022. Т. 43, № 2. С. 132–145. doi: 10.15372/GIPR20220214.
7. Воронай Н.Н., Киселев М.В., Черкашина А.А. Мониторинг температуры почв на многолетнемёрзлых породах в естественных и антропогенно нарушенных условиях Тункинской котловины // Лёд и снег. 2019. Т. 59, № 4. С. 517–528. doi: 10.15356/2076-6734-2019-4-421.
8. Галимова Р.Г. Анализ изменений температурно-влажностного режима на территории Республики Башкортостан в современный период // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30, № 1. С. 83–93. doi: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-83-93.
9. Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Богдан Е.А. Климат геопарка «Янган-Тау» и его современный изменения // Динамика и взаимодействие геосфер Земли: матер. Всерос. конф. с межд. участ., посвященной 100-летию подготовки в Томском государственном университете специалистов в области наук о Земле. Т. II, Томск, 8–12 ноября 2021 г. Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2021. С. 134–137.
10. Куулар Х.Б. Температура ландшафтной поверхности Республики Тыва по данным спутника Landsat-8 в зимний период 2014–2017 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 7. С. 67–77.
11. Лысенко С.А. Климатообусловленные изменения биопродуктивности наземных экосистем Беларуси // Исследования Земли из Космоса. 2019. № 6. С. 77–88.
12. Мамаш Е.А., Пестунов И.А., Чубаров Д.Л. Построение температурных карт города Новосибирска на основе данных спутника LANDSAT 8 // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 4, № 1. С. 52–59.
13. Паниди Е.А., Рыкин И.С., Целев В.Ю. О проблеме определения временных границ вегетационных сезонов по данным наземных наблюдений и дистанционного зондирования // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2018. Т. 24, № 2. С. 129–140. doi: 10.24057/2414-9179-2018-2-24-129-140
14. Силкин К. Коррекция материалов Landsat [Электронный ресурс]. URL: <https://gis-lab.info/qa/landsat-data-correction.html> (дата обращения 20.06.2023).
15. Сингатуллин И.К. Состояние осинников Республики Татарстан после засухи 2010 года // Вестник Казанского ГАУ. 2016. № 3 (41). С. 40–45. doi: 10.12737/22674
16. Татаринцев А.И., Скрипальщикова Л.Н. Эколого-фитопатологическое состояние березняков на территории красноярской группы районов // Сибирский лесной журнал. 2015. № 2. С. 8–19.
17. Татаринцев А.И. Эколого-ценотические особенности пораженности березняков бактериальной водяной березы (Красноярская группа) // Сибирский экологический журнал. 2014. № 2. С. 273–281.
18. Федоров Н.И., Жигунова С.Н., Мартыненко В.Б., Широких П.С., Михайленко О.И. Влияние климата и рельефа на распространение лесных сообществ в разных ботанико-географических районах Южно-Уральского региона // Экология. 2022. № 6. С. 411–420. doi: 10.31857/S036705972206004X
19. Федоров Н.И., Мартыненко В.Б., Жигунова С.Н., Михайленко О.И., Шендель Г.В., Наумова Л.Г. Изменение распространения широколиственных древесных видов в центральной части Южного Урала со второй половины XX в. // Экология. 2021. № 2. С. 103–111. doi: 10.31857/S0367059721020050
20. Alizadeh M. Bacterial Wetwood Disease. // Journal of Plant Chemistry and Ecophysiology. 2017. Vol. 2(1). P. 1015.
21. Alizadeh M., Khakvar R., Babai-Ahari A. Isolation and characterization of bacterial agents associated of wetwood disease on Elm trees in Iran // Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica. 2017. Vol. 52. P. 1–11. doi: 10.1556/038.52.2017.028.
22. Barbosa H.A., Huete A.R., Baethgen W.E. A 20-year study of NDVI variability over the northeast region of Brazil // Arid environment. 2006. Vol. 67. P. 288–307.
23. Bogdan E., Volkov A., Belan L., Kamalova R., Tuktartova I. Remote Assessment of Soil Temperature on the Example of a Carbon Landfill Site of the Republic of Bashkortostan (Yangan-Tau Geopark) // In Proceedings of the 1st International Conference on Methods, Models, Technologies for Sustainable Development. 2022. Vol. 1. P. 215–221. doi: 10.5220/0011568800003524
24. Chai L., Jiang H., Liu S. Estimating Corn Canopy Water Content from Normalized Difference Water Index (NDWI): An Optimized NDWI-Based Scheme and Its Feasibility for Retrieving Corn VWC // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2021. Vol. 59, No. 10. P. 8168–8181. doi: 10.1109/TGRS.2020.3041039
25. El Garouani M., Amyay M., Lahrach A., Oulidi H.J. Land Surface Temperature in Response to Land Use/Cover Change Based on Remote Sensing Data and GIS Techniques: Application to Saiss Plain, Morocco // Journal of Ecological Engineering. 2021. Vol. 22, № 7. P. 100–112. doi: 10.12911/22998993/139065.
26. Galimova R., Silantyev K. The analysis of the long-term dynamic of the amount of atmospheric precipitation on the territory of the republic of Bashkortostan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: VII International Scientific Practical Conference «Modern problems of reservoirs and their catchments». 2019. Vol. 321. P. 12–20.
27. Goychuk A., Drozda V., Shvets M., Kulbansk I. Bacterial wetwood of silver birch (*Betula pendula* roth): symptomatology, etiology and pathogenesis // Folia Forestalia Polonica. 2020. Vol. 62. P. 145–159. doi: 10.2478/ffp-2020-0015.
28. Hamdi S., Moyano F., Sall S., Bernoux M., Chevallier T. Synthesis analysis of the temperature sensitivity of soil respiration from laboratory studies in relation to incubation methods and soil conditions // Soil Biology and Biochemistry. 2013. Vol. 58. P. 115–126. doi: 10.1016/j.soilbio.2012.11.012
29. Jentsch A., Beierkuhnlein C. Research frontiers in climate change: Effects of extreme meteorological events on ecosystems // Comptes Rendus – Geoscience. 2008. Vol. 340, № 9–10. P. 621–628. doi: 10.1016/j.crte.2008.07.002
30. Kravchenko I.K., Tikhonova E.N., Ulanova R.V., Menko E.V., Sukhacheva M.V. Effect of temperature on litter decomposition, soil microbial community structure and biomass in a mixed-wood forest in European Russia // Current Science. 2019. Vol. 116, № 5. P. 765–772. doi: 10.18520/cs/v116/i5/765-772
31. Larjavaara M., Lu X., Chen X., Vastaranta M. Impact of rising temperatures on the biomass of humid old – growth forests of the world // Carbon Balance and Management. Springer International Publishing. 2021. Vol. 31, № 16. P. 1–9. doi: 10.1186/s13021-021-00194-3

## Экология и природопользование

Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.

32. Reynolds M., Comiso J., Balsler A., Verbyla D. Relationship between satellite derived land surface temperatures, arctic vegetation types, and NDVI. // *Remote Sensing of Environment*. 2008. Vol. 112. P. 1884–1894. doi: 10.1016/j.rse.2007.09.008
33. Thuiller W., Albert C., Araujo M., Berry P., Cabeza M., Guisan A., Hickler T., Midgely G., Paterson J., Schurr F., Sykes M., Zimmermann N. Predicting global change impacts on plant species' distributions: future challenges // *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 2008. Vol. 9, № 3–4. P. 137–152. doi: 10.1016/j.ppees.2007.09.004.
34. Volkov A., Belan L., Bogdan E., Suleymanov A., Tuktartova I., Shagaliev R., Muftakhina D. Spatio-Temporal Analysis of forest growing stock volume and carbon stocks: a case study of Kandry-Kul natural park, Russia // *Land*. 2023. No. 12(7). P. 1441. doi: 10.3390/land12071441
35. Yuste J., Baldocchi D., Gershenson A., Goldstein A., Misson L., Wong S. Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture // *Global Change Biology*. 2007. Vol. 13. P. 2018–2035. doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01415.
36. Zhang Y., Sherstiukov A.B., Qian B., Kokelj S.V., Lantz T.C. Impacts of snow on soil temperature observed across the circum-polar north // *Environmental Research Letters*. 2018. Vol. 13. P. 044012. doi: 10.1088/1748-9326/aab1e7.
37. Zhang Y., Wang S., Barr A.G., Black T. Impact of snow cover on soil temperature and its simulation in a boreal aspen forest // *Cold Regions Science and Technology*. 2008. Vol. 52. P. 355–370. doi: 10.1016/j.coldregions.2007.07.001.

## References

1. Bajturina R.R., Gabdelxakov A.K., Xalikova O.V., Raxmatullin Z.Z., Timer'yanov A.Sh. (2020) Vliyaniye izmenenij klimata na lesny'e resursy' Respubliki Bashkortostan [The impact of climate change on the forest resources of the Republic of Bashkortostan]. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, no. 4, pp. 99–109. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/8 [In Russian]
2. Bondarenko-Borisova I.V. (2020) Bakterial'naya vodyanka – opasnoe zabolevaniye berezy' v Doneczkom regione [Bacterial wetwood is a dangerous disease of birch in the Donetsk region]. *Promy'shlennaya botanika*, no. 20(2), pp. 62–65. [In Russian]
3. Volkov A.M., Garipova S.R., Danilov D.O. (2015) Izuchenie rasprostraneniya bakterial'noj vodyanki berezy' v prirodnom parke «Asly'-Kul» metodom vizual'nogo deshifirovaniya kosmicheskix snimkov [Study of the spread of bacterial wetwood of birch in the Asly-Kul Nature Park by the method of visual interpretation of satellite images]. *E'kologicheskie problemy' promy'shlenny'x gorodov: sb. nauch. trudov po mater. 7-j Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhd. Uchastiem*. Saratov: Saratovskij gosudarstvenny'j universitet im. Gagarina Yu.A., pp. 316–318. [In Russian]
4. Volkov A.M., Yarullina I.N., Sagitov Sh.Z. (2013) Izmeneniye klimata na territorii Respubliki Bashkortostan: tendencii i posledstviya dlya bioty' [Climate change in the Republic of Bashkortostan: trends and consequences for biota]. *Bashkirskij e'kologicheskij vestnik*, no. 3–4, pp. 46–48. [In Russian]
5. Voronin V.B., Sofronov A.P., Morozova T.I., Oskolkov V.A., Suxovol'skij V.G., Kovalyov A.V. (2019) Landshaftnaya priurochennost' bakterial'ny'x boleznej temnoxvojny'x lesov xrebita Xamar-Daban (Yuzhnoe Pribajkal'e) [Landscape occurrence of bacterial diseases of dark coniferous forests of the Xamar-Daban ridge (Southern Baikal region)]. *Geografiya i prirodny'e resursy'*, no. 4, pp. 56–65. doi: 10.21782/gipr0206-1619-2019-4(56-65). [In Russian]
6. Voropaj N.N., Atutova Zh.V., Shuklina E.S. (2022) Mnogoletnyaya dinamika temperatury' pochvy' pirogenno transformirovanny'x geosistem Tunkinskoj kotloviny' (Yugo-Zapadnoe Pribajkal'e) [Long-term soil temperature dynamics in pyrogenically transformed geosystems of the Tunka Depression (Southwestern Cisbaikalia)]. *Geografiya i prirodny'e resursy'*, no. 43(2), pp. 132–145. doi: 10.15372/GIPR20220214. [In Russian]
7. Voropaj N.N., Kiselev M.V., Cherkashina A.A. (2019) Monitoring temperatury' pochv na mnogoletnemyorzly'x porodax v estestvenny'x i antropogenno narushenny'x usloviyax Tunkinskoj kotloviny' [Monitoring of soil temperature on permafrost in natural and anthropogenic disturbed conditions in the Tunkinskaya Depression]. *Lyod i sneg*, no. 59(4), pp. 517–528. doi: 10.15356/2076-6734-2019-4-421. [In Russian]
8. Galimova R.G. (2020) Analiz izmenenij temperaturno-vlazhnostnogo rezhima na territorii Respubliki Bashkortostan v sovremenny'j period [Analysis of changes in the temperature and humidity regime on the territory of the Republic of Bashkortostan in the modern period]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle*, no. 30(1), pp. 83–93. doi: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-83-93. [In Russian]
9. Kamalova R.G., Belan L.N., Bogdan E.A. (2021) Klimat geoparka «Yangan-Tau» i ego sovremenny'j izmeneniya [The climate of the Yangan-Tau UNESCO geopark and its modern changes]. *Dinamika i vzaimodejstvie geosfer Zemli: mater. Vseros. konf. s mezhd. uchast., posvyashhennoj 100-letiyu podgotovki v Tomskom gosudarstvennom universitete specialistov v oblasti nauk o Zemle*. T. II, Tomsk, 8–12 noyabrya 2021 g. Tomsk: Izd-vo Tomskogo CzNTI, pp. 134–137. [In Russian]
10. Kuular X.B. (2018) Temperatura landshaftnoj poverxnosti Respubliki Ty'va po danny'm sputnika Landsat-8 v zimnij period 2014–2017 gg [Land surface temperature in the Tyva Republic in the winters of 2014–2017 by Landsat-8 data]. *Sovremennyye problemy' distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, no. 15(7), pp. 67–77. [In Russian]
11. Ly'senko S.A. (2019) Klimatoobuslovlenny'e izmeneniya bioproduktivnosti nazemny'x e'kosistem Belarusi [Climate-conditioned changes in the bioproductivity of terrestrial ecosystems of Belarus]. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*, no. 6, pp. 77–88. [In Russian]
12. Mamash E.A., Pestunov I.A., Chubarov D.L. (2021) Postroeniye temperaturny'x kart goroda Novosibirsk na osnove danny'x sputnika LANDSAT 8. [Building of temperature maps of Novosibirsk city based on Landsat 8 data]. *Intere'kspo Geo-Sibir'*, no. 4(1), pp. 52–59. [In Russian]
13. Panidi E.A., Ry'kin I.S., Cepelev V.Yu. (2018) O probleme opredeleniya vremenny'x granicz vegetacionny'x sezonov po danny'm nazemny'x nablyudenij i distancionnogo zondirovaniya [On the problem of determining the time limits of vegetation seasons based on ground-based observations and remote sensing] *InterKarto*. InterGIS, vol. 24, no 2, pp. 129–140. doi: 10.24057/2414-9179-2018-2-24-129-140 [In Russian]
14. Silkin K. Korrekciya materialov Landsat, available at <https://gis-lab.info/qa/landsat-data-correction.html> (Accessed 20.06.2023). [In Russian]

## Экология и природопользование

Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.

15. Singatullin I.K. (2016) Sostoyanie osinnikov Respubliki Tatarstan posle zasuxi 2010 godavv [The state of the aspen trees of the Republic of Tatarstan after the drought of 2010]. *Vestnik Kazanskogo GAU*, no. 3(41), pp. 40–45. doi: 10.12737/22674. [In Russian]
16. Tatarincev A.I., Skripal'shnikova L.N. (2015) E'kologo-fitopatologicheskoe sostoyanie bereznyakov na territorii krasnoyarskoj gruppy rajonov [Ecological and phytopathological condition of birch forests on the territory of the Krasnoyarsk group of districts]. *Sibirskij lesnoj zhurnal*, no. 2, pp. 8–19. [In Russian]
17. Tatarincev A.I. (2014) E'kologo-cenoticheskie osobennosti porazhennosti bereznyakov bakterial'noj vodyankoj berezy' (Krasnoyarskaya gruppa) [Ecological and cenotic features of birch trees affected by bacterial dropsy of birch (Krasnoyarsk group)]. *Sibirskij e'kologicheskij zhurnal*, no. 2, pp. 273–281. [In Russian]
18. Fedorov N.I., Zhigunova S.N., Marty'nenko V.B., Shirokix P.S., Mixajlenko O.I. (2022) Vliyanie klimata i rel'efa na rasprostranenie lesny'x soobshhestv v razny'x botaniko-geograficheskix rajonax Yuzhno-Ural'skogo regiona [The influence of climate and relief on the distribution of forest communities in different botanical and geographical areas of the South Ural region]. *E'kologiya*, no 6, pp. 411–420. doi: 10.31857/S036705972206004X [In Russian]
19. Fedorov N.I., Marty'nenko V.B., Zhigunova S.N., Mixajlenko O.I., Shendel' G.V., Naumova L.G. (2021) Izmenenie rasprostraneniya shirokolistvenny'x drevesny'x vidov v central'noj chasti Yuzhnogo Urala so vtoroj poloviny' XX v. [Changes in the distribution of broad-leaved tree species in the central part of the Southern Urals since the second half of the twentieth century.]. *E'kologiya*, no. 2, pp. 103–111. doi: 10.31857/S0367059721020050/ [In Russian]
20. Alizadeh M. (2017) Bacterial Wetwood Disease. *Journal of Plant Chemistry and Ecophysiology*, no. 2(1), P. 1015.
21. Alizadeh M., Khakvar R., Babai-Ahari A. (2017). Isolation and characterization of bacterial agents associated of wetwood disease on Elm trees in Iran. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, no. 52, pp. 1–11. doi: 10.1556/038.52.2017.028.
22. Barbosa H.A., Huete A.R., Baethgen W.E. (2006) A 20-year study of NDVI variability over the northeast region of Brazil. *Arid environment*, no. 67, pp. 288–307.
23. Bogdan E., Volkov A., Belan L., Kamalova R., Tuktarova I. (2022) Remote Assessment of Soil Temperature on the Example of a Carbon Landfill Site of the Republic of Bashkortostan (Yangan-Tau Geopark). *In Proceedings of the 1st International Conference on Methods, Models, Technologies for Sustainable Development*, no. 1, pp. 215–221. doi: 10.5220/0011568800003524
24. Chai L., Jiang H., Liu S. (2021) Estimating Corn Canopy Water Content from Normalized Difference Water Index (NDWI): An Optimized NDWI-Based Scheme and Its Feasibility for Retrieving Corn VWC. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 59, no. 10, pp. 8168–8181. doi: 10.1109/TGRS.2020.3041039
25. El Garouani M., Amyay Mh., Lahrach A., Oulidi H.J. (2021) Land Surface Temperature in Response to Land Use/Cover Change Based on Remote Sensing Data and GIS Techniques: Application to Saïss Plain, Morocco. *Journal of Ecological Engineering*, no. 22(7), pp. 100–112. doi: 10.12911/22998993/139065.
26. Galimova R., Silant'yev K. (2019) The analysis of the long-term dynamic of the amount of atmospheric precipitation on the territory of the republic of Bashkortostan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: VII International Scientific Practical Conference «Modern problems of reservoirs and their catchments»*, no. 321, P. 12–20.
27. Goychuk A., Drozda V., Shvets M., Kulbansk I. (2020) Bacterial wetwood of silver birch (*Betula pendula* roth): symptomatology, etiology and pathogenesis. *Folia Forestalia Polonica*, no. 62, pp. 145–159. doi: 10.2478/ffp-2020-0015.
28. Hamdi S., Moyano F., Sall S., Bernoux M., Chevallier T. (2013) Synthesis analysis of the temperature sensitivity of soil respiration from laboratory studies in relation to incubation methods and soil conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, no. 58, pp. 115–126. doi: 10.1016/j.soilbio.2012.11.012
29. Jentsch A., Beierkuhnlein C. (2008) Research frontiers in climate change: Effects of extreme meteorological events on ecosystems. *Comptes Rendus – Geoscience*, no. 340(9–10), pp. 621–628. doi: 10.1016/j.crte.2008.07.002
30. Kravchenko I.K., Tikhonova E.N., Ulanova R.V., Menko E.V., Sukhacheva M.V. (2019) Effect of temperature on litter decomposition, soil microbial community structure and biomass in a mixed-wood forest in European Russia. *Current Science*, no. 116(5), pp. 765–772. doi: 10.18520/cs/v116/i5/765-772
31. Larjavaara M., Lu X., Chen X., Vastaranta M. (2021) Impact of rising temperatures on the biomass of humid old - growth forests of the world. *Carbon Balance and Management. Springer International Publishing*, no. 31(16), pp. 1–9. doi: 10.1186/s13021-021-00194-3
32. Reynolds M., Comiso J., Balsler A., Verbyla D. (2008) Relationship between satellitederived land surface temperatures, arctic vegetation types, and NDVI. *Remote Sensing of Enviroment*, vol. 112, pp. 1884–1894. doi: 10.1016/j.rse.2007.09.008
33. Thuiller W., Albert C., Araujo M., Berry P., Cabeza M., Guisan A., Hickler T., Midgely G., Paterson J., Schurr F., Sykes M., Zimmermann N. (2008) Predicting global change impacts on plant species' distributions: future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, no. 9(3–4), pp. 137–152. doi: 10.1016/j.ppees.2007.09.004.
34. Volkov A., Belan L., Bogdan E., Suleymanov A., Tuktarova I., Shagaliev R., Muftakhina D. (2023) Spatio-Temporal Analysis of Forest Growing Stock Volume and Carbon Stocks: A Case Study of Kandry-Kul Natural Park, Russia. *Land*. no 12(7), pp. 1441. doi: 10.3390/land12071441
35. Yuste J., Baldocchi D., Gershenson A., Goldstein A., Misson L., Wong S. (2007) Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture. *Global Change Biology*, no. 13, pp. 2018–2035. doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01415.
36. Zhang Y., Sherstiukov A.B., Qian B., Kokelj S.V., Lantz T.C. (2018) Impacts of snow on soil temperature observed across the circum-polar north. *Environmental Research Letters*, no. 13, pp. 044012. doi: 10.1088/1748-9326/aab1e7.
37. Zhang Y., Wang S., Barr A.G., Black T. (2008) Impact of snow cover on soil temperature and its simulation in a boreal aspen forest. *Cold Regions Science and Technology*, no. 52, pp. 355–370. doi: 10.1016/j.coldregions.2007.07.001.

*Экология и природопользование*  
*Богдан Е.А., Камалова Р.Г., Белан Л.Н., Туктарова И.О.*

Статья поступила в редакцию: 27.06.23, одобрена после рецензирования: 15.11.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 27 June 2023; approved after review: 15 November 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

Информация об авторах

Information about the authors

**Екатерина Александровна Богдан**

кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории мониторинга климатических изменений и углеродного баланса экосистем, Уфимский государственный нефтяной технический университет;

450064, Россия, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1

**Ekaterina A. Bogdan**

Candidate of Economic Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Climate Change Monitoring and Carbon Ecosystems Balance, Ufa State Petroleum Technological University;

1, Kosmonavtov st., Ufa, 450064, Russia

e-mail: eavolkova@bk.ru

**Рита Галимьяновна Камалова**

старший научный сотрудник лаборатории мониторинга климатических изменений и углеродного баланса экосистем Центра технологий декарбонизации, Уфимский государственный нефтяной технический университет;

450064, Россия, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1

**Rita G. Kamalova**

Senior Researcher, Laboratory of Climate Change Monitoring and Carbon Ecosystems Balance, Ufa State Petroleum Technological University;

1, Kosmonavtov st., Ufa, 450064, Russia

e-mail: galim-rita@yandex.ru

**Лариса Николаевна Белан**

доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры охраны окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, Уфимский государственный нефтяной технический университет;

450064, Россия, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1

**Larisa N. Belan**

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Department of Environmental Protection and Prudent Exploitation of Natural Resources, Ufa State Petroleum Technological University;

1, Kosmonavtov st., Ufa, 450064, Russia

e-mail: Belan77767@mail.ru

**Ирэн Ольвертовна Туктарова**

кандидат технических наук, заведующая кафедрой охраны окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, Уфимский государственный нефтяной технический университет;

450064, Россия, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1

**Iren O. Tuktarova**

Candidate of Engineering Sciences, Head of the Department of Environmental Protection and Prudent Exploitation of Natural Resources, Ufa State Petroleum Technological University;

1, Kosmonavtov st., Ufa, 450064, Russia

e-mail: umrko@mail.ru

**Вклад авторов**

Богдан Е.А. – идея, сбор материала, обработка, анализ и визуализация полевых данных и данных спутниковой съемки, написание статьи.

Камалова Р.Г. – идея, систематизация и обработка материала, анализ полученных данных, написание статьи.

Белан Л.Н. – идея, написание статьи.

Туктарова И.О. – научное редактирование текста статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors**

Ekaterina A. Bogdan – the idea; collection, processing and visualization of field data and remote sensing data; writing of the article.

Rita G. Kamalova – the idea; collection of material; data processing; writing of the article.

Larisa N. Belan – the idea; writing of the article.

Iren O. Tuktarova – scientific editing of the text.

The authors declare no conflict of interest.

Научная статья

УДК 502.7:574

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-166-175

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА НА НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ КОМПОНЕНТАМИ БОЛОТ В ОКРЕСТНОСТЯХ Г. ТОМСКА

**Людмила Павловна Гашкова**

Сибирский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий РАН, г. Томск, Россия

gashkova-lp@rambler.ru, Scopus Author ID: 57194219406, WoS Researcher ID: M-7651-2014, SPIN-код: 8729-9340, РИНЦ Author ID: 747354

**Аннотация.** В настоящее время города стали источником загрязнения природных ландшафтов. Воздушный перенос тяжёлых металлов изменяет геохимические циклы болот, получающих основное минеральное питание из атмосферы. На примере ключевых участков, которые расположены рядом с городами Томск и Северск, рассмотрено распределение тяжёлых металлов в компонентах болот. Исследования проводились на 7 болотах, 5 из которых расположены к северу от города, а 2 находятся на юго-западе от города. Концентрация Zn, Cu, Cd и Pb определялась в 4 видах растений (*Betula pubescens*, *Pinus sylvestris*, *Chamaedaphne calyculata* и *Rhododendron tomentosum*), торфе и подстилающей породе. Обнаружено, что содержание данных элементов в растениях и торфе, а также интенсивность их поглощения выше на болотах, расположенных к северу от Томска в направлении основного переноса от господствующих в регионе южных ветров. Влияние города сказывается и в том, что в торфе всех рассмотренных нами участков концентрации тяжёлых металлов выше, чем в подстилающей породе. Кроме того, в процессе исследования выявлено, что древесные растения наиболее интенсивно поглощают Zn и Cu, а кустарнички накапливают Cd и Pb. Хотя абсолютные значения концентраций металлов в растениях и торфе не выходят за пределы фоновых значений, установленных для региона, применение геохимических коэффициентов позволяет выявить влияние промышленного загрязнения. Полученные результаты показывают, что болота могут служить чувствительными индикаторами загрязнения атмосферы в процессе мониторинга состояния окружающей среды.

**Ключевые слова:** биоиндикация, Zn, Cu, Cd, Pb, растения болот, торф, подстилающая порода, влияние города

**Финансирование:** работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках НИР № 0533-2021-0004.

**Для цитирования:** Гашкова Л.П. Оценка влияния атмосферного переноса на накопление тяжёлых металлов компонентами болот в окрестностях г. Томска // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 166–175. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-166-175

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-166-175

## INFLUENCE OF ATMOSPHERIC TRANSPORT ON THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS BY THE COMPONENTS OF THE MIRES AROUND TOMSK

**Lyudmila P. Gashkova**

Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – a branch of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology RAS, Tomsk, Russia

gashkova-lp@rambler.ru, Scopus Author ID: 57194219406, WoS Researcher ID: M-7651-2014, SPIN-code: 8729-9340, Author ID: 747354



**Abstract.** Cities have become a source of natural landscapes pollution. Air transport of heavy metals changes the geochemical cycles of bogs that receive their main mineral nutrition from the atmosphere. The paper studies the distribution of heavy metals in the mire components through the example of key sites located near the cities of Tomsk and Seversk. The research was carried out on 7 mires, 5 of which are located to the north of the city and 2 are in the southwest of the city. The concentrations of Zn, Cu, Cd, and Pb were determined in 4 plant species (*Betula pubescens*, *Pinus sylvestris*, *Chamaedaphne calyculata* and *Rhododendron tomentosum*), peat, and bedrock. It has been found that the content of these elements in plants and peat, as well as the intensity of their absorption, is higher in the mires located north of Tomsk, in the direction of the main transfer from the southern winds prevailing in the region. The influence of the city is also manifested in the fact that in the peat of all the sites that were examined, the concentration of heavy metals is higher than in the bedrock. The study has revealed that woody plants most intensively absorb Zn and Cu, while shrubs accumulate Cd and Pb. The absolute values of metal concentrations in plants and peat do not go beyond the background values established for the region, but the use of geochemical coefficients makes it possible to reveal the effect of industrial pollution. The study shows that mires can serve as sensitive indicators of atmospheric pollution in the process of monitoring of the state of environment.

**Keywords:** bioindication, Zn, Cu, Cd, Pb, mire plants, peat, bedrock, influence of the city

**Funding:** The study was conducted with the financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under research project No. 0533-2021-0004.

**For citation:** Gashkova, L.P. (2024). Influence of atmospheric transport on the accumulation of heavy metals by the components of the mires around Tomsk. *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 166–175. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-166-175

## Введение

Примеси городского воздуха, в том числе и металлы, являются основной причиной болезней, связанных с загрязнением окружающей среды [6, 22]. Основными источниками тяжёлых металлов в атмосфере г. Томска являются топливно-энергетический комплекс, печное отопление, свалки отходов и автотранспорт [7]. В почве наблюдается превышение уровня тяжёлых металлов, по сравнению с природными [9], хотя среднегодовые показатели концентрации металлов не превышают уровня нормативов [7]. Загрязнение атмосферы города зависит не только от наличия источников загрязнения, но и от направления ветра, рельефа [11] и характера подстилающей поверхности [18]. С учётом всех факторов моделирование распределения потоков загрязняющих веществ становится непростой задачей. Для г. Томска проведены исследования, иллюстрирующие атмосферные потоки в пределах города [1, 9, 19, 23]. Определено влияние выбросов промышленных предприятий на накопление элементов в эпифитных мхах [12, 20, 21].

Болота, расположенные вокруг г. Томска, испытывают антропогенную нагрузку в виде вытаптывания, атмосферного загрязнения, осушения и торфодобычи. Такое воздействие приводит к частым пожарам и изменению биогеохимических циклов, отражающихся на уровне содержания в почве доступных для растений элементов и изменении интенсивности поглощения элементов растениями. Поэтому растения обычно применяются для биоиндикации состояния воздуха и почвы [24, 27, 30, 32, 39, 41, 44, 45]. Однако необходимо комплексное исследование степени влияния атмосферного переноса на накопление элементов растениями болот.

Целью нашей работы было выяснить интенсивность накопления и поглощения элементов растениями болот в окрестностях г. Томска. Особенности наших исследований являются использование болотных растений, которые растут на торфе, не имеют связи с минеральным грунтом и получают питание только за счет атмосферного переноса; параллельный отбор проб растений и торфа, позволяющий определить интенсивность поглощения элементов растениями; выбор ключевых участков, позволяющий учитывать направление основного переноса воздушных масс. Результаты исследования позволят оценить степень изменения геохимических условий на болотах под влиянием городских выбросов. В ходе исследования мы пытались ответить на несколько вопросов: 1) какие факторы влияют на содержание элементов в торфе и растениях болот в окрестностях г. Томска; 2) влияет ли атмосферный перенос городского воздуха на интенсивность накопления элементов растениями; 3) какие виды растений болот наиболее интенсивно поглощают тяжёлые металлы.

## Объекты и методы

Объекты исследования находятся в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины. В качестве ключевых выбраны семь участков болот, пять из которых расположены к северу от г. Томска, два участка расположены на юго-западе от города (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Характеристика объектов исследования  
Characteristics of the research objects

№	Направление от города	Тип болота	Антропогенная нагрузка	Координаты
1N	Север	Верховое	Атмосферный перенос	56°48'41,0"с. ш. 84°42'55,6" в. д.
2N	Север	Верховое	Атмосферный перенос	56°45'49,4"с. ш. 84°46'17,3" в. д.
3N	Север	Верховое	Атмосферный перенос	56°52'29,2"с. ш. 84°58'55,1" в. д.
4N	Север	Верховое	Атмосферный перенос, осушение, торфодобыча	56°51'48,1"с. ш. 84°40'03,0" в. д.
5N	Север	Переходное	Атмосферный перенос, осушение	56°51'46,4"с. ш. 84°39'20,8" в. д.
6W	Юго-запад	Переходное	Атмосферный перенос, осушение	56°23'51,2"с. ш. 84°39'28,4" в. д.
7W	Юго-запад	Переходное	Атмосферный перенос, осушение	56°23'50,2"с. ш. 84°39'19,8" в. д.

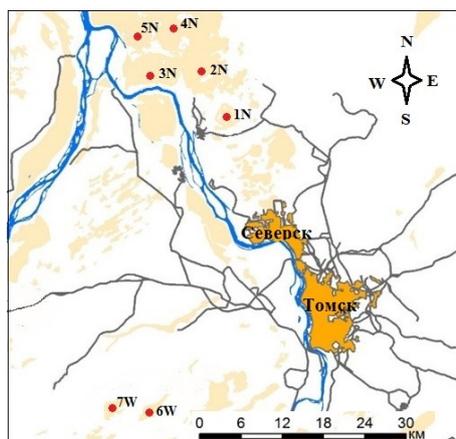


Рис. 1. Схема расположения объектов исследования  
Fig. 1. Location of the research objects

По климатическому районированию в окрестностях г. Томска слабо засушливые, достаточно теплые условия летом и умеренно холодные, малоснежные зимы [25]. Преобладает южное и юго-западное направление ветра, ветренных дней более 200 за год [5]. Растительность на объектах представлена в основном сосново-кустарничково-сфагновыми сообществами, с примесью березы на верховых болотах и березы, осины и болотных трав на переходных болотах. В качестве биоиндикаторов выбраны четыре вида: *Pinus sylvestris* L., *Betula pubescens* Ehrh., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench и *Rhododendron tomentosum* Harmaja. Для анализа на содержание Zn, Cu, Cd и Pb отобраны листья и хвоя растений, а также верхний (0–20 см) слой торфа и подстилаящая торф порода в непосредственной близости от данных растений. Анализ отобранных образцов проводился на базе производственного объединения «Плазма» масс-спектрографическим методом.

Активность поглощения элементов из почвы вычислялась двумя способами:

1. Коэффициент биологического поглощения (КБП), рассчитанный как отношение концентрации элемента в золе растения к его концентрации в почве [17];
2. Коэффициент биоконцентрации (КБК) (Bioconcentration Factor), рассчитанный как отношение концентрации элемента в растениях к его концентрации в почве. Для расчёта данного коэффициента использовались концентрации в абсолютно сухом веществе растений и торфа [48];
3. Коэффициент концентрации (КК), отражающий соотношение содержания элемента в торфе к его содержанию в подстилаящей породе.

Экология и природопользование  
Гашикова Л.П.

Статистическая обработка результатов проводилась непараметрическими методами. Зависимость между переменными определялась при помощи коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Достоверность отличий определялась тестами Манна-Уитни и Крускала-Уоллиса.

### Результаты

Результаты сравнения концентрации элементов в тканях растений показали, что видоспецифичность проявляется в разной степени для каждого элемента. Наибольшие различия между видами растений наблюдаются в накоплении Zn. Различия в содержании Zn у *B. pubescens* и *R. tomentosum* составляют более 10 раз. *B. pubescens* содержит в тканях достоверно больше Zn, чем у других рассмотренных видов, причем на всех участках (рис. 2). Меньше, чем *B. pubescens*, Zn содержит *P. sylvestris*, разница достигает 3,7 раз. Другие виды, *C. calyculata* и *R. tomentosum*, содержат ещё более низкие концентрации Zn и по этому признаку значимо не различаются между собой. Содержание Cu достоверно выше в тканях древесных растений, чем в тканях кустарничков, а Cd и Pb, наоборот, больше содержатся в кустарничках.

Учитывая преобладающее направление ветра, сравнивали данные с участков, расположенных к северу и юго-западу от города. Сравнение показало значимые отличия ( $p < 0,05$ ) по содержанию элементов в растениях. Во всех видах растений с западных участков содержание Zn, Cu, Cd и Pb ниже, чем с северных. Наибольшие из всех видов различия между северными и юго-западными участками наблюдаются по содержанию Zn у *P. sylvestris* и *R. tomentosum* (почти в 2 раза), по содержанию Cd – у *B. pubescens* и *C. calyculata* (более 10 раз), по содержанию Cu – у *P. sylvestris* (более 3 раз). Интересно, что все виды растений на юго-западных участках содержат примерно одинаковое количество Cu, в то же время на северных участках значения концентраций Cu различаются между собой.

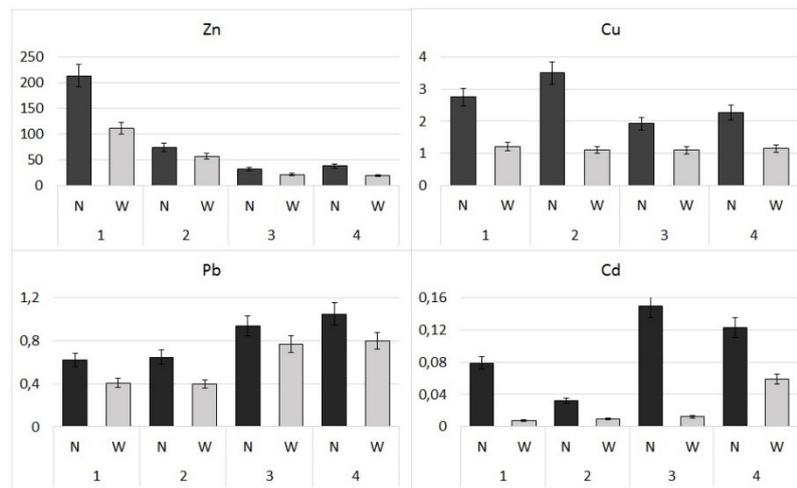


Рис. 2. Содержание элементов в растениях на участках к северу (N) и западу (W) от города (1 – *Betula pubescens*; 2 – *Pinus sylvestris*; 3 – *Chamaedaphne calyculata*; 4 – *Rhododendron tomentosum*)  
Fig. 2. Content of elements in plants in areas north (N) and west (W) of the city (1 – *Betula pubescens*; 2 – *Pinus sylvestris*; 3 – *Chamaedaphne calyculata*; 4 – *Rhododendron tomentosum*)

Так же, как и в растениях, в торфе большинства северных участков содержится достоверно больше исследованных элементов, чем в юго-западных. Максимальные различия в торфе обнаружены по содержанию Pb между участками 3N и 6W. Сравнение концентрации элементов в подстилающей породе не показало значимых различий для Cu, Cd и Pb между западными и северными участками, а содержание Zn на западных участках даже незначительно выше.

Содержание элементов в подстилающей породе на всех объектах ниже, чем в торфе (табл. 2). На северных участках КК значимо выше, чем на юго-западных ( $p < 0,05$ ).

Экология и природопользование  
Гашикова Л.П.

Кроме того, в результате анализа данных по содержанию элементов в растениях и торфе обнаружена отрицательная зависимость от мощности торфяной залежи и положительная корреляция с уровнем болотных вод.

Таблица 2

Содержание элементов\* (мг/кг) в торфе (Т) и подстилающей породе (ПП) на участках болот и их коэффициент концентрации (КК)  
Content of elements\* (mg/kg) in peat (T) and bedrock (ПП) in mire areas and their concentration coefficient (КК)

Участок (количество проб)	Zn			Cd			Pb			Cu		
	T	ПП	КК	T	ПП	КК	T	ПП	КК	T	ПП	КК
1N (n=20)	108 (21)	15,1 (3)	7,2	0,19 (0,03)	0,01 (0,001)	16,3	12 (2,6)	3,8 (0,6)	3,1	4,3 (0,8)	1,9 (0,3)	2,3
2N (n=15)	97,5 (19)	26 (5,1)	3,7	0,18 (0,03)	0,01 (0,002)	16,3	7,9 (1,3)	2,3 (0,4)	3,5	4,4 (0,9)	3,1 (0,5)	1,4
3N (n=20)	90,2 (18)	17 (3,2)	5,2	0,12 (0,01)	0,014 (0,007)	9,2	13 (2,8)	2,6 (0,5)	5,0	6,4 (1,2)	5,4 (1)	1,2
4N (n=20)	94,8 (19)	15,8 (3)	6,0	0,13 (0,02)	0,02 (0,002)	6,8	8,8 (1,6)	3,3 (0,6)	2,7	5(1)	2,2 (0,3)	2,2
5N (n=20)	90,9 (17)	17 (3,1)	5,4	0,16 (0,03)	0,018 (0,002)	8,5	6,2 (0,9)	2,4 (0,4)	2,6	5,6 (1,2)	5 (0,9)	1,1
6W (n=10)	75,3 (14)	24 (4,6)	3,1	0,1 (0,02)	0,02 (0,004)	5,1	5,6 (0,6)	3,7 (0,6)	1,5	3,8 (0,7)	4,6 (0,8)	0,8
7W (n=20)	83,6 (16)	24,2 (4,5)	3,5	0,1 (0,02)	0,02 (0,003)	5,6	8,1 (1,2)	3,8 (0,5)	2,1	4 (0,8)	4,6 (0,9)	0,9

\*Средние значения, в скобках указано стандартное отклонение.

\*Average values, standard deviation is indicated in brackets

Рассматривая интенсивность поглощения элементов с помощью сравнения КБП и КБК, мы обнаружили, что наибольшая активность поглощения Zn обнаружена у *B. pubescens* на северных участках. Немного менее активно поглощает Zn *P. sylvestris*. Но только для *B. pubescens* обнаружено КБК выше 1, что говорит об активном накоплении Zn данным видом (рис. 3). Для *B. pubescens* и *P. sylvestris* обнаружена положительная корреляция содержания Zn в растениях и в торфе. На северных участках с более загрязнённым торфом растения накапливали больше Zn, и у данных видов значения КБК самые высокие. Обнаружено, что вид растения влияет на значение коэффициента сильнее, чем расположение участка, разные виды растений накапливают элементы с разной интенсивностью. Кустарнички *C. calyculata* и *R. tomentosum* интенсивнее накапливают Cd, а древесные *B. pubescens* и *P. sylvestris* аккумулируют Zn и Cu.

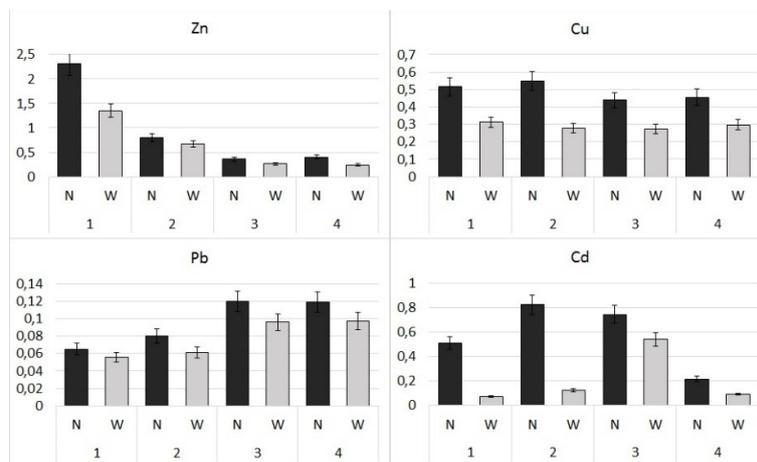


Рис. 3. Коэффициенты биоконцентрации (КБК) элементов на участках к северу (N) и юго-западу (W) от города (1 – *Betula pubescens*; 2 – *Pinus sylvestris*; 3 – *Chamaedaphne calyculata*; 4 – *Rhododendron tomentosum*)

Fig. 3. Bioconcentration factors (BCFs) of elements at sites north (N) and southwest (W) of the city (1 – *Betula pubescens*; 2 – *Pinus sylvestris*; 3 – *Chamaedaphne calyculata*; 4 – *Rhododendron tomentosum*)

### Обсуждение результатов

Уровень содержания рассматриваемых элементов в растениях болот в окрестностях города оказался сопоставимым с данными других авторов, работающих в Западной Сибири [2, 3, 13, 14, 15, 26, 42]. Полученные нами результаты высокого содержания Zn в листьях *B. pubescens*, по сравнению с другими видами, подтверждаются многими исследователями [2, 29, 38]. Обнаруженные нами концентрации Cu в растениях не превышают содержание элементов в тех же видах на соседних территориях [2, 14].

Торф на участках болот, расположенных как с северной, так и с юго-западной стороны от города, содержит Zn в пределах данных, опубликованных для Европы и Западной Сибири [8, 13, 26, 28, 42]. Содержание Cu и Pb в торфе исследованных нами болот согласуется с результатами для Западной Сибири [8, 13, 46], но ниже европейских данных [28]. Концентрация Cd в торфе находится на уровне или выше средних значений для торфов Западной Сибири [4, 8, 10, 13, 14]. Фоновые концентрации тяжёлых металлов в подстилающей породе обычно ниже, чем в торфяных почвах [16]. Превышение концентрации Zn, Cu, Cd и Pb в торфе по отношению к подстилающей породе говорит о том, что присутствует атмосферный источник поступления данных элементов, приводящий к обогащению торфа [34], что подтверждается и в данной работе. Обнаруженная зависимость содержания элементов в растениях и торфе от уровня болотных вод объясняется тем, что чем сильнее осушено болото, тем активнее разлагается торф, увеличивается концентрация зольных элементов, доступных для растений. Увеличение мощности торфяной залежи в процессе развития болота приводит к потере связи с подстилающей породой и изменению концентрации элементов в верхних слоях торфа [2, 16, 38], поэтому обнаружена зависимость уровня содержания элементов от мощности торфа.

КБП и КБК в пределах одного вида коррелируют между собой, но при сопоставлении интенсивности поглощения элементов у некоторых видов растений соотношения меняются, поскольку проявляется существенная разница в величине зольности между видами. При сравнении интенсивности поглощения у разных видов растений болот показательней оказался КБК, демонстрирующий отношение двух органических сред (растений и торфа). На болоте, где корневая система растений не достигает минеральной почвы, для которой разрабатывался классический КБП [17], правильнее применять КБК [48]. При использовании данного коэффициента очень показательна граница в величине КБК, равной 1. Если КБК больше 1, то принято считать, что растение способно накапливать большие дозы данного элемента, особенно на загрязнённых территориях [33, 36]. Кроме того, использование данного коэффициента даёт возможность сравнить интенсивность поглощения видов в разных регионах мира, например интенсивность поглощения Zn березой подтверждается при помощи КБК в работах многих авторов [28, 31, 40]. Способность *P. sylvestris* к накоплению Cd, Pb и Zn на загрязнённых почвах выявлена экспериментально [37]. Однако, по нашим данным, интенсивность поглощения Cd и Pb у кустарничков ещё выше, чем у *B. pubescens* и *P. sylvestris*. В результате сравнения северных и юго-западных участков подтверждается установленная ранее закономерность [29, 35], что под воздействием загрязнения интенсивность поглощения повышается.

### Заключение

В процессе исследования выяснилось, что различия в накоплении элементов растениями проявляются как между видами, так и между модельными участками. *B. pubescens* и *P. sylvestris* интенсивнее поглощают Cu и Zn, а *C. calyculata* и *R. tomentosum* накапливают Cd и Pb. Несмотря на то, что концентрации Cd, Pb, Cu и Zn в торфе и растениях болот в окрестностях г. Томска находятся в пределах средних значений для Западной Сибири, о влиянии атмосферного загрязнения свидетельствуют следующие факты:

1. Растения и торф с болот, расположенных к северу от города, в зоне основного атмосферного переноса городских выбросов, содержат больше тяжёлых металлов, чем компоненты болот, расположенных на юго-западе от города.

## Экология и природопользование

Гашикова Л.П.

2. На северных участках интенсивность поглощения элементов растениями выше, чем на юго-западных.

3. Концентрация Cd, Pb, Cu и Zn в торфе всех исследованных участков выше, чем в подстилающей породе, что свидетельствует об атмосферном источнике поступления элементов.

## Библиографический список

1. Артамонова С.Ю., Рапута В.Ф., Девятова А.Ю. Экспериментальное исследование и численный анализ техногенного загрязнения в районе г. Северск (Томская область) // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 4, № 1. С. 141–146.
2. Бахнов В.К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1986. 193 с.
3. Белоусов М.В., Цыбукова Т.Н., Березовская Т.П., Тихонова О.К., Басова Е.В., Зейле Л.А., Юсубов М.С. Элементный состав багульника болотного // Химия растительного сырья. 2002. № 4. С. 35–38.
4. Гендрин А.Г., Надоховская Г.А., Чемерис А.Н., Энгель И.В., Русинова Е.С. Экологическое сопровождение разработки нефтегазовых месторождений. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2006. № 2. 125 с.
5. География Сибири в начале XXI века. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2016. Т. 5. 447 с.
6. Горяев Д.В., Тихонова И.В. Воздействие атмосферных поллютантов предприятий металлургического производства на здоровье населения // Медицина труда и промышленная экология. 2016. Т. 1. С. 16–19.
7. Доклад «Об экологической ситуации в Томской области в 2021 году» // Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области. ОГБУ «Облкомприрода». 2022. 153 с.
8. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
9. Ильченко Н.В. Особенности радиальной дифференциации меди, кобальта, свинца и цинка в профиле кислых дерново-подзолистых почв в условиях промышленного города (на примере г. Томска) // Рудные месторождения. Минералогия. Геохимия: Сборник статей. Том II. Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2000. С. 94–101.
10. Ларина Н.С., Ларин С.И., Заботина О.Н. Динамика изменения содержания тяжелых металлов в верховых торфяниках юга Тюменской области // Успехи современного естествознания. 2004. № 10. С. 132–135.
11. Леженин А.А., Рапута В.Ф. Методы оценивания загрязнения атмосферы города по данным мониторинга // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 4, № 1. С. 159–166. doi: 10.33764/2618-981X-2021-4-1-159-166.
12. Межибор А.М., Говоруха В.В. Использование эпифитных мхов для оценки загрязнения атмосферного воздуха ртутью при воздействии предприятий угольной энергетики // Труды Международной научной конференции молодых ученых и специалистов «Экология энергетики – 2017». М.: Издательский дом МЭИ, 2017. С. 28–30.
13. Московченко Д.В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2006. № 1. С. 63–70.
14. Московченко Д.В., Моисеева И.Н., Хозяинова Н.В. Элементный состав растений уренгойских тундр // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2012. № 12. С. 130–136.
15. Московченко Д.В., Валева Э.И., Лаврентьев С.Ю. Геохимический мониторинг на территории природного парка «Нумто» // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2002. № 3. С. 3–10.
16. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г. Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках севера Западной Сибири // Почвоведение. 2019. № 4. С. 422–439. doi: 10.1134/S0032180X19020114.
17. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 342 с.
18. Пьянова Э.А. Исследование трансформации воздушного потока надтермически и орографически неоднородной подстилающей поверхностью // Вычислительные технологии. 2005. Т. 30, Ч. 2. С. 106–111.
19. Рапута В.Ф., Леженин А.А. Оценка высоты подъема дымового факела по спутниковым снимкам // Оптика атмосферы и океана. 2020. Т. 33, № 6. С. 471–475. doi: 10.15372/AOO20200609.
20. Рогова Н.С., Рыжакова Н.К., Борисенко А.Л. Определение и анализ природного и антропогенного геохимического фона для метода мхов-биомониторов // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23, № 6. С. 58–63. doi: 10.18412/1816-0395-2019-6-58-63.
21. Рыжакова Н.К., Меркулов В.Г., Борисенко А.Л., Рогова Н.С. Биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха химическими предприятиями // Известия вузов. Физика. 2013. Т. 56, № 113. С. 254–258.
22. Рюмина Е.В. Влияние экологической обстановки на человеческий потенциал: аспект здоровья // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020. № 9–1(48). С. 152–160. doi: 10.24411/2500-1000-2020-11002.
23. Селегей Т.С., Филоненко Н.Н., Шлычков В.А., Ленковская Т.Н. Формальдегидное загрязнение городской атмосферы и его зависимость от метеорологических факторов // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26, № 5. С. 422–426.
24. Сысо А.И., Сиромля Т.И. Химические элементы и их соединения в почвах и растениях нативных и антропогенных экосистем Сибири // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах. Тюмень: Тюменский государственный университет, 2018. С. 137–150.
25. Трофимова И.Е., Балыбина А.С. Классификация климатов и климатическое районирование Западно-Сибирской равнины // География и природ. Ресурсы. 2014. № 2. С. 11–21.
26. Цыбукова Т.Н., Иншиева Л.И., Тихонова О.К., Зейле Л.А., Юсубов М.С. Характеристика элементного состава торфяного сырья олиготрофного болота // Химия растительного сырья. 2000. № 4. С. 29–34.
27. Agarwal S., Mukherjee P., Pramanick P., Mitra A. Seasonal Variations in Bioaccumulation and Translocation of Toxic Heavy Metals in the Dominant Vegetables of East Kolkata Wetlands: a Case Study with Suggestive Ecorestorative Strategies // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2022. doi: 10.1007/s12010-022-04057-6.

Экология и природопользование  
Гашикова Л.П.

28. Borgulat J., Mętrak M., Staszewski T., Wilkomirski B., Suska-Malawska M. Heavy Metals Accumulation in Soil and Plants of Polish Peat Bogs // Polish Journal of Environmental Studies. 2018. V. 27(2). P. 537–544. doi:10.15244/pjoes/75823.
29. Crowder A. Acidification, metals and macrophytes // Environmental Pollution. 1991. V. 71(2–4). P. 171–203. doi:10.1016/0269-7491(91)90032-R.
30. Dmichowski W., Gozdowski D., Brągoszewska P., Baczevska A.H., Suwara I. Phytoremediation of zinc contaminated soils using silver birch (*Betula pendula* Roth) // Ecological Engineering. 2014. V. 71. P. 32–35. doi:10.1016/j.ecoleng.2014.07.053.
31. Fernandez-Fuego D., Bertrand A., Gonzalez A. Metal accumulation and detoxification mechanisms in mycorrhizal *Betula pubescens* // Environmental Pollution. 2017. V. 231(1). P. 1153–1162. doi:10.1016/j.envpol.2017.07.072.
32. Flem B., Reimann C., Fabian K. Excess Cr and Ni in top soil: Comparing the effect of geology, diffuse contamination, and biogenic influence // Science of The Total Environment. 2022. 843. 157059. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.157059.
33. Galal T.M., Shehata H.S. Bioaccumulation and translocation of heavy metals by *Plantago major* L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution // Ecological Indicators. 2015. V. 48. P. 244–251. doi:10.1016/j.ecolind.2014.08.013.
34. Gashkova L.P. Peat and bog plants as indicators of aerosol pollution // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. 1093 012023. doi:10.1088/1755-1315/1093/1/012023.
35. Gaskova L.P. Evaluation of heavy metal pollution in bogs of the Tomsk region on change in biogeochemical activity of ericaceous shrubs // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. 107(1). 012007. doi:10.1088/1755-1315/107/1/012007.
36. Kolon M., Kopeć M., Wojtuń B., Samecka-Cymerman A., Mróz L., Wąsowicz P., Rajsz A., Kempers A.J. *Sanionia uncinata*, *Racomitrium lanuginosum* and *Salix herbacea* as ecological indicators of metals in Iceland // Ecological Indicators. 2020. 112. 106058. doi:10.1016/j.ecolind.2019.106058.
37. Liu B., Wang S., Wang J., Zhang X., Shen Z., Shi L., Chen Y. The great potential for phytoremediation of abandoned tailings pond using ectomycorrhizal *Pinus sylvestris* // Science of The Total Environment. 2020. 719. 137475. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137475.
38. Mäkilä M., Nieminen T.M., Säävuori H., Loukola-Ruskeeniemi K., Ukonmaanaho L. Does underlying bedrock affect the geochemistry of drained peatlands? *Geoderma*. 2015. V. 239. P. 280–292. doi:10.1016/j.geoderma.2014.11.002.
39. Paják M., Halecki W., Gąsiorek M. Accumulative response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and silver birch (*Betula pendula* Roth) to heavy metals enhanced by Pb-Zn ore mining and processing plants: Explicitly spatial considerations of ordinary kriging based on a GIS approach // *Chemosphere*. 2017. V. 168. P. 851–859. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.10.125.
40. Qihang W., Wang S., Thangavel P., Qingfei L., Zheng H., Jun B. and Qui R. Phytostabilization of *Jatropha curcas* L. in polymetallic acid mine tailings // *International Journal of Phytoremediation*. 2011. V. 13. P. 788–804. doi:10.1080/15226514.2010.525562.
41. Roque-Álvarez I., Sosa-Rodríguez F.S., Vázquez-Arenas J., Escobedo-Bretado M.A., Labastida I., Corral-Rivas J.J., Aragón-Piña A., Armienta M.A., Ponce-Peña P., Lara R.H. Spatial distribution, mobility and bioavailability of arsenic, lead, copper and zinc in low polluted forest ecosystem in North-western Mexico // *Chemosphere*. 2018. V. 210. P. 320–333. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.07.004.
42. Rudmin M., Wilson M.J., Wilson L., Savichev O., Yakich T., Shaldybin M., Ruban A., Tabakaev R., Ibraeva K., Mazurov A. Geochemical and mineralogical features of the substrates of the Vasyugan Mire, Western Siberia, Russia. // *Catena*. 2020. 194, 104781, doi:10.1016/j.catena.2020.104781.
43. Ryzhakova N.K., Babeshina L.G., Kondratyeva A.G., Sechnaya D.Y. Contents of macro-, microelements and long-lived radionuclides in the medicinal plants belonging to the wetland community of Siberian region, Russia // *Phytochemistry Letters*. 2017. V. 22. P. 280–286. doi:10.1016/j.phytol.2017.10.001.
44. Salazar M.J., Pignata M.L. Lead accumulation in plants grown in polluted soils. Screening of native species for phytoremediation // *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. V. 137. P. 29–36. doi:10.1016/j.gexplo.2013.11.003.
45. Serbula S.M., Miljkovic D.D., Kovacevic R.M., Ilic A.A. Assessment of airborne heavy metal pollution using plant parts and topsoil, *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2012. V. 76. P. 209–214. doi:10.1016/j.ecoenv.2011.10.009.
46. Stepanova V.A., Pokrovsky O.S., Viers J., Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P., Vishnyakova E.K. Elemental composition of peat profiles in western Siberia: Effect of the micro-landscape, latitude position and permafrost coverage // *Applied Geochemistry*. 2015. V. 53. P. 53–70. doi:10.1016/j.apgeochem.2014.12.004.
47. Wojtuń B., Samecka-Cymerman A., Kolon K., Klink A., Kempers A.J. *Andromeda polifolia* and *Oxycoccus microcarpus* as pollution indicators for ombrotrophic bogs in the Western Sudety Mountains (SW Poland) // *Journal of Environmental Science and Health*. 2013. V. 48, Part A. P. 686–693. doi:10.1080/10934529.2013.744578.
48. Zayed A., Gowthaman S., Terry N. Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed // *Journal of Environmental Quality*. 1998. V. 27. P. 715–721. doi:10.2134/jeq1998.00472425002700030032x.

### References

1. Artamonova S.Yu., Raputa V.F., Devyatova A.Yu. (2016) Experimental study and numerical analysis of the technogenic pollution in the area of Seversk (Tomsk region). *Interexpo Geo-Siberia*, vol. 4, no. 1, pp. 141–146.
2. Bakhnov V.K. (1986) *Biogeochemical aspects of the mire-forming process*. Novosibirsk: Nauka, 1986, 193 p.
3. Belousov M.V., Tsybukova T.N., Berezovskaya T.P., Tikhonova O.K., Basova E.V., Zeile L.A., Yusubov M.S. (2002) Elemental composition of wild rosemary. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, no. 4, pp. 35–38.
4. Gendrin A.G., Nadokhovskaya G.A., Chemeris A.N., Engel I.V., Rusinova E.S. (2006) *Environmental support for the development of oil and gas fields*. Novosibirsk: State Public Scientific and Technical Library of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, no. 2, 125 p.
5. *Geography of Siberia at the beginning of the XXI century* (2016). Novosibirsk: Academic publishing house «Geo», vol. 5, 447 p.

## Экология и природопользование

Гашикова Л.П.

6. Goryaev D.V., Tikhonova I.V. (2016) Influence of ambient air pollutants released by metallurgic enterprises on public health. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*, vol. 1, pp. 16–19.
7. On the environmental situation in the Tomsk region in 2021 (2022) // Department of Natural Resources and Environmental Protection of the Tomsk Region. OGBU Oblkomprirroda, 153 p.
8. Ilyin V.B., Syso A.I. (2001) *Trace elements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region*. Novosibirsk: Publishing House of SO RAN, 229 p.
9. Ilchenko N.V. (2000) Peculiarities of radial differentiation of copper, cobalt, lead and zinc in the profile of acid soddy-podzolic soils in an industrial city (on the example of Tomsk). *Ore deposits. Mineralogy. Geochemistry*. Tomsk: National Research Tomsk State University, vol. 2, pp. 94–101.
10. Larina N.S., Larin S.I., Zabolina O.N. (2004) Dynamics of changes in the content of heavy metals in high-moor peatlands in the south of the Tyumen region. *Uspekhi sovremennoi estestvoznaniye*, no. 10, pp. 132–135.
11. Lezhenin A.A., Raputa V.F. (2021) Methods for assessing the city atmosphere pollution according to monitoring data // *Interexpo Geo-Siberia*, vol. 4, no. 1, pp. 159–166. doi:10.33764/2618-981X-2021-4-1-159-166.
12. Mezhibor A.M., Govoruha V.V. (2017) The use of epiphytic mosses to assess atmospheric air pollution by mercury under the influence of coal-fired enterprises. *Proceedings of the International Scientific Conference «Energy Ecology – 2017»*. Moscow: MPEI Publishing House, pp. 28–30.
13. Moskovchenko D.V. (2006) Biogeochemical properties of the high bogs in Western Siberia // *Geography and Natural Resources*, no. 1, pp. 63–70.
14. Moskovchenko D.V., Moiseeva I.N., Khozyainova N.V. (2012) Elemental composition of plants of the Urengoy tundra. *Bulletin of ecology, forest science and landscape science*, no. 12, pp. 130–136.
15. Moskovchenko D.V., Valeeva E.I., Lavrentiev S.Yu. (2002) Geochemical monitoring on the territory of the natural park «Numto». *Bulletin of ecology, forest science and landscape science*, no. 3, pp. 3–10.
16. Opekunova M.G., Opekunov A.Yu., Kukushkin S.Yu., Ganul A.G. (2019) Background contents of heavy metals in soils and bottom sediments in the north of Western Siberia. *Eurasian Soil Science*, no. 4, pp. 422–439. doi:10.1134/S0032180X19020114.
17. Perelman A.I. (1975) *Geochemistry of the landscape*. M.: Higher School, 342 p.
18. Pyanova E.A. (2005) Investigation of the transformation of the air flow over the suprathermally and orographically inhomogeneous underlying surface. *Computational Technologies*, vol. 30(2), pp. 106–111.
19. Raputa V.F., Lezhenin A.A. (2020) Estimate the height of the smoke plume from satellite imagery // *Atmospheric and Oceanic Optics*, vol. 33, no. 6, pp. 471–475. doi:10.15372/AOO20200609.
20. Rogova N., Ryzhakova N., Borisenko A. (2019) Definition and Analysis of Natural and Anthropogenic Geochemical Background for the Boss-Biomonitoring Method. *Ecology and Industry of Russia*, no. 23(6), pp. 58–63. doi:10.18412/1816-0395-2019-6-58-63.
21. Ryzhakova N.K., Merkulov V.G., Borisenko A.L., Rogova N.S. Bioindication of atmospheric air pollution by chemical enterprises. *Izvestiya vuzov. Physics*, 2013, vol. 56, no. 113, pp. 254–258.
22. Ryumina E.V. (2020) The impact of the environment on human potential: the health dimension. *International journal of humanities and natural sciences*, no. 9–1(48), pp. 152–160. doi:10.24411/2500-1000-2020-11002.
23. Selegey T.S., Filonenko N.N., (Шлычков) V.A., Lenkovskaya T.N. (2013) Formaldehyde pollution of the urban atmosphere as a function of certain meteorological factors. *Atmospheric and Oceanic Optics*, vol. 26, no. 5, pp. 422–426.
24. Syso A.I., Siromlya T.I. (2018) Chemical elements and their compounds in soils and plants of native and anthropogenic ecosystems of Siberia. *Biogeochemistry of chemical elements and compounds in natural environments*. Tyumen: Tyumen State University, pp. 137–150.
25. Trofimova I.E., Balybina A.S. (2014) Classification of climates and climatic zoning of the West Siberian Plain. *Geography and Natural Resources*, no. 2, pp. 11–21.
26. Tsybukova T.N., Inisheva L.I., Tikhonova O.K., Zeile L.A., Yusubov M.S. (2000) Characteristics of the elemental composition of peat raw materials from an oligotrophic bog. *Chemistry of plant raw materials*, no. 4, pp. 29–34.
27. Agarwal S., Mukherjee P., Pramanick P., Mitra A. (2022) Seasonal Variations in Bioaccumulation and Translocation of Toxic Heavy Metals in the Dominant Vegetables of East Kolkata Wetlands: a Case Study with Suggestive Ecorestorative Strategies. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, July, pp. 1–27. doi:10.1007/s12010-022-04057-6.
28. Borgulat J., Mętrak M., Staszewski T., Wiłkomirski B., Suska-Malawska M. (2018) Heavy Metals Accumulation in Soil and Plants of Polish Peat Bogs. *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 27(2), pp. 537–544. doi:10.15244/pjoes/75823.
29. Crowder A. (1991) Acidification, metals and macrophytes. *Environmental Pollution*, no. 71(2–4), pp. 171–203. doi:10.1016/0269-7491(91)90032-R.
30. Dmurchowski W., Gozdowski D., Brągoszewska P., Baczewska A.H., Suwara I. (2014) Phytoremediation of zinc contaminated soils using silver birch (*Betula pendula* Roth.). *Ecological Engineering*, 2014, vol. 71, pp. 32–35. doi:10.1016/j.ecoleng.2014.07.053.
31. Fernandez-Fuego D., Bertrand A., Gonzalez A. (2017) Metal accumulation and detoxification mechanisms in mycorrhizal *Betula pubescens*. *Environmental Pollution*, vol. 231(1), pp. 1153–1162. doi:10.1016/j.envpol.2017.07.072.
32. Flem B., Reimann C., Fabian K. Excess Cr and Ni in top soil: Comparing the effect of geology, diffuse contamination, and biogenic influence. *Science of The Total Environment*. 2022. 843. 157059. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.157059.
33. Galal T.M., Shehata H.S. (2015) Bioaccumulation and translocation of heavy metals by *Plantago major* L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution. *Ecological Indicators*, 2015, vol. 48, pp. 244–251. doi:10.1016/j.ecolind.2014.08.013.
34. Gashkova L.P. (2022) Peat and bog plants as indicators of aerosol pollution. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1093 012023. doi:10.1088/1755-1315/1093/1/012023.

## Экология и природопользование

Гашкова Л.П.

35. Gaskova L.P. (2018) Evaluation of heavy metal pollution in bogs of the Tomsk region on change in biogeochemical activity of ericaceous shrubs. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 107(1). 012007. doi:10.1088/1755-1315/107/1/012007.
36. Kolon M., Kopeć M., Wojtuń B., Samecka-Cymerman A., Mróz L., Wąsowicz P., Rajs A., Kempers A.J. (2020) *Sanionia uncinata*, *Racomitrium lanuginosum* and *Salix herbacea* as ecological indicators of metals in Iceland. *Ecological Indicators*, 112. 106058. doi:10.1016/j.ecolind.2019.106058.
37. Liu B., Wang S., Wang J., Zhang X., Shen Z., Shi L., Chen, Y. (2020) The great potential for phytoremediation of abandoned tailings pond using ectomycorrhizal *Pinus sylvestris*. *Science of The Total Environment*, 719. 137475. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137475.
38. Mäkilä M., Nieminen T.M., Säävuori H., Loukola-Ruskeeniemi K., Ukonmaanaho L. (2015) Does underlying bedrock affect the geochemistry of drained peatlands? *Geoderma*, vol. 239, pp. 280–292. doi:10.1016/j.geoderma.2014.11.002.
39. Pająk M., Halecki W., Gąsiorek M. Accumulative response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and silver birch (*Betula pendula* Roth) to heavy metals enhanced by Pb-Zn ore mining and processing plants: Explicitly spatial considerations of ordinary kriging based on a GIS approach. *Chemosphere*, vol. 168, pp. 851–859. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.10.125.
40. Qihang W., Wang S., Thangavel P., Qingfei L., Zheng H., Jun B. and Qui R. (2011) Phytostabilization of *Jatropha curcas* L. in polymetallic acid mine tailings. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 13, pp. 788–804. doi:10.1080/15226514.2010.525562.
41. Roque-Álvarez I., Sosa-Rodríguez F.S., Vazquez-Arenas J., Escobedo-Bretado M.A., Labastida I., Corral-Rivas J.J., Aragón-Piña A., Armenta M.A., Ponce-Peña P., Lara R.H. (2018) Spatial distribution, mobility and bioavailability of arsenic, lead, copper and zinc in low polluted forest ecosystem in North-western Mexico. *Chemosphere*, vol. 210, pp. 320–333. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.07.004.
42. Rudmin M., Wilson M.J., Wilson L., Savichev O., Yakich T., Shaldybin M., Ruban A., Tabakaev R., Ibraeva K., Mazurov A. (2020) Geochemical and mineralogical features of the substrates of the Vasyugan Mire, Western Siberia, Russia. *Catena*, 194, 104781, doi:10.1016/j.catena.2020.104781.
43. Ryzhakova N.K., Babeshina L.G., Kondratyeva A.G., Sechnaya D.Y. (2017) Contents of macro-, microelements and long-lived radionuclides in the medicinal plants belonging to the wetland community of Siberian region, Russia. *Phytochemistry Letters*, vol. 22, pp. 280–286. doi:10.1016/j.phytol.2017.10.001.
44. Salazar M.J., Pignata M.L. (2014) Lead accumulation in plants grown in polluted soils. Screening of native species for phytoremediation. *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 137, pp. 29–36. doi:10.1016/j.gexplo.2013.11.003.
45. Serbula S.M., Miljkovic D.D., Kovacevic R.M., Ilic A.A. (2012) Assessment of airborne heavy metal pollution using plant parts and topsoil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 76, pp. 209–214. doi:10.1016/j.ecoenv.2011.10.009.
46. Stepanova V.A., Pokrovsky O.S., Viers J., Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P., Vishnyakova E.K. (2015) Elemental composition of peat profiles in western Siberia: Effect of the micro-landscape, latitude position and permafrost coverage. *Applied Geochemistry*, vol. 53, pp. 53–70. doi:10.1016/j.apgeochem.2014.12.004.
47. Wojtuń B., Samecka-Cymerman A., Kolon K., Klink A., Kempers A.J. (2013) *Andromeda polifolia* and *Oxycoccus microcarpus* as pollution indicators for ombrotrophic bogs in the Western Sudety Mountains (SW Poland). *Journal of Environmental Science and Health*, vol. 48, part A, pp. 686–693. doi:10.1080/10934529.2013.744578.
48. Zayed A., Gowthaman S., Terry N. (1998) Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed. *Journal of Environmental Quality*, vol. 27, pp. 715–721. doi:10.2134/jeq1998.00472425002700030032x.

Статья поступила в редакцию: 28.03.23, одобрена после рецензирования: 10.10.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 28 March 2023; approved after review: 10 October 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

## Информация об авторе

**Людмила Павловна Гашкова**

кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агроботехнологий Российской академии наук 634050, а/я № 1668, г. Томск, ул. Гагарина, 3

e-mail: gashkova-lp@rambler.ru

## Information about the author

**Lyudmila P. Gashkova**

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – Branch of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences 3, Gagarina st., Tomsk, 634050, Russia

**РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ И ТУРИЗМ**

Научная статья

УДК 908 (470)

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-176-188

**ЛИТЕРАТУРНЫЕ МАГИСТРАЛИ –  
НОВЫЙ КУЛЬТУРНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН****Владимир Николаевич Калуцков**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

v.kalutskov@yandex.ru, Author ID: 179433, IstinaresearcherID (IRID): 474204, Scopus ID: 6507152534

**Аннотация.** Целью статьи является представление географическому сообществу нового культурно-географического феномена – литературной магистрали, которая была выявлена автором благодаря эмпирическим наблюдениям. Отсюда следуют задачи статьи:

1. Дать описание и определение данного феномена.
2. Установить его типичные характеристики.
3. На региональном материале проследить его функционирование.

Автором вводятся и обосновываются новые понятия литературной географии – литературная полимагистраль и транспортно-географический дискурс.

Под литературной магистралью понимается историческая дорога, «покрытая» текстами разновременных литературных путешествий. В тех случаях, когда литература осваивает полимагистрали, т.е. исторические дороги, идущие параллельно в рамках транспортного коридора, выделяются литературные полимагистрали.

Взаимодействие текстов тревелогов с определенными историческими дорогами включает в себя спектр транспортных вопросов в широком сравнительно-географическом контексте, или транспортно-географический дискурс; среди них используемые транспортные средства, особенности дорог, дорожные испытания авторов или литературных героев, восприятие придорожных ландшафтов, транспортная лексика.

Географические, исторические и литературные свойства литературных магистралей и полимагистралей раскрываются на примере столичной полимагистрали Москва – Петербург, Сибирской, Двинской и Чуйской литературных магистралей.

В прикладном плане предложенные теоретические разработки могут быть использованы для развития не только литературного, но и других видов туризма.

**Ключевые слова:** литературная магистраль, литературная полимагистраль, транспортно-географический дискурс, литературное путешествие, историческая дорога

**Финансирование:** исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках проекта № 23-17-00005 «Этноконтактные зоны на постсоветском пространстве: генезис, типология, конфликтогенность», а также при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Сохранение мирового культурно-исторического наследия».

**Для цитирования:** Калуцков В.Н. Литературные магистрали – новый культурно-географический феномен // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 176–188. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-176-188

**RECREATIONAL GEOGRAPHY AND TOURISM**

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-176-188

**LITERARY HIGHWAYS AS A NEW CULTURAL  
AND GEOGRAPHICAL PHENOMENON****Vladimir N. Kalutskov**

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

v.kalutskov@yandex.ru, Author ID: 179433, IstinaresearcherID (IRID): 474204, Scopus ID: 6507152534



**Abstract.** The purpose of the article is to present to the geographical community a new cultural and geographical phenomenon – a literary highway, identified by the author through empirical observations. Hence the tasks of the article are to describe and define this phenomenon, to establish its typical characteristics, and to trace its functioning on the regional material.

The author introduces and substantiates new concepts of literary geography – a literary polyhighway and transport-geographical discourse.

A literary highway is understood as a historical road ‘covered’ with texts of literary journeys of different times. In those cases where literature develops polyhighways, i.e., historical roads running parallel within the transport corridor, literary polyhighways are distinguished.

The interaction of travelogue texts with certain historical roads includes a range of transport issues in a broad comparative geographical context, or transport-geographical discourse; among them are vehicles used, road features, trials experienced on the road by authors or literary heroes, perception of roadside landscapes, and transport vocabulary.

In the article, geographical, historical, and literary properties of literary highways and polyhighways are shown through the example of the metropolitan polyhighway ‘Moscow – Petersburg’, Siberian, Dvina, and Chui literary highways.

In applied terms, the proposed theoretical developments can be used to promote not only literary but also other types of tourism.

**Keywords:** literary highway, literary polyhighway, transport-geographical discourse, literary journey, historical road

**Funding:** The study was financially supported by the RSF under project No. 23-17-00005 ‘Ethno-contact zones in the post-Soviet space: genesis, typology, conflictogenity’ as well as by the Interdisciplinary Science and Education School of Moscow University ‘Preservation of the World Cultural and Historical Heritage’.

**For citation:** Kalutskov, V.N. (2024). Literary highways as a new cultural and geographical phenomenon. *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 176–188. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-176-188

В настоящей статье литературные путешествия, или травелоги, рассматриваются как способ литературного освоения пространства [7, 12]. Под историческими дорогами понимаются «жестко локализованные в пространстве линейные коммуникации, в течение многих лет обеспечивавшие перемещение людей и товаров из одних регионов, городов, сельских поселений в другие» [3, с. 53].

### Литературные магистрали как географический парадокс русской литературы

Русская литература – великая литература-передвижница: за столетия ее развития совершены тысячи литературных путешествий, которые густой сетью покрывают огромное российское пространство. Так, в период с XVIII по начало XX в. по территории России (без учета Средней Азии), по подсчетам авторов специального аннотированного указателя, было совершено 2643 травелога [20].

Вместе с тем, несмотря на обширность российского пространства, **маршруты травелогов часто совпадали**. Этот парадокс во многом связан с особенностями освоения российского пространства – с неразвитостью дорожной сети.

К примеру, большая часть путешествующих по Русскому Северу сплавлялась по Северной Двине и ее притокам от Вологды до Архангельска. Сибирские литературные путешествия в XVIII–XIX вв. осуществлялись преимущественно по Московско-Сибирскому тракту. До формирования железнодорожной сети, вплоть до второй половины XIX в., действовала Волжская литературная магистраль, включая Волгу и ее притоки, по которой совершали свои поездки литераторы и художники. Желаящие попасть в Закавказье никак не могли миновать Военно-Грузинскую дорогу. Чуйский тракт Алтая освоен литературными трудами Шишкова, Шукшина, других писателей.

Путешественники при движении по одному и тому же маршруту, как правило, **посещали одни и те же места** – города, храмы, памятники. К примеру, при плавании по Сухоне и Северной Двине это были Вологда, Тотьма, Великий Устюг, Сийский монастырь, Холмогоры, Архангельск и непременно Соловки. В Вологде внимание путников привлекал Домик

Петра Великого, Софийский собор и могила К.Н. Батюшкова, а в Архангельске – Троицкий собор и памятник М.В. Ломоносову.

В результате образы огромных регионов страны формировались на основе знакомства с относительно ограниченным кругом мест. Однако это позволяет сравнивать оценки и впечатления у разных литераторов при посещении одних и тех же мест.

Посещение одних и тех же мест создавало условия для полемики между разновременными тревеллогами и литераторами. Найденные темы и **образы мест «передавались» от одного литератора к другому**. Тем более, что новый путешественник, как правило, стремился ознакомиться с текстами предшественников. Подобная преемственность способствовала формированию устойчивых литературных образов регионов и мест. Следовательно, можно говорить о литературных магистральных, по которым регулярно совершали поездки писатели и поэты, оставляя после себя текстуальные литературные свидетельства.

Таким образом, **под литературной магистралью понимается историческая дорога, «покрытая» текстами разновременных литературных путешествий**.

В результате анализа и сопоставления маршрутов и многочисленных текстов тревеллогов выявлены **основные компоненты литературной магистрали**, к которым относятся:

- историческая дорога;
- места остановок;
- круг авторов;
- тексты тревеллогов;
- устойчивые литературные образы мест.

**Функционирование литературной магистрали** обеспечивается повторяющимися маршрутами, совпадающими местами остановок, системой перекрестных ссылок авторов, диалогом образов мест. При этом некоторые из таких магистралей, например Москва – Петербург, функционируют не одну сотню лет.

Связь литературных магистралей с определенными историческими дорогами имеет неформальный характер: она включает в себя спектр транспортных вопросов в широком сравнительно-географическом контексте. Среди них:

- 1) характеристика транспортных средств и дороги;
- 2) описание придорожных ландшафтов;
- 3) дорожные испытания и дорожные образы автора или литературного героя;
- 4) разное восприятие ландшафтов при использовании различных видов транспорта;
- 5) формирование новых транспортных сетей, новых транспортных центров и связанная с этим смена образов регионов и городов.

Спектр представленных транспортных вопросов в широком сравнительно-географическом контексте мы называем **транспортно-географическим дискурсом**.

Проблематика транспортного дискурса относится к перспективным направлениям исследования в культурной и литературной географии. Изобретение нового транспортного средства резко меняет отношение творческого человека и пространства, поскольку каждый вид транспорта привносит новую лексику, которую литераторы активно интерпретируют, создавая принципиально новые образы [9]. При этом изменяется не только скорость, темп и ритм перемещения, но и характер восприятия ландшафта. Развитие транспорта и увеличение скорости передвижения в начале XIX в. привели писателей к мысли о «смерти» пространства и связанном с ней исчезновении поэтики путешествия. Н.М. Карамзин, к примеру, для лучшего восприятия страны предпочитал неспешное передвижение в экипажах в сочетании с пешими прогулками по городам.

В тех случаях, когда литература осваивает полимагистрали, т.е. исторические дороги, идущие параллельно в рамках транспортного коридора, выделяются **литературные полимагистрали**, например литературная полимагистраль Москва – Петербург.

Для литературных полимагистралей транспортный дискурс усложняется. В него входят вопросы, связанные с формированием транспортных сетей и центров, присущих разным видам транспорта, включая проблемы замещения региональных культурных центров, сменой восприятия ландшафтов, заменой одной транспортной лексики на другую, например водной на гужевую или гужевой на железнодорожную и автомобильную.

В проблематике транспортно-географического дискурса всегда присутствует региональное измерение. Это связано с тем, что новый вид транспорта формирует свою транспортную сеть, которая задает другие маршруты перемещения по региону и тем самым формирует новые образы региона. Со сменой видов транспорта меняется не только транспортная лексика, но меняются и дорожные испытания, характер восприятия придорожного ландшафта; при этом новые виды транспорта с их новыми транспортными сетями могут воздействовать на изменение образа регионов и городов.

Применительно к Уралу Е.Г. Власова показала, как в региональных травелогах в течение XVIII–XIX вв. меняется транспортная сеть и связанные с ней транспортные дискурсы – от гужевого к пароходному и железнодорожному транспорту. Так, в результате строительства железной дороги Пермь – Екатеринбург пермский образ Урала, связанный с развитием пароходного сообщения (Пермь воспринималась путешественниками как «ворота Урала»), сменяется на екатеринбургский. Этот культурный тренд Мамин-Сибиряк облек в яркую формулу: «Перми не бывать супротив Екатеринбурга» [4].

На примере конкретных случаев рассмотрим основные географические, исторические и собственно литературные свойства литературных магистралей и полимагистралей.

### **Столичная литературная полимагистраль Москва – Петербург и ее исторические дороги**

Столичная литературная магистраль, вне сомнения, относится к важнейшим литературным магистралям страны. В течение веков она соединяла две столицы России. Ее постоянно поддерживали русские выдающиеся писатели и писатели-иностранцы, которые на ее основе нередко формировали для себя образ России в целом.

Интересно, что лежащая в основе современных дорог историческая дорога из Европы в Москву существовала задолго до основания Петербурга. В XVIII–XIX вв. территориальная локализация трассы несколько раз менялась. Так, Новгородский тракт XVIII в. проходил по маршруту Петербург – Новгород – Старая Русса – Ржев – Волоколамск – Москва. Почти совпадало с трассой тракта построенное в 1833 г. Московское шоссе. Символично, что А.С. Пушкин оставил литературные свидетельства проезда по обеим дорогам: Московское шоссе он назвал великолепным. Кроме того, с 1851 г. между столицами действует Николаевская (ныне Октябрьская) железная дорога [23].

Таким образом, столичная литературная полимагистраль включает в себя Новгородский тракт, Московское шоссе и Октябрьскую (Николаевскую) железную дорогу.

Тексты множества травелогов обыгрывают названные исторические дороги между столицами. Но все же образ Новгородского тракта у широкого читателя (и потенциального туриста) прежде всего ассоциируется с книгой А.Н. Радищева «Путешествие из Петербурга в Москву», хотя ее литературные и географические достоинства весьма дискуссионны. Московским шоссе восхищался не только Пушкин, но и де Кюстин в книге «Николаевская Россия». Образ Октябрьской железной дороги у многих поколений жителей нашей страны связан с литературным путешествием героя стихотворения С.Я. Маршака «Вот какой рассеянный».

Несмотря на возросшие скорости передвижения между столицами, учитывая огромный историко-культурный и литературный потенциал межстоличного пространства, перспективы его туристического освоения весьма велики. Об этом свидетельствуют многочисленные современные автомобильные, пешеходно-автомобильные и железнодорожные путеводители по территории [2].

### Сибирская литературная полимагистраль и ее транспортно-географические дискурсы

В любом транспортно-географическом дискурсе всегда присутствует региональное измерение. Это связано с тем, что новый вид транспорта формирует свою транспортную сеть, которая задает другие маршруты перемещения по региону и тем самым формирует новые образы региона.

Применительно к пути в Сибирь еще В.В. Покшишевский подметил важную историко-географическую закономерность: в течение 500 лет исторические дороги в Сибирь смещаются из субарктических в южно-таежные и подтаежные широты [19]. Среди исторических дорог в Сибирь, которые нашли свое отражение в литературных произведениях, выделяется проходящая через Средний Урал водно-волоковая Сибирская дорога, минуя Екатеринбург Московско-Сибирский сухопутный тракт и Транссибирская железнодорожная магистраль. Эти исторические дороги приходят друг другу на смену, при этом меняется и вид транспорта – от водного к гужевому и железнодорожному.

Таким образом, Сибирская литературная полимагистраль включает в себя три исторические дороги в Сибирь, каждая из которых задает новый транспортно-географический дискурс (рис. 1).

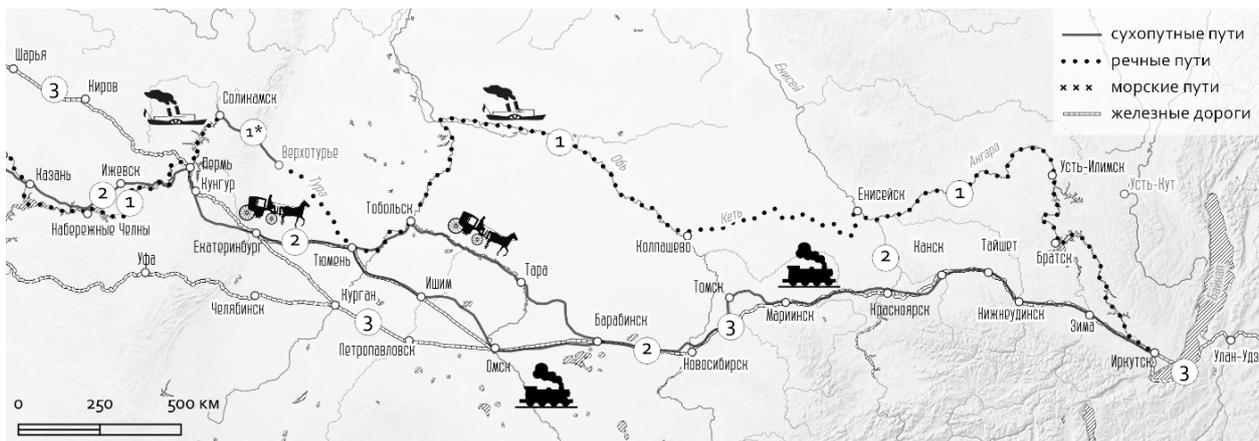


Рис. 1. Сибирская литературная полимагистраль, ее исторические дороги и их литературные маркеры. Составлено О.М. Железным. 1. Московско-Сибирский водный путь, включая участок Бабиновской сухопутной дороги (1\*). С 1598 г. до второй половины XVIII в. Литературный маркер: «Житие протопопа Аввакума»; 2. Московско-Сибирский сухопутный тракт. С середины XVIII по начало XX в. Литературный маркер: А.П. Чехов «Из Сибири»; 3. Транссибирская железнодорожная магистраль. С начала XX в. Литературный маркер: А.Т. Твардовский «За далью – даль»

Fig. 1. The Siberian literary polyhighway, its historical roads and literary markers. Compiled by O.M. Zhelezny

**Водный транспортный дискурс**, включая описание водных транспортных средств, характеристики рек и опасностей, связанных с рекой, нашел отражение в известном произведении «Житие протопопа Аввакума», которого провезли дважды по водно-волоковой Сибирской дороге. Приведем лишь один пример испытаний протопопа и его семьи при путешествии по реке: «Поехали из Енисейска. Егда будем в большей реке Тунгуске, бурю в воду мой дощаник загрузило: налилса среди воды полон и парус изодрал, – одны палубы под воду. Жена моя робят кое-как из воды повытаскав на палубы, сама простоволоса ходит. А я кричу, на небо глядя: «О, Господи, спаси нас! О, Господи, помози нам!» И Божией волею прибило нас к берегу» [5, с. 129].

После открытия Московско-Сибирского сухопутного тракта в 1735 г. дорога в Сибирь смещается к югу, а роль рек как транспортных магистралей уменьшается. Как результат такие транспортные центры, как Соликамск и Верхотурье, угасают; вдали от тракта остается

первая столица Сибири – белокаменный Тобольск. В течение двух веков Московско-Сибирский тракт был главной дорогой в Сибирь [1].

**Гужево́й тракто́вый дискурс**, в котором отражаются все аспекты передвижения по Московско-Сибирского тракту (характер дорожного полотна, транспортные средства, ямщицкая культура, аварии в пути, бытовые трудности путешествия), представлен в очерках А.П. Чехова «Из Сибири». Приведем наглядный пример чеховского описания тракта: «*Представьте вы себе широкую просеку, вдоль которой тянется насыпь в сажени четыре ширины, из глины и мусора, – это и есть тракт. Если глядеть на эту насыпь сбоку, то кажется, что из земли, как в открытой музыкальной шкатулке, выдается большой органный вал. По обе стороны его – канавы*» [26, с. 286–287]. Московско-Сибирский тракт в начале XX в. сменяет самая южная историческая дорога в Сибирь – Транссибирская магистраль.

**Транссиб и железнодорожный дискурс Твардовского.** Поэма А.Т. Твардовского «За далью – даль» представляет собой пример одного из наиболее ярких литературных путешествий по самой длинной железнодорожной магистрали [8].

По мнению исследователей, Твардовский выделяется относительно других предшественников-поэтов «заразительным» опытом железнодорожных путешествий: «А дорожный быт он умеет показывать с таким аппетитом, что и нас заражает желанием бросить все дела и махнуть куда-нибудь подальше – ну, хотя бы в тот же Владивосток» [14, с. 53]. Автор активно развивает железнодорожную лексику, придумывая на ее основе яркие поэтические образы. Так, железнодорожная магистраль – это *лестница из шпал*, паровоз *гребет пространство*, а вагон – *малый дом, твоя квартира, твой дом и улица твоя*.

### **Система перекрестных отсылок авторов и диалог образов мест как важный компонент функционирования литературной магистрали (на примере Двинской литературной магистрали)**

Литературные магистрали способствовали литературному освоению российских регионов, создавая условия для полемики между разновременными травелогам и литераторами. К примеру, при путешествии по Сибири темы холода и богатства края «передавались» от протопопа Аввакума к Максиму, Гончарову и Чехову и далее к советским писателям [7]. Подобная преемственность способствовала формированию устойчивых литературных образов регионов и мест.

Первые путешествия на Русский Север, имеющие литературный характер, относятся к последней трети XVIII в. Так, в 1772 г. академик Лепехин, ученик Ломоносова, проехал из Сибири через Соликамск, Сольвычегодск в Холмогоры и Архангельск [11]. В 1791 г. похожее путешествие совершил П.И. Челищев [25]. Их основной целью было посещение родины М.В. Ломоносова, а также посещение мест, связанных с деятельностью Петра Великого. Широкий общественный интерес к Русскому Северу возникает во второй половине XIX в. Во многом он связан с крупными научными открытиями – древнерусских былин и самобытных поморских песен, необычной деревянной архитектуры и старых дониконианских изданий, связанных со старообрядчеством.

Одним из первых литературных путешествий, оказавших огромное влияние на восприятие русским обществом Севера, была книга «Год на Севере», написанная будущим академиком, фольклористом, этнографом и писателем С.В. Максимовым [13]. Книга написана по результатам путешествия, совершенного в 1855–56 гг. Автор сумел объехать побережье Белого моря, Соловки, заехать на Кольский полуостров, посетить Пинегу, Мезень, дальнюю Печору, Архангельск и по Двине вернулся в Петербург. Многие путешественники, ознакомившись с трудом Максимова, использовали его в качестве образцового путеводителя, попутно сравнивая с ним свои впечатления.

К примеру, поэт К.К. Случевский, совершивший поездку по Северной Двине и по Онеге в 1885 г., ряд этнографических и фольклорных текстов заимствовал у С.В. Максимова [21].

В текстах писателя Н.А. Лейкина, проплывшего по Северу в 1898 г., видны отсылки к более ранним текстам В.И. Немировича-Данченко [10, 16]. В свою очередь в травелоге путешественника А.И. Фирсова, опубликованном в 1907 г., содержится прямая ссылка на Н.А. Лейкина.

Традиция продолжается и в советское время. Так, писатель Страхов, спускаясь по Северной Двине и описывая успехи советской промышленности, не забыл упомянуть имена Челищева и Лейкина и сравнить исторические и современные образы городов Подвинья [22].

При движении по одному северодвинскому маршруту литераторы, как правило, посещали те же места, что позволяет составлять хронологические списки о посещениях мест литераторами и сравнивать их впечатления.

Наряду с позитивными образами «по цепочке» передавались и негативные, часто ничем не оправданные впечатления. В качестве примера приведем кумулятивную цепочку негативных оценок со стороны литературных визитеров в отношении памятника М.В. Ломоносову в Архангельске. Поясним, что это был первый памятник в стране, поставленный великому помору. Монумент создан знаменитым И.П. Мартосом на народные деньги, собранные жителями всей России (рис. 1).

1. С.В. Максимов (посетил город в 1856 г.): *«Вот новый урок создателям, сумевшим в лице Ломоносова изобразить римского гражданина в тоге (выделено мной – В.К.), с гением у ног, а не простого мужика, с приличными, более понятными и ясными атрибутами, или что-нибудь вроде этого. К тому же памятник мал, пропадает в массе зданий и не пользуется ни хорошим видом, ни хорошим местом»* [13, с. 531].

2. В.И. Немирович-Данченко (жил в городе в 1870 г.): *«Посреди ее в настоящее время находится памятник Ломоносову. Холмогорский крестьянин, могучий работник науки, представлен в виде купца, выходящего из бани и закутанного в мокрую простыню (выделено мной – В.К.). Ни лавры на голове, ни коленопреклоненная, чахоточная фигура гения с лирою в руках не уничтожают этого впечатления»* [16, с. 71].

3. Поэт К.К. Случевский (проехал Архангельск в 1885 г.): *«Хотя он (памятник Ломоносову – В.К.) воздвигнут по проекту знаменитого Мартоса, но в сущности, один из самых неудачных памятников в России»* [20, с. 223].

4. Писатель Н.А. Лейкин (посетил город в 1890-е гг.): *«Памятник вылит из меди. И поставлен в 1832 году. Поэт и ученый представлен стоящим на северном полушарии, на котором начертано: Холмогоры. Изображен он с накинутой на плече тогой, не закрывающей грудь, и эта тога настолько неудачна, что делает Ломоносова как бы выходящего из бани с накинутой на плечи простыней (выделено мной – В.К.). Лицо его как-то сморщено. Коленопреклоненный гений подает ему лиру. Крылатый гений также неудачен. Пьедестал памятника гранитный. Вообще группа представляется очень комической. Ломоносов, как первый русский ученый, достоин лучшего памятника»* [10, с. 130].

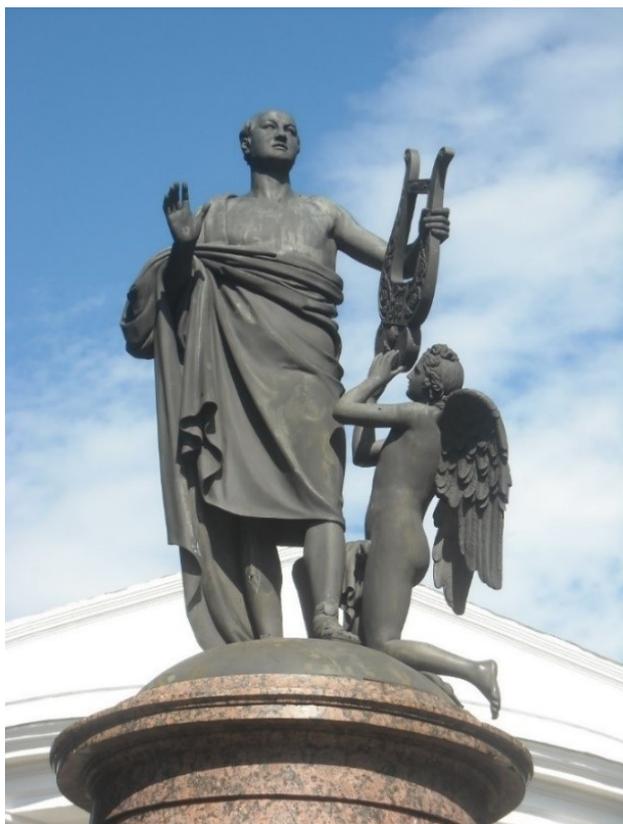


Рис. 2. Памятник М.В. Ломоносову в Архангельске.  
Скульптор И.П. Мартос. Фото В.Н. Калуцкова  
Fig. 2. Monument to M.V. Lomonosov in Arkhangelsk.  
Sculptor I.P. Martos. Photo by V.N. Kalutskov

5. А.И. Фирсов (был предположительно в 1907 г.): «Памятник невысок и вылит из меди по совершенно неудачному проекту ректора академии художеств И.П. Мартоса, вдохновившего одою поэта «Вечернее размышление о Божием величии при случае великого северного сияния». Ломоносов представлен стоящим на северном полушарии, на котором помещена подпись: «Холмогор». Изображен он с накинутой на плечи тогой, не закрывающей грудь, и эта тога настолько неудачна, что делает Ломоносова, по меткому замечанию Н.А. Лейкина, как бы **выходящим из бани с накинутой на плечи простыней**. Коленопреклоненный гений, **похожий на голодающего индуса** (выделено мной – В.К.)» [24, с. 1008–1009].

Приведенные примеры убедительно демонстрирует, что литература может создавать не только положительные образы мест, но и отрицательные устойчивые образы, которые, вне сомнения, могут представлять интерес для

современного туриста, создавая в данном случае новые нестандартные грани образа великого помора, делая его менее лакированным.

В целом, диалог образов мест представляет собой важный элемент функционирования любой литературной магистрали, выступая источником знаний при проектировании новых и обновлении старых туристских маршрутов.

### Мемориализация исторических дорог и усиление образности литературных магистралей (на примере Чуйского тракта)

Чуйский тракт – одна из самых известных исторических дорог Сибири, связывающих Алтай и Монголию. Исторический тракт начинался от города Бийска, ныне он начинается из Новосибирска – столицы Сибирского федерального округа [1, 18]. Возможно, что одна из причин его существенного удлинения – яркий литературный образ, связанный прежде всего с именами В.Я. Шишкова и В.М. Шукшина; об этом напоминает алтайский поэт Г.П. Панов:

*«Шуршание шин. И шум вершин.  
И слышится: Шишков, Шукшин.  
И в том – отечественный факт  
(давайте это не забудем):  
Шишков разведет Чуйский тракт,  
Шукшин о нем поведал людям!»* [7, с. 56].

И именно этим писателям на тракте установлены памятники: памятник Шишкову возле с. Манжерок, а памятник Шукшину на его родине в с. Сростки, где организован шукшиновский музей-заповедник.

С деятельностью В.Я. Шишкова связаны первые литературные образы тракта. Важно подчеркнуть, что Шишков-изыскатель «закрывает» гужевую историю тракта, проектируя его

новые трассы (в 1913–14 гг. он работал в экспедиции на Алтае). При этом Шишков-писатель сохраняет **гужевой транспортный дискурс** Чуйского тракта как очень трудной и опасной торговой дороги с крутыми перевалами и труднопроходимыми бомами (узкими скальными тропами). Наиболее масштабное произведение Шишкова, посвященное данной проблематике – «По Чуйскому тракту. Путевые очерки». Вот, к примеру, как описывается многотрудный для любого ямщика перевал Чике-Таман: «Все эти отдельные зигзаги тракта очень коротки и узки, радиусы закруглений малы, уклоны велики. Телега в закруглениях иногда не может повернуться: колеса висят над ничем не огражденной пропастью. Еще один неловкий шаг лошади, и она вместе с возом сорвется вниз. Вот тут-то начинается ад. В особенности весной, или во время дождей, когда дорога покрывается липкой грязью» [27, с. 177].

Важная часть исторического образа, также нашедшего отражение в литературе, – связь Чуйского тракта с мифологической страной Беловодией, в поисках которой в течение многих лет на Алтай шли староверы.



Рис. 3. Памятник песне «Есть по Чуйскому тракту дорога»  
(народное название «Памятник Кольке Снегирёву»)  
Фото В.Н. Калуцкова

Fig. 3. Monument to the song 'There is a road along the Chui tract'  
(the popular name is 'Monument to Kol'ka Snegirev').  
Photo by V.N. Kalutskov

Уроженец Алтая В.М. Шукшин в своем творчестве продвигает другой – **автомобильный дискурс**. «Есть на Алтае тракт – Чуйский. Красивая стремительная дорога, как след бича, стеганувшего по горам...», – пишет о тракте в сценарии к фильму «Живет такой парень» [28, с. 5]. Гужевые мучения ушли в прошлое, каменистая тропа усилиями Шишкова-изыскателя превратилась в шоссе и хозяином тракта становится шофер. Именно шоферу посвящены рассказы Шукшина «Рыжий» и «Классный водитель», сценарий известного фильма «Живет такой парень». Следуя традициям Шишкова, Шукшин в своих произведениях обращается к мифам и легендам Алтая.

Важную роль в продвижении образа тракта в контексте автомобильного дискурса сыграла песня на слова С. Михеева «Есть по Чуйскому тракту дорога...» (в некоторых публикациях она называется «Машина АМО») – песня о трагической шоферской любви.

*Есть по Чуйскому тракту дорога,  
Много ездило там шоферов.  
Но один был отчаянный шофер,  
Звали Колька его Снегирёв.*

*Он машину трёхтонную АМО,  
Как родную сестрёнку, любил.  
Чуйский тракт до монгольской границы  
Он на АМО своей изучил.*

*А на форде работала Рая,  
И так часто над Чуей-рекой  
Форд зелёный и Колина АМО  
Друг за дружкой неслися стрелой... [15].*

Песня была и остается очень популярной не только на Алтае: ее в разных вариантах перепели немало известных исполнителей. По сути, она стала брендом Чуйского тракта. Поэтому не удивительно, что возле Акбома (Белого Бома), одного из самых известных и опасных мест исторического тракта, поставлен памятник песне «Есть по Чуйскому тракту дорога...». Авторы памятника символично решили проблему неразделенной шоферской любви: тяжелый отечественный грузовик АМО все же обгоняет скоростную американскую машину (рис. 3).

По мере улучшения качества дороги темы, связанные с дорожными испытаниями и трудностями, отходят на второй план. Их заменяют темы красоты и разнообразия придорожных ландшафтов. К примеру, С.П. Залыгин в романе «Тропы Алтая» так описывает природное разнообразие придорожных ландшафтов Чуйского тракта: *«Каждый, кто проедет Чуйским трактом с севера на юг, увидит в этой стране под названием Горный Алтай множество других стран... Увидит мягкие очертания невысоких, сглаженных гор – и вдруг узнает Южный Урал... Увидит Семинский перевал – и подумает, что это Саяны. Перевал Чике-Таман (sic!), а вскоре за ним бомы вдоль Катунки напомнят путешественнику Кавказ... В устье Чуи промелькнет перед ним картина из предгорий Копет-Дага (sic!), Курайская степь возникнет вдруг, как будто кто-то перенес сюда пейзаж Хакасии, а степь Чуйская – это пустыня Гоби в миниатюре» [6, с. 349–350].*

Ныне по трассе исторического тракта создано немало путеводителей, проложено множество маршрутов, установлены многочисленные рекламные баннеры. Важным туристским и просветительским центром региона выступает музей Чуйского тракта, действующий в Бийске – городе, откуда он когда-то начинался.

Тем самым мемориализация исторических дорог способствует расширению границ транспортно-географического дискурса, обогащает их литературный образ.

### **Заключение и перспективы разработки темы**

Итак, в статье представлен новый культурно-географический феномен – литературная магистраль, под которым понимается историческая дорога, «покрытая» текстами разновременных литературных путешествий. Основные компоненты магистрали включают историческую дорогу, места остановок, круг авторов, тексты травелогов и устойчивые литературные образы мест. Функционирование литературной магистрали обеспечивается повторяющимися маршрутами, совпадающими местами остановок, системой перекрестных ссылок авторов, диалогом образов мест. Некоторые из рассмотренных магистралей функционируют не одну сотню лет.

В данной проблематике важную роль играет спектр транспортных вопросов в широком сравнительно-географическом контексте, или транспортно-географический дискурс. Он включает в себя рассмотрение следующих вопросов: характеристику транспортных средств и дороги, описание придорожных ландшафтов, дорожные испытания и дорожные образы автора или литературного героя, разное восприятие ландшафтов при использовании разных видов транспорта, формирование новых транспортных сетей, новых транспортных центров и связанную с этим смену образов регионов и городов.

Для дальнейшей разработки темы литературных магистралей и связанных с ними транспортных дискурсов теоретический интерес представляет такой вопрос, как **связь литературной магистрали с определенным культурно-географическим регионом** и ее роль в формировании спектра географических образов региона. Действительно, очевидна связь Двинской литературной магистрали с Русским Севером, Волжской магистрали с Поволжским регионом,

## Рекреационная география и туризм

Калуцков В.Н.

Чусовской магистрали с Уралом, Сибирской литературной полимагистралей с Сибирью. Так, для окраинных культурных регионов страны литературные магистрали выступали (и выступают) в качестве образно-географического каркаса.

Для литературных полимагистралей перспективно изучение диалога **транспортно-географических дискурсов**, связанных с разными видами транспорта, разными транспортными сетями и разной транспортной лексикой.

На основе сопоставления материалов разновременных тревелогов могут быть составлены **исторических путеводители по литературным магистралям**.

Литературные магистрали перспективны для развития не только литературного, но и других видов туризма. Усилению туристского потенциала способствует мемориализация трассы – создание музеев исторических дорог, возведение памятников писателям и литературным героям, а также составление традиционных и интерактивных карт литературных магистралей.

## Библиографический список

1. *Богумил Т.А.* Семантика Чуйского тракта в литературе // Проблемы исторической поэтики. 2018. Т. 16, № 3. С. 200–221.
2. *Веденин Ю.А.* Исторический обзор путевых заметок, дорожников и путеводителей по трассе Москва – Санкт-Петербург // Путешествие из Петербурга в Москву: 222 года спустя. Кн. 1: Два столетия российской истории между Москвой и Санкт-Петербургом / Сост. и науч. редактирование Т.Г. Нефедова, А.И. Тревиш. М.: ЛЕНАНД, 2015. С. 205–228.
3. *Веденин Ю.А.* Место исторического пути в культурно-ландшафтном пространстве Русского Севера: по следам Александра Шренка // Наследие и современность. 2020, № 3(4). С. 52–72.
4. *Власова Е.Г.* Маршруты путешествий и особенности формирования образа пространства в уральском тревелогe XVIII–начале XX в. // Лабиринт. 2015. № 1. С. 34–49.
5. Житие протопопа Аввакума / издание подготовили Н.С. Демкова и Л.В. Титова. Санкт-Петербург: Наука, 2019. 452 с.
6. *Залыгин С.П.* Тропы Алтая // Образ Алтая в русской литературе XIX–XX вв. Антология: в 5 т. / Под ред. Д.В. Куляпина. Т. 4: 1950–1960 гг. Барнаул: ИД «Барнаул», 2012. С. 327–352.
7. *Калуцков В.Н.* Южанин в Сибири: литературно-географическое исследование путешествия А.П. Чехова (на материале очерков А.П. Чехова «Из Сибири» и его путевых писем) // Географический вестник. 2021. № 3(58). С. 74–91.
8. *Калуцков В.Н.* «Тёркин в Сибири»: культурно-географическое исследование сложного литературного путешествия (на материале поэмы А.Т. Твардовского «За далью – даль») // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 19. Лингвистика и межкультурная коммуникация. 2022. № 2. С. 86–99.
9. *Ковалева Е.А.* Элементы «железнодорожного дискурса» в поэзии серебряного века: лексический аспект. Автореф. дисс канд. фил. наук. Санкт-Петербург. 2009. 22 с.
10. *Лейкин Н.А.* По Северу дикому СПб.: Типография И. Усова, 1913. 226 с.
11. *Лепехин И.И.* Дневные записки путешествия доктора и адъюнкта Академии наук Ивана Лепехина по разным провинциям Российского государства. Санкт-Петербург. 1772 г. Часть 4. 1805. 464 с.
12. Литературная география России: атлас-справочник / Науч. ред. Ю.А. Веденин, В.Н. Калуцков. М.: Издательство Московского университета, 2022. 295 с.
13. *Максимов С.В.* Год на Севере. Архангельск: Северо-Западное книжное изд-во, 1984. 607 с.
14. *Маршак С.Я.* Ради жизни на земле: Об Александре Твардовском. М.: Советский писатель, 1961. 108 с.
15. *Михеев С.* Машина АМО // В нашу гавань заходили корабли: Песни / Сост. Э.Н. Успенский, Э.Н. Филина, Е.Е. Позина. Вып. 2. М.: Стрекоза, 2000. С. 78–80.
16. *Немирович-Данченко В.И.* Беломорье и Соловки: воспоминания и рассказы. М.: Гос. Публ. Ист. Б-ка России, 2009. 288 с.
17. *Панов Г.П.* На Чуйском тракте / Образ Алтая в русской литературе XIX–XX вв. Антология: в 5 т. / Под ред. Д.В. Куляпина. Т. 5: 1970–1980 гг. Барнаул: ИД «Барнаул», 2012. С. 56.
18. *Подрезов М.В.* История Чуйского тракта. Обзор основной литературы // Вестник Томского госун-та. 2017. № 414. С. 103–107.
19. *Покишиевский В.В.* Заселение Сибири (историко-географические очерки). Иркутск, 1951. 208 с.
20. Русский тревелог XVIII–XX веков: маршруты, топосы, жанры и нарративы: аннотированный указатель / под ред. Т.И. Печерской. Новосибирск: Немо Пресс, 2018. 829 с.
21. *Случевский К.К.* По Северо-Западу России. Т. 1. По Северу России. СПб.: издание А.Ф. Маркса, 1897. 458 с.
22. *Страхов В.Е.* Двинские дали. Архангельск: Северо-Западное книжное изд-во, 1972. 224 с.
23. *Тархов С.А., Разумовский В.М.* История транспортных сообщений между столицами // Путешествие из Петербурга в Москву: 222 года спустя. Кн. 1: Два столетия российской истории между Москвой и Санкт-Петербургом / Сост. и науч. редактирование Т.Г. Нефедова, А.И. Тревиш. М.: ЛЕНАНД, 2015. С. 63–86.
24. *Фирсов А.* По рекам Вологде, Сухоне и Северной Двине // Исторический вестник. 1907. Т. 110. С. 629–652; 981–1002.
25. *Челищев П.И.* Путешествие по северу России в 1791 г. М.: ОГИ, 2009. 304 с.

## Рекреационная география и туризм

Калуцков В.Н.

26. Чехов А.П. Из Сибири / ПСС под ред. А.В. Луначарского и С.Д. Балухатова. Т. 10. М.-Л.: Гос. изд-во художественной литературы, 1932. С. 269–295.
27. Шишков В.Я. Чуйские были. Петербург: Гос. изд-во, 1920. 30 с.
28. Шукшин В.М. Живет такой парень. Киносценарий. М.: Искусство, 1964. 76 с.

## References

1. Bogumil T.A. (2018) Semantics of the Chui tract in literature // *Problemy istoricheskoy poetiki*, Petrozavodsk, vol. 16, no. 3, pp. 200–221.
2. Vedenin Yu.A. (2015) Historical review of travel notes, road guides and guidebooks on the Moscow – St. Petersburg highway // *Puteshestviye iz Peterburga v Moskvu: 222 goda spustya. Kn. 1: Dva stoletiya rossiyskoy istorii mezhdru Moskvoy i Sankt-Peterburgom* / Comp. and scientific editing by T.G. Nefedov, A.I. Trevis, LENAND, Moscow, pp. 205–228.
3. Vedenin Yu.A. (2020) The place of the historical path in the cultural and landscape space of the Russian North: in the footsteps of Alexander Schrenk // *Nasledie i sovremennost'*, Kazan, 2020, no. 3 (4), pp. 52–72.
4. Vlasova E.G. (2015) Travel routes and features of the formation of the image of space in the Ural travelogue of the XVIII–early XX century // *Labirint*, Ivanovo, no. 1, pp. 34–49.
5. *Zhitiye protopopa Avvakuma* (2019) The Life of Archpriest Avvakum / izdaniye podgotovili N.S. Demkova i L.V. Titova, Nauka, Sankt-Peterburg, 452 p.
6. Zalygin S.P. (2012) Altai trails // *Obraz Altaya v russkoy literature XIX–XX vv. Antologiya: v 5 t., pod red. D.V. Kulyapin*, vol. 4: 1950–1960, ID «Barnaul», Barnaul, pp. 27–352.
7. Kalutskov V.N. (2021) Yuzhanin in Siberia: a literary and geographical study of A.P. Chekhov's journey (based on the material of A.P. Chekhov's essays «From Siberia» and his travel letters) // *Geograficheskiy vestnik*, Perm, no. 3(58), pp. 74–91.
8. Kalutskov V.N. (2022) «Terkin in Siberia»: a cultural and geographical study of a complex literary journey (based on the material of A.T. Tvardovsky's poem «Beyond the Distance») // *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 19. Lingvistika i mezhkulturnaya kommunikatsiya*, Moscow, no. 2, pp. 86–99.
9. Kovaleva E.A. (2009) *Elementy «zheleznodorozhnogo diskursa» v poezii serebryanogo veka: leksicheskiy aspekt* [Elements of «railway discourse» in the poetry of the Silver Age: lexical aspect], Autoref. diss... Candidate of Phil. Sciences, St. Petersburg, 22 p.
10. Leikin N.A. (1913) *Po Severu dikomu* [On the Wild North], Tipografiya I. Usova, St. Petersburg, 226 p.
11. Lepekhin I.I. (1805) *Dnevnyye zapiski puteshestviya doktora i adyunkta Akademii nauk Ivana Lepekhina po raznym provintsiyam Rossiyskogo gosudarstva* [Daily notes of the travels of Doctor and Associate of the Academy of Sciences Ivan Lepekhin in different provinces of the Russian state], 1772, Chast 4, St. Petersburg, 464 p.
12. *Literaturnaya geografiya Rossii: atlas-spravochnik* (2022) [Literary Geography of Russia: atlas-reference] / Nauch. red. Yu.A. Vedenin, V.N. Kalutskov, Izdatelstvo Moskovskogo universiteta, Moscow, 295 p.
13. Maksimov S.V. (1984) *God na Severe* [A Year in the North], Sev-Zap. Kn. Izd-vo, Arkhangelsk, 607 p.
14. Marshak S.Ya. (1961) *Radi zhizni na zemle: Ob Aleksandre Tvardovskom* [For the sake of life on earth: About Alexander Tvardovsky], Sovetskiy pisatel, Moscow, 108 p.
15. Mikheyev S. (2000) The AMO machine // *V nashu gavan zakhodili korabli: Pesni* / Sost. E.N. Uspenskiy, E.N. Filina, E.E. Pozina, vyp. 2, Strekoza, Moscow, pp. 78–80.
16. Nemirovich-Danchenko V.I. (2009) *Belomorye i Solovki: vospominaniya i rasskazy* [Belomorye and Solovki: memories and stories], Gos. Publ. Ist. B-ka Rossii, Moscow, 288 p.
17. Panov G.P. (2012) On the Chui tract // *Obraz Altaya v russkoy literature XIX–XX vv. Antologiya: v 5 t., pod red. D.V. Kulyapin*, vol. 5: 1970–1980, ID «Barnaul», Barnaul, p. 56.
18. Podrezov M.V. (2017) The history of the Chui Tract. Overview of the main literature // *Vestnik Tomskogo gosun-ta*, Tomsk, no. 414, pp. 103–107.
19. Pokshishevskiy V.V. (1951) *Zaseleniye Sibiri (istoriko-geograficheskiye ocherki)* [Settlement of Siberia (historical and geographical essays)], Irkutsk, 208 p.
20. *Russkiy travelog XVIII–XX vekov: marshruty. toposy. zhanry i narrativy: annotirovannyi ukazatel* (2018) [Russian travelogue of the XVIII–XX centuries: routes, topos, genres and narratives: an annotated index], pod red. T.I. Pecherskiy, Nemo Press, Novosibirsk, 829 p.
21. Sluchevskiy K.K. (1897) *Po Severo-Zapadu Rossii* [In the North-West of Russia], izdaniye A.F. Marksa, Sankt-Peterburg, V. 1. Po Severu Rossii, 458 p.
22. Strakhov V.E. (1972) *Dvinskiye dali* [Dvinsky gave], Severo-Zapadnoye knizhnoye izd-vo, Arkhangelsk, 224 p.
23. Tarkhov S.A., Razumovskiy V.M. (2015) History of transport links between capitals // *Puteshestviye iz Peterburga v Moskvu: 222 goda spustya. Kn. 1: Dva stoletiya rossiyskoy istorii mezhdru Moskvoy i Sankt-Peterburgom* / Comp. and scientific editing by T.G. Nefedov, A.I. Trevis, LENAND, Moscow, pp. 63–86.
24. Firsov A. (1907) Along the Vologda, Sukhona and Severnaya Dvina rivers // *Istoricheskiy vestnik*, V. 110, oktyabr-dekabr, pp. 629–652; 981–1002.
25. Chelishchev P.I. (2009) *Puteshestviye po severu Rossii v 1791 g.* [A trip through the north of Russia in 1791], OGI, Moscow, 304 p.
26. Chekhov A.P. (1932) From Siberia / *PSS pod red. A.V. Lunacharskogo i S.D. Balukhatova, V. 10*, Gos. izd-vo khudozhestvennoy literatury, Moscow-Leningrad, pp. 269–295.
27. Shishkov V.Ya. (1920) There were Chui ones, Gos. izd-vo, Peterburg, 30 p.
28. Shukshin V.M. (1964) *Zhivet takoy paren.* Kinostsenariy [There is such a guy. Screenplay], Iskusstvo, Moscow, 76 p.

---

*Рекреационная география и туризм*  
*Калуцков В.Н.*

Статья поступила в редакцию: 05.06.23, одобрена после рецензирования: 10.10.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 5 June 2023; approved after review: 10 October 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

Информация об авторе

**Калуцков Владимир Николаевич**

доктор географических наук, профессор кафедры региональных исследований факультета иностранных языков и регионоведения, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1

Information about the author

**Vladimir N. Kalutskov**

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Department of Area Studies, Faculty of Foreign Languages and Area Studies, Lomonosov Moscow State University; 1, Leninskie gory, Moscow, 119991, Russia

e-mail: v.kalutskov@yandex.ru

**ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

Научная статья

УДК 910.3+373.57

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-189-199

**ГЕОГРАФИЯ БЕЗ ГРАНИЦ:  
ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОРТАЛ И ЕГО ВОЗМОЖНОСТИ****Андрей Аркадьевич Зайцев<sup>1</sup>✉, Светлана Александровна Кулакова<sup>2</sup>, Ирина Викторовна Фролова<sup>3</sup>, Роман Владимирович Харин<sup>4</sup>**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

<sup>1</sup> rabbitzay@yandex.ru✉, SPIN-код: 3428-2211, Author ID: 598817<sup>2</sup> kulakovasa@mail.ru, SPIN-код: 2861-4630, Author ID: 132403<sup>3</sup> irvik13@gmail.com, SPIN-код: 1434-3422, Author ID: 148012<sup>4</sup> rvharin@gmail.com, SPIN-код: 1259-1103, Author ID: 988876

**Аннотация.** Проблемы изучения и преподавания географии, выделенные в Концепции географического образования (2018 г.), не потеряли своей актуальности и в настоящее время. Новые ФГОС основного общего образования и содержание школьного курса географии, особое внимание к географической информации и современные ИКТ в работе со школьниками и абитуриентами определили значимость локализации региональной географической и краеведческой информации в онлайн-пространстве для обеспечения общего доступа и возможностей взаимодействия заинтересованных сторон в сфере географического и экологического образования. Цифровой образовательный контент и цифровые образовательные ресурсы не являются новаторскими решениями в расширении возможностей представления школьных предметов, но редки в реализации задач развития региональной образовательной системы. В статье раскрываются содержание и особенности проекта «География без границ», целью которого является совершенствование непрерывного географического и экологического образования путем расширения взаимодействия между вузами, школами и работодателями за счет внедрения цифровых и сетевых образовательных инструментов. Первоначальный этап реализации проекта носит региональный характер и подразумевает наполнение региональной географической и краеведческой информацией.

Портал написан на CMS Evolution, бесплатном open-source решении для управления сайтами. Использован css-фреймворк Bootstrap, предназначенный для адаптивной web-разработки. В создании и работе сайта используются HTML, CSS, JavaScript, PHP, MySQL. В структуре данного портала выделяют блоки ресурсов для школьников и их родителей (научно-исследовательские проекты, олимпиадное движение, самостоятельные познавательные ресурсы и др.), для учителей географии, блок для работодателей, информационный блок для родителей абитуриентов, блок Пермского краевого отделения Русского географического общества. При этом структура портала не остается статичной. При изменении запросов пользователей портал также готов меняться и подстраиваться под изменения внешней и внутренней среды.

Реализация проекта «География без границ» позволит решать задачи в сфере региональной повестки географического и экологического образования и краеведения.

**Ключевые слова:** география, географическая информация, проект, цифровизация географического знания

**Финансирование:** работа выполнена при поддержке гранта Русского географического общества 06/2023-Р (Межрегиональный конкурс сетевых исследовательских работ школьников «География без границ»).

**Для цитирования:** Зайцев А.А., Кулакова С.А., Фролова И.В., Харин Р.В. География без границ: информационный портал и его возможности // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 189–199. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-189-199

## GEOGRAPHICAL EDUCATION

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-189-199

GEOGRAPHY WITHOUT BORDERS:  
THE INFORMATION WEB PORTAL AND ITS POSSIBILITIESAndrey A. Zaitsev<sup>1</sup>, Svetlana A. Kulakova<sup>2</sup>, Irina V. Frolova<sup>3</sup>, Roman V. Kharin<sup>4</sup><sup>1,2,3,4</sup> Perm State University, Perm, Russia<sup>1</sup> rabbitzay@yandex.ru, SPIN-code: 3428-2211, Author ID: 598817<sup>2</sup> kulakovasa@mail.ru, SPIN-code: 2861-4630, Author ID: 132403<sup>3</sup> irvik13@gmail.com, SPIN-code: 1434-3422, Author ID: 148012<sup>4</sup> rvharin@gmail.com, SPIN-code: 1259-1103, Author ID: 988876

**Abstract.** The problems of studying and teaching geography, highlighted in the Concept of Geographical Education (2018), have not lost their relevance at present. The new federal standard of basic general education and the content of the school geography course, special attention to geographic information and modern ICT in work with schoolchildren and university applicants have determined the significance of localizing regional geographic and local history information in the online space to ensure common access and interaction opportunities for stakeholders in the field of geographic and environmental education.

Digital educational content and digital educational resources are not innovative solutions in expanding the possibilities of presenting school disciplines, but they are rare in implementing the tasks of developing and improving the regional educational system. The goal of the Geography Without Borders project is to improve continuous environmental and geographical education by expanding the interaction between universities, schools, and employers through the introduction of platform-based, digital, and network tools. At the first stage of implementation, the project is of a regional nature, it is filled with regional geographic and local history information.

The web portal is developed on Evolution CMS, a free open-source solution for site management; Bootstrap CSS framework, designed for adaptive web development, is applied. HTML, CSS, JavaScript, PHP, and MySQL have been used in the creation and operation of the site. The structure of this portal includes resource blocks for schoolchildren (research projects, Olympiad movement, independent educational resources, etc.), for geography teachers, a block for employers, an information block for parents, and a block for the Perm Regional Branch of the Russian Geographical Society. The portal structure does not remain static. When user requests change, the portal is also ready to change and adapt to changes in the external and internal environment.

The implementation of the project Geography Without Borders will make it possible to solve problems of regional geographical and environmental education, and of regional studies.

**Keywords:** geography, geographic information, project, digitalization of geographical knowledge

**Funding:** The work was supported by a grant from the Russian Geographical Society No06/2023-R (Interregional competition of network research works of schoolchildren Geography without Borders).

**For citation:** Zaitsev, A.A., Kulakova, S.A., Frolova, I.V., Kharin R.V. (2024) Geography without Borders: the information web portal and its possibilities. *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 189–199. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-189-199

## Введение и постановка проблемы

Результаты приемных кампаний 2020–2023 гг. показали сложности в наборе абитуриентов на естественно-научные направления подготовки, в числе таковых оказались и направления подготовки группы наук о Земле («География», «Гидрометеорология», «Экология и природопользование» и др.). Одной из причин является низкая доля информированности выпускников школ и их родителей, а в некоторых случаях и учителей географии, о специфике и преимуществах высшего географического образования, о возможностях трудоустройства после него и, соответственно, снижение количества школьников, выбирающих и сдающих ЕГЭ по географии. С другой стороны, для некоторых направлений подготовки бакалавров в вузах (например, для Пермского государственного национального исследовательского университета это «Экономика», «Государственное и муниципальное управление», «Биология» и др.) дополнительным экзаменом (по выбору) ввели ЕГЭ по географии. Поэтому решение проблемы набора на бюджетные места в вуз по географическим направлениям подготовки сталкивается

*Географическое образование**Зайцев А.А., Кулакова С.А., Фролова И.В., Харин Р.В.*

с возникающим противоречием между увеличением направлений подготовки бакалавров, принимающих в качестве вступительного экзамена географию, и снижением количества школьников, выбирающих и сдающих ЕГЭ по географии. В целом по России за последние пять лет (2019–2023 гг.) количество школьников, сдающих ЕГЭ по географии, сократилось на 25 %, в Пермском крае – на 40 % [16].

Важным является и проблема выбора вуза. Абитуриенты получают эту информацию разрозненно, хаотично и часто ориентируются на субъективное мнение учителей и родителей, которое формируется в условиях многообразных источников информации либо ее отсутствия. Нельзя не отметить аспект некоторой «закрытости» географического просвещения: в последнее время в информационном пространстве происходит смещение акцента в пользу экологического просвещения и обучения, исключением является международная просветительская акция «Географический диктант», проводимая Русским географическим обществом.

Складывающаяся ситуация и условия информационно переполненного и меняющегося мира вынуждают образовательные организации высшей школы перестраиваться на иные формы взаимодействия с абитуриентами, решая в большей степени организационные вопросы, чем мотивационные. Анализ опыта работы вузов с абитуриентами [4, 6–8, 12–14, 21, 22, 25 и др.] показал, что в приоритете остаются традиционные формы взаимодействия с абитуриентами: от организации системы подготовки к ЕГЭ до проведения дня открытых дверей. Вузы разрабатывают и внедряют оригинальные программы привлечения абитуриентов, которые определяются спецификой подготовки в университете, финансовыми возможностями организации и ее творческим коллективом. Вузы, имеющие географические факультеты или соответствующие институты, практически не используют цифровые технологии и активности онлайн-пространства в привлечении и формировании интереса у будущих абитуриентов.

Анализ основополагающих документов в области развития географического образования в России позволяет сформулировать актуальные тезисы значимости географии как системы наук и области знания, важных для человека любого возраста и поколения.

1. География в школе формирует у обучающихся систему комплексных социально ориентированных знаний об основных закономерностях взаимодействия природы и человечества, о географической среде.

2. В результате освоения школьной программы вырабатываются метапредметные и предметные результаты-действия, в том числе по работе с географической информацией [19, 23, 24].

3. Географическая информация является необходимой базой для выявления и решения разнообразных проблем, возникающих в процессе взаимодействия человечества с окружающей средой.

4. География как учебный предмет мировоззренческого характера обеспечивает формирование яркой и образной географической картины мира, при этом ведущим методическим принципом является формирование практических навыков использования географической информации.

5. Основу системно-деятельностного подхода в географии составляют высокая мотивация к изучению географии; готовность обучающихся к саморазвитию и непрерывному образованию; активная учебно-познавательная деятельность обучающихся; построение образовательной деятельности с учетом особенностей здоровья обучающихся [10].

Несмотря на эти однозначно верные утверждения о географическом образовании, существующие проблемы доступности разнообразной географической информации, в том числе регионального характера, не решены к настоящему времени. В качестве инструмента решения могут выступать информационно-деятельностные и учебно-познавательные географические порталы. В рамках реализации третьей роли географического факультета Пермского универ-

*Географическое образование**Зайцев А.А., Кулакова С.А., Фролова И.В., Харин Р.В.*

ситета (далее – ПГНИУ) ведется проект портала «География без границ», призванный сформировать условия «безграничного» взаимодействия участников образовательных отношений и выполнения разнообразных проектов в области географии и экологии.

Цель статьи – раскрыть содержание и возможности портала «География без границ», проекта географического факультета ПГНИУ.

**О проблемах географического образования в регионе**

Географический факультет ПГНИУ является одним из лидеров высшего географического образования в России по таким показателям, как количество обучающихся, качественный состав профессорско-преподавательского состава и материально-технические возможности в реализации образовательной деятельности и учебного процесса [5].

SWOT-анализ деятельности и развития факультета выявил важную проблемную ситуацию: снижение уровня подготовки по географии и заинтересованности в получении высшего географического образования у выпускников школ, а также слабую информированность о возможностях, перспективах и трудоустройстве выпускников географического факультета ПГНИУ, что существенно сказывается на многих видах деятельности факультета. В решении данной проблемы возможно задействовать различные инструменты и средства.

В настоящее время уже реализуется ряд мероприятий по привлечению абитуриентов именно на географический факультет: совместно с Министерством образования и науки Пермского края и ведущими вузами Перми действует проект «Открытый университет»; на базе ПГНИУ проводятся учебные курсы по подготовке к сдаче единого государственного экзамена; Управление по работе с абитуриентами и выпускниками вуза и актив факультета ежегодно проводит интересные и познавательные мероприятия; ежегодно совместно с Пермским краевым отделением Русского географического общества успешно проходит конференция для школьников и учителей «Географические открытия» и ряд других активностей и мероприятий, но, к сожалению, ситуация с выбором географического факультета как места следующего уровня обучения практически не меняется [15].

Абитуриенты и их родители теряются в огромном потоке информации, «модных» трендах и тенденциях. Несмотря на значительное обилие проводимых мероприятий, проблема ранней профориентации не решается. До финиша дополнительно организуемых для школьников научно-образовательных и образовательных проектов доходят единицы из большого числа желающих. Те же, кто успевает совмещать учебную деятельность и активности вуза, пробуют себя в разных направлениях, затем в университете на ранних курсах обучения эти ребята включаются в реализацию наукоемких проектов и разработок и становятся специалистами высокой квалификации.

Кроме того, нужно учитывать особенности современного поколения выпускников школ. Сейчас в университет приходят абитуриенты, для которых характерны: 1) воспитание в новой парадигме: плотный родительский контроль, растущие инвестиции в детей, повышенные ожидания в отношении детей; 2) меньшая привязанность к профессиональной карьере и зарабатыванию денег; 3) клиповое мышление и др. [20]. Поэтому презентации направлений подготовки географического факультета должны опираться на результаты исследований в области возрастной психологии и когнитивных особенностей молодого поколения.

В 2020–2022 гг. географический факультет осуществлял самый большой в России прием на географические направления подготовки при несущественном рынке абитуриентов. В школах региона очевидна нехватка цифрового контента географических знаний. Преподавание географии базируется на методах старого технологического уклада. За рамками изучения остаются современные технологии: дистанционное зондирование, большие пространственные данные, автоматизированные системы мониторинга природных процессов и многие другие

## Географическое образование

Зайцев А.А., Кулакова С.А., Фролова И.В., Харин Р.В.

достижения, используемые в экологии и географии. Кроме того, в школах наблюдается дефицит научных проектов эколого-географической направленности как основы многих междисциплинарных исследований, а также существует запрос в методической поддержке научно-исследовательских работ школьников со стороны вузов.

Учителя школ далеко не всегда обладают достаточной цифровой грамотностью, характерной для современного технологического уклада, нечасто используются геоинформационные системы для освоения школьной программы, минимальна цифровая геймификация образовательного процесса, электронная картография распространена фрагментарно.

Для решения вышеперечисленных проблем сотрудниками ПГНИУ предложен проект портала «География без границ» (рис. 1), созданный «для совершенствования непрерывного географического и экологического образования путем расширения взаимодействия между вузами, школами и работодателями за счет внедрения цифровых и сетевых образовательных инструментов» [2]. Его планирование и механизмы разработки учитывают и опираются на существующие сегодня образовательные онлайн-ресурсы [3, 9, 17, 18 и др.].



Рис. 1. Портал «География без границ»

Fig. 1. Geography Without Borders portal

**Информационный портал «География без границ» и его возможности**

Портал написан на CMS Evolution, бесплатном open-source решении для управления сайтами. Использован css-фреймворк Bootstrap, предназначенный для адаптивной web-разработки. В создании и работе сайта используются HTML, CSS, JavaScript, PHP, MySQL.

Движение к созданию такого портала определялось следующими важными аспектами всех заинтересованных в этом проекте сторон.

1. Необходим ребрендинг географии как важной профессиональной области знаний. У абитуриентов не формируется прикладное профессиональное значение географического образования и прагматики его реализации в трудоустройстве. Это снижает популярность географии как школьного предмета, а также интерес к нему со стороны обучающихся, несмотря на утвержденный профессиональный стандарт «Географ (специалист по выполнению работ и оказанию услуг географической направленности)».

2. В настоящее время отсутствует цифровой портрет абитуриента ПГНИУ. Как правило, о наших первокурсниках мы знаем лишь три цифры: баллы ЕГЭ.

3. Существует недостаток в ранней коммуникации со школами, не разработаны либо не применяются цифровые механизмы взаимодействия с ними.

4. В ПГНИУ практически нет проектов по созданию образовательного контента (в т.ч. для рынка EDUnet), реализуемых как научно-педагогическими коллективами, так и студентами в рамках их обучения.

*Географическое образование**Зайцев А.А., Кулакова С.А., Фролова И.В., Харин Р.В.*

5. Работодатели не включены в процесс подготовки специалиста географической направленности на раннем этапе (10–11 класс школы, 1–2 курс вуза), отсутствует цифровой портрет выпускника вуза.

6. ПГНИУ обладает достаточной базой для реализации некоторых процессов трансформации географического образования и просвещения: есть самый крупный географический факультет России как по числу обучающихся, так и по числу направлений подготовки; вуз является держателем одной из лучших Олимпиад для школьников по географии, победители которой имеют право приоритетного поступления в любой вуз России; сотрудничает с образовательной платформой Сберкласс; ежегодно участвует в социальных проектах по развитию экологического просвещения и обустройству городской среды и др.

Миссия портала «География без границ» заключается в вовлечении разных участников (от школьников до работодателей) в географическое познание своего региона и страны в целом с помощью разных инструментов и технологий с выстраиванием обратной связи и осуществлением коммуникации всех участников в одной локации онлайн-пространства без привязки к месту своего проживания. Предполагается, что каждый пользователь найдет в этом портале свою нишу и удовлетворит свои потребности в новых актуальных знаниях, умениях и навыках для решения личностных и профессиональных задач. Конечное наполнение портала географической информацией и определение возможностей работы с ней позволит определить спектр метапредметных и предметных результатов освоения школьной программы по географии и учебные действия обучающихся, выделить мотивационный сегмент для работы с абитуриентами.

Задачи проекта амбициозны, но осуществимы. Это увеличение числа школьников, сдающих ОГЭ и ЕГЭ по географии в Пермском крае за счет внедрения принципиально новых для региона механизмов взаимодействия «школа-вуз»; увеличение числа выпускников естественно-научных факультетов, трудоустраивающихся по направлению подготовки; развитие образовательных программ дополнительного образования для различных целевых групп; выход факультета на рынок НТИ EDUnet за счет генерации цифрового образовательного контента; участие в региональной повестке экологической комфортности среды, а также сохранения природного и историко-культурного наследия региона; обеспечение региона информационно-аналитическими материалами географического характера; формирование школьной научно-исследовательской повестки на территории РФ путем организации сетевых форм исследования и взаимодействия участников.

В структуре портала «География без границ» (рис. 2) предусмотрены: научно-исследовательский блок для школьников (пул научно-исследовательских проектов в связке «студент географического факультета – учащийся школы – преподаватель вуза как тьютор», поддержка и оценка научно-исследовательских работ), блок олимпиады по географии (сложный уровень заданий, консультационная поддержка и подготовка к решению задач олимпиадного уровня), блок для любознательных (интересные факты о крае, создание базы данных «народная география»), блок для учителей географии (информирование о географических проектах и работах при участии географического факультета ПГНИУ и не только, методическая и информационная поддержка проектов учителей), блок для преподавателей и студентов (интересные проекты в связке «школа-вуз» и приглашения к участию в них, информирование о ходе профориентационной работы и приглашение к мероприятиям в данной области деятельности), блок для работодателей (цифровой портрет выпускника, совместные проекты и активности); информационный блок для родителей абитуриентов (популяризация и продвижение направлений подготовки географического факультета ПГНИУ); блок Пермского краевого отделения РГО.

Географическое образование  
Зайцев А.А., Кулакова С.А., Фролова И.В., Харин Р.В.

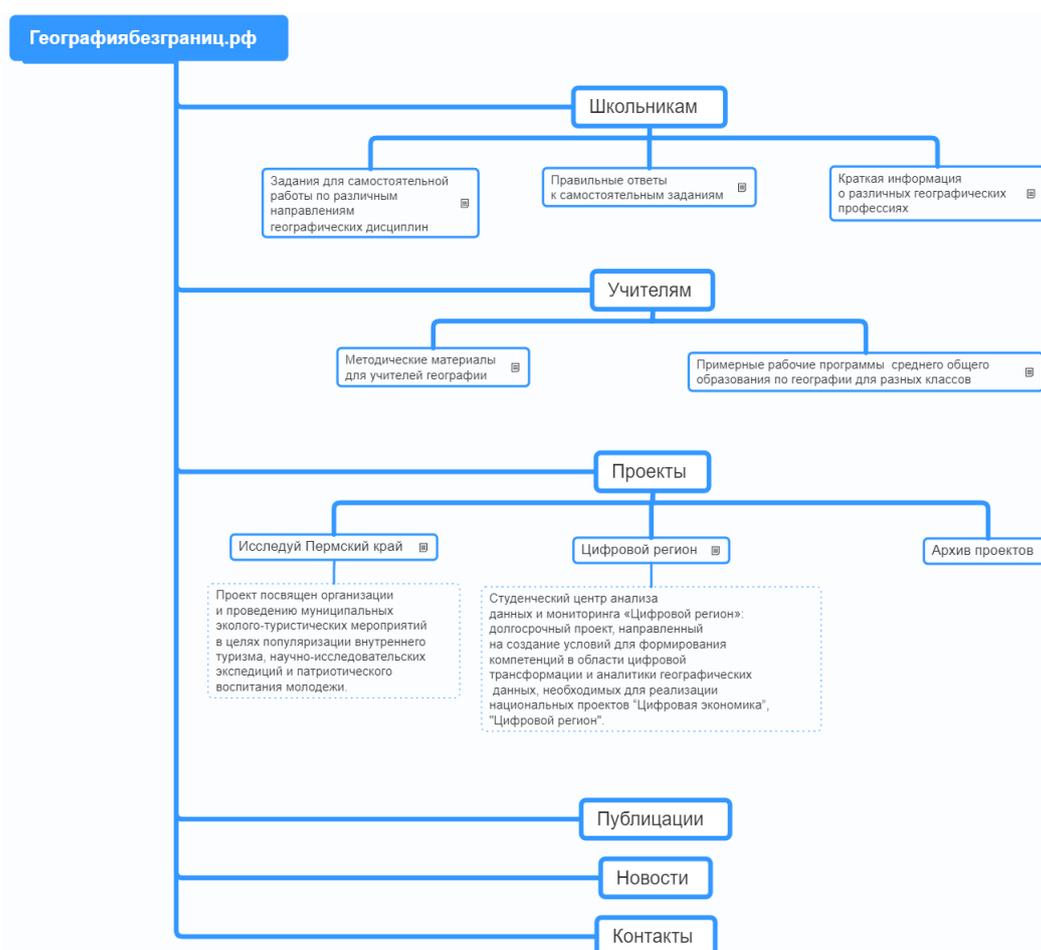


Рис. 2. Структура портала «География без границ»  
Fig. 2. Structure of the Geography Without Borders portal

Выделены следующие этапы подготовки и реализации проекта «География без границ»:

1. Цифра в образовании. Это сквозной этап реализации и постоянной корректировки проекта: постоянная работа над контентом образовательного сегмента портала, содержащего задания по региональной географии, экологии и краеведению; выпущен атлас географии Пермского края [1] для школ, формируется фонд аналоговых заданий для учителей и школьников для работы с атласом. Карты атласа, дополненные специальными и отраслевыми картами, стали одной из составляющих разделов портала. Помимо сугубо образовательной задачи, внедрение такой платформы обеспечит раннее взаимодействие с потенциальными абитуриентами (7–8 класс). Кроме этого, встроена обратная связь о качестве выполнения заданий: какие из них наиболее интересны для школьников, насколько быстро и правильно они решают задачи и т.п.

2. Цифровые решения представления и работы с географической информацией. Этот этап также является сквозным, в рамках него разрабатываются инструменты и решения применения элементарной веб-картографии, игровых симуляторов, моделирующих в безрисковой среде пространственные экологические, природные, миграционные, отраслевые процессы.

3. Цифровой инструмент взаимодействия абитуриентов, вуза и потенциальных работодателей. Этот этап относится к аналитическим и итоговым, возникающим после определенного времени функционирования проекта. Существующие НН-платформы не в полной мере формируют цифровой портрет выпускника, не обеспечивают связь конкретного вуза и работодателя на стадии его обучения на старших курсах. «География без границ» – это попытка

*Географическое образование**Зайцев А.А., Кулакова С.А., Фролова И.В., Харин Р.В.*

сформировать цифровой портрет современного абитуриента, будущего выпускника, который можно использовать для разработки новых образовательных программ.

4. Сетевое взаимодействие в рамках научно-исследовательской работы школьников из разных регионов России. Сквозной этап реализации проекта и работы портала. Проектом предусмотрена разработка около двух десятков простых и понятных как школьникам, так и учителям географии исследовательских протоколов по физической и экономической географии, экологии и краеведению, демографии и этнографии и др. Школьники получают возможность загружать свои работы на портал, а также пользоваться данными своих коллег, вступать во взаимодействие с учеными и преподавателями вуза и усиливать свои работы. Такой подход позволит уже на уровне школы заложить у обучающихся ключевые принципы современной науки: сетевые междисциплинарные исследования и взаимодействия. В дальнейшем предполагается проведение общероссийских конкурсов исследовательских работ.

5. Студенческий центр анализа данных и мониторинга «Цифровой регион». Данный проект поддержан Русским географическим обществом [11]. Основными задачами студенческого центра стали: формирование базы больших данных географической информации о Пермском крае для ее применения в расчетах, прогнозировании, создании картографической информации и разработке симулятора; разработка методик решения конкретных локальных задач на основе применяемых подходов, методов и технологий прогнозирования географических и экологических процессов; решение учебных задач в рамках таких учебных дисциплин, как «Цифровая география в индустрии 4.0», «Глобальная география», «Регионоведение», «Региональное и муниципальное управление».

6. Этап социально ориентированных мероприятий. Предусмотрена реализация социальных проектов, направленных на обустройство экологически комфортной среды, сохранение биологического разнообразия, а также формирование программ дополнительного образования для разных целевых групп и оповещение о них через портал «География без границ».

Последовательная реализация цифровых решений в рамках данного проекта потребует проведения программ повышения квалификации для учителей географии на базе вузов-участников, что расширит возможности географического факультета ПГНИУ в разработке и реализации дополнительных образовательных программ для профессионального сообщества.

Также в рамках реализации данного проекта предусмотрена методическая поддержка учителей-предметников и школьников в подготовке научных, учебно-методических материалов и их публикации в открытой печати.

Среди партнеров проекта «География без границ» есть как акторы, с которыми уже налажено взаимодействие, например Фонд президентских грантов, Фонд грантов губернатора Пермского края, Русгидро, так и организации, для которых данный проект может рассматриваться как инструмент решения собственных задач. Потенциальными участниками могут стать вузы России и институты развития образования, традиционно занимающие лидирующие позиции в России.

### **Заключение**

Современные условия образовательной среды и ее участников в связке «школа-вуз» требуют поиска новых технологий и инструментов реализации взаимодействия с рассчитанным максимальным эффектом успешности и минимальными рисками. В достижении эффективности возможно решение данной задачи с помощью цифровых технологий. Проект информационного портала «География без границ» позволит решить насущные задачи по сосредоточению в одной интернет-локации всех заинтересованных участников – от школьников и их родителей до работодателей. При этом главным держателем этого интереса является географический факультет ПГНИУ, что позволит продвигать географию как увлекательную область знаний, повышать географическую «грамотность», усиливать интерес к родному краю

## Географическое образование

Зайцев А.А., Кулакова С.А., Фролова И.В., Харин Р.В.

и краеведческим исследованиям, заниматься предметно с абитуриентами, развивать и совершенствовать высшее географическое образование, выпускать профессионально-ориентированных специалистов, готовых к выполнению работ и оказанию услуг географической направленности.

В «Географии без границ» сосредоточены интересы не только в расширении и популяризации изучения и исследования региональной географии, но и в сфере коммуникации, позволяющей получать экспертную обратную связь в самых разных областях географического образования и просвещения.

## Библиографический список

1. Атлас География Пермского края / под ред. А.А. Зайцева, С.В. Пьянкова, Н.В. Бажуковой. Пермь, 2020. 49 с.
2. География без границ. URL: <https://географиябезграниц.рф> (дата обращения: 12.11.2023).
3. Горбунова А.Ю., Федосова А.Д. Геймификация как инструмент привлечения абитуриентов вуз // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. 2022. № 1(39). С. 53–57.
4. Евдокимов М.А., Охтя Н.В. Повышение качества подготовки абитуриентов технического вуза // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Психолого-педагогические науки. 2008. № 1(9). С. 39–43.
5. Зайцев А.А., Кулакова С.А. Роль географического факультета ПГНИУ в реализации концепции географического образования в России // Антропогенная трансформация природной среды. 2016. № 2. С. 45–49.
6. Клименко Е.Н., Касаткина О.В. Программа «Абитуриент». Довузовская подготовка по математике и физике // Образование в современной школе. 2008. № 12. С. 53–57.
7. Климина Е.О. Система экологического образования в региональном вузе // Высшее образование в России. 2019. Т. 28, № 5. С. 139–144. doi: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2019-28-5-139-144>.
8. Кокорина И.П., Молокина Т.С. Мастер-класс «Цифровая Земля» для дистанционного обучения // Актуальные вопросы образования. 2021. № 2. С. 64–67.
9. Колпакова Е.И. Разработка информационной системы поддержки абитуриентов для выбора вузов и направления подготовки // Проблемы проектирования, применения и безопасности информационных систем в условиях цифровой экономики. Ростов-на-Дону, 2020. С. 210–215.
10. Концепция развития географического образования в Российской Федерации. URL: <https://docs.edu.gov.ru/document/54daf271f2cc70fc543d88114fa83250> (дата обращения: 13.02.2024).
11. Конышев Е.В., Фролова И.В. Об организации деятельности студенческого центра анализа и мониторинга данных «Цифровой регион» // Географические и экономические исследования в контексте устойчивого развития государства и региона: мат. IV Междунар. науч.-практ. конференция. Донецк, 2022. Т. 2. С. 308–310.
12. Кузнецова М.Е., Семёнова Е.Н. Портрет первокурсника направления подготовки 38.03.01 Экономика (2017–2021 гг.) // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. 2021. № 1(35). С. 113–117.
13. Куликова В.В., Заярная И.А. Инновационные подходы к подготовке абитуриентов // Проблемы высшего образования. 2018. № 1. С. 276–279.
14. Лагунова М.В. Функции довузовской подготовки абитуриентов творческих специальностей как элемента системы выявления и развития молодых талантов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2019. № 4(56). С. 187–193.
15. Лучников А.С. Основные направления политики по отношению к абитуриентам на географическом факультете ПГНИУ // Географический вестник. 2014. № 4(31). С. 110–120.
16. Методический анализ результатов ЕГЭ по географии. 2020–2023. URL: <https://kraioko.perm.ru/index.htm?oper=res> (дата обращения: 13.02.2024).
17. Открытый университет. URL: <https://openpsu.ru/> (дата обращения: 31.10.2022).
18. Образовательная онлайн-платформа. Цифровой образовательный контент. URL: <https://educont.ru/> (дата обращения: 20.10.2022).
19. Приказ Министерства просвещения РФ от 31 мая 2021 г. № 287 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401333920/> (дата обращения: 14.02.2024).
20. Радаев В.В. Преподавание в кризисе. М.: Издат. дом Высшей школы экономики, 2022. 220 с.
21. Тригорлова Л.Е., Гаевская Д.Л., Лузгина Н.Н. Повышение эффективности подготовки абитуриентов к вступительным испытаниям с использованием технологий дистанционного обучения // Медицинское образование XXI в.: разработка модели «Университет 3.0». Витебск, 2019. С. 246–249.
22. Украинцева И.В., Коновалова Г.М., Тамбовцева А.В., Берген О.В., Пушкарева Д.А. Работа опорного вуза со школьниками и молодежью // Высшее образование в России. 2018. Т. 27, № 11. С. 117–128. doi: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2018-27-11-117-128>.
23. Федеральная рабочая программа основного общего образования. География (для 5–9 классов образовательных организаций). М.: Институт стратегии развития образования, 2022. URL: [https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/19\\_frp\\_geografiya-5-9-klassy.pdf](https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/19_frp_geografiya-5-9-klassy.pdf) (дата обращения: 13.02.2024).
24. Федеральная рабочая программа среднего общего образования. География (углублённый уровень, для 10–11 классов образовательных организаций). М.: Институт стратегии развития образования, 2023. URL: [https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/19\\_frp\\_geografiya-5-9-klassy.pdf](https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/19_frp_geografiya-5-9-klassy.pdf) (дата обращения: 13.02.2024).
25. Шилина Н.Г., Таптыгина Е.В. Модель довузовского образования, реализуемая в Красноярском государственном медицинском университете им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. С. 313.

## Географическое образование

Зайцев А.А., Кулакова С.А., Фролова И.В., Харин Р.В.

## References

1. Atlas Geografiya Permskogo kraja / pod red. A.A. Zajceva, S.V. P'yankova, N.V. Bazhukovoj. Perm, 2020. 49 p.
2. *Geography without borders. Educational portal* [online]. URL: <https://географиябезграниц.рф> [Accessed 12 Nov. 2023].
3. Gorbunova A.Yu., and Fedosova A.D. (2022). Gamification as a tool to attract applicants to the university. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya ekonomiki: rossijskij i zarubezhnyj opyt*, 1(39), pp. 53–57.
4. Evdokimov M.A., Ohtya N.V. (2008). Improving the quality of training for technical university applicants. *Vestnik Samar-skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Psihologo-pedagogicheskie nauki*, 1(9), pp. 39–43.
5. Zaitsev A.A., Kulakova S.A. (2016). Role of geographical faculty of PSU in implementation of the Russian geographical formation concept. *Antropogennaya transformaciya prirodnoj sredy*, 2, pp. 45–49.
6. Klimenko E.N., Kasatkina O.V. (2008). Program “Enrollee”. Pre-university preparation in mathematics and physics. *Obrazovanie v sovremennoj shkole*, 12, pp. 53–57.
7. Klinskaya E.O. (2019). The system of environmental education in the regional university. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*, Vol. 28, 5, pp. 139–144. doi: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2019-28-5-139-144>.
8. Kokorina I.P., Molokina T.S. (2021). Master class «Digital Earth» for distance learning. *Aktual'nye voprosy obrazovaniya*, 2, pp. 64–67.
9. Kolpakova E.I. Development of an information system to support applicants for choosing universities and areas of training (2020). In: *Problemy proektirovaniya, primeneniya i bezopasnosti informacionnyh sistem v usloviyah cifrovoj ekonomiki*, Rostov-na-Donu, pp. 210–215.
10. *Koncepciya razvitiya geograficheskogo obrazovaniya v Rossijskoj Federacii* [online]. URL: <https://docs.edu.gov.ru/document/54daf271f2cc70fc543d88114fa83250> [Accessed 13 Feb. 2024].
11. Konyshev E.V., Frolova I.V. On organizing the activities of the student center for data analysis and monitoring “Digital Region” (2022). In: *Geograficheskie i ekonomicheskie issledovaniya v kontekste ustojchivogo razvitiya gosudarstva i regiona*, Donetsk, pp. C 308–310.
12. Kuznetsova M.E., Semenova Ee.N. (2021). On the first year student portrait majoring in Economics: 2017–2021. *Vestnik Hakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova*, 1(35), pp. 113–117.
13. Kulikova V.V., Zayarnaya I.A. (2018). Innovative approaches to preparing applicants. *Problemy vysshego obrazovaniya*, 1, pp. C. 276–279.
14. Lagunova M.V. (2019). Functions of pre-university training of applicants for creative specialties as an element of the system for identifying and developing young talents. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. Seriya: Social'nye nauki*, 4(56), pp. 187–193.
15. Luchnikov A.S. (2014). Main directions for the policy in relation to high school's applicants on the geographical faculty of Perm State National Research University. *Geograficheskij vestnik=Geographical Bulletin*, 4(31), pp. 110–120.
16. Metodicheskij analiz rezul'tatov EGE po geografii. 2020–2023 [online]. URL: <https://kraioko.perm.ru/index.htm?oper=res> [Accessed 13 Feb. 2024].
17. *Open University* [online]. URL: <https://openpsu.ru/> [Accessed 31 Oct. 2022].
18. *Educational online platform. Digital educational content* [online]. URL: <https://educont.ru/> [Accessed 20 Oct. 2022].
19. *Prikaz Ministerstva prosveshcheniya RF ot 31 maya 2021 g. № 287 “Ob utverzhdenii federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo standarta osnovnogo obshchego obrazovaniya”* [online]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401333920/> [Accessed 14 Feb. 2024].
20. Radaev V.V. (2022). Teaching in crisis. Moscow, Publishing House of the Higher School of Economics, 220 p.
21. Trigorlova L.E., Gaevskaya D.L., Luzgina N.N. Increasing the efficiency of preparing applicants for entrance examinations using distance learning technologies (2019). In: *Medicinskoe obrazovanie XXI v.: razrabotka modeli «Universitet 3.0»*. Vitebsk, pp. 246–249.
22. Ukraintseva I.I., Konovalova G.M., Tambovtsev A.V., Bergen O.V., Pushkareva D.A. (2018). Programs and activities for gifted youth at a pillar university. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*, Vol. 27, 11, 117–128. doi: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2018-27-11-117-128>.
23. *Federal'naya rabochaya programma osnovnogo obshchego obrazovaniya. Geografiya (dlya 5 – 9 klassov obrazovatel'nyh organizacij)* (2022). Moscow, Publishing Institute for Education Development Strategy [online]. URL: [https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/19\\_frp\\_geografiya-5-9-klassy.pdf](https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/19_frp_geografiya-5-9-klassy.pdf) [Accessed 13 Feb. 2024].
24. *Federal'naya rabochaya programma srednego obshchego obrazovaniya. Geografiya (uglublyonnyj uroven', dlya 10–11 klassov obrazovatel'nyh organizacij)* (2023). Moscow, Publishing Institute for Education Development Strategy [online]. URL: [https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/19\\_frp\\_geografiya-5-9-klassy.pdf](https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/19_frp_geografiya-5-9-klassy.pdf) [Accessed 13 Feb. 2024].
25. Shilina N.G., Tapygina E.V. (2013). Model of pre-university education being realized at Krasnoyarsk State Medical University named after prof. V.F. Voino-Yasentcky. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2, 313 p.

Статья поступила в редакцию: 22.12.23, одобрена после рецензирования: 10.02.2024, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 22 December 2023; approved after review: 10 February 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

*Географическое образование**Зайцев А.А., Кулакова С.А., Фролова И.В., Харин Р.В.*

## Информация об авторах

## Information about the authors

**Андрей Аркадьевич Зайцев**

кандидат географических наук, доцент кафедры биогеоэкологии и охраны природы, декан географического факультета, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15  
e-mail: rabbitzay@yandex.ru

**Andrey A. Zaitsev**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Biogeocenology and Nature Conservation, Head of the Geography Faculty, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

**Светлана Александровна Кулакова**

кандидат географических наук, доцент кафедры биогеоэкологии и охраны природы, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: kulakovasa@mail.ru

**Svetlana A. Kulakova**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Biogeocenology and Nature Conservation, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

**Ирина Викторовна Фролова**

кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и ландшафтной экологии Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: irvik13@gmail.com

**Irina V. Frolova**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Physical Geography and Landscape Ecology, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

**Роман Владимирович Харин**

ассистент кафедры зоологии позвоночных и экологии Пермского государственного национального исследовательского университета; 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: rvharin@gmail.com

**Roman V. Kharin**

Assistant, Department of Vertebrate Zoology and Ecology, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

**Вклад авторов:**

Зайцев А.А. – идея, сбор материала, написание статьи, корректировка текста.

Кулакова С.А. – сбор материала, написание статьи, корректировка текста.

Фролова И.В. – сбор материала, написание статьи, редактирование текста.

Харин Р.В. – сбор материала, разработка рисунков.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:**

Andrey A. Zaitsev – the idea; collection of data; writing of the article; scientific editing of the text.

Svetlana A. Kulakova – collection of data; writing of the article; scientific editing of the text.

Irina V. Frolova – collection of data; writing of the article; editing of the text.

Roman V. Kharin – material collection and processing; visualization of the result.

The authors declare no conflict of interest.

*Научное издание*

**Географический вестник**  
*Geographical Bulletin*

Выпуск №1(68)/2024

Редактор *А.С. Серебrenиков*  
Корректор *С.А. Вороненко*  
Компьютерная верстка *М.К. Пехтерева*

Подписано в печать 25.03.2024. Выход в свет 30.03.2024.  
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 23,25. Тираж 500 экз. Заказ № 44

***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](https://www.ural-press.ru/catalog/97266/8651105/?sphrase_id=396141). Подписной индекс 41001

*Распространяется бесплатно и по подписке*